

01059



---

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

GEOMORFOLOGÍA DEL NORESTE  
DEL NEVADO DE TOLUCA, MÉXICO

29/3/01

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE  
MAESTRO EN GEOGRAFÍA

P R E S E N T A

LUIS MIGUEL ESPINOSA RODRÍGUEZ

CIUDAD UNIVERSITARIA,  
MÉXICO D.F.

MARZO DEL 2001



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## AGRADECIMIENTOS

Muchas son las personas e instituciones que se encuentran alrededor de un proyecto; probablemente ellas conscientes o no, aportan una gran riqueza y ayuda para la culminación de una meta. Es por ello, que en estas líneas quiero agradecer a todos aquellos que han colaborado con esta investigación, un breve homenaje a quienes criticaron lo aquí escrito o ayudaron a resolver un trámite; así como a todos aquellos que también lo han importunado.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, a la Universidad Autónoma del Estado de México; al Dr. Mario Arturo Ortiz; a la Dra. Martha Cervantes; a los Maestros Alberto López y Alejandro D'Luna; a ustedes gracias por el compromiso, el análisis, la crítica, por su apoyo y confianza; y de manera muy especial un reconocimiento a la Dra. Oralia Oropeza Orozco.

De manera particular, deseo manifestar mi agradecimiento a Véronique Cesbron, Armando Reyes, al maestro Jaime Humberto Graniel Graniel y a Yadira Ruíz por sus observaciones en la gestación de este trabajo.

A Dolores Magaña por su apoyo en la interpretación estadística y a Patricia Mireles por su apoyo en campo y en el laboratorio; asimismo un especial sentimiento para aquellos que entregaron su tiempo y dedicación ya sea en campo, en gabinete o atrás de una ventanilla: a Diana Moreno, Ricardo Fuentes, Raúl Mangú, Issac Castañeda, Ana Luisa Hernández; y de manera muy particular y sentida a Miriam Vilchis, Gybran Canchola y José Manuel Figueroa Mah-Eng; a todos ustedes mi respeto y gratitud.

Un especial agradecimiento a mis amigos por su apoyo y amistad de estos años, así como para todos aquellos que en el silencio y en el anonimato han sabido ser amigos.

Gracias a ese ser supremo a quien llamamos Padre,  
gracias por la vida, y por la oportunidad que nos brindas  
para ser parte de tu proyecto.

Sea este un breve homenaje a  
Michelle;  
aunque tarde a Bibi;  
a David, Babi, Carmina; y,  
a Miguel Angel, Rosario, Malú y Jorge.

A todos ustedes gracias por todo su apoyo,  
por todo lo bueno que son y representan.

"POR MI RAZA, HABLARÁ EL ESPÍRITU"  
Ciudad Universitaria, Marzo del 2001

LUIS MIGUEL ESPINOSA RODRÍGUEZ

## ÍNDICE

ÍNDICE DE GRÁFICOS

ÍNDICE CARTOGRÁFICO

ÍNDICE DE CUADROS

ÍNDICE DE FIGURAS

“...PERO LOS SERES HUMANOS NO ESTAMOS  
PENSADOS COMO UNA ESPECIE EN GRANDES CANTIDADES, SINO ALTAMENTE  
CUALITATIVA, Y TODA REFLEXIÓN SOCIAL DEBERÍA GIRAR EN TORNO A ESTA IDEA.”

DESMOND MORRIS

## ÍNDICE

PÁGINA

ÍNDICE ..... i

ÍNDICE DE GRÁFICAS ..... iii

ÍNDICE CARTOGRÁFICO ..... iii

ÍNDICE DE CUADROS ..... iv

ÍNDICE DE FIGURAS ..... v

RESUMEN

ABSTRACT

RESUME ..... 1

INTRODUCCIÓN

Introducción

Materiales y métodos de estudio

Antecedentes

Estructura de la Investigación ..... 2

CAPÍTULO I

LA TEORÍA GENERAL DE SISTEMAS,  
SUSTENTO TEÓRICO-METODOLÓGICO

Conceptos Generales

Antecedentes y fundamentos de la Teoría General de Sistemas

Aplicaciones de la Teoría General de Sistemas en Estudios Geográficos ..... 13

CAPÍTULO II

EVOLUCIÓN GEOMORFOLÓGICA  
DEL NEVADO DE TOLUCA

Características Geológicas-Geomorfológicas del Sistema Volcánico Transversal

Características Geológicas-Geomorfológicas del Nevado de Toluca

Formación Pómez Toluca Inferior

Formación Pómez Toluca Superior

Geomorfología Glaciar y Periglaciar

Condiciones Edafológicas ..... 27

CAPÍTULO III  
LA UTILIZACIÓN Y CAMBIO DE USO DEL SUELO

Antecedentes	
Ganadería	
Pastoreo	
Explotación Forestal	
Agricultura	
Recreación	
Tenencia de Tierra	
Modificaciones de lo Agrícola a lo Industrial	
Conservación de Recursos	47

CAPITULO IV  
LA LADERA NORESTE DEL NEVADO DE TOLUCA

Sistema de Drenaje	
Características de los Flujos Torrenciales	
Características Sedimentológicas	
Características Climático-Meteorológicas	
Características Erosivo-Acumulativas	
Características Antrópicas	
Elementos Cuantitativos de la Ladera	70

CAPITULO V  
DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Origen del Volcán	
Condiciones Climático- Meteorológicas	
Estado y Dinámica del Agua	
Procesos de Modelado Fluvial	
Factores Biogeográficos	
Presencia Antrópica	
Cartografía geomorfológica de la Ladera Noreste	
Sinopsis	105

BIBLIOGRAFÍA DE REFERENCIA	140
----------------------------	-----

ANEXO I GRÁFICOS METEOROLÓGICOS	154
------------------------------------	-----

ANEXO II VARIABLES CUANTITATIVAS	157
-------------------------------------	-----

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

NÚMERO DE GRÁFICA	TÍTULO	PÁGINA
3.1	Posición de la industria en el Estado de México con respecto al lugar nacional	60
3.2	Población total de localidades y municipios industriales del Estado de México	61
3.3	Actividad minera en el noreste del Nevado de Toluca	63
3.4	Volumen anual de extracción de materiales por municipio	65
3.5	Porcentaje de utilización del suelo	69
4.1	VARIABLES que afectan el proceso de modelado de la ladera noreste del Nevado de Toluca	95
4.2	VARIABLES que impactan el modelado de la ladera noreste del Nevado de Toluca	95
4.3	VARIABLES de alto impacto que modifican la ladera noreste del Nevado de Toluca	96
4.4	VARIABLES de mediano impacto que modifican la ladera noreste del Nevado de Toluca	96
4.5	Cauces de primer orden en la ladera superior	99
4.6	Cauces de segundo orden en la ladera superior	99
4.7	Cauces de primer orden en la ladera inferior	100
4.8	Cauces de segundo orden en la ladera inferior	100
4.9	Cauces de tercer orden en la ladera inferior	100
4.10	Cauces de primer orden en la ladera de pómez	101
4.11	Cauces de segundo orden en la ladera de pómez	101
4.12	Cauces de tercer orden en la ladera de pómez	101
4.13	Cauces de cuarto orden en la ladera de pómez	102
4.14	Gráfico de regresión del Arroyo Cano	102
4.15	Gráfico de regresión del Arroyo Cano	103

## ÍNDICE CARTOGRÁFICO

	PÁGINA
	74
	112
CARTA	113
	123
	133
	136

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

NÚMERO DE GRÁFICA	TÍTULO	PÁGINA
3.1	Posición de la industria en el Estado de México con respecto al lugar nacional	60
3.2	Población total de localidades y municipios industriales del Estado de México	61
3.3	Actividad minera en el noreste del Nevado de Toluca	63
3.4	Volumen anual de extracción de materiales por municipio	65
3.5	Porcentaje de utilización del suelo	69
4.1	Variables que afectan el proceso de modelado de la ladera noreste del Nevado de Toluca	95
4.2	Variables que impactan el modelado de la ladera noreste del Nevado de Toluca	95
4.3	Variables de alto impacto que modifican la ladera noreste del Nevado de Toluca	96
4.4	Variables de mediano impacto que modifican la ladera noreste del Nevado de Toluca	96
4.5	Cauces de primer orden en la ladera superior	99
4.6	Cauces de segundo orden en la ladera superior	99
4.7	Cauces de primer orden en la ladera inferior	100
4.8	Cauces de segundo orden en la ladera inferior	100
4.9	Cauces de tercer orden en la ladera inferior	100
4.10	Cauces de primer orden en la ladera de pómez	101
4.11	Cauces de segundo orden en la ladera de pómez	101
4.12	Cauces de tercer orden en la ladera de pómez	101
4.13	Cauces de cuarto orden en la ladera de pómez	102
4.14	Gráfico de regresión del Arroyo Cano	102
4.15	Gráfico de regresión del Arroyo Cano	103

## ÍNDICE CARTOGRÁFICO

	PÁGINA
	74
Sistemas de drenaje	112
Hipsométrica	113
Pendientes	123
Densidad de la disección	133
Minas	133
Geomorfología de la ladera noreste del Nevado de Toluca	136



## ÍNDICE DE CUADROS

NÚMERO DE CUADRO	TÍTULO	PÁGINA
A.1	Variables de estudio	5
1.1	Teoría General de Sistemas	15
2.1	Elementos morfoestructurales del Sistema Volcánico Transversal	29
2.2a	Evolución volcánica del Nevado de Toluca	37
2.2b	Evolución volcánica del Nevado de Toluca	38
2.3a	Glaciaciones en México y en el Nevado de Toluca	41
2.3b	Glaciaciones en México y en el Nevado de Toluca	42
2.3c	Glaciaciones en México y en el Nevado de Toluca	43
2.3d	Glaciaciones en México y en el Nevado de Toluca	44
3.1	Tipo de vegetación predominante del Nevado de Toluca	54
3.2	Productividad del distrito agrícola de Toluca	56
3.3	Tipos de tenencia de tierra en tiempos pretéritos	58
3.4	Tipo de material extraído de las minas del Nevado de Toluca	65
3.5	Variables observadas en la zona decretada como Parque Nacional	68
4.1	Cuencas tributarias del Alto Lerma	73
4.2	Coficiente de escurrimiento superficial del Nevado de Toluca	77
4.3	Arroyos con comportamiento torrencial	81
4.4	Climas representativos de la ladera noreste del Nevado de Toluca	88
4.5	Frecuencia de heladas	89
5.1	Variables que afectan la escorrentía	109
5.2	Características físico geográficas de los arroyos	119
5.3	Densidad de la disección	124
5.4	Descripción del perfil edáfico	126
5.5	Antropización de la ladera noreste	131

## ÍNDICE DE FIGURAS

NÚMERO DE FIGURA	TÍTULO	PÁGINA
A.1	Figura general de localización	8
2.1	Grabenes en echelon del Sistema Volcánico Transversal	30
2.2	Colapsos del Nevado de Toluca	32
2.3	Afloramiento de la Formación Pómez Toluca Inferior	35
2.4	Afloramiento de la Formación Pómez Toluca Superior	36
3.1	Curato de Calimaya	50
3.2	Ganadería extensiva e impactos sobre las vertientes	51
3.3	Vista parcial de la porción norte del Nevado de Toluca	53
3.4	Distribución ideal de la vegetación en el flanco noreste	55
3.5	Mina de arena localizada en el municipio de Calimaya	64
4.1	Perfil asimétrico del Arroyo Cano	75
4.2	Isopacas del Nevado de Toluca	76
4.3	Subsidencia	78
4.4	Lloraderos	79
4.5	Inestabilidad de vertientes	83
4.6	Carga del Arroyo Terrerillos	86
4.7	Desarrollo de cárcava en la margen del Arroyo Zacango	90
4.8	Cavitación al pie de un gavión	92
4.9	Camino, curso bajo del Arroyo Cano	93
5.1	Efecto de salpicamiento y pie de vaca	115
5.2	Restos de gavión del Arroyo Zaguán	116
5.3	Perfil edáfico	125
5.4	Afloramiento de tepetate en Arroyo Verdiguel	128
5.5	Combinación y diversidad de actividades económicas	130
5.6	Comportamiento sistémico de la ladera noreste del Nevado de Toluca	139

## RESUMEN

La combinación de factores como la litología, el relieve y el clima, así como la continua presencia de presiones antrópicas desde la época colonial sobre la ladera noreste del Nevado de Toluca, han heredado un conjunto de geoformas y procesos que modelan de forma constante su superficie, todo ello asociado a una problemática particular definida por la ocurrencia de torrentes, que a través de la erosión y acumulación, modifican las porciones del piedemonte y la planicie periférica al edificio.

Bajo el enfoque de la Teoría General de Sistemas aplicada a la Geomorfología, se ha abordado la problemática de dicho lugar, observándose por medio de ella las características particulares de los subsistemas que componen a la zona de estudio, las interrelaciones entre éstos y el orden natural que guardan los componentes de los mismos.

Así se ha podido determinar la geodinámica del sistema, destacando la relación entre el material, las formas heredadas y la energía que dinamiza el noreste del volcán.

Palabras clave: Relieve, Geoforma, Torrentes, Erosión, Acumulación, Sistemas.

## ABSTRACT

The combination of some factors like kind of rocks, relief and climate, as well as the continuous presence of human pressures since colonial time over the north-east hillslope of the "Nevado de Toluca" volcano, have been producing a landforms collection and processes that are constantly modeling it is surface; all these things, associated with a particular problem caused by denudation and accumulation cycles.

Considering the Systems General Analysis applied to Geomorphology, the problem has been faced by observing the particular characteristics of the subsystems, wich form the studied zone, the relationships between them and the natural order established by their components.

In that way, the geodynamic of the system has been established, by considering the relationship between the materials, hereditary forms of the terrin and the dynamic energy in the northeastern part of the volcano

Key words: Relief, Landform, Modeling, Denudation, Accumulation, Systems.

## RESUME

L'ensemble des facteurs géologiques, climatiques et du relief, ainsi que les continues pressions antrópiques, ces dernières depuis lépoque coloniale, ont crée un ensemble de formes et processus sur le versant NE du Nevado de Toluca.

No sommes face á un milieu de piémont, puis de plaine, perturbé par des cycles d'érosion et d'accumulation.

Basée sur la théorie générale des systèmes appliquée á la géomorphologie, la problématique de cette zone est analysée pou le biais de l'observation de comportement des micro systems, leurs relations et l'ordre naturel des elements composant ces systems.

C'est ainsi que s'est define e la geo-dynamique des milieu, soulevant particulièrement la relation entre les matériaux, les formes héritées et la dynamique de la partie NE del volcan.

Mots clé: Relief, Forme, Torrent, Érosion, Accumulation, Systemes.

## INTRODUCCIÓN

AL PRINCIPIO CREÓ DIOS LOS CIELOS Y LA TIERRA,  
LA TIERRA ESTABA CONFUSA Y VACÍA, Y LAS TINIEBLAS CUBRÍAN LA HAZ DEL ABISMO,  
PERO EL ESPÍRITU DE DIOS SE CERNÍA SOBRE LA SUPERFICIE DE LAS AGUAS.  
DIJO DIOS "HAYA LUZ" Y HUBO LUZ,  
Y VIO DIOS SER BUENA LA LUZ, Y LA SEPARÓ DE LAS TINIEBLAS,  
Y A LA LUZ LA LLAMÓ DÍA, Y A LAS TINIEBLAS NOCHE,  
Y HUBO TARDE Y MAÑANA; DIA PRIMERO...

...DIJO ENTONCES DIOS,  
"HAGAMOS AL HOMBRE A NUESTRA IMAGEN Y A NUESTRA SEMEJANZA"...

LIBRO DEL GÉNESIS

## INTRODUCCIÓN

El modelado que se presenta sobre la ladera Noreste del volcán Nevado de Toluca es resultado de diversos procesos morfogenéticos asociados a la sedimentación volcánica, así como a influencias de modelado glacial, periglacial y fluvial, y de manera importante por los cambios que en el uso de suelo se han presentado a lo largo del tiempo sobre sus vertientes; sobresaliendo entre ellas el desarrollo de las actividades primarias como la ganadería intensiva, la agricultura de temporal, la extracción de materia forestal destinada a diferentes usos; así como el desarrollo de actividades extractivas de materiales para la construcción.

Debido a las presiones antrópicas referidas sobre la ladera, en la margen transicional de ésta con la planicie y la parte alta del edificio volcánico, se han presentado algunos problemas que refieren una dinámica geomorfológica caracterizada por la formación, desarrollo y dinámica de torrentes; procesos de remoción en masa entre los cuales destaca la caída libre de rocas y suelo, flujos de suelo y la subsidencia localizada en las porciones periféricas al volcán e incluso, inundaciones en los conos de deyección desarrollados sobre la planicie; procesos que se relacionan con cambios continuos en el paisaje así como en la afectación de la infraestructura ubicada en el sitio.

De manera particular, las condiciones litológicas de la ladera en cuestión favorecen el desarrollo de los procesos mencionados líneas arriba, ya que se encuentra compuesta por material pumítico y tobas deleznable que son de fácil acarreo debido a su poca compactación, lo que representa condiciones propicias para el dominio de la reexistencia; intensificándose los procesos de profundización del fondo de los cauces, así como la socavación de los márgenes laterales de éstos; lo que a su vez, se traduce en erosión remontante y ensanchamiento de valles, propiciando de manera colateral la pérdida de nutrientes de los suelos y una importante inestabilidad de las vertientes.

Asimismo, las características meteorológicas que prevalecen en el volcán juegan un papel primordial en el desarrollo de la morfología sobre las vertientes al presentarse por una parte, condiciones que propician crioturbaación, permitiendo por una parte la fragmentación y generación de clastos del sustrato rocoso expuesto, y por otra, rompimiento de la estructura superficial del suelo; y por otra, precipitación de carácter torrencial el cual genera crecidas o avenidas caracterizadas por su alta capacidad energética observada a través de los procesos transporte y depositación de sedimentos y de transformación del medio.

La dinámica antes referida ha tratado de ser controlada por medio de obras de infraestructura consistente en presas de gaviones transversales a los cauces o de posición marginal a éstos, presas de mampostería de diverso tamaño y bordos contruidos por roqueríos o sacos de arena; no obstante, las medidas tomadas hasta la fecha para controlar los eventos y aminorar las consecuencias de los torrentes, sólo han amortiguado en algunos casos los efectos erosivos de éstos, y en otros, coadyuva al desarrollo de la morfogénesis generando saltos de agua de dos y hasta 4 metros y procesos de cavitación en pocos días.

A lo anterior, resulta necesario sumar a la pendiente y la vegetación ya que también juegan un papel importante en el desarrollo de las geoformas, coadyuvando a la dinámica de modelado. El

grado de inclinación de la ladera en general es uniforme dominando rangos de 6 y 15 grados, así como la sustitución de la vegetación natural por áreas agropastoriles y de explotación minera sobre los depósitos volcánicos poco compactados y suelos deleznable, son factores que intermezclados favorecen condiciones idóneas de fitoestabilidad.

De esta manera se establece que la dinámica del noreste del Nevado de Toluca se encuentra caracterizada por la generación de arroyos torrenciales y movimientos en masa, los cuales son favorecidos por medio de un intenso proceso de destrucción de superficies cubiertas de vegetación y suelos, generados por las características físico-geográficas dominantes de la zona de estudio, y por la energía que se ejerce el hombre en el paisaje por medio de las actividades económicas.

Así, se parte del supuesto de que la combinación de actividades económicas como la explotación forestal, la agricultura de temporal y la industria de la extracción; así como la presión inherente a estas actividades como la creación de caminos de saca y para la extracción de materiales para la construcción entre otros, han generado un rápido y brusco cambio en el uso de suelo en casi toda la porción nororiental del volcán, afectando de manera directa a los procesos de formación de suelos, así como a las comunidades vegetales; repercutiendo en las condiciones de arreglo y funcionamiento del paisaje.

Es por ello que en esta investigación se centra en determinar cuales son las condiciones geomórficas que se desarrollan en la ladera noreste del Nevado de Toluca, atendiendo las características evolutivas del edificio bajo las perspectivas geológicas, ambientales y socioeconómicas.

Para ello, se determinaron las condiciones atmosféricas predominantes con el propósito de medir la influencia de éstas sobre el modelado de la vertiente NE del volcán; asimismo, se llevó a cabo un análisis de los cambios en la utilización del suelo de acuerdo con la vocación natural del mismo, considerando a los usos forestales, agrícolas, industriales y de asentamientos humanos.

Por otra parte, se explicaron las características de los elementos estáticos como es la litología y la pendiente, identificándose las características del modelado torrencial con base en la profundidad, amplitud, y la geometría de las vertientes, analizando las características energéticas de los torrentes por medio de los bancos de sedimentos.

La ladera noreste del Nevado de Toluca reúne condiciones particulares que motivan el estudio de la misma, destacando entre otras cosas la evolución geológica de este sector debido a que las dos últimas erupciones se han manifestado sobre las vertientes en estudio, de tal forma que la topografía heredada por dichos eventos conserva las condiciones morfológicas originales a partir de su formación, sin embargo, los sistemas erosivos presentan denotan importantes niveles energéticos que rompen el equilibrio entre la morfogénesis y la pedogénesis.

Asimismo, se considera que la presencia humana desde tiempos pretéritos ha tenido mucho que ver con la intensidad con la cual los procesos de modelado se desarrollan, ya que existen registros de ocupación desde la época prehispánica en los cuales se advierte que hasta

nuestros días el uso y la utilización del suelo ejercen presión extra al modelado natural de las vertientes.

Por otra parte, resulta importante considerar que la distribución y caracterización de los procesos erosivos y acumulativos de esta porción territorial, se encuentran relacionados con afecciones a localidades que se localizan en las porciones marginales del volcán como son: San Francisco Putla, San Juan de las Huertas, Cacalomacán y Santa María Nativitas entre otras; así como otras que se encuentran más alejadas como el caso de Mexicaltzingo y las ciudades de Toluca y Metepec.

De esta manera, la continuación se presenta un cuadro genérico con las variables consideradas para el estudio de caso, así como los atributos que de ellas que fueron estudiadas.

VARIABLES DE ESTUDIO		
INDEPENDIENTE		DEPENDIENTE
VARIABLE GENÉRICA	VARIABLE	ATRIBUTOS
Climático-Meteorológicas	Precipitación	- Cantidad (mm) - Distribución
	Temperatura	- Número de días registrados con valores de igual o menor a 0.0°C.
	Viento	- Velocidad (m/s)
Utilización del suelo	Agrícola	- Superficie de ocupación en Km <sup>2</sup>
	Forestal	
	Industrial	
	Habitacional	
Geomorfológicas	Geología	- Evolución histórica del volcán - Características litológicas del sustrato
	Geoforma	- Comportamiento de la pendiente. - Geometría de laderas - Profundidad de cauces - Amplitud de cauces - Longitud de cauces - Procesos fluviales - Procesos gravitacionales - Procesos de subsidencia
	Sedimentología	- Tipo de sedimentos - Granulometría

CUADRO I.1 Variables utilizadas en la investigación.

El manejo de las variables citadas, se encuentran dentro de un contexto integrativo se realizó bajo la óptica del análisis sistémico; lo cual fue expresado a través de una carta geomorfológica que involucra además de aspectos propios del sistema terrestre.

En este sentido, cabe resaltar que dentro de los objetivos particulares de la presente investigación no se había considerado abordar los conceptos derivados del riesgo por la ocurrencia de un torrente o un proceso gravitacional; sin embargo, los resultados de la misma nos condujeron a por lo menos identificar la problemática del sitio y a explicarla de forma genérica.

## MATERIALES Y MÉTODOS DE ESTUDIO

Para cumplir con los objetivos trazados en la presente investigación, se llevó a cabo una revisión de las condiciones generales que predominan en el Nevado de Toluca desde los puntos de vista ambiental y socioeconómico; todo ello basado en investigación documental que comprendió desde el período colonial hasta nuestros días.

Por lo que corresponde al análisis de la utilización del suelo, se identificaron las superficies de ocupación de cada actividad a través del tiempo por medio de una comparación multitemporal por medio de fotografías aéreas con el fin de establecer cual ha sido la evolución y modificaciones del flanco NE, tomando en cuenta los cambios en el uso de suelo que se han presentado hasta la actualidad.

Para estos fines se utilizaron dos mosaicos del Instituto de Investigación e Informática Geografía y Estadística Catastral del Estado de México (IGECEM) de los años 1977 y 1989 a escala 1:20,500 respectivamente; y otro par de Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) a escala 1:75,000 de los años 1993 y 1994; con los cuales se realizó la fotoidentificación e interpretación de elementos lineales y areales de la zona de estudio y con ellos, sustentó la cartografía final del trabajo.

Por lo que respecta a las condiciones climáticas y meteorológicas, el estudio se centro en la precipitación, ya que ésta presenta un comportamiento diferencial e intenso sobre la ladera noreste del volcán, debido a que la topografía del territorio condiciona de cierta manera el modo de operación de las corrientes hídricas; asimismo, por lo que corresponde a la temperatura, se ha considerado tomar en cuenta el número de días que presentan temperaturas iguales o inferiores a cero grados con el propósito de relacionarla con los procesos de intemperismo y remoción de materiales, puesto que esta condición atmosférica coadyuva al desarrollo de geoformas; y para el caso del viento, este elemento resultó de interés debido a que de forma genérica su labor de modelado sobre la superficie no es tan apreciable como lo es en las márgenes laterales de las corrientes fluviales.

La obtención de la información se llevó a cabo por medio de documentos impresos ya existentes, mientras que por lo que respecta al último punto, el problema se rebasó a través del trabajo en campo con la utilización de un anemómetro móvil.

Por lo que se refiere a las variables geomórficas, se contempló el estudio de aspectos geológicos, sedimentológicos, morfométricos y, morfológicos; en cuanto a las condiciones geológicas resultó indispensable conocer las características litológicas del sustrato, así como los diferentes tipos de depósitos de materiales, ya que de sus características físicas y la distribución de éstos dependen las condiciones de rextasia sobre la ladera del volcán.

Asimismo se llevó a cabo el análisis del sistema de drenaje dominante en el volcán, destacando las características de los torrentes como lo son la profundidad, amplitud, longitud, y características de sedimentación.



Esta parte del estudio fue complementada con el levantamiento de perfiles longitudinales de cada una de las corrientes fluviales a escala 1:20,000, así como de perfiles transversales obtenidos en campo.

Para la determinación de las características de los suelos, los procesos de subsidencia y formación de tepetates, se utilizó la guía para la descripción de perfiles de suelos de la FAO de 1977, se llevó a cabo la determinación del espacio poroso del suelo a través de la comparación de densidad aparente y densidad real del suelo; y se aplicó la técnica de disolución a través de hidróxido de potasio.

De forma importante resalta por una parte, la elaboración de cartografía geomorfológica en la que se establecen las condiciones altimétricas, de pendiente y de densidad de disección; y por otra, el análisis de las características morfométricas de la ladera estudiada a través de un análisis de Pareto, de relación de bifurcación y en general, de regresión para conocer las condiciones alométricas de las cuencas que componen al sistema fluvial del edificio volcánico.

Durante la fase de trabajo en campo se realizaron levantamientos geomorfológicos a detalle además de la verificación propia de la fotointerpretación; asimismo se realizaron observaciones encaminadas hacia el conocimiento de las características estratigráficas de columnas expuestas con el propósito de conocer con mayor detalle los materiales de depósito y la dinámica que estos ofrecen al modelado de la superficie por medio de procesos como erosión subsuperficial o caída de materiales por inestabilidad.

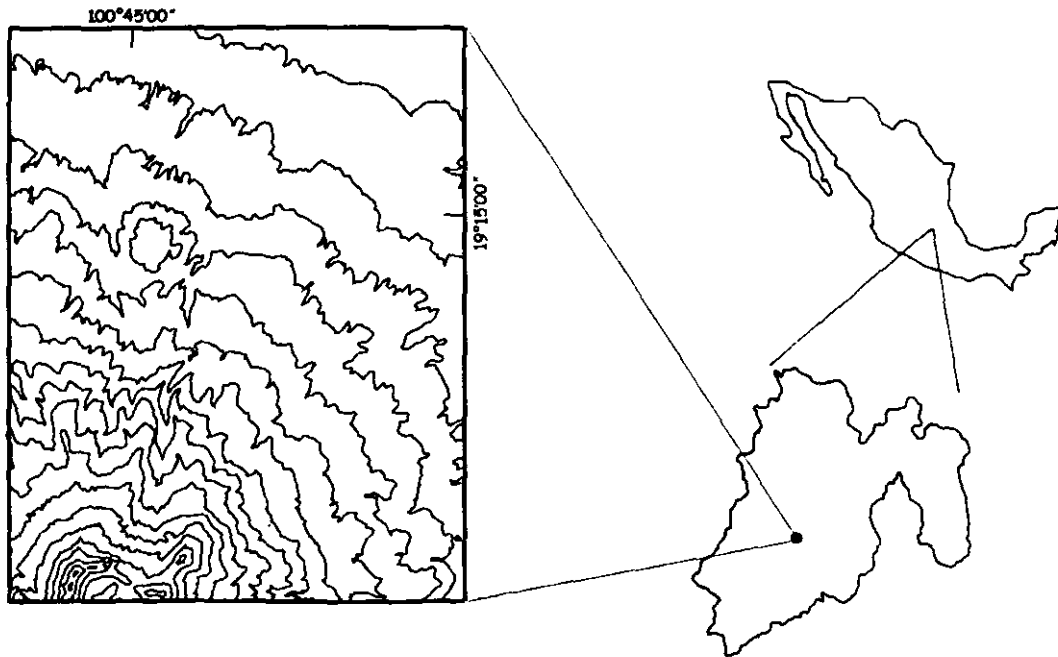
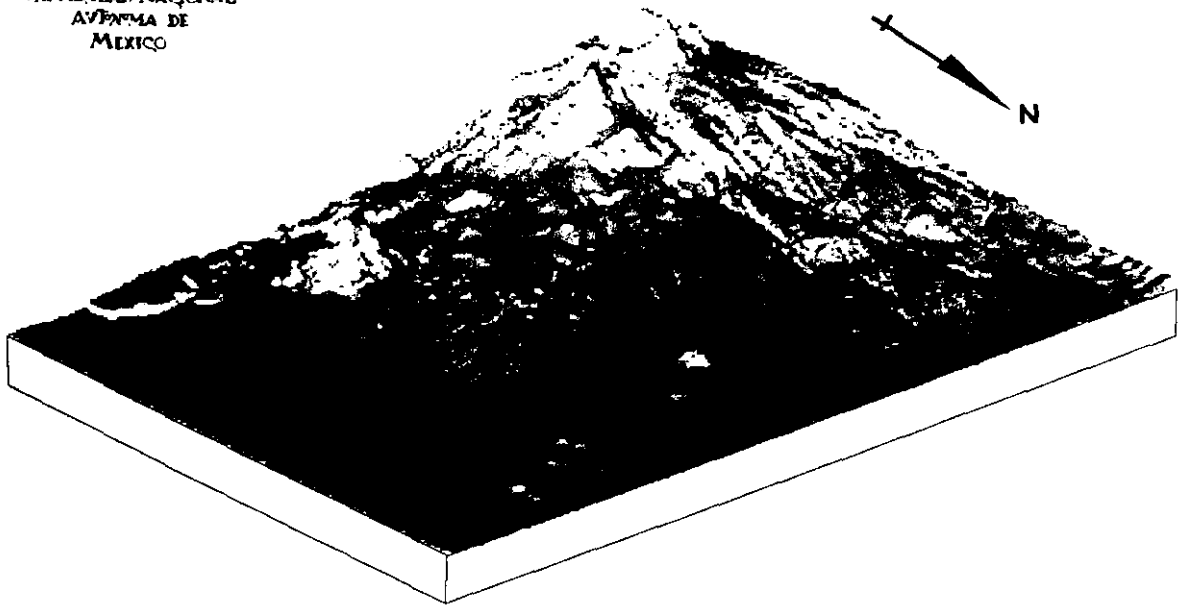
## ANTECEDENTES

El Nevado de Toluca o *Xinantécatl* (de la voz Náhuatl que significa "Hombre desnudo") es sin duda uno de los volcanes más estudiados en el país desde diferentes ópticas. Sobresalen estudios genéricos del volcán que se asocian con el Sistema Volcánico Transversal del cual forma parte; entre ellos, los que aportan información importante como base para el estudio del volcán se encuentran los de Mooser en 1956, 1961, 1968, 1975 y los realizados con otros autores en 1956 y 1974 respectivamente; destacan asimismo los de Sutter (1991 y 1992); los de Sánchez-Rubio realizados en 1978 y 1984; el de Nixon (1982, 1989 y *et. al.* 1987); el de Robin (1982); los de Ramírez de 1988 y 1994; los de Lugo de 1982, 1984, 1985 y 1990; el de Palacio (1981); el de Yamamoto y Mota (1988) y el de Ortiz y Bocco (1989); todos ellos abordando la problemática regional del sistema desde perspectivas particulares como las condiciones estructurales, la litología y la sismología entre otros aspectos, considerando algunos ellos algunos ejemplos de caso (ver figura general de localización, I.1).



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

# LOCALIZACIÓN DE LA LADERA NE DEL VOLCÁN DE TOLUCA MÉXICO



Acerca del Nevado, destacan los trabajos realizados por Bloomfield (1973, 1974, 1975); el de Ramírez (1988) que asocia al volcán con diferentes eventos morfotectónicos y sistemas de morfoalineamientos derivados de la formación del Sistema Volcánico Transversal; y de manera reciente, los trabajos de Aceves en 1994 y 1997, quién caracteriza al Nevado desde la perspectiva de su constitución geológica. Entre estas investigaciones se señala el origen del edificio formado por diversos flujos lávicos datados con una edad aproximada de un millón de años con los cuales en Nevado alcanza una altitud próxima que supera 5,000 msnm., indicando que el modelado glaciar ha dejado su huella distintiva extendiéndose desde la porción superior del edificio volcánico hasta los 3,600 metros de altitud sobre las laderas y algunos valles cuando dominaron condiciones ambientales gélidas.

Desde el punto de vista estratigráfico, han sido también numerosos los estudios realizados en el Nevado de Toluca, entre los cuales sobresalen el de Ordoñez en 1902; el de Flores en 1906; el de Waitz de 1910; el de Whitford y Bloomfield realizado en 1976; el de Bloomfield y Valastro presentado en 1977; el de Cantagrel (*et.al.*) en 1981; el de Walker y el de De Cserna y Fries, estos presentados en 1981 y 1978 respectivamente.

Dichos trabajos conservan en su interior ricas discusiones acerca de la geología del volcán; las características principales de cada una de las etapas eruptivas así como de la tefracronología del volcán, las características geoquímicas, texturales y granulométricas de los depósitos, así como de los suelos derivados de éstos; y aunque algunos de ellos se contraponen en algunas ideas, en general todos ellos se han complementado.

El común denominador de ellos precisa el asentamiento del volcán sobre rocas volcánicas formadas durante los períodos Oligoceno y Mioceno-Plioceno; las cuales sobreyacen a rocas sedimentarias y metamórficas de origen mesozoico; localizándolo sobre un sistema de fracturamientos que reconocen a los principales sistemas de lineamientos del Sistema Volcánico Transversal.

De forma general, los autores coinciden en la caracterización de los depósitos volcanoclásticos, los cuales De Cserna y Fries (1981) han denominado a los localizados en el área periférica al volcán como la "Formación Zinacantépetl", la cual se compone, además, de otros domos volcánicos y algunos conos cineríticos pleistocénicos, y algunas lavas andesíticas datadas del Holoceno.

En términos genéricos, se considera que dicha formación se encuentra entonces constituida por lahares líticos y pumíticos de composición dacítica, intercalados con horizontes de pómez de caída libre (*air-fall pumice*), que corresponden a la Formación Pómez Toluca Inferior y la Formación Pómez Toluca Superior; asimismo, la constituyen importantes depósitos de gravas y arenas de origen fluvial, y algunos paleosuelos; todos ellos en su conjunto, evidenciando procesos de retrabajo por agentes erosivos glaciales y fluviales.

Desde el punto de vista de la morfodinámica exógena del volcán, destacan también importantes aportaciones entre las cuales se matizan trabajos que abordan el desarrollo de procesos de regiones glaciares, periglaciares y de manifestaciones de carácter fluvial.

Con referencia a los trabajos de Geomorfología Glaciar y Periglaciar, se puede decir de ellos que su número en realidad no es abundante, y que la mayoría de ellos guardan una relación a nivel nacional con los eventos de glaciares en las altas montañas de México; en este sentido se retoman algunas de las obras clásicas como las de Lorenzo (1959, 1969, 1992 y 1993); las de White (1962a, 1962b, 1956a, 1956b, 1987 y 1990); las de Heine (1976, 1978, 1984, 1988 y 1994); así como la de Vázquez (1991). De manera más particular se exponen a nivel de referencia los trabajos de Palacio y Vázquez (1985) y Palacio (1988) en los cuales se retoma la temática para explicar el proceso de destrucción de tierras en un arroyo localizado al Este del Nevado; por su parte, los trabajos de Madrigal y González (1990 y 1996) a pesar de abordar en sus objetivos la caracterización de la morfología glaciar del volcán, sólo se retoman las obras citadas ordenando los eventos de modelado desde un punto de vista cronológico.

Por lo que se refiere a la morfodinámica fluvial, existen referencias como la de Ortiz (1981), en la cual se reconocen los efectos de las crecidas del arroyo Santiaguito en el poblado de San Francisco Putla, y se explica la dinámica de modelado lateral y vertical del torrente; asimismo, se encuentran los trabajos de Palacio y Vázquez (1985) en el arroyo el Zaguán, donde se exponen a través de perfiles geomorfológicos las áreas vulnerables al proceso erosivo; con ello, establecen que entre los principales factores que intervienen en la formación de torrentes en el flanco oriental del Nevado se encuentran las características litológicas y de los suelos expuestos, la distribución de la precipitación, la ausencia de vegetación natural y, de manera particular las modificaciones en el uso de suelo.

Dichas ideas fueron ratificadas por Palacio en 1988, y además de corroborar los planteamientos hechos en función de los elementos y factores que provocan del desarrollo de crecidas en los valles fluviales del Nevado, explicando que las diferentes modificaciones ocurridas en esa porción territorial se deben de forma genérica a las condiciones climáticas dominantes a partir de la estabilización postorogénica de las laderas, los cambios en el uso del suelo, así como a los ajustes internos del sistema natural.

En las investigaciones referidas se reconoce que de acuerdo con las características físicas que presentan los materiales constitutivos de la vertiente oriental, se establece que éstos favorecen la filtración del agua; la cual al funcionar como un lubricante que al combinarse con la pendiente de las laderas y los cortes sobre ellas, ocasiona el movimiento de materiales cuesta abajo, ya sea por medio de deslizamientos favorecidos por la gravedad, por la presencia de flujos hipodérmicos lubricantes o por medio de la socavación lateral de las márgenes de los cauces.

El Nevado ha sido estudiado con mayor énfasis desde la perspectiva biótica, ya que existen diversos antecedentes que refieren tratados sobre la composición florística, las características botánicas y la distribución de especies vegetales; considerando en algunos estudios la relación prevaeciente entre el desarrollo de las comunidades verdes y las condiciones físico-geográfico dominantes.

Entre una diversidad de trabajos, se podrían clasificar los realizados durante el siglo pasado como los de Humboldt en 1803 y el de Dolfus y Montserrat en 1865 (González, 1986); y los del presente representados por Beaman (1962, *et.al.* 1962 y 1966); Almeida *et.al.* (1975); Navarro

(1976) y González (1986) éstos, como resultado de un programa institucional desarrollado en la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México; y el de Boyas y Vela (1984). Dentro del mismo programa, se puede citar el trabajo de Villalpando (1976), en el cual se abordan cuestiones de edafogénesis de la porción norte y oriental del Nevado.

Se reconoce también de manera reciente el trabajo de Castillo *et al.* (1998), en el cual se elabora una evaluación de las condiciones pedológicas y edafológicas en la porción superior del Nevado, para determinar las condiciones forestales de las especies boscosas a partir de un análisis de regresión entre las variables del arbolado y las propiedades de porosidad, capacidad de retención del agua, espacios porosos, densidad aparente, porcentajes de arcilla y cantidad de magnesio contenida en el suelo; destacando en su contenido, que el deterioro de la masa forestal es debida a la actividad antrópica y al manejo inadecuado del bosque.

## ESTRUCTURA DE LA INVESTIGACIÓN

El trabajo de investigación se divide en cinco capítulos, el primero de ellos intitulado "La Teoría General de Sistemas: Sustento Teórico Metodológico" aborda los principios básicos de dicha teoría, ya que ésta es el fundamento por medio del cual se aborda el problema de investigación; así, se establecen algunos de los principios generales de ésta para en un segundo momento exponer las aplicaciones diversas de ésta en la geografía y la geomorfología.

La segunda parte, denominada "Evolución geomorfológica del Nevado de Toluca" ubica la zona de estudio dentro del contexto regional retomando los antecedentes de ésta y relacionando la dinámica del Sistema Volcánico Transversal con el estratovolcán. Este apartado al igual que el anterior se sustenta en una amplia revisión bibliográfica, exponiéndose así las características geológicas y geomorfológicas del Nevado de Toluca, destacando entre ellas la historia eruptiva del edificio y las condiciones de modelado glaciar dominante.

El capítulo tercero plantea los cambios que ha sufrido la porción oriental del volcán desde una perspectiva socioeconómica; se le ha denominado a esta sección como "La utilización y cambio de uso de suelo", y en ella se explica la problemática del lugar observada desde la época colonial hasta nuestros días, y cómo es que se han registrado sobre ella cambios tan radicales, los cuales se asocian a la dinámica morfogenética del Nevado.

Por su parte, el penúltimo capítulo titulado "La ladera noreste del Nevado de Toluca" involucra el estudio de las condiciones morfodinámicas y morfométricas, para el primer caso se resaltan las condiciones generales del sistema de drenaje, los procesos erosivo-acumulativos, la presión antrópica y las características generales que se circunscriben en el desarrollo de los torrentes como son las sedimentológicas, morfológicas, climáticas y antrópicas entre otras; mientras que para el segundo, se presenta un análisis cuantitativo para la determinación de variables de impacto y del crecimiento de las cuencas a través de los ordenes de drenaje, su longitud, pendiente y número de corrientes.

La última sección "Discusión y Análisis de Resultados" como su nombre lo indica, presenta en su interior una discusión acerca de los factores que favorecen el modelado continuo del volcán,

destacándose entre ellos el origen del Nevado, las condiciones climáticas, el estado y dinámica del agua, el modelado torrencial, características biogeográficas y antrópicas; exhibiendo los criterios para la elaboración de la cartografía y una discusión acerca de la dinámica del la ladera desde la perspectiva de los sistemas.

## CAPÍTULO I

### LA TEORÍA GENERAL DE SISTEMAS SUSTENTO TEÓRICO-METODOLÓGICO

PERO ALGO QUEDARÍA CLARO SOBRE NOSOTROS: NADIE ENVÍA UN MENSAJE DE ESTE TIPO EN UN VIAJE ASÍ HACIA OTROS MUNDOS Y OTROS SERES, SIN UNA PASIÓN POSITIVA POR EL FUTURO. POR IRREGULAR QUE LES PAREZCA EL MENSAJE, PODRÁN ESTAR SEGUROS QUE ÉRAMOS UNA ESPECIE DOTADA DE ESPERANZA Y DE PERSEVERANCIA, DE ALGO DE INTELIGENCIA TAMBIÉN, DE UNA GENEROSIDAD SUBSTANCIAL Y DE UN ENTUSIASMO PALPABLE POR ESTABLECER CONTACTO CON EL COSMOS.

CARL SAGAN

## CAPÍTULO I

### LA TEORÍA GENERAL DE SISTEMAS, SUSTENTO TEÓRICO-METODOLÓGICO

#### CONCEPTOS GENERALES

Una parte de ciencias y trabajos de investigación que abordan el estudio de la superficie terrestre y de las interrelaciones que en ella se presentan, está dada por la aplicación de la Teoría General de Sistemas. De manera particular, los estudios geográficos y geomorfológicos, así como todos aquellos que se aplican de la derivación de estas disciplinas, se soportan sobre una base sistémica y holística de la realidad, considerándose la configuración de ésta por unidades ordenadas en una estructura jerárquica.

Este enfoque conceptual de visión global se ha transformado a través de los años, planteándose y replanteándose de forma continua, ya que en su primera fase, observaba una concepción epistemológica de carácter atomista que había prevalecido en la ciencia moderna; esto es, la fragmentación de los fenómenos vitales en entidades individuales y en procesos parciales.

Apoyada en su concepción por la "Teoría del Holismo" enunciada por Smuts en 1926, la "Teoría General de Sistemas", fue propuesta en Alemania por Carl Troll en 1949; estableciendo que el mundo y sus componentes se encontraban integrados en un todo; donde, el desarrollo teórico de los sistemas responde a la lógica corística desarrollada en Alemania después de la Segunda Guerra Mundial, en la cual se manifiesta la importancia del estudio ecológico del paisaje fundamentado en la división natural del espacio desarrollado por medio de los métodos de regionalización físico-geográfica.

Dicha teoría se constituye como fundamento metodológico y de aplicación de diferentes estudios que abordan la problemática ambiental; sus conceptos parten de la caracterización del espacio geográfico compuesto por diferentes sistemas que se encuentran relacionados entre sí, los cuales a su vez se encuentran constituidos por subsistemas subordinados existiendo el permanente flujo de materia, energía e información.

A continuación se presenta un cuadro en el cual se presentan las ideas que sostienen y fundamentan a la Teoría General de Sistemas.



TEORÍA GENERAL DE SISTEMAS	
AUTOR	PROPUESTA BÁSICA
Smuts, 1926.	Establece la Teoría del Holismo afirmando que "el todo es más que la suma de sus partes", y conceptualiza la organización jerárquica 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 subdivide los sistemas en subsistemas, los cuales a su vez se ramifican en subsistemas de orden inferior.
Simón, 1969.	Desde el 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 dadas las propiedades de las partes y las leyes de su interacción.
Charley y Keneddy, 1971.	Definen al sistema como un conjunto estructurado de objetos y/o atributos donde los objetos designados o variables se encuentran de tal modo relacionados entre sí que actúan en conjunto como un complejo.
Feibleman, 1971.	Establece la necesidad de conocer de forma cualitativa y cuantitativa las relaciones 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 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 lo 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 por una parte 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.

CUADRO 1.1 Concepción de los sistemas y características generales.

De acuerdo con Lazlo (1972), ya se habían presentado durante las etapas tempranas del pensamiento científico ideas integrativas o multiniveladas; sin embargo, a pesar de que se buscaba un enfoque holístico de la realidad, los resultados aún tendían hacia fases descriptivas y en ocasiones especulativas.

El mismo autor, establece que en la actualidad se ha tratado de promover el enfoque holístico precediendo superar al enfoque empírico que se basaba en el estudio de unidades atómicas de

un sistema complejo o de un todo, pero fundamentado en el rigor científico y la validación teórico-práctica; esto es, dicho de otra manera, pensar en términos de hechos y eventos, dentro del contexto de un todo (Etter, 1991).

Un sistema desde el punto de vista conceptual, se define como una reunión o conjunto de elementos relacionados; entendiéndose a éstos últimos como los componentes animados o no de los sistemas (Van Gigh, 1981), en los cuales existen procesos de conversión que son capaces de generar cambios en el estado y arreglo de los componentes; y como resultado de esto, existe una salida o liberación de energía y materia.

Por su parte, Mateo (1984) lo considera como un conjunto de elementos que integran un espacio determinado y que se encuentran relacionados entre sí en diferentes niveles de integración; donde se reconoce el comportamiento de los flujos generados dentro de un subsistema, la direccionalidad, influencia y jerarquía dentro de éste; el cual a su vez se encuentra relacionado con otros subsistemas; mientras que Charley y Keneddy (1971) definen al sistema como un conjunto estructurado de objetos y/o atributos donde los objetos designados o variables se encuentran de tal modo relacionados entre sí que actúan en conjunto como un complejo.

El modo de funcionamiento permite identificar tres tipos de sistemas, los aislados, los cerrados y los abiertos; reconociéndose que para la naturaleza sólo existen los de carácter abierto caracterizándose en ellos el concepto de autorregulación, en el cual se contempla la presencia de algún acontecimiento extraordinario que sea capaz de rebasar el umbral de la estabilización y con ello, generar nuevas condiciones de ajuste conocidas como *feedback* o interacción (King, 1990).

Este último concepto establece que cuando una variable afecta a una segunda, ésta provoca un cambio en la primera ya sea de carácter positivo o negativo; esto es explicado por la misma autora estableciendo que cuando el efecto es negativo, el cambio en la segunda variable produce una transformación en la primera de tal suerte que ésta tiende a retornar al estado inicial dando lugar a la autorregulación del sistema por medio de la estabilización dinámica. En el caso contrario, cuando la interacción es de carácter positivo, el cambio de la segunda variable determina que la primera cambie todavía más en la dirección de la modificación inicial, conduciendo a la autorregulación de cambio y a un aumento de magnitud, lo que se resume en un proceso de destrucción cuando el umbral es rebasado.

Estos conceptos coinciden con la definición propuesta por Bertalanfy (1989), quién 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 lo son el número de elementos constituyentes, las especies involucradas y las relaciones entre los elementos.

Dichos autores convergen en que cada sistema posee propiedades particulares entre las cuales se circunscriben atributos de calidad y cantidad, propósitos y funciones que se adquieren cuando se interrelacionan con otros sistemas; metas y objetivos que demarcan el

trabajo compatible de los elementos y el propósito operacional de los mismos; por su parte, éste último afirma que cada sistema se compone de una estructura que se vincula con la formación de elementos y desarrollo de flujos y estadios definidos por las propiedades de los elementos constitutivos, los cuales se expresan por medio de tasas de valor y agentes de administración relacionados con la toma de decisiones y acciones.

Desde el punto de vista de las ciencias sociales, 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, no en sentido metafísico, sino en sentido pragmático dadas las propiedades de las partes y las leyes de su interacción (Simón, 1969).

La Teoría General de Sistemas se sustenta en las leyes de la termodinámica y, de manera especial en la segunda, ya que éstas se aplican no sólo en sistemas cerrados; donde en dichos sistemas la entropía aumenta hasta que los procesos tienden a lograr el equilibrio; sin embargo, esta última es un principio de probabilidad cuya tendencia se enfoca hacia el desorden.

La Segunda Ley de la Termodinámica establece que es imposible a una máquina autónoma no influida por ningún agente externo transferir el calor de un cuerpo a otro de temperatura mayor; debido a que el calor no puede transferirse de un cuerpo frío a uno cálido; y en caso de que eso ocurriera, se requeriría de un trabajo determinado generado por un agente externo.

En este sentido se introduce el principio de entropía designado por Clausius, con el cual se afirma que ésta: dentro de un sistema natural, aumenta siempre hasta que se alcanza un estado final en el cual no puede seguir desarrollándose; lo que se presume como la consideración del estado final del universo donde, la energía disponible disminuye. Así, las tendencias de los procesos naturales es la de alcanzar un estado uniforme de temperatura, composición, presión. Este concepto aplicado significa un estado de absoluta uniformidad en el universo, y en el que cesarían todos los procesos físicos, químicos y bióticos.

En contraposición Drischel (1968, *cfr.* Bertalanfy, 1989), afirma que la equifinalidad guarda una posición antípoda con las leyes de la física, sin embargo, puede demostrarse que los sistemas abiertos en tanto alcanzan un estadio de equilibrio, también exhiben este tipo de procesos, siendo la tendencia general de los acontecimientos de la naturaleza encaminarse hacia estados de desorden y a la igualación de diferencias a través de las constantes transformaciones y pérdidas de calor.

Sin embargo, se ha establecido que muchos sistemas abiertos (de carácter natural) tienden a lograr una mayor complejidad en cuanto a su organización a través de procesos evolutivos en los cuales se presenta la transición a un orden superior.

## ANTECEDENTES Y FUNDAMENTOS DE LA TEORÍA GENERAL DE SISTEMAS

El axioma holístico de la Teoría General de Sistemas ha sido retomado por Smuts en 1926, quien refiere los conceptos aristotélicos afirmando que "el todo es más que la suma de sus partes", y conceptualiza la organización jerárquica de la naturaleza (Naveh y Lieberman 1984).

Bajo la misma óptica de los autores mencionados, las reglas de la organización jerárquica se aplican a todas las estructuras complejas de carácter estable (o podría mejor decirse en equilibrio dinámico), partiendo desde los niveles subatómicos hasta los de escala infinita.

El término jerarquía fue descrito por Koestler (1968 *cfr.* Etter, 1991), como un sistema organizacional multinivelado, estratificado, y con patrón de ramificaciones, que subdivide los sistemas en subsistemas, los cuales a su vez se ramifican en subsistemas de orden inferior; es decir, una estructura que encapsula subestructuras; o si se plantea desde el punto de vista dinámico, un proceso activado por subprocesos.

El mismo autor concluye que no existen en realidad ni todos ni partes en sentido absoluto, sino por el contrario, estructuras intermedias semiautónomas que componen niveles de complejidad creciente, las cuales tienen dos caras, la del "todo autónomo" observando hacia sus partes componentes o subsistemas; y la de una parte componente de un nivel superior enfocándose hacia los niveles más complejos llamados holones, los cuales participan en un rol de interfase o nivel de coordinación entre los niveles inferiores y el superior.

Por su parte, Etter (1991) determina que el axioma holístico se fundamenta en el hecho por el cual las características de la estructura en un nivel de jerarquía determinado emergen de las interrelaciones entre los elementos constitutivos, y no sólo de las posibles combinaciones que se pueden presentar entre éstos como lo presuponen diversos esquemas teóricos. Esto implica que una estructura determinada no es cognoscible a través del sólo conocimiento de las cualidades de sus partes aisladas, sino que es fundamental conocer los procesos que las relacionan.

De esto depende la necesidad de conocer de forma cualitativa y cuantitativa las relaciones entre los elementos generadores de una estructura dada; en este sentido cobra vigencia la "Ley de los niveles de integración" (Feibleman, 1971), la cual desde el punto de vista ecosistémico se basa en las siguientes premisas:

- Cada nivel jerárquico organiza el nivel inferior, y genera cualidades emergentes.
- La complejidad de los niveles aumenta hacia "arriba", en la escala de mayor generalización.

- En cualquier nivel de organización un nivel superior depende de manera inmediata del nivel inferior.
- Para cualquier nivel jerárquico se cumple que su mecanismo (el cómo) está expresado en el nivel inferior, y su propósito (el porqué) en el superior.
- Entre más complejo el nivel, menor la población de instancias que lo componen (forma de pirámide de generalización).
- No es posible reducir un nivel superior a sus componentes del nivel inferior.

El objeto de cualquier nivel ecosistémico debe estar contenido en sentido espacial (volumétrico) en un nivel superior. Cada objeto de cierto nivel es una parte estructural-funcional específica del nivel superior (Ley de inclusión espacial).

Lo anterior fue sustentado por Weiss (1969), al demostrar el carácter esencial de invariabilidad de un sistema como unidad, en comparación con la fluctuabilidad de sus constituyentes donde el todo es considerado como la suma de sus partes, en sentido cualitativo-estructural más que en el sentido cuantitativo sumativo (Naveh y Lieberman, 1984), teniendo como consecuencia que la información contenida en un sistema de determinado nivel representa mayor complejidad con relación a la suma de la información de sus componentes.

Los elementos básicos de la estructura propuestos por Easton (1956), dejan entrever que un sistema se conforma por subsistemas interconectados entre sí, y cada elemento o subsistema incluye recursos tales como material, equipo e información. No obstante, queda claro que dicho sistema se encuentra rodeado de un ambiente con características físicas, sociales, políticas, económicas y técnicas.

De acuerdo con lo anterior, el concepto de sistema puede sintetizarse en medio ambiente; los objetivos, los recursos, los componentes, actividades, medidas de actuación y la administración.

El análisis del medio ambiente incluye el estudio de todos aquellos factores exógenos al sistema; y como se observa, es imprescindible identificar con claridad cuáles son los objetivos; cuidando que éstos queden en forma clara y precisa, esto significa que no sólo se encuentren especificados, sino que sirvan como punto de partida para la acción.

Por su parte, los recursos de éste son todos aquellos elementos materiales económicos y humanos que pueden conjugarse en su propio provecho; por los componentes del sistema se entiende el desglose racional de todas las actividades que realice, y no la división; así como la definición clara de los objetivos, subobjetivos y actividades básicas que el sistema realiza.

Con referencia a lo establecido líneas arriba, algunos autores han tratado de clasificar a los sistemas dentro de un marco de referencia espacial y funcional, destacando aquellos

compuestos por elementos bióticos y abióticos; abstractos y concretos; abiertos y cerrados; antrópicos y caóticos; complejos y simples, jerárquicos y de retroalimentación entre otros.

Esto se traduce en que la Teoría General de Sistemas establece modelos explicativos, ayudando a comprender las relaciones de las estructuras y fenómenos del mundo real, aunque queda claro que debido a su carácter tienden a ser complejos.

De acuerdo con Bertalanfy (1989) y Van Gigh (1981), en la parte concerniente a la estructura de sistemas, resulta importante considerarlos en un proceso de evolución, la cual se entiende por una parte como un cambio progresivo de la complejidad debido a los atributos de los valores que los componen; y por otra, a la segunda Ley de la Termodinámica. Este punto se traduce como la oportunidad que tienen los elementos para crear estructuras aún más complejas de acuerdo con su "Automantenimiento" y capacidad de autorganización en jerarquías de acuerdo con su función. Por ello, es común encontrar que este proceso evolutivo herede una tipología jerárquica; la complejidad del sistema depende en cierta medida de la cantidad de información soportada.

Una de las características más destacadas que los sistemas poseen, es sin duda alguna la capacidad de autoregulación, proceso descrito desde el punto de vista funcional como un modelo de procesos circulatorios en los cuales la parte correspondiente a la salida de materia y energía, es remitida al interior del mismo, en forma de información sobre el resultado preliminar de la respuesta a la entrada.

Este modelo es explicado por Bertalanfy (1989), quien refiere que este fenómeno de regulación responde a la retroalimentación, explicada a través de la Teoría General de Sistemas, definiendo los sistemas de control por retroalimentación:

- La regulación se basa en disposiciones preestablecidas (estructuras), éstos tienen naturaleza de mecanismos en contraste con las regulaciones de la naturaleza dinámica, resultantes del libre juego de fuerzas y de la interacción mutua entre componentes, tendiente hacia el equilibrio o estados uniformes.
- Las líneas causales dentro del sistema de retroalimentación, son unidireccionales, provocando que el esquema básico de retroalimentación hace que la causalidad se convierta en un modo circular.
- Los fenómenos típicos de retroalimentación y homeostáticos son "abiertos" con respecto a la información entrante, pero a su vez "cerrados" refiriendo a la materia y a la energía contenida. Los conceptos de la teoría de la información y entropía negativa corresponde a la termodinámica cerrada o termostática, y no a la termodinámica irreversible de los sistemas abiertos. Sin embargo, esta última es propuesta si el sistema es autorganizado conformándose hacia niveles de máxima diferenciación (Foerster y Zopf, 1962).

## APLICACIONES DE LA TEORÍA GENERAL DE SISTEMAS EN ESTUDIOS GEOGRÁFICOS

Dentro del contexto de la Geografía y del conocimiento de las unidades territoriales, las relaciones que son de interés se refieren a los procesos en los cuales interviene la geomorfología, la pedología, la ecología, la cultura, y otros, que resultan de y se reflejan en la absorción, reflexión, asimilación, y transformación de energía, materia e información en el espacio geográfico.

De manera particular y general, la concepción sistémica dentro de la Geografía ha tenido una influencia importante en el desarrollo de trabajos de investigación, entre los cuales sobresalen los geomorfológicos y los de diagnóstico y evaluación medioambiental. En éstos últimos, la aplicación podría decirse que es más sensitiva, por que el objeto de estudio se enfoca hacia la complejidad del espacio o los complejos territoriales o paisajes.

A la Geografía y su campo de estudio, de forma tradicional se les ha considerado como descriptiva que engloba estudios independientes de carácter físico, social y económico; sin embargo, el quehacer de la Geografía no se limita a realizar trabajos enciclopédicos que describen de una u otra forma algunos aspectos que caracterizan a la superficie de la Tierra; hoy en día, la posición objetiva de la disciplina se ha modificado; la conceptualización de Ortíz (1988) deja entrever que el rol de la ciencia geográfica tiende a lo espacial e integrativo, determinando que es la Geografía la ciencia de la organización del espacio, entendiéndose por un lado como la explicación de la naturaleza misma del espacio terrestre, y por el otro, en el sentido práctico de la aplicación, encaminada a ordenar u organizar el territorio, dicho en otras palabras, a contribuir en la planificación de éste.

De acuerdo con esto, los enfoques de la Geografía han variado en función de las necesidades o requerimientos de estudio a lo largo de la historia; de esta manera encontramos que los grandes tratados enciclopédicos, enmarcados en la descripción de aspectos naturales o humanos, ellos poseen un valor debido a que han ayudado al hombre a conocer y comprender el medio que le rodea.

Sin embargo, como se advierte en la definición anterior en la actualidad el papel geográfico no se limita a la realización de trabajos monográficos que tratan de describir los hechos y fenómenos geográficos como lo exponía Paul Vidal de la Blanche a principios del siglo XX; el desarrollo de la ciencia que ha sido paralelo a la satisfacción de las necesidades del hombre, y ha buscado responder a preguntas específicas de investigación que resuelvan interrogantes acerca del origen, la forma de desarrollo y el por qué de las relaciones que se generan en el espacio geográfico.

Las interrogantes acerca de la organización territorial tratan de explicar diferentes tipos de relaciones que interactúan de manera específica en la superficie terrestre, como es el caso concreto del origen de la distribución espacial (Ortíz, 1988).

De acuerdo con esto, hoy en día a la Geografía se le concibe como una ciencia de integración; una ciencia holística cuyos enfoques y disciplinas son capaces de responder a las interrogantes planteadas.

Bajo estos criterios, el desarrollo histórico de la disciplina se ha modificado de tal manera que en la actualidad el conocimiento específico de las relaciones que imperan en un espacio determinado, a partir de los procesos físicos y sociales dominantes.

Así Strahler y Strahler (1984) plantean que la estructura y dinámica de todo aquello que constituye el objeto de estudio de la Geografía Física se encuentra conformado por dos elementos que podríamos considerar como inseparables: la materia y la energía, regidas por flujos y leyes físicas y químicas que condicionan la conducta de cada una de las partes constituyentes de la tierra, por lo que dicha materia y energía, en su conjunto representan la totalidad del mundo real.

Otros autores definen como objeto de estudio de la Geografía al medio ambiente, entendiéndose a éste como el producto de las relaciones sistemáticas dadas entre la naturaleza, la economía y la población; y que su funcionamiento depende de los flujos de materia y energía contenidos dentro del mismo; así, Michal (1984) define la base del mismo funcionamiento, a partir de la dependencia de los cambios generados al interior de los elementos que componen a los sistemas; corroborando las ideas propuestas por Isachenko (1976; *cfr.* González y Arcía, 1984) quien propone que para el estudio de los complejos territoriales naturales, se requiere del estudio de las partes elementales constituyentes de geosistemas.

Este tipo de observaciones en diferentes escuelas a nivel mundial, retoman los fundamentos y conceptos básicos de la Teoría General de Sistemas, los cuales desde la perspectiva del análisis territorial y de los atributos que éste posee, generan 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 consideran, se refieren a los de tipo cronológico; donde, el tiempo es el factor primordial en el cual se advierten los cambios en los sistemas; sean éstos temporales, permanentes, primarios o secundarios.

Así, uno de los enfoques integrales más completos que hasta ahora se han desarrollado con mayor frecuencia en trabajos de investigación, cuyos objetivos tratan de responder las expectativas de la ciencia geográfica, corresponde al análisis geosistémico; el cual ha sido y es objeto de un minucioso estudio, de acuerdo con su capacidad de integración y las opciones ofertadas para resolver problemas de investigación; dicha óptica trata de explicar algunos tipos de relaciones presentes en el paisaje o en los complejos territoriales, en los cuales destacan las conexiones específicas entre la estructura horizontal y vertical de sus componentes; a los cuales se les ha denominado como elementos formadores o diferenciadores o, atributos del paisaje, como son el clima, el relieve, la geología (D'Luna, 1995).



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

De acuerdo con los enfoques epistemológicos de cada escuela, la concepción sistémica se ha matizado conforme a los objetivos de la investigación geográfica dominante; y aunque cada una de ellas retoman y se apropian el concepto de geosistema como original, es visible que éste ha sido utilizado de manera frecuente y en ocasiones de forma discreta. Ejemplos de ello, son los trabajos pioneros de Sochava; así como otros clásicos como Saushkin y Smirnov; las investigaciones de Sawyer, Stodart, Neef, Forman, Tricart, Killian, Bolós, Etter, Bernáldez, Mateo y Cervantes entre otros.

Como se observa, se han citado algunos representantes de diferentes países con enfoques filosóficos que en ocasiones son discrepantes; en el listado anterior se citan conforme aparecen trabajos emanados de la Unión Soviética, Estados Unidos, Inglaterra, Alemania, Francia, España, Colombia, Cuba y México; todos ellos con objetivos y perspectivas quizá diferentes; pero con un común denominador: el enfoque geosistémico.

A nivel mundial estos conceptos se han propagado y generalizado de acuerdo con la filosofía y las necesidades de aplicación que el hombre ha tenido en cada lugar del planeta, matizándose bajo diferentes puntos de vista en función de su carácter operativo en un espacio determinado.

Es importante reconocer que el análisis del espacio geográfico por medio de sistemas permite entre otras cosas definir fronteras e interrelaciones de acuerdo con la naturaleza de los mismos, así como su capacidad de carga y amortiguamiento; además de conocer la función específica de cada una de las partes que constituyen dicho espacio a través de la identificación de los elementos que componen a un sistema.

El análisis geosistémico muestra cuáles son las relaciones que se presentan en un espacio de acuerdo con su origen, función y autorregulación, ayudando a entender las leyes que gobiernan el comportamiento de cada una de las partes del todo (Palacio, 1995); de manera particular Bolós (1992), lo define como una abstracción, un modelo teórico del paisaje en el cual se encuentran todas y cada una de las características propias de cada sistema, el cual representa el nivel más alto de la organización del espacio y se puede tipificar en tres grandes grupos: los abióticos formados por elementos no dotados de vida que contribuyen a definir y estructurar un sistema; los bióticos, dotados de vida y relacionados por medio de cadenas tróficas; y los antrópicos, caracterizados por la presencia de inteligencia y capacidad de reflexión, los cuales se encuentran constituidos por artefactos necesarios para el desarrollo de la vida social y económica.

Conforme con las ideas de Palacio (1995), el estudio geosistémico debe tener un carácter integral, lo que permite llegar al entendimiento de las complejas relaciones entre los elementos del medio natural y el hombre, así como su expresión espacial en el territorio, por lo que los estudios geosistémicos permiten reconocer las diferentes relaciones entre los sistemas naturales no importando la escala en la cual se presentan, ya que se pueden abordar en diferentes territorios abarcando niveles locales, regionales o bien planetarios, llegando a diferenciar en cada caso a todos y cada uno de los componentes ambientales de estos sistemas (Drew, 1983); además de jerarquizar a cada uno de los elementos constitutivos de éstos, identificando su grado de importancia, su direccionalidad y su influencia (Billings, 1970).

De acuerdo con lo anterior, las aplicaciones que se le pueden dar al método geosistémico son diversas, y su carácter de aplicatividad y operatividad se encuentra en función del detalle con el cual se realice una investigación.

Una de las aplicaciones más inmediatas de este tipo de estudios, se da en el ámbito de la investigación del medio ambiente apoyados en la interpretación geomorfológica, ésto debido a la condición permisiva de observar cuales son las complejas relaciones que existen entre los diversos componentes del medio ambiente y sus niveles de integración; con ello, se logra realizar la evaluación de los diferentes tipos de presiones a las cuales el paisaje se encuentra sometido diferenciando a cada una de ellas de acuerdo con su jerarquía y funcionamiento; por ejemplo, y de acuerdo con Tricart (1981), existen dos tipos fundamentales de tensiones inherentes a la dinámica del medio ambiente, las cuales debido a su operatividad se clasifican bajo dos líneas específicas: las estáticas y las dinámicas.

En el primer caso, las presiones estáticas se definen como el reflejo en la superficie de los arreglos estructurales internos (endógenos), los cuales experimentan a lo largo del tiempo geológico ciertos tipos de cambios, participando con un papel fundamental afectando el paisaje; sin embargo, es importante destacar: los acomodos internos antes descritos no se encuentran desvinculados con los procesos de modelado exógeno; mientras que por su parte, se considera que las presiones de carácter dinámico condicionan información a partir de los diferentes flujos de materia y energía actuales, manifestadas por medio de relaciones directas e indirectas entre los elementos componentes de los sistemas y subsistemas (Palacio, 1989).

Sin embargo, la visión geosistémica no se limita a explicar sólo las relaciones existentes entre los componentes de los sistemas y su dinámica en cuanto a la velocidad y ritmo de sus cambios; esto es, que el análisis propuesto hasta este momento se encuentra incompleto, ya que no se ha considerado evaluar por su parte las presiones e influencias que el hombre genera en los sistemas.

De esta manera nos encontramos que éste punto de vista involucra las relaciones existentes entre la naturaleza y el hombre con las actividades que desarrolla en un espacio determinado,

evaluando en la manera de lo posible, los diferentes tipos de cambios que esta relación simbiótica ofrece, además de las consecuencias que esto mismo remite.

Por otro lado, los estudios geosistémicos deben tener un carácter flexible permitiendo relacionar a cada uno de los componentes que integran a un sistema determinado, analizando las estructuras horizontales y verticales que unen y enlazan a los sistemas y subsistemas; esta situación permite ofrecer ventajas entre las cuales, sobresale el estudio de cada uno de los componentes del paisaje en una estructura horizontal y vertical, permitiendo tomar decisiones concretas y objetivas a fin de utilizar el espacio de una manera más racional, evaluando y planeando el futuro de los recursos que el mismo territorio proporciona; en otras palabras, de acuerdo con (Cervantes, 1979), dicha práctica ofrece conocer la ciencia del paisaje por medio de:

- La estructura y complejidad de los elementos que forman a los sistemas y subsistemas.
- El nivel de integración que existe entre los componentes de éstos y sus relaciones con el exterior.
- La definición de patrones de funcionamiento que rigen a los sistemas.
- La opción a proporcionar soluciones prácticas y apropiadas a problemas que se presentan y alteran la dinámica de éstos.

Ello representa la oportunidad de optimizar el territorio por medio del estudio de los complejos geográficos, jerarquizando el espacio de acuerdo con sus atributos, partiendo desde los niveles más elementales de relación hasta la complejidad misma del funcionamiento interno y externo de los sistemas constitutivos del medio ambiente, como es el caso de las funciones específicas de emisión, transición y recepción de materia y energía descritas por González (1981).

Los resultados de cada uno de los niveles de análisis propuestos bajo este enfoque, al precisar los conceptos y métodos de estudio, se constituyen como fundamento para el conocimiento integral del espacio geográfico, además de ayudar a identificar problemas específicos, así como las posibles vías o alternativas de solución a éstos.

A modo de ejemplo, se puede citar que con el conocimiento íntegro de los componentes de los sistemas y sus relaciones, es posible entonces evaluar problemas de impacto ambiental y pronosticar cuál es el desarrollo de las condiciones ambientales, precisando los cambios, formas, tipos y ritmos de modificación en los paisajes.

Este método no sólo se circunscribe a evaluar o definir situaciones concretas de los sistemas o del medio ambiente en general, sino que es una herramienta fundamental para la corrección de estas modificaciones por medio de soluciones específicas, como puede ser la creación de

infraestructura adecuada para las actividades humanas, la eliminación parcial o total de fuentes de estrés, así como la recomendación de la utilización óptima del territorio desde la perspectiva natural y socioeconómica.

Esto es, ante el reto de afrontar el tercer milenio preservando la Tierra como sustento de la vida de la humanidad, la exigencia de replantear los conceptos y paradigmas científicos, así como del perfeccionamiento de los mecanismos que regulan las riquezas y los bienes naturales (Salinas, *et. al.* 1993).

Conforme a ello, los mismos autores establecen que el ordenamiento geoecológico se enmarca en el contexto de los instrumentos de la planificación y se dirige a establecer las formas de utilización más racional del espacio y optimizar las interrelaciones entre los sistemas naturales y los sistemas socioeconómicos; en otras palabras, representa la oportunidad hacia la realización del ordenamiento territorial fundamentado en el conocimiento integral de la estructura físico-geográfica del territorio y de las condiciones socioeconómicas predominantes, es decir, que la planeación territorial incluye la utilización racional y científicamente fundamentada de las condiciones y recursos naturales, así como la protección de complejos naturales y la regulación de los procesos naturales y humanos (D' Luna, 1995).

Se podría concluir que el enfoque sistémico responde a la necesidad de crear respuestas inmediatas a necesidades específicas, involucrando la toma de decisiones entre una o varias posibles alternativas.

## CAPÍTULO II

### EVOLUCIÓN GEOMORFOLÓGICA DEL NEVADO DE TOLUCA

“NUESTROS ANTEPASADOS CONCIBIERON LA TIERRA COMO UN LUGAR LLENO DE RIQUEZA Y DE DONES, LO CUAL ES CIERTO. EN EL PASADO, MUCHA GENTE CREYÓ TAMBIÉN QUE LA NATURALEZA PODÍA PERDURAR INACABABLEMENTE, LO CUAL SABEMOS AHORA QUE ES CIERTO, SÓLO SI NOS PREOCUPAMOS DE QUE PUEDA SER ASÍ. NO ES DIFÍCIL PERDONAR LA DESTRUCCIÓN COMETIDA EN EL PASADO, COMO RESULTADO DE UN DESCONOCIMIENTO. PERO HOY TENEMOS ACCESO A MÁS INFORMACIÓN Y SE HACE IMPRESCINDIBLE VOLVER A EXAMINAR CON CRITERIOS ÉTICOS NUESTRAS RESPONSABILIDADES Y LO QUE HEMOS DE ENTREGAR A LAS GENERACIONES VENIDERAS. LAS MARAVILLAS DE NUESTRA CIENCIA Y NUESTRA TÉCNICA VAN ACOMPAÑADAS –CUANDO NO ECLIPSADAS– EN NUESTROS DÍAS POR MUCHAS TRAGEDIAS, ENTRE LAS QUE SE ENCUENTRAN EL HAMBRE EN MUCHAS PARTES DEL MUNDO Y LA EXTINCIÓN DE OTRAS FORMAS DE VIDA...  
...PUEDE SER QUE LAS GENERACIONES FUTURAS NO LLEGUEN SIQUIERA A CONOCER MUCHOS DE LOS HÁBITATS DE LA TIERRA, DE LOS ANIMALES, LAS PLANTAS, LOS INSECTOS Y HASTA LOS MICROORGANISMOS QUE INCLUSO HOY ESTÁN YA CATALOGADOS COMO RAROS.  
EN NUESTRAS MANOS TENEMOS LOS MEDIOS Y LA RESPONSABILIDAD PARA EVITARLO. DEBEMOS ACTUAR ANTES DE QUE SEA DEMASIADO TARDE”

DALÁI LAMA

## CAPÍTULO II

EVOLUCIÓN GEOMORFOLÓGICA  
DEL NEVADO DE TOLUCACARACTERÍSTICAS GEOLÓGICO-GEOMORFOLÓGICAS  
DEL SISTEMA VOLCÁNICO TRANSVERSAL

Para comprender las características particulares del Nevado de Toluca, resulta necesario hacer una síntesis en la cual se plasmen las condiciones que dieron origen al Sistema Volcánico Transversal, ya que los efectos de éstas, repercuten de manera importante en el desarrollo de las geoformas y los procesos erosivo-acumulativos dominantes.

Existen diversos puntos de vista que han abordado el modelo tectovolcánico de la formación del Sistema Volcánico Transversal, entre ellos destacan el de Mooser y Maldonado (1961) en el cual establecen que la cadena montañosa es una prolongación al sistema Clarión; el replanteamiento del primer autor en 1968 explicando su formación a través de una geosutura; y por ejemplo en contraposición existe el trabajo de Demant (1978), donde se explican los efectos de la dinámica de la placa del Caribe y la Norteamericana por medio de diferentes ciclos que se relacionan con esfuerzos tectónicos regionales y la presencia de importantes estratovolcanes.

El último de estos ciclos explica que para la formación del Sistema Volcánico Transversal, existe una relación entre la actividad del Golfo de California y la placa del Caribe, cuya asociación interfirió en el proceso de subducción de la placa Pacífico (Silva, 1979, *cfr* Palacio, 1989).

El Sistema Volcánico Transversal se encuentra asociado desde el punto de vista genético a importantes sistemas de fallas que han dado paso a la formación de emplazamientos y estructuras escalonadas; asimismo se le ha ligado con procesos de distensión provocados por el proceso de subducción de las placas oceánicas que afectaron y que siguen afectando a nuestro país y por los rompimientos internos de tipo "Rift"; de acuerdo con lo anterior, Aguayo (*et. al.*, 1989) afirma que el proceso de formación del sistema aún no ha concluido, ya que ha mostrado diferentes etapas de génesis en las cuales las zonas de debilidad de la corteza han permitido la emanación de materiales volcánicos fluidos y piroclásticos.

Diversos autores coinciden en que el Sistema Volcánico Transversal se origina por diversos procesos tectónicos en los cuales dominan esfuerzos divergentes y convergentes de la corteza, que a su paso dieron pie a la formación de megaestructuras como horst y grabens, los cuales se distribuyen desde la porción más occidental hasta la zona central del complejo volcánico.

Parece ser que la actividad tectovolcánica no ha sido del todo homogénea desde el punto de vista de la intensidad y el tiempo de duración; Mc Dowell y Clabaugh (1972) y Venegas (*et. al.*,

1981) con sus estudios determinaron series petroquímicas en las cuales se observan correlaciones que permiten ubicar a las rocas más antiguas durante el Plioceno; y es en donde otros autores como Pascuaré (1978) y Aceves (1997) indican que es ese el punto de partida en el cual se da comienzo a la actividad con la formación de sistemas escalonados de fallas localizados al occidente, asociadas con la formación del Golfo de California; con el basculamiento de bloques en la parte central del mismo y, con la generación de sistemas de fracturas en las cuales se emplazarían los estratovolcanes más representativos (Aguayo, 1989).

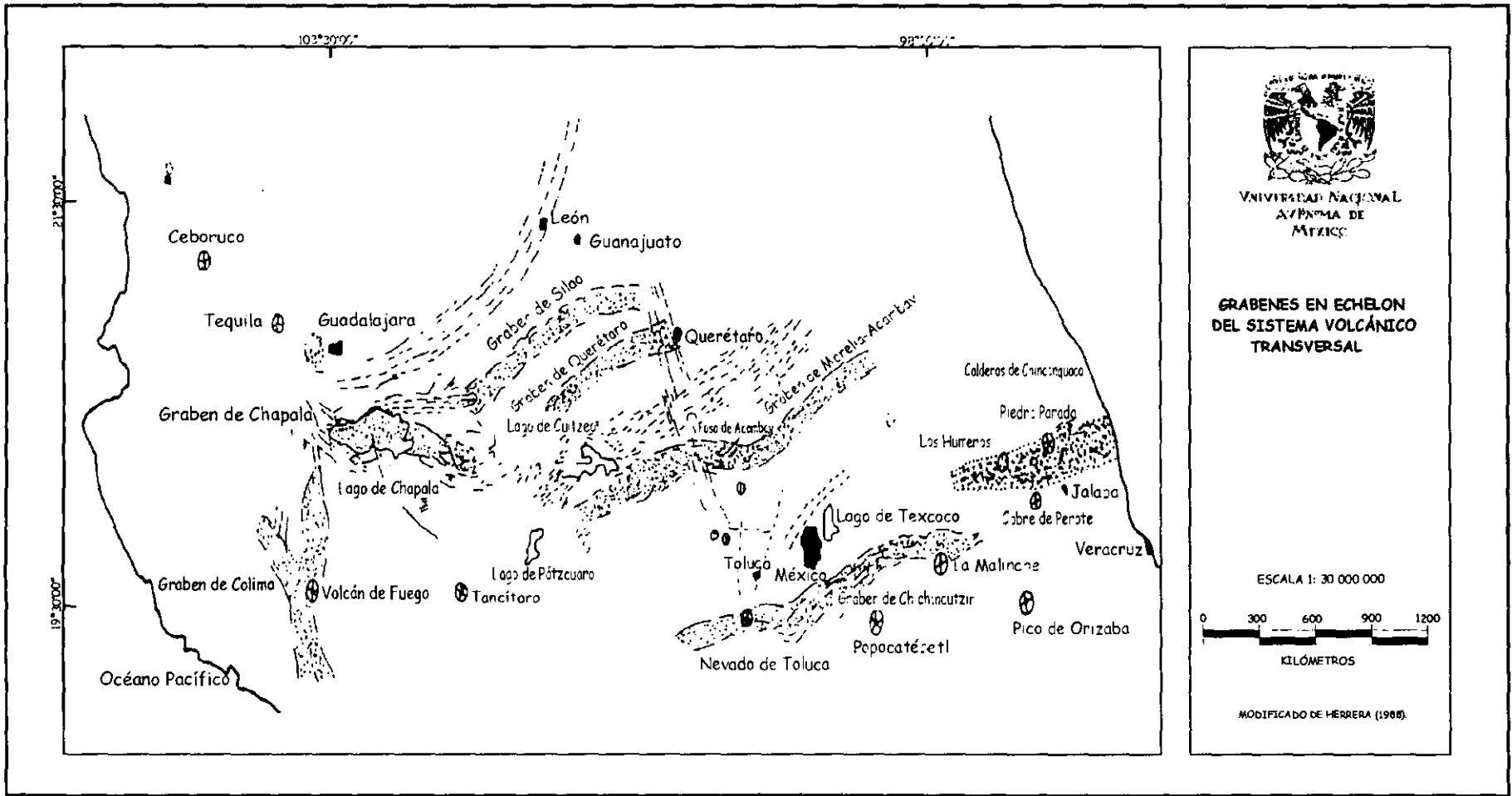
Conforme con estas ideas, Sutter (1991 y 1992) y Mooser (1996), se han dado a la tarea de interpretar las deformaciones causadas por la influencia tectónica regional; por su parte el primer autor, se ha centrado en estudiar la direccionalidad de los esfuerzos y los resultados de éstos en sistemas de alineamientos recientes localizados al centro del cinturón volcánico; y el segundo, se ha enfocado a la interpretación de la expresión geológica de la cuenca de México y las de Toluca y Puebla.

Los principales rasgos morfoestructurales del Sistema Volcánico Transversal se reconocen a través de fracturamientos y del desarrollo de fosas que cruzan sus direcciones predominantes en rumbos NE y NW; así como otro sistema similar en dirección NNW; fosas *en-echelon* localizadas hacia el Este-Noreste; Arcos volcánicos, Fosas tipo Chapala y estructuras circulares de colapso; en el cuadro 2.1 y en las figuras 2.1 y 2.2 se observan los principales elementos morfoestructurales del sistema.

ELEMENTOS MORFOESTRUCTURALES DEL SISTEMA VOLCÁNICO TRANSVERSAL	
DIRECCIÓN DEL SISTEMA	SISTEMAS DE MORFOALINEAMIENTOS
NE y NW	Se dirige del Sur de la ciudad de Guadalajara y Norte del lago de Chapala hacia la ciudad de León.
NE	Sistema Cuitzeo-Querétaro I.
NW	Se desplaza del Sistema Querétaro I hacia el Nevado de Toluca; se encuentra intersectado por el sistema de fracturas de la Fosa de Acambay.
ENE	Se reconoce como la Fosa de Silao, ubicándose entre el NE de Chapala y el sistema Querétaro I.
N-NE	Se localiza el graben de Querétaro y el sistema de fracturas Salvatierra-Querétaro II.
NE-WE-ENE	Sistema Morelia-Acambay, su última expresión se localiza en los límites de Pachuca y Actopan.
E-NE	Grahen del Chichinautzin; cruza la sierra de Santa Catarina hasta la Malinche en Tlaxcala.
E-W	Región hidrotermal Los Humeros-Laguna Verde, conformado por las calderas de Chiconquiaco.

FUENTE: MOOSER (1968, 1986), HERRERA (1988).

CUADRO 2.1 Arreglo espacial de los elementos morfoestructurales del Sistema Volcánico Transversal





## CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICO-GEOMORFOLÓGICAS DEL NEVADO DE TOLUCA

Clasificado como un estratovolcán de tipo poligenético constituido por flujos de lava dacítica, posee un cráter elíptico orientado al Este, el cual es una evidencia de la descarga energética generada durante las erupciones plinianas. El volcán se ubica desde el punto de vista fisiográfico, dentro de la provincia del Sistema Volcánico Transversal, la cual abarca importantes porciones territoriales de la cuenca de Toluca y de la de México, al igual que las Sierras Nevada, de las Cruces, el Ajusco y el Sistema Mil Cumbres. Conforme a la literatura clásica, el volcán se encuentra asociado a dos importantes sistemas de fracturas sobre las cuales se encuentra el edificio volcánico; el primero de ellos responde al comportamiento general del Sistema Volcánico Transversal y el segundo se identifica con el sistema volcánico monogenético de la Sierra del Chichinautzin.

Para el primer caso, las direcciones predominantes de los alineamientos reportan un sistema primario NW-SE y NE-SW, el cual se asocia con el sistema Querétaro-Acambay-Nevado de Toluca; y de acuerdo con Ramírez (1988), éste es el resultado de un proceso de activación de antiguas estructuras heredadas por el proceso de subducción de la placa Farallón, el cual tiene una expresión morfológica cruzada de forma transversal al Sistema Volcánico Transversal, abarcando una superficie aproximada de poco más de 24,300 kilómetros cuadrados.

Por su parte, un sistema de fracturas orientado en dirección NW-SE reconoce un alineamiento de volcanes, de los cuales se emplazan edificios lávicos y piroclásticos, que de acuerdo con Aceves (1997), podría relacionarse éste con el sistema Chichinautzin.

El sistema de fracturas E-W parece ser que se relaciona también con éste último, formando el lineamiento Temascaltepec-Chichinautzin-Humeros, y la dirección predominante de éste lo conforma como una unidad desprendida del mismo, y que encuentra su origen al oeste del Nevado de Toluca, extendiéndose a lo largo de 225 kilómetros hasta la caldera de los Humeros, cruzando las sierras de Chichinautzin y Santa Catarina; una evidencia de la reciente actividad de este sistema, se refiere a la emanación lávica fisural del complejo de Teotenango (Ramírez, 1988).

De manera particular, la misma autora relaciona las características tectovolcánicas circundantes a los sistemas de lineamientos, resaltando la presencia de estructuras de colapso originadas por el vaciamiento de cámaras magmáticas y posterior hundimiento de las estructuras, heredando así una morfología circular de caída, identificando a los cuatro sistemas: Nevado de Toluca-Zempoala, Nevado de Toluca, El Fraile y El Calvario.

Asimismo establece que éstos, han influido con el volcán; donde, el sistema Nevado-Zempoala se manifiesta como un sistema de fracturas de colapso localizada en la porción Este, el cual alcanza a la Sierra del Chichinautzin y es el más amplio de todos. El denominado Nevado de Toluca, se define como una estructura circular formada por lineamientos internos y externos

que se extienden desde el Sur hasta el Sureste, con una longitud de más de 40 kilómetros. Una tercera estructura cruza al Nevado en dirección NWW cambiando de rumbo al SW, ésta es disectada por el colapso anterior; a ésta se le ubica en la parte occidental y es conocida con el nombre de El Fraile; un último colapso es localizado hacia el Noroeste y es conocido con el nombre de El Calvario (figura 2.2).

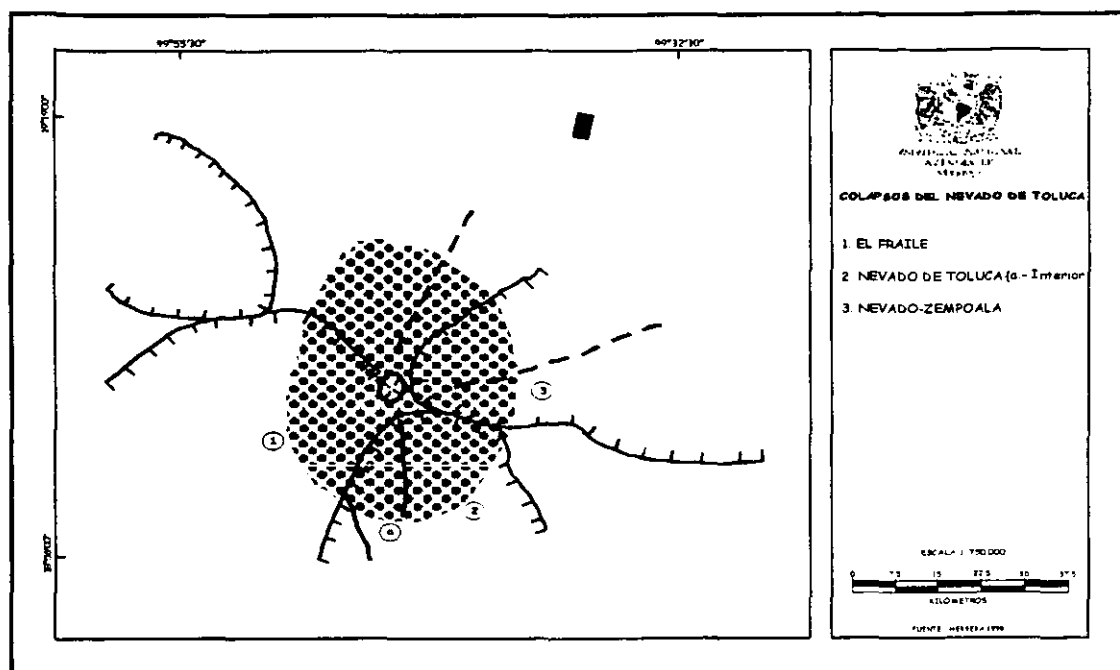


FIGURA 2.2 Colapsos del Nevado de Toluca

La importancia de las estructuras circulares, es que desde el punto de vista tectónico se encuentran relacionadas con el desarrollo de la Sierra del Chichinautzin.

De acuerdo con Mooser (1968 y *et al* 1972), el Nevado de Toluca fue formado sobre rocas volcánicas del Oligoceno y del Mioceno-Plioceno, las cuales descansan sobre las rocas mesozoicas, y al igual que otros volcanes cuaternarios del complejo volcánico transmexicano, sobreyace en la intersección de sistemas de fracturas citados con antelación.

Con respecto a su evolución geológica, puede decirse que su origen es de carácter tectónico y que junto con otros sistemas montañosos y volcanes aislados del centro del país, delimitan fallas escalonadas de orientación NW-SE y NE-SW correspondientes a las cuencas de Toluca, Puebla y México.

Se considera que el Nevado se ha formado en varios periodos de calma y erupciones violentas que dan lugar a la heterogeneidad de materiales, los cuáles se encuentran en este momento

alterados por procesos de intemperismo, erosión y acumulación característicos de ambientes glaciares, periglaciares y fluviales desarrollados en diferentes estadios.

Aunque Bloomfield y Valastro (1974, 1977) consideraron que el volcán primitivo fue formado en el Pleistoceno tardío y después destruido por una erupción violenta de tipo vulcaniano, originada hace 28,000 años, la cual generó gruesos depósitos de lahar lítico alrededor de sus flancos, mientras que Cantagrel *et al.* (1981) reporta cuatro edades K-Ar que varían de 1.6 a 1.2 millones de años para lavas andesíticas que se supone están relacionadas con el volcán primitivo.

No obstante las discrepancias en la cronología de las diferentes etapas evolutivas del Nevado, es razonable pensar que los productos volcánicos de la compleja historia eruptiva del Pleistoceno tardío (Bloomfield y Valastro, 1974, 1977) sepultaron parte de las rocas del Pleistoceno temprano que formaron el cimientado o la primera estructura de este centro eruptivo, al cual Ordoñez (1902) consideró del Plioceno. Los depósitos epiclásticos de la Formación Chontalcoatlán que se extienden desde el Nevado hacia el Sur tuvieron su origen en esa antigua estructura volcánica (De Cserna y Fries, 1981). La edad de 1.6 millones de años de un clasto de roca andesítica de un conglomerado datado por medio de K-Ar Sur al del Nevado corresponde a la Formación Chontalcoatlán, apoya esta aseveración (Cantagrel *et al.*, 1981).

Sin embargo, aún quedan discusiones y discrepancias en cuanto a los materiales que constituyen el interior del estratovolcán y su proceso de formación; por una parte Cantagrel *et al.* (1981), coinciden en que el Nevado fue construido por dos fases volcánicas bien diferenciadas; una ocurrida hace un millón de años, en la cual se presentó la construcción del aparato central, y cuyos productos volcánicos fueron derrames masivos andesíticos con formación de facies de conglomerados en las partes más externas; y otra, que es datada hace 100,000 años; la cual estuvo caracterizada por tres etapas de erupción de importantes volúmenes de rocas piroclásticas pumíticas y extrusiones de varios domos dácíticos; materiales ubicados como parte constitutiva de la Formación Chontalcoatlán.

Una particularidad del Nevado es que la parte correspondiente al piedemonte, se encuentra cubierta por depósitos de lahares y capas de pómez, a los cuales De Cserna y Fries (1981) denominaron como la Formación Zinacantépetl; la cual forma con depósitos laháricos la ladera Sur y Norte que cubren a la Riolita Tilzapotla, a la Formación Tepoztlán.

Para esta formación, Aceves (1997) establece que existen errores significativos en cuanto a la caracterización de los materiales constituyentes propuestos en diferentes momentos por Bloomfield *et al.* (1974 y 1977) y Fries y De Cerna (1981), ya que de acuerdo con las observaciones de este autor, dicha estructura se encuentra constituida por depósitos de flujos, avalanchas, caída de cenizas y lahares; considerando así que la denominación de los primeros autores es incompleta, mientras que la de los segundos tiende a ser genérica, y por tanto subraya que es inadecuada.

La edad de esta formación fue ubicada en el Pleistoceno temprano y medio, tomando en consideración que parte de esta se intercala con la Formación Chontalcoatlán, cuya parte superior se considera del Pleistoceno inferior, y que los depósitos laháricos considerados Formación Zinacantépetl están cubiertos por la Pómez Toluca Inferior, cuya base se formó hace 24,500 años (Bloomfield *et al.*, 1977).

Se considera que la Formación Zinacantépetl se encuentra constituida por lahares líticos y pumíticos de composición dacítica, horizontes de pómez de caída libre "*air-fall pumice*", que corresponden a la Formación Pómez Toluca Inferior y Superior, gravas y arenas fluviales, paleosuelos, pómez retrabajadas, capas de ceniza lítica y lapilli lítico; sin embargo, tanto los depósitos laháricos como los de pómez son parte de la misma secuencia de tefra ligada con la historia eruptiva del Nevado, e inclusive los horizontes laháricos, de pómez y paleosuelos están intercalados registrando las diferentes etapas de actividad volcánica del Nevado con periodos de quietud (Bloomfield y Valastro, 1974, 1977); dichos lahares han sido clasificados de acuerdo con su edad; a los más recientes se les ha denominado como "*Blue Gray*".

### FORMACIÓN PÓMEZ TOLUCA INFERIOR

Una de las características más importantes de esta formación, es que es una muestra fehaciente de la direccionalidad de los flujos eruptivos del Nevado, ya que ésta se deposita de manera estricta sobre la ladera noreste del volcán.

Los depósitos de la formación fueron datados por Bloomfield y Valastro (1977) por medio del análisis del paleosuelo y del loess desarrollado a partir de los lahares, obteniendo una edad estimada de 24,500 años *a.P.*; por su parte, la composición petrográfica de la misma se constituye en su mayoría por pómez, algunos líticos y cristales (Aceves, 1994).

Cubre una superficie aproximada de 400 km<sup>2</sup>, y se caracteriza por poseer cinco unidades, diferenciables. Existe un paleosuelo de color café de composición húmico-arcillosa que en general presenta un horizonte de 25 centímetros; hecho que implica por una parte que las condiciones ambientales en las cuales se formó dicha capa, probablemente eran más húmedas y con mayor desarrollo de materia orgánica; es decir, condiciones de fitoestabilidad de la zona antes de la erupción (figura 2.3).



FIGURA 2.3 Afloramiento de la Formación Pómez Toluca Inferior y un paleosuelo que la sobreyace.

Dicho paleosuelo fue datado con una edad de  $24780 \pm 250$  años, y sobre ésta descansan los depósitos de lahares recientes (*blue-gray lahar*) que de acuerdo con los trabajos de Bloomfield estas capas pertenecen a la formación Zinacantépetl y, se caracteriza por presentar un grosor de 60 centímetros y una estratificación poco clasificada, la cual se compone de lapilli de pómez; mientras que la capa siguiente, se compone del mismo material pero con una estratificación que no supera los 4 centímetros; además en ella se observa la incrustación de pómez blanca; asimismo, se encuentran capas del mismo material intercalado con cenizas y materiales líticos de diversa granulometría; materiales que subyacen a la última capa de pómez de 15 cm de espesor, la cual se encuentra coronada por cenizas.

### FORMACIÓN PÓMEZ TOLUCA SUPERIOR

Esta formación se encuentra desarrollada sobre la ladera Este y Noreste del volcán, siendo esta última la más representativa de la postier erupción pliniana hace 11,600 años; de hecho, se considera que dicha manifestación eruptiva por lo menos fue diez veces más violenta que la primera, mientras que las características de la erupción de acuerdo con la granulometría, los índices de fragmentación de los líticos, y la distribución de la pómez, explican que la velocidad de escape de dichos materiales alcanzó los 500 m/seg a partir del cráter; asimismo se ha calculado que la columna eruptiva durante el estallido alcanzó por lo menos los 40 km de altura,

con un gasto máximo de energía cinética de  $6 \times 10^{19}$  ergios/seg (Bloomfield *et al.*, 1977); cubriendo los depósitos una superficie superior a los 2,000 km<sup>2</sup>; sepultando a los sedimentos heredados de la Formación Pómez Toluca Inferior y, de un paleosuelo bien desarrollado que se formó durante el intersticio.

La serie estratigráfica de la Formación Pómez Toluca Superior muestra un primer depósito de flujos piroclásticos intensos presentan espesores que oscilan entre los 10 y 15 metros y sepultan en ocasiones a lahares que rellenan a algunos valles fluvio-glaciares. De acuerdo con la composición de este depósito, se muestran series de materiales en colores azules-grisáceos y otras rosado-amarillo-grisáceos; los primeros se asocian con la composición intermedia de los mismos, y los segundos se relacionan con la mezcla de las pómez y el paleosuelo referido.

Por su parte, el depósito intermedio se encuentra intercalado por diferentes depósitos de clastos subangulosos que muestran estadios diversos de la actividad del volcán; siendo su constitución de pómez, líticos, cenizas, tefra y algunos bloques; mientras que el estrato superior de la misma formación se encuentra sin muestras de secuencias deposicionales con cenizas intemperizadas, lapilli pumítico, bloques y pómez de granulometría grosera, todo ello formando una capa que supera los 2 metros de espesor.



FIGURA 2.4 Depósitos originados por la Formación Pómez Toluca Superior en la margen izquierda del arroyo El Zaguán.

Con la finalidad de concretar la información referente al proceso evolutivo que dio origen al Nevado de Toluca y que lo ha modificado hasta nuestros días, desde el punto de vista de los eventos volcánicos más representativos, a continuación se muestran los cuadros 2.2 a y 2.2 b que relacionan las diferentes fases con la época de ocurrencia, la actividad desarrollada y finalmente, la morfología base y la misma que hereda el edificio.

EVOLUCIÓN VOLCÁNICA DEL NEVADO DE TOLUCA			
FASE	OCCURRENCIA DEL EVENTO	ACTIVIDAD	MORFOLOGÍA
I	Hace 1,000,000 de años	Formación del edificio volcánico o estructura primitiva, que se emplaza sobre el sistema de alineamientos NW-SE, y se relaciona con los subsistemas SW-NE y E-W.	Estratovolcán con pendientes que oscilan entre los 30° y 45°; la altura del edificio se estima que supera poco más de 5000 metros.  Se caracteriza por poseer una amplia chimenea y un cráter abierto.
II	Entre 60,000 y 36,000 años	Se presenta una intensa actividad en la cual la energía eruptiva se identifica con emanaciones de carácter peleano que rompen parte de estructura superior del cráter del edificio.  La actividad se acompaña del desarrollo de avalanchas e importantes flujos de cenizas; así como de un colapsamiento que da origen a la caldera.	Se forma la caldera como producto de las explosiones, originando la destrucción de la parte superior del cono. La amplitud de la depresión formada en su eje mayor supera más de un kilómetro.  Se crean importantes depósitos de sedimentos sobre las laderas generados por las avalanchas piroclásticas y las cenizas de flujo y de caída.
III	Entre 36,000 y 24,000 años	Durante este período no se registra actividad volcánica.	Durante esta etapa se crean condiciones de biostasia que permiten la formación de suelos sobre los flancos del volcán y las llanuras periféricas al mismo.  Sin embargo, se detecta también el desarrollo un importante sistema fluvial que reconoce a los alineamientos tectónicos; durante la fase final de esta época el modelado glaciar por medio de la Serie MI.

FUENTE: BLOOMFIELD (1974, 1979); CANTAGREL (1981); TRABAJO DE CAMPO

CUADRO 2.2a Actividad volcánica del Nevado de Toluca.

EVOLUCIÓN VOLCÁNICA DEL NEVADO DE TOLUCA			
FASE	OCCURRENCIA DEL EVENTO	ACTIVIDAD	MORFOLOGÍA
IV	Hace 24,000 años	<p>El volcán se reactiva de manera violenta, registrando la primera erupción pliniana que se caracterizó por la importante deposición de pómez de caída, la cual se restringe a la porción oriental del edificio volcánico.</p> <p>Estos flujos fueron denominados como la Formación Pómez Toluca Inferior (FORMACIÓN PÓMEZ TOLUCA INFERIOR).</p> <p>Al parecer, el estadio eruptivo del Nevado coincide con la Serie MII.</p>	<p>De acuerdo con el tipo de erupción registrada, el proceso más significativo que se reconoce en la región, se presenta por medio de la sepultura de las antiguas geoformas heredadas por la glaciación y la escorrentía fluvial; lo mismo ocurre con el estrato fértil de la superficie, dando origen a un paleosuelo.</p>
V	Entre 24,000 y 11,600 años	<p>Durante este período no se registra actividad volcánica.</p>	<p>Se presenta el retrabajo erosivo antiguas formas y depósitos de sedimentos.</p>
VI	Hace 11,600 años	<p>Después de 12,400 años de inactividad, el Nevado vuelve a manifestarse con una erupción pliniana que es considerada aún mucho más violenta que la primera; a este evento se le conoce como la Formación Pómez Toluca Superior, la cual se ha caracterizado por el espesor de los sedimentos y la lejanía de éstos con referencia a la fuente de emisión.</p> <p>Se han localizado algunos de ellos a más de 70 kilómetros de distancia en columnas estratigráficas que superan los 2 metros de espesor.</p> <p>Una particularidad de esta erupción es que ha sido dirigida hacia el NE del volcán.</p>	<p>Queda definida la forma actual del cráter, así como de las partes constituyentes del piedemonte y la planicie localizada al este del edificio.</p> <p>Los nuevos depósitos de pómez sepultan a los antiguos sedimentos que constituyeron a la Formación Pómez Toluca Inferior, y a los suelos que se originaron posterupción pliniana.</p> <p>Para este período, se identifica la presencia del hombre en las márgenes del volcán, en la porción que comprende a Amanalco de Becerra.</p>
VII	Hace 11,500 años	<p>Se forma un domo al interior del cráter, el cual conforme a las características geológico-geomorfológicas del volcán, marca el final de la actividad eruptiva del Nevado</p>	<p>Se exhibe la morfología que hasta ahora se conoce del volcán, desarrollándose sobre su superficie suelos de origen volcánico y procesos erosivo-acumulativos de origen glaciar, fluvio-glaciar y fluvial.</p>

FUENTE: BLOOMFIELD (1974, 1979); CANTAGREL (1981); TRABAJO DE CAMPO

CUADRO 2.2b Actividad volcánica del Nevado de Toluca.

Dicha estructura se caracteriza por la presencia de crestas elevadas entre las cuales destacan el Pico del Fraile localizado hacia el Sur (4,660 msnm), el Pico de Águila al NW (4,550 msnm.), y el Espinazo del Portezuelo al NE (4,300 msnm.) entre otros. A medida que se desciende al cráter, la pendiente se suaviza en todos sus flancos debido al material que fue



acumulado durante las últimas erupciones, permitiendo la formación de colinas y pequeñas mesetas separadas por profundas barrancas.

Sobre sus flancos, existen importantes procesos de abarrancamiento que corresponden a los principales arroyos que descienden de la cumbre, los más notables y profundos, entre otros, son las de los Arroyos Terrerillos en la parte septentrional, el Zaguán hacia el oriente, el Grande en la porción suroriental y, el Chiquihuitero ubicado en el Sur.

## GEOMORFOLOGÍA GLACIAR Y PERIGLACIAR

Los estudios clásicos realizados sobre glaciaciones en nuestro país, refieren el desarrollo de cinco eventos en los cuales se ha presentado el avance y retroceso de lenguas glaciares que han dejado sobre el relieve sus formas y procesos distintivos como glaciares rocosos, morrenas laterales, frontales y de fondo; flujos de detritos (*debris flow*), depósitos de gelifractos, crioturbación y gelifracción entre otros.

Los depósitos glaciares más antiguos del Nevado de Toluca fueron fechados por Heine (1976) y denominados como la Serie MI, originada hace 36,000 años, los cuales han dejado rastros erosivos que se presentan en las columnas estratigráficas de algunos cauces (Palacio, 1988). Refiriendo los estudios realizados por Heine (1984), parece ser que debido a la última explosión pliniana del volcán hace 11,600 años, la Serie II no ha podido ser definida, lo que de cierta manera interrumpe la secuencia evolutiva del glaciario en México; sin embargo, existen algunas ideas que debido al poco tiempo de exhibición del glaciario MII, éste pudo también haber desaparecido debido a los ascensos graduales de temperatura y humedad originados en el Golfo de México.

La secuencia MIII fue localizada entre los 8,500 y 10,000 años *b.P.*, dicha unidad presenta un comportamiento bipolar, ya que se compone por dos subetapas que heredaron geoformas particulares como morrenas laterales bien desarrolladas que coronan los valles glaciares y, morrenas poco desarrolladas asociadas con algunos glaciares rocosos localizados en las laderas superiores y cono del edificio volcánico. Ambos conjuntos de formas, evidencian por una parte, una fuerte concentración de energía que vigoriza el proceso erosivo que forma valles, así como del transporte y acumulación de los materiales removidos; y por otra, la disminución del gasto energético que implica el aumento progresivo de la temperatura y la disminución de humedad; ambas etapas son conocidas como MIII 2+1 y MIII 3 respectivamente.

En cuanto a los dos últimos avances, MIV y MV, se encuentran compuestos por glaciares rocosos y algunos depósitos de tillita localizados sobre los 4,000 metros de altitud.

Con relación a las fechas datadas de los avances y depósitos glaciares, aún existen ciertas discrepancias en cuanto a la concordancia de los depósitos *in situ*, los depósitos de la Formación Pómez Toluca Superior y la edad de los mismos, de manera particular, con

respecto a la Serie MIII, si se correlacionan las edades y disposición estratigráfica de las morrenas propuestas por Heine (1976) y de la Pómez Toluca Superior datada por Bloomfield (1974 y 1977), se puede observar que la edad de las geoformas sea más antigua y corresponda a los glaciares Milpulco ocurridos hace 16,000 años (White *et.al.*, 1990; *cf.* Vázquez, 1991).

Esta diferencia entre la secuencia cronológica de los depósitos, sugiere que existan seis y no cinco eventos de avance glaciar en las altas montañas de México, lo que implica entonces, la necesidad de revisar y replantear el orden sucesivo del desarrollo de la morfología de exaración.

Asociado a los glaciares, como áreas de transición hacia climas más cálidos se localizan zonas periglaciares que de acuerdo con la cantidad de temperatura, humedad y las variaciones periódicas de éstas, permiten el constante hielo-deshielo de la superficie, dando paso así a procesos como micro y macrogelifracción que a su vez, favorecen el desarrollo de procesos de geliflujión y geoformas como los *debris flow*.

A continuación se presenta una serie de cuadros que representan a cada una de las series de glaciares registrados en nuestro país, en los cuales se marcan los puntos de encuentro y discordancias que existen entre los estudios realizados en México en materia de glaciaciones; asimismo, se incluyen de manera más puntual los eventos característicos de cada época gélida, así como los procesos y las formas heredadas en el volcán Nevado de Toluca.

GLACIACIONES EN MÉXICO Y EN EL NEVADO DE TOLUCA			
GLACIACIÓN	CARACTERÍSTICAS GENERALES	PROCESOS Y FORMAS EROSIVAS	PROCESOS Y FORMAS ACUMULATIVAS
<p><b>MI</b> (Heine, 1973)</p> <p><b>Búfalo</b> (White, 1962 y 1981)</p>	<p>Existen algunos problemas de datación, ya que de acuerdo con Heine se debió presentar hace 36,000 años.; sin embargo, White coloca la fase en un período comprendido entre los 30,000 y 26,000 años</p> <p>Se desarrolla sobre el edificio original, el cual es comparado por Blomfield en 1974 con el Popocatepetl.</p> <p>La morfología de los valles pone en evidencia el sistema ortogonal de fracturas que da origen al Nevado.</p>	<p>Se generan valles característicos con morfología en "U" sobre las laderas del volcán.</p> <p>La forma abierta de las cabeceras de los valles alcanza hasta 2 km. de ancho, y la longitud de éstos varía entre 7 y 12 kilómetros.</p> <p>En las partes altas se identifican aristas y circos, así como algunas crestas originadas por la coalescencia de algunos glaciares menores.</p> <p>Se identifica la presencia de procesos periglaciares intensos como la generación de aristas sobre antiguas coladas lávicas.</p>	<p>Se localizan por debajo de los 3000 metros de altitud algunas terrazas fluvioglaciares, depósitos lacustres y morrenas terminales.</p> <p>Asimismo, relacionado con procesos periglaciares se encuentran algunos depósitos originados por taludes y glaciares rocosos.</p>

FUENTE: HEINE (1973); LORENZO (1969); WHITE (1962A, 1962B Y 1987); WHITE Y VALASTRO (1984); Y VÁZQUEZ (1991).

CUADRO 2.3 a Series glaciares del Nevado de Toluca.

GLACIACIONES EN MÉXICO Y EN EL NEVADO DE TOLUCA			
GLACIACIÓN	CARACTERÍSTICAS GENERALES	PROCESOS Y FORMAS EROSIVAS	PROCESOS Y FORMAS ACUMULATIVAS
<p><b>MII</b> (Heine, 1973)</p> <p><b>Bull-Lake-Stage</b> (White 1962 y 1981)</p>	<p>Se considera como una glaciación interrumpida en el Nevado de Toluca, ya que algunos autores consideran que se presenta posterior a la erupción pliniana; no obstante, otros autores discuten que pudieron ser eventos simultáneos, o bien, que su interrupción se debe a un aumento gradual de la temperatura.</p> <p>Debido a la posible interrupción de la secuencia MII, el desarrollo de los frentes glaciares no alcanza a rebasar la cota de 3,000 metros, por lo que el desarrollo de geoformas glaciáricas se distribuye en las partes más altas del volcán.</p> <p>La datación de esta glaciación se localiza hace 12,000 años <i>b.P.</i></p> <p>El cráter principal ha sido destruido en su totalidad, los materiales que lo constituían son depositados en la porción oriental del edificio en masas lodosas saturadas.</p>	<p>El desarrollo de los valles predispone poca amplitud de estos, sin embargo, generan aristas y circos agudos.</p> <p>El desarrollo de las formas erosivas son producto del retrabajo a antiguos valles glaciares y fluvioglaciares que han sido sepultados por materiales piroclásticos provenientes de la pasada actividad volcánica.</p> <p>Se presentan valles estrechos y solifluxión sobre las laderas que constituyen el pie de monte; aparecen también algunas depresiones originadas por la desaparición de algunos hidrolacólitos.</p>	<p>Las formas mas distintivas de acumulación de sedimentos se presentan a través de diferentes terrazas de bloques, flucioglaciares y montículos criogénicos.</p>

FUENTE: HEINE (1973); LORENZO (1969); WHITE (1962 y 1981); WHITE y VALASTRO (1984); y VÁZQUEZ (1990).

CUADRO 2.3 b Series glaciares del Nevado de Toluca.

GLACIACIONES EN MÉXICO Y EN EL NEVADO DE TOLUCA			
GLACIACIÓN	CARACTERÍSTICAS GENERALES	PROCESOS Y FORMAS EROSIVAS	PROCESOS Y FORMAS ACUMULATIVAS
<p><b>MIII</b></p> <p>(Heine, 1973)</p> <p><b>Pinedale-Stage</b></p> <p>(White 1962 y 1981)</p>	<p>El periodo en el cual se establece ésta glaciación se localiza entre los 10,000 y 8,500 años <i>b.P.</i>, aunque de acuerdo con Heine, ésta sólo tuvo periodo de influencia de 1,000 años.</p>	<p>Al igual que en la serie anterior, se presenta un intenso retrabajo de antiguos depósitos de valles glaciares y fluvioglaciares que se caracterizan por su profundidad y amplitud.</p>	<p>Los procesos de acumulación responden a la intensidad con que actuaron los procesos erosivos, así, se observan importantes formas originadas por la sedimentación de materiales entre las cuales sobresalen terrazas de bloques, cordones morrénicos, morrenas laterales, lomeríos de morrenas (<i>drumlins</i>), taludes de bloques, terrazas fluvioglaciares, <i>leveés</i> y algunos montículos aislados.</p>
	<p>Se reconocen dos subetapas distintivas, la MIII3 y la MIII2+1.</p>	<p>Se reconocen la formación de aristas filosas en las partes altas, y la coalescencia de circos glaciares.</p>	
	<p>El desarrollo de los valles glaciares presenta cabeceras abiertas y una intensa disección que retrabaja los antiguos depósitos volcánicos y glaciéricos, llegando a descubrir el antiguo nivel de base la Serie MI.</p>	<p>El modelado periglaciario es intenso, destacando la formación de taludes rocosos y <i>debris flow</i>.</p>	
	<p>La intensa disección redescubre al mismo tiempo el sistema de fracturamiento antecedente al volcán; se observa que los interfluvios reconocen la secuencias estratigráficas de los materiales.</p>		
	<p>En las columnas estratigráficas, se visualizan cambios en la morfoscopia de los clastos, así como la intercalación de lahares con morrenas terminales.</p>		

FUENTE: HEINE (1973); LORENZO (1969); WHITE (1962 y 1981); WHITE Y VALASTRO (1984); Y VÁZQUEZ (1990).

CUADRO 2.2 c Series Glaciares del Nevado de Toluca

GLACIACIONES EN MÉXICO Y EN EL NEVADO DE TOLUCA			
GLACIACIÓN	CARACTERÍSTICAS GENERALES	PROCESOS Y FORMAS EROSIVAS	PROCESOS Y FORMAS ACUMULATIVAS
<p><b>MIV</b> (Heine, 1973)</p> <p><b>Temple-Lake-Stage</b> (White, 1962 y 1981)</p>	<p>Se sitúa su presencia hace 2,000 años, y se restringe a altitudes superiores a 4,000 metros.</p> <p>Su intensidad e influencia son someras debido al poco tiempo en el cual se presenta y el poco descenso térmico registrado, en comparación con las series anteriores.</p>	<p>Se forman circos glaciares tanto en las parte interna como externa del cráter del volcán, algunos glaciares laterales y valles en "U" someros.</p>	<p>Se caracteriza la acumulación de fragmentos de rocas en las porciones frontales de los glaciares, así como la presencia de algunas terrazas de morrenas.</p>
<p><b>MV</b> (Heine, 1973)</p>	<p>Existen serias discrepancias acerca del desarrollo de los glaciares en México en los últimos 2000 años; lo que Heine ha denominado como la Serie MV, aún es motivo de discusión por otros autores como Lorenzo (1969) y Vázquez (1990).</p> <p>Se estima que por lo menos en los últimos 1,500 años se han presentado tres glaciaciones que muestran procesos de continuidad de modelado glaciar y periglacial, aunque la intensidad de los mismos sea menos intensa que en el pasado; en Europa se le reconoce como la "Edad del Hielo"</p>	<p>Se observan procesos que hoy en día se encuentran presentes como glaciares laterales, crestas y aristas generadas por procesos de gelifracción y crialteración; se observa solifluxión en las márgenes transicionales del macizo rocoso con el piedemonte.</p>	<p>Estos procesos y geoformas son comunes y también se observan hoy en día, se destaca la formación de taludes de fragmentos y ríos de rocas, grava y lodo, leveés, hidrolacolitos y osteolas en las partas altas. Se encuentran en altitudes menores terrazas de bloques y rocas, así como morrenas laterales y frontales.</p>

FUENTE: HEINE (1973); LORENZO (1969); WHITE (1962 y 1981); WHITE Y VALASTRO (1984); Y VÁZQUEZ (1990).

CUADRO 2.2 d. Series glaciares que afectan el Nevado de Toluca.

Hoy en día los procesos de modelado glaciar se limitan a determinar algunas características de génesis de suelos en las porciones más altas del volcán, todo ello por medio de crioturbación; asimismo se relacionan con procesos de intemperismo y algunos procesos gravitacionales.

Lorenzo (1969) ha determinado que en los últimos 250 años los procesos de origen periglacial se muestran de manera poco uniforme en cuanto a la intensidad de los mismos, lo que permite entonces la posible combinación de procesos de crioalteración reflejados por medio de gelifracción y desplazamiento de cuñas de hielo sobre las rocas expuestas; éstos dejan a su paso la huella distintiva de modelado como los *debris flow*, glaciares rocosos y algunos procesos asociados como la geliflujión y la soliflujión; sobre algunas terrazas heredadas de la morfología antes descrita, se presentan procesos de criopedología incipiente.

### CONDICIONES EDAFOLÓGICAS

Desde el punto de vista pediológico, resulta claro que los suelos predominantes del Nevado de Toluca encuentran su formación sobre los materiales de depósito de la Formación Pómez Toluca Superior, exhibiéndose horizontes predominantes de Andosoles vítricos; los cuales se caracterizan por poseer bajas concentraciones de materia orgánica, niveles altos de acidez y de pedregosidad; se encuentra también una variedad de carácter húmico sobre el cual se desarrolla la mayor parte de la masa forestal y; a diferencia del anterior, la presencia de clastos en el primer horizonte es nula y la textura más franca, mientras que la concentración de materia orgánica y humus se debe a la aparente estabilidad de algunas porciones de las laderas que permiten la edafogénesis.

En las porciones altas del edificio volcánico se encuentran algunos Regosoles eútricos heredados de materiales detríticos y, en menor proporción Leptosoles; todos ellos incipientemente desarrollados a partir de procesos de criopediogénesis; situación que marca un parteaguas entre los suelos del piedemonte y la corona montañosa; caracterizándose los primeros por presentar altas condiciones de permeabilidad debido a su textura.

Uno de los problemas que encuentra la vegetación natural para poder desarrollarse con cierta facilidad sobre las vertientes del Nevado es debida a las condiciones climático-meteorológicas dominantes, ya que por una parte aunque las condiciones de humedad determinada por la cantidad de nubosidad y la precipitación media sea alta, las particularidades del sustrato edafológico y geológico, la evaporación y la frecuente presencia de heladas son factores que se constituyen como fuertes limitantes de biostasia.

En este sentido, un elemento importante que se considera en el área de estudio es el viento, de éste elemento se tienen registros en los cuales se advierte que la dirección predominante es S-N y SW-NE, y sobre la superficie se establece la importancia de su presencia durante la época de estiaje permitiendo el desarrollo de procesos como la ablación y abrasión.

González (1986) establece en su estudio que de acuerdo con las condiciones de distribución de temperatura, humedad y viento, las depresiones y cañadas localizadas en el flanco oriental del volcán se encuentran de manera particular bajo condiciones de mayor estabilidad en comparación con el resto del volcán, ya que poseen un comportamiento normal de temperatura, altas condiciones de humedad y mayor resistencia al viento; sin embargo, parece ser que estos elementos no son del todo suficientes para establecer como parámetro general las condiciones de estabilidad que han sido mencionadas, ya que la acción abrasiva del viento si bien no se concentra sobre la superficie de los arroyos, sí se muestra sobre las paredes de los mismos desprendiendo las partículas más finas de los estratos, cuando la mayoría de éstas son deleznable y en ocasiones, determinan el grado de compactación del mismo, ya que presentan una función de cementante.



## CAPITULO III

### LA UTILIZACIÓN Y CAMBIO EN EL USO DE SUELO

¿CÓMO PUEDEN COMPRAR O VENDER EL CIELO, O EL CALOR DE LA TIERRA? ES ALGO QUE A NOSOTROS NOS RESULTA EXTRAÑO. SI NO SOMOS DUEÑOS DEL FRESCOR DEL AIRE, O DEL RESPLANDOR DEL AGUA, ¿CÓMO VAN A COMPRARLOS? SOMOS PARTE DE LA TIERRA Y LA TIERRA ES PARTE DE NOSOTROS. LAS CUMBRES DE ROCAS, LA SAVIA DE LAS PRADERAS, EL CALOR DEL CUERPO DE UN CABALLO Y EL HOMBRE:

TODO ELLO PERTENECE A UNA MISMA FAMILIA.

EL AGUA TRANSPARENTE QUE FLUYE EN LOS ARROYOS NO ES SÓLO AGUA, SINO LA SANGRE DE NUESTROS ANTEPASADOS. SI LES VENDEMOS LA TIERRA, DEBEN ENSEÑAR A SUS HIJOS QUE ES SAGRADA, QUE CADA SOMBRA DE REFLEJO EN EL AGUA CLARA DE LOS LAGOS NOS ACERCA LA MEMORIA DE LAS VIDAS DE NUESTRAS GENTES. EL RUMOR

DEL AGUA ES LA VOZ DEL PADRE DE MI PADRE.

YA SÉ QUE EL HOMBRE BLANCO NO NOS ENTIENDE. PARA ÉL, UN TROZO DE TIERRA ES IGUAL A OTRO, PORQUE ÉL ES UN EXTRAÑO QUE LLEGA DE NOCHE Y SE LLEVA DE LA TIERRA LO QUE NECESITA'

MANEKA GANDHI

### CAPÍTULO III

## LA UTILIZACIÓN Y CAMBIO EN EL USO DEL SUELO

### ANTECEDENTES

La presencia de grupos de población desde tiempos remotos ha contribuido al deterioro ambiental del Nevado de Toluca, se sabe que sobre la porción oriental se ha sostenido una importante carga antrópica representada por ganadería intensiva, la extracción del recurso forestal, posteriormente por agricultura, pastoreo, turismo, conservación de recursos y de manera más reciente por la industria extractiva.

Se reconoce en el lugar la presencia de un pueblo prehispánico en el cual convivieron grupos indígenas diferentes que desarrollaron actividades agrícolas de sobrevivencia, como lo es la diversidad en los sistemas de cultivo como la roza y el sistema de chinampa que hasta nuestros días aún puede observarse.

El proceso de poblamiento de la porción oriental del Nevado es en realidad compleja, ya que éste se ha desarrollado conforme a elementos y presiones sociales y económicas que prevalecieron desde la época prehispánica y colonial.

En la actualidad y de acuerdo con la información estadística proporcionada por los censos nacionales y los Planes Municipales de Desarrollo Urbano de los municipios adosados al volcán, se ha calculado que 7,500 personas dependen de los recursos que provienen del Nevado, lo que en la actualidad se traduce como la predisposición de la utilización del suelo y la especialización de actividades económicas.

Algunos autores como Ortiz y Ovando (1995) plantean que al fin de la pasada década el volcán soportará una presión ejercida por aproximadamente 16,000 personas que ocuparán la periferia y parte de la zona montaña baja; lo que implica en cierta medida que las condiciones de estrés se intensifiquen de forma considerable.

Las áreas con mayor densidad de población del Nevado corresponden a la porción Norte y Noreste por los municipios de Zinacantepec, Almoloya de Juárez y Toluca; y hacia el Este, se encuentra ocupado por Metepec, Calimaya y Tenango del Valle; mientras que al Sur se ubica Villa Guerrero, Coatepec Harinas, Temascaltepec y Amanalco de Becerra.

El volcán distribuye sobre la parte alta y las laderas, Andosoles mólicos con textura migajonosa-arenosa, densidad real y aparente baja, drenaje eficiente, suelos aireados, permeables, ácidos, ricos en materia orgánica, buena capacidad de intercambio catiónico y cantidad de nutrientes como Fósforo, Nitrógeno, Hierro, Magnesio, Potasio y Sodio (Castillo *et. al.*, 1988); características que en su conjunto denotan la vocación forestal del lugar.

## GANADERÍA

### GANADERÍA INTENSIVA

El siglo XVII fue una época de incubación económica fundamental para la Nueva España. En su transcurso se consolidó el monopolio comercial, entró en crisis el comercio entre la metrópoli y sus colonias, nació la hacienda y el peonaje, se naturalizó la compra de cargos públicos y se estableció la política económica de las corporaciones (Florescano y Gil, 1980).

Asimismo, cabe aclarar que la porción oriental del Nevado ha sido desde estos tiempos un lugar estratégico desde el punto de vista económico, debido al paso comercial hacia el sur del estado y del país, comunicando al Valle de Toluca con otros sitios importantes como Cuernavaca y Taxco.

Una de las actividades coloniales más favorecidas desde el punto de vista de la economía es sin duda alguna la ganadería intensiva, de hecho, ya la Recopilación de Leyes de Indias de 1680, declaraba a los montes y pastos de las tierras del señorío como bienes comunales; los cuales eran abundantes en el Nevado de Toluca, indicando la presencia de una importante zona ganadera potencial.

A estas regiones tenían acceso directo los habitantes de las cabeceras municipales como las de aquellos pueblos que se encontraban sujetos a éstas, los cuales se beneficiaban de los pastos, la madera, los ríos y por tanto del agua que ahí existía (Loera y De Esteinou, 1980).

Los derechos a pueblos indios para recibir estancias de ganado menor fueron otorgados por el Virrey Luis de Velasco, dando respuesta a las solicitudes indígenas para recibir mercedes de este tipo de tierra; y fue hasta 1597 cuando se autorizó la incorporación de ganado equino con la restricción del uso de sillas de montar.

La ganadería y la cría de animales domésticos no era una actividad relevante entre las comunidades indígenas, de hecho se considera que eran escasas, presentándose en algunos casos bueyes de tiro y caballos; además, para poseer un animal se debería de vender un espacio de tierra (Archivo Parroquial de Calimaya, s/f); desarrollándose en mayor proporción la crianza de ganado de corral; al mismo tiempo que lo contrario sucedía con el ganado vacuno y caballar de los colonizadores.

Existe una sensible diferencia en cuanto al desarrollo de las actividades ganaderas desde el punto de vista histórico y de la intensidad de la misma; se reconocen dos etapas bien diferenciadas en donde la actividad que se desarrollaba en el flanco oriental del volcán, soportaba un proceso migratorio diario de miles de cabezas provenientes de la región de San Mateo Atenco; mientras que en tiempos recientes, ésta se ha convertido en una actividad secundaria de autoconsumo.



Se establece que la actividad muestra un carácter desordenado que afecta a las áreas boscosas y agrícolas, dando origen a la destrucción de la cubierta herbácea; así como a la minimización del crecimiento de plántulas por el proceso de compactación del suelo y, la erosión en las vertientes; aunque cabe señalar que es una actividad legal y permitida por las autoridades estatales de agricultura (figura 3.2).



FIGURA 3.2 Ganadería extensiva e impactos sobre las vertientes.

Los pastizales sobre los cuales se desarrolla la actividad son inducidos en su totalidad debido al proceso de sustitución de la cubierta forestal; de hecho uno de los problemas que enfrenta el Nevado dentro del parque, es la ausencia de infraestructura administrativa y de organización, lo que ha dejado como secuela que las áreas decretadas para la conservación de recursos sea utilizada para pastoreo después de la provocación de incendios, siendo estos últimos la causa de cambios en las comunidades vegetales y la preparación del suelo para fines ganaderos.

## EXPLORACIÓN FORESTAL

Aunque en el Estado de México existe por decreto la veda maderera desde hace ya varios años, la actividad extractiva de madera se ha desarrollado de manera considerable desde diferentes puntos de vista; ya que por una parte, esta actividad obedece al aprovechamiento mismo del recurso; y por otra, a la apertura de espacios para fines agrícolas y ganaderos, así como a la creación de caminos de saca. Dicha actividad ha dejado a los bosques bajo condiciones de rexistasia, aunque en algunas porciones se han desarrollado algunas prácticas de reforestación y conservación del recurso.

Existen diversos antecedentes que abordan la problemática del recurso biótico del Nevado y en el campo de los bosques podríamos referir entre los más importantes: al realizado por la Protectora Industrializadora de Bosques (PROTIMBOS, 1972), el de Boyas y Vela (1984), el de González (1986) y por último el de Ortiz y Ovando (1995).

La conclusión de los trabajos referidos se enfoca en cierta medida a que las condiciones naturales y la vocación del suelo favorecen el desarrollo de un sustrato vegetativo boscoso por lo menos para poco más de tres cuartas partes del volcán, no obstante, dichas superficies a pesar de contar con comunidades vegetales importantes, también evidencian procesos de destrucción del mismo, identificándose áreas con doseles que varían su densidad entre 5% y 40%; espacios desmontados en su totalidad para fines agrícolas o para la implantación de pastizales.



**FIGURA 3.3** Vista parcial de porción norte del volcán Nevado de Toluca; se logra observar que la cubierta vegetal arbórea en general ha decrecido.

A continuación se presenta una relación de los principales tipos de comunidades vegetales que se han registrado en el Nevado, a partir de su distribución y clasificación altitudinal, refiriendo la localización de los conjuntos verdes sobre las vertientes.

COMUNIDADES VEGETALES DEL NEVADO DE TOLUCA			
CLASIFICACIÓN ALTITUDINAL	COMUNIDAD VEGETAL Y ESPECIE REPRESENTATIVA	RÉGIMEN ALTITUDINAL (MSNM)	LOCALIZACIÓN Y CARACTERÍSTICAS
Bosque de Aile y Encinos	Bosque de Encino ( <i>Quercus barbinervis</i> )	3000-3100	Formando ecotonos es localizable en pequeñas porciones al Este y Sureste.
	Bosque de Aile y Encinos ( <i>Cupressus lindley</i> y <i>Alnus acuminata</i> )	3000-3300	Se le encuentra intermezclado con comunidades de oyameles y pinos.
Bosque de Coníferas	Bosque Pino Moctezuma y Pino Real ( <i>Pinus montezumae</i> )	3000-3200	Se localiza en la porción nornoreste.
	Bosque de Pino Blanco ( <i>Pinus pseudostrobus</i> )	3000-3500	Se desarrolla sobre pendientes que oscilan entre los 12° y 39° alrededor del edificio.
	Bosque de Oyamel ( <i>Abies religiosa</i> )	3000-3500	Se ubica de manera homogénea sobre todas las laderas.
	Bosque de Pino ( <i>Pinus hartwegii</i> )	3500-4000	Se le puede encontrar sobre todas las vertientes.
Páramos de Altura	Zacatonal Alpino ( <i>Umbilicarietum hirsutae</i> y <i>Festuca tolucensis</i> )	3900-4200	Se ubica al interior y exterior del cráter.
	Pradera Alpina ( <i>Calamagrostietum tolucensis</i> y <i>Festuca hepraestophila</i> )	4200-4400	Se encuentra sobre las áreas sujetas a criopediología.

FUENTE: PROTIMBOS (1972), BOYAS Y VELA (1984), MARTÍNEZ (1979), SÁNCHEZ (1980), RZEDOWSKY Y CALDERÓN (1985), GONZÁLEZ (1986), CASTILLO ET.AL. (1998).

CUADRO 3.1 Tipo de vegetación predominante.

El cuadro anterior refleja la potencialidad boscosa de la zona de estudio en cada una de las partes que componen al relieve; no obstante, existen indicadores fehacientes de diferentes niveles de perturbación en la masa forestal, como lo es la apertura de claros para actividades agropastoriles, la reducción del dosel del bosque, el afloramiento de las raíces de los árboles por erosión laminar, el ocoteo y los tocones derivados a partir de la tala excesiva del bosque, proliferación de plagas e incendios; así como el reemplazo de las especies nativas



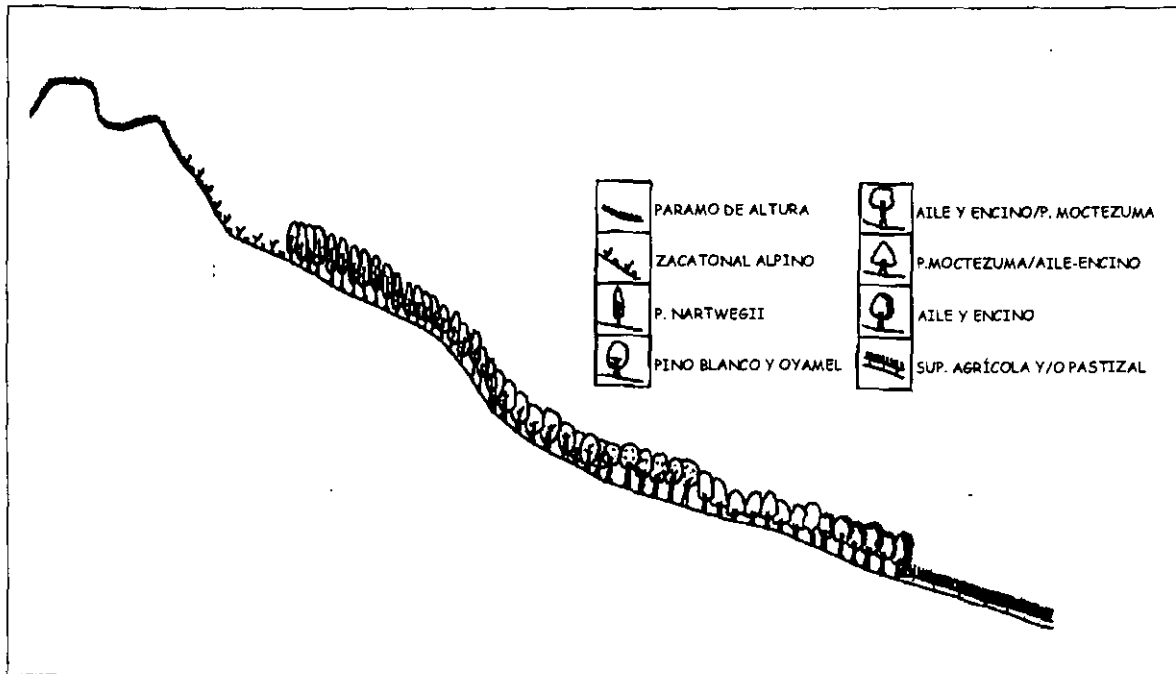


FIGURA 3.4 Distribución ideal de la vegetación en el flanco noreste.

### AGRICULTURA

Con referencia a las zonas agrícolas, se puede decir que la mayoría de éstas se caracterizan por responder a un régimen temporal en el cual se obtienen productos como maíz, frijol, papa y haba; existiendo pequeñas áreas en las cuales existe riego y se dedican a la floricultura.

La superficie de labor suma 7,342 hectáreas que han sustituido a una parte importante de la comunidad boscosa de origen, por lo que los suelos al agotarse con dicho cambio, poseen características de baja productividad y, al mismo tiempo se encuentran amenazados por erosión.

El cuadro 3.2 plasma la información del distrito agrícola que comprende a Toluca, en él se han marcado las cifras totales de las áreas de siembra y cosecha, así como el volumen de extracción y su significado comercial en pesos de acuerdo con los precios de venta de granos y semillas en los centros de abasto del Estado de México.

PRODUCTIVIDAD DEL DISTRITO AGRÍCOLA DE TOLUCA				
TIPO DE CULTIVO	SUPERFICIE DE SIEMBRA	SUPERFICIE COSECHADA	VOLUMEN DE EXTRACCIÓN/TON	VALOR EN MILES DE PESOS
Maíz Grano	142,844.00	142,451.00	613,690.30	919,419.41
Avena Forrajera	3,434.00	3,434.00	40,296.00	53,945.92
Papa	2,062.00	2,062.00	43,711.00	99,879.74
Haba Verde	1,094.00	1,094.00	6,248.00	13,618.54

FUENTE: GOBIERNO DEL ESTADO DE MÉXICO, 1997.  
SECRETARÍA DE AGRICULTURA GANADERÍA Y DESARROLLO RURAL, 1998.

CUADRO 3.2 Productividad del distrito agrícola de Toluca.

Se observa que para la zona de estudio la rentabilidad de cada hectárea desde el punto de vista de la producción, representa un comportamiento medio y en ocasiones alto, si se considera la media estatal de producción; y partiendo desde la óptica de las ganancias generadas por las cosechas, éstas aparentemente resultan altas; sin embargo, se ha denotado que las cifras emanadas de la actividad agrícola pudiesen considerarse pobres si es que se comparan con la información extraída de la actividad minera; hecho que se traduce en poca rentabilidad del suelo para fines agrícolas.

Otro factor observado que ha impulsado el cambio de uso de suelo, es el régimen de propiedad privada; hecho que resulta significativo si se considera que la venta o la renta de los predios, reditúa en ganancias más significativas para los dueños de las tierras; aunque en el mayor número de los casos, el capital no permanece en la fuente de trabajo.

## RECREACIÓN

Por razones inexplicables en nuestro país el turismo no se ha forjado como una de las actividades económicas que genere importantes dividendos a la economía local, aún cuando se conoce el potencial estético de su territorio. Los parques nacionales son el mejor ejemplo de desatención que se pueden mostrar, ya que éstos desde su base, contemplan de forma genérica la protección de especies y mejoramiento al medio ambiente, excluyendo su contribución a la economía.

El Nevado de Toluca ha sido objeto de trabajos recientes de investigación en los cuales se ofrecen propuestas y alternativas de uso recreativo, educativo y para el desarrollo del deporte de alto rendimiento.

En este sentido destacan los trabajos de Medina (1984), Mejía (1985), Moreno (1991), Morales (1993) y Ortiz y Archundia (1995); donde en los dos primeros se aborda el potencial recreativo que ofrece el Nevado para el desarrollo de actividades turísticas a partir de la creación de un centro vacacional; mientras que en los dos consecutivos, concibiendo al Parque Natural ofertan por una parte, condiciones para el desarrollo de la investigación científica y por otra, alternativas para el desarrollo regional. El último trabajo referido establece las formas idóneas para desarrollar campamentos de altura, mientras que el último trabajo referido, aborda la creación de senderos e infraestructura educativa.

En esta última referencia se lleva a cabo la zonificación para la utilización intensiva, extensiva de recuperación natural y de amortiguamiento por la práctica turística, sugiriendo la realización de actividades específicas como la regulación de actividades agropastoriles, la introducción de prácticas silvícolas y de mejoramiento del suelo.

Sin embargo en la práctica, según González (1986), la apertura del camino que lleva al interior del cráter del volcán, ha sido uno de los detonantes que han marcado el futuro del volcán desde hace 60 años, ya que esta vía ha permitido entre otras cosas el acceso a visitantes que lejos de contribuir al mantenimiento y conservación de los recursos, comportándose como agentes de contaminación y de extracción de especies nativas.

## TENENCIA DE LA TIERRA

Una de las situaciones que favorecen la problemática de dispersión y especialización de las actividades económicas es la forma de tenencia de la tierra; por ejemplo, las cifras que reportan superficies de ocupación de suelo tienden a ser diferentes conforme a las fuentes consultadas, a los criterios de clasificación y por tanto, al área total destinada a alguna utilización particular; de este modo, se puede encontrar diversas formas de tenencia como las ejidales, propiedad privada, propiedad comunal, zonas de litigio y áreas no identificadas.

Como se anotó al inicio del capítulo, el cambio social, económico y político generado y desarrollado en la zona de estudio es complejo y tiene sus primeros antecedentes a finales del siglo XVIII, donde ya las tierras de cultivo eran vendidas cuando en principio tenían una condición inalienable; dicha actividad se presentó en las "tierras repartidas por derecho común de los naturales" consolidando la existencia de la propiedad privada y el desarrollo del cacicazgo.

Los mecanismos de transferencia han sido diversos, ya que éstos de manera preferencial se daban por medio de la herencia; sin embargo, desde épocas prehispánicas y coloniales ésta se daba ya por medio de ventas, donaciones, permutas y arrendamiento entre otros sistemas no menos complejos.

La misma distribución de las tierras conforme a sus objetivos, presentaba una estructura lisa que en ocasiones, al ser deficiente en la consecución de metas particulares, se valía de otras formas de tenencia para soportarse; así por ejemplo, Loera y De Esteinou (1980) definen a través de fuentes primarias los siguientes tipos de tenencia de la tierra:

TIPOS DE TENENCIA DE LA TIERRA	
TIPO DE TENENCIA	CARACTERÍSTICAS GENERALES
Tierras colectivas al beneficio de la sociedad	Estas tierras generaban productos que en general se destinaban a subvenir los gastos públicos.
Tierras de cajas de comunidad	Eran de propiedad comunal, con las cuales los productos obtenidos eran destinados para sufragar gastos públicos, y en particular de asistencia social.
Tierras de gastos públicos	Era una extensión territorial de los Cabildos que se utilizaba para gastos de carácter público.
Tierras de cofradía	Con los fondos de los cultivos y los animales, proporcionaban contribuciones importantes a partir de una asociación colectiva que funcionaba en torno a una imagen.
Tierras de cofradías y de santos	Tierras dedicadas a la devoción de los santos e imágenes religiosas.
Tierras para el culto religioso	Eran tierras comunales denominadas Teotlallis, cuyo producto se destinaba para cubrir los gastos de las fiestas religiosas y la manutención de templos.
Tierras de santos de altares familiares	Generaban los recursos para la subsistencia de aquellos que mantenían a las "Casas de los Santos" que se encontraban en las viviendas, así como para el mantenimiento de éstas.
Tierras de uso común (de monte y pastos para la cría de ganado)	Dedicadas para la utilización de los pastos, madera y agua encontrada en el monte.

CUADRO 3.3. Tipos de tenencia de la tierra en tiempos pretéritos

De acuerdo con información de primera mano, no se tienen referencias de cambios, rentas o ventas de las tierras, lo que le daba un carácter inalienable; no obstante, se tiene conocimiento de la existencia de litigios entre los oriundos y las comunidades españolas que se extendían en buena parte de la zona para explotar madera y desviar el cauce de los ríos hacia las haciendas y los ranchos (Archivo del Comisariado Comunal de Calimaya, s/f).

Hoy en día, el matiz es diferente y el problema de la tenencia más complejo; instituciones como el Registro Agrario Nacional, la ahora desaparecida Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, el INEGI y PROTIBOS; así como algunos programas particulares como PROCEDE y PROCAMPO presentan en sus documentos datos estadísticos que en ocasiones tienden a ser diametralmente opuestos debido al traslape u omisión de algunos elementos de uso de suelo; por ejemplo, mientras la Protectora Industrializadora de Bosques considera como un elemento independiente al Parque Natural, en el cual se desarrollan

actividades propias como el turismo recreativo, el Registro Agrario Nacional por su parte no observa a esta unidad; siendo que a partir de esta institución gubernamental dependen los programas de apoyo económico para la producción de alimentos en el campo y, los relacionados con la entrega de títulos de solares certificados de derechos parcelarios a ejidatarios, con los cuales las superficies de labor adjudicadas a actividades agropastoriles, se modifican hacia la propiedad privada, con lo cual se abre el abanico para vender o rentar la propiedad al mejor postor.

Se observa que desde el punto de vista de la versión oficial existen dificultades en cuanto a la unificación de criterios, como es de suponerse, existen importantes problemas que se derivan de los cambios de utilización del suelo generados por los decretos, así como la utilización real que se practica en el lugar.

### **MODIFICACIONES DE LO AGRÍCOLA A LO INDUSTRIAL**

El Estado de México desde su creación desplegó una política en la cual el desarrollo industrial debería de marcar una línea de desarrollo, economía y bienestar social, por lo que la atención de las autoridades se enfocó a perfeccionar las instituciones e instrumentos que ayudarían a impulsar la industrialización del país (Anguiano, 1975).

Entre las medidas adoptadas por el Gobierno Federal para la consecución de objetivos a corto plazo se encuentran las acciones encaminadas hacia la Reforma Agraria, ya que por un lado, ésta podría garantizar un mejor nivel de vida para los campesinos mexicanos, mientras que éstos se convertirían en consumidores de productos manufacturados; y otra parte, sería integrada a la economía nacional como mano de obra.

De primer impacto, tanto las actividades comerciales como las industriales sintieron los efectos positivos de los cambios generados al interior de la política nacional, ya que la ampliación general del mercado trajo también una importante movilidad de la fuerza de trabajo hacia los centros de desarrollo industrial pactados, así como la mejora obligatoria de servicios.

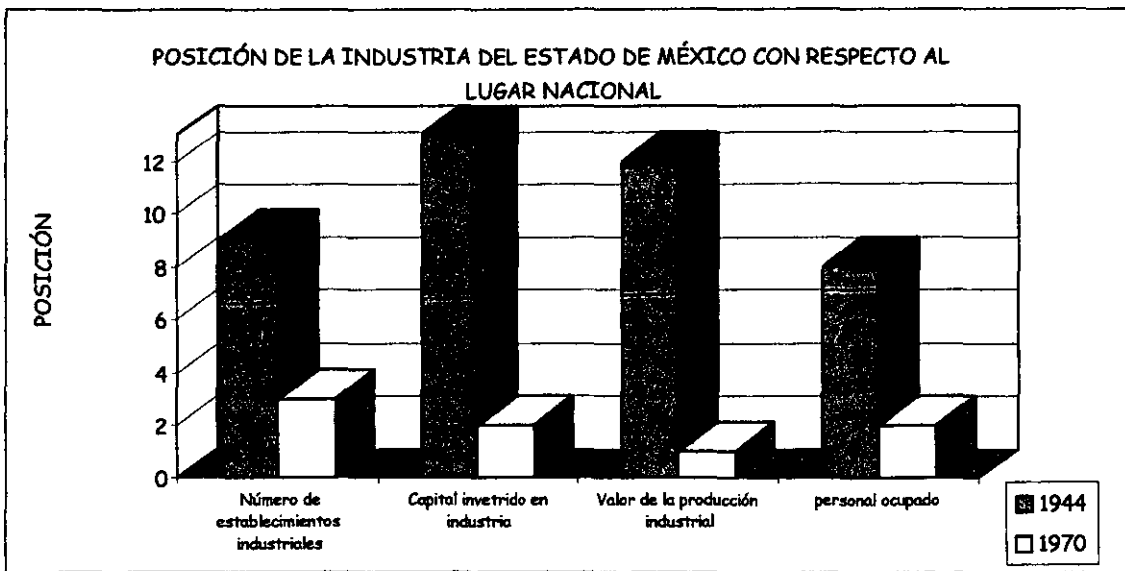
En la entidad referida, las acciones encaminadas al desarrollo industrial en el año de 1930, fueron ratificadas por los compromisos adquiridos en el Plan Sexenal del presidente Cárdenas, lo que a la postre figura como un antecedente fundamental para generar una transición de las actividades agrícolas hacia las industriales; y de hecho con este motivo, aparece en el ámbito estatal la legislación que favorece los cambios (Bejar y Casanova, 1970).

De acuerdo con los mismos autores a partir del año 1942, se induce el crecimiento industrial del Estado de México, el cual sin conciencia plena, se tradujo en que las actividades primarias

comenzaron un camino tendiente a la declinación económica, lo que implica la sustitución de éstas por otras más rentables.

De manera particular, el establecimiento de la industria dentro del valle de Toluca y en el área metropolitana de la Ciudad de México creó una condición especial referente a la dinámica de los insumos y los cambios en el campo y la industria del Estado; mientras que las políticas fiscales, la ubicación de centros industriales como los de Tlalnepantla, Naucalpan, Toluca y Cuautitlán, coadyuvaron a consolidar el proceso de cambio vigorizado a principio de la década de los años sesenta, y por lo tanto, e iniciar una fase de consolidación de actividades especializadas que hasta la fecha se presentan en la entidad federativa.

A modo de ejemplo, se presenta a continuación un cuadro comparativo en el cual se muestran algunas características de la industria del Estado de México y su posición en el ámbito nacional a partir del proceso de consolidación en 1944 y su evolución hasta el año de 1970, cuando se considera la consolidación definitiva del matiz económico y político del Estado.



FUENTE: CASAS Y ROJAS, 1998.

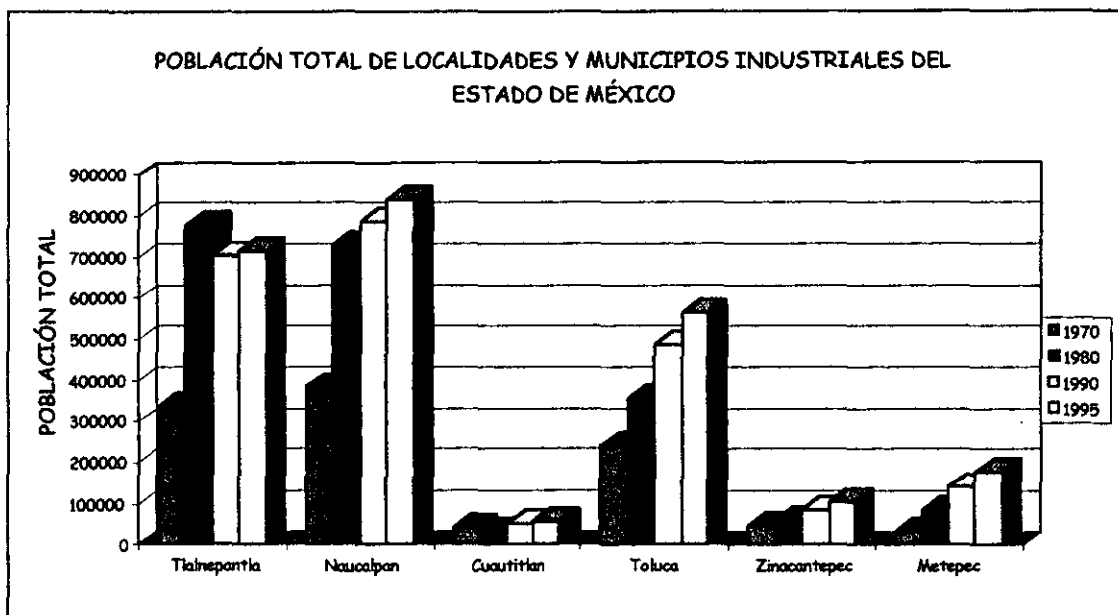
GRÁFICA 3.1 Caracterización de las actividades económicas prevaletientes en el Estado de México.

Como puede observarse en el cuadro anterior, se destaca el avance logrado por la entidad mexiquense en el campo de la industria; sin embargo, esta misma condición le ha llevado a tener que afrontar y resolver diferentes problemas generados por las nuevas prioridades emanadas del desarrollo, como es el caso de los servicios que debe proporcionar a la población que dedica su tiempo a las actividades industriales, y las relacionadas con las mismas.

Las cifras plasmadas en las tres primeras columnas sean significativas y alentadoras desde el punto de vista económico, no obstante que los datos registrados en la última columna, pueden jugar un papel ambivalente, ya que se podría interpretar como un importante proceso de especialización económica; o bien, que implican el crecimiento masivo y desordenado de los centros urbanos.

Cardoso y Martínez (1998) muestran que el desarrollo de las actividades secundarias dejan a su paso modificaciones importantes en el arreglo espacial de las ciudades, como lo es el intenso crecimiento de la población urbana en el Estado; destacando que para el año de 1963 el porcentaje de ocupación urbana registraba el 38%, mientras que para el año de 1995 esta cifra corresponde al 62%; es decir, un crecimiento del 24% en un período de tiempo corto.

Para comprobar y ratificar esta observación, se elaboró y a continuación se exhibe un cuadro donde se indica cual ha sido el crecimiento de la población en algunas de las entidades industriales más importantes del Estado, a fin de comparar los ritmos de crecimiento poblacional y de demanda de recursos y servicios.



FUENTE: SECRETARÍA DE INDUSTRIA Y COMERCIO, 1971, INEGI, 1984, 1990 y 1995.  
 GRÁFICA 3.2 Crecimiento de la población en la región.

Se puede apreciar que el rápido desarrollo de la industria en el Estado, así como el intenso ritmo de crecimiento de la población que se observa en las estadísticas del cuadro anterior, han coadyuvado a que cada día partiendo desde la década de los años treinta, se tenga la necesidad de contar con nuevos espacios para crear fuentes de empleo y localizar a los grupos

grupos de población; y sobre de ellos, crear la infraestructura adecuada y requerida para cada uno de los usos planeados.

Por ello, durante el proceso de urbanización de la ciudad de Toluca y de la expansión de los corredores industriales, se presentó un decremento de las actividades primarias; así, se tiene que la población en 1960 que se dedicaba a éstas representa el 63.3% del total del Estado; mientras que para el año de 1995, esta cifra disminuyó de forma drástica al 3.5%, lo que evidencia la priorización hacia el desarrollo, diversificación y expansión de las actividades secundarias y terciarias.

En consecuencia, el crecimiento de la ciudad de Toluca y la conurbación de los municipios de Metepec, Zinacantepec, Lerma y San Mateo Atenco, han heredado algunos problemas que se vinculan con el uso de suelo, ya que se han generado transformaciones radicales que han determinado la transformación de actividades propias como la agricultura, a secundarias de extracción y otras como los servicios.

Por su parte, el Plan Estratégico de la Ciudad de Toluca (Gobierno del Estado de México, 1990), subraya que el impacto socioeconómico registrado en los últimos 20 años ha provocado cambios sustanciales en algunas áreas de vocación agrícola, al desarrollarse nuevos asentamientos humanos de carácter urbano.

Entre una de las principales consecuencias que se han detectado al interior de esta dinámica, es que el cambio de uso agrícola al de extracción minera, permite entre otras cosas la explotación masiva de los bancos de préstamo, la inestabilidad de la infraestructura, la contaminación de mantos freáticos, utilización como ladrilleras, basureros y asentamientos humanos irregulares en las minas.

El origen de la explotación minera de materiales no metálicos (grava y arena) en el Estado se remonta a principios del siglo; sin embargo, la explotación se intensifica como resultado del desarrollo industrial, el crecimiento de la población ya citados y, el descubrimiento en el año de 1940 de yacimientos productivos localizados en porciones territoriales rentables en el municipio de Metepec, Toluca y Calimaya; y es en el flanco noreste del Nevado de Toluca donde se encuentran las fuentes de abastecimiento de materiales para la construcción de alta calidad que han satisfecho las necesidades de áreas industriales, urbanas y rurales de la entidad.

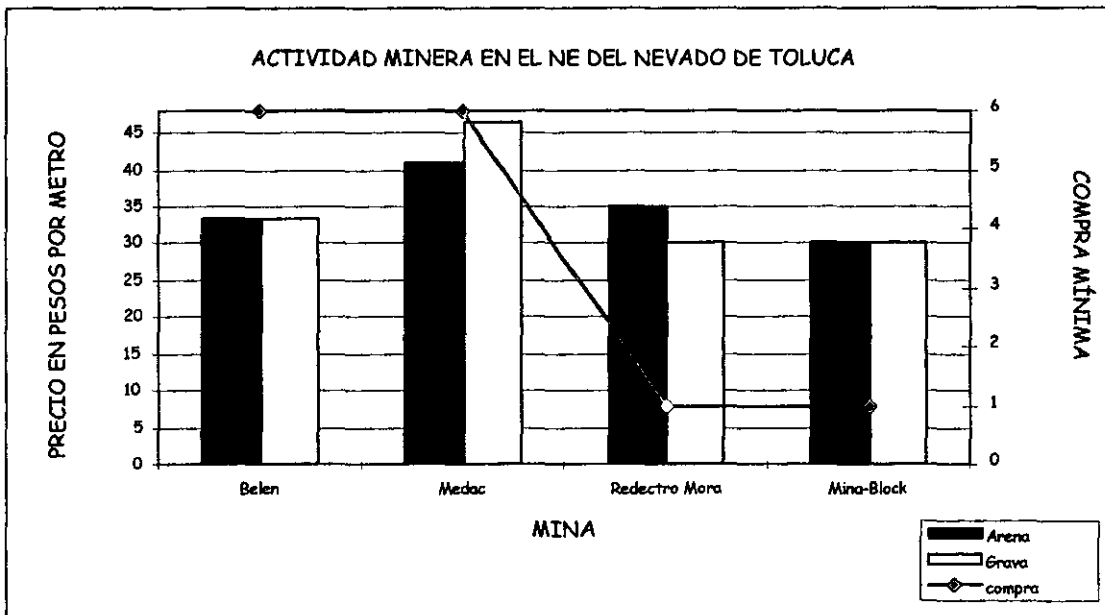
A modo de ejemplo tomándose a Calimaya de modelo, de acuerdo con Robelo *et.al.* (1966) al analizar su raíz etimológica, ésta nos hace reflexionar que desde tiempos precoloniales ya existía por lo menos el concepto de la utilización del recurso mineral; los significados más aceptados encontrados hasta ahora definen que la voz establece "hacer algo exteriormente", "lugar en el que se fabrican casas" o "en donde hay albañiles".



Un factor que sin duda alguna ha favorecido el desarrollo de la minería en la base y piedemonte del volcán es la baja rentabilidad de los cultivos y a la tenencia de la tierra predominante del lugar.

Por principio de cuentas, posterior al desmonte y al desarrollo de actividades de extracción forestal, el área ha sido utilizada para cultivar productos como el maíz, el chícharo, el haba y el frijol; sin embargo, las condiciones físico-geográficas del sitio y en particular las de abasto que se circunscriben a las del mercado y el autoconsumo, han provocado que la rentabilidad de los cultivos se comporte de manera oscilante y con tendencia a la baja en cuanto a la productividad de biomasa por unidad de superficie y, en cuanto a las ganancias generadas por hectárea al año.

Por su parte, las ganancias generadas por las actividades extractivas son de importancia comercial, ya que los precios del material comercializado por lo general se cotizan en un nivel alto, debido a que éste es considerado de buena calidad; en el cuadro 3.5 se señalan a sólo cuatro de las minas más productivas y representativas de la región, en el cual, se registra el precio que se ofrece al público por cada metro cúbico de arena y grava; así como, la venta mínima que se realiza en cada caso; de hecho, las condiciones de los materiales que se extraen ha permitido que para fechas recientes, la venta de éstos no se restrinja a la entidad mexiquense; sino que ésta se exporta también a estados vecinos como Querétaro, Michoacán, Morelos, Hidalgo y al Distrito Federal (gráfica 3.3).

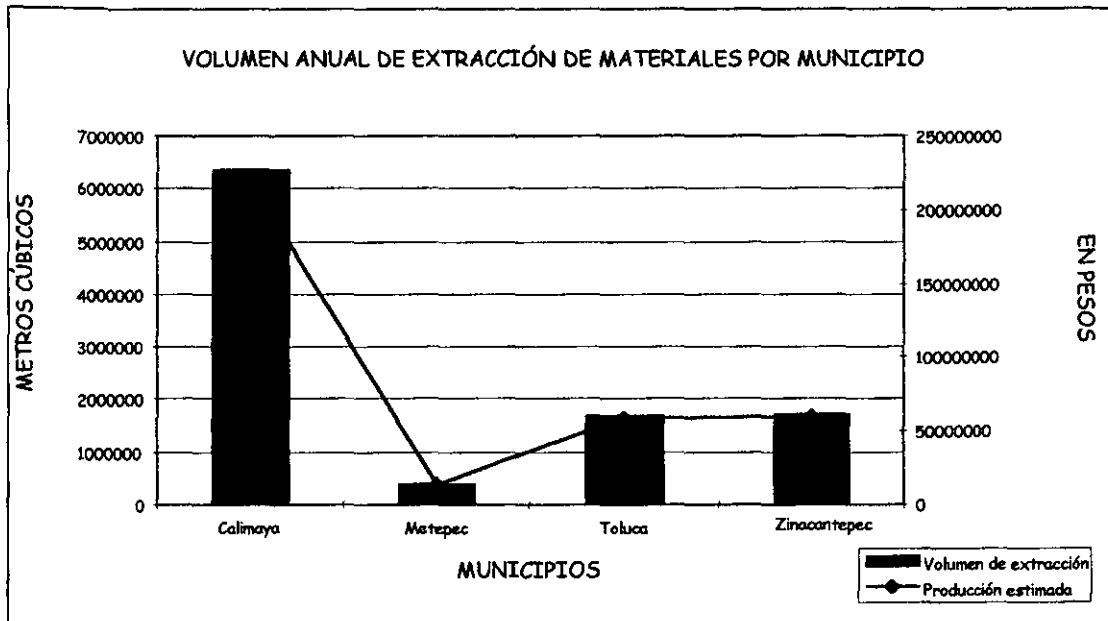


GRÁFICA 3.3 Caracterización de la actividad minera por sector y venta.



FIGURA 3.5 Mina de arena localizadas en el municipio de Calimaya.

La investigación documental y de campo confirmó que la extracción de materiales para la construcción es intensiva, desde hace varios años, muestra de ello es el cuadro 3.6 en el cual se puede apreciar el volumen "oficial" de extracción para la ladera en cuestión.



FUENTE: GOBIERNO DEL ESTADO DE MÉXICO, 1997.

GRÁFICA 3.4 Volúmenes de extracción de materiales para la construcción.

Las ganancias que se reconocen para la minería no metálica del NE del Nevado dejan por detrás a las obtenidas de las actividades agrícolas, representando con ello, un factor de cambio de uso de suelo y de dinámica geomorfológica; además el número y la localización de las minas; así como, los volúmenes de extracción indican las áreas donde la actividad es más intensa y por tanto las modificaciones al medio más evidentes (mapa 3.1); una muestra de ello es la concentración de la extracción como se muestra de la siguiente manera:

MATERIALES EXTRAIDOS DE LAS MINAS POR MUNICIPIO					
MUNICIPIO	ARENA Y GRAVA	TEPOJAL (PÓMEZ)	ARCILLA	TEPETATE	TEZONTLE
Calimaya	X	X			X
Metepec	X		X	X	
Toluca	X				
Zinacantepec	X				X

FUENTE: GOBIERNO DEL ESTADO DE MÉXICO, 1997.

CUADRO 3.4 Tipo de material extraído de las minas en el noreste del Nevado de Toluca.

El cuadro 3.4 exhibe que los materiales extraídos se constituyen por arena, grava y pómez, ello de acuerdo con las capas de sedimentos volcanoclásticos emanados de las erupciones pasadas del Nevado; sin embargo, existe un problema detectado en cuanto a la extracción de tepetate; ya que si bien desde la perspectiva oficial es reportado en un sólo municipio, éste material es común y observable en los afloramientos de los escarpes disectados por las corrientes fluviales.

## CONSERVACIÓN DE RECURSOS

Sostener el régimen hidrológico; evitar la erosión de los terrenos en declive; mantener el equilibrio dinámico y conservar los recursos forestales y biológicos de las comarcas vecinas al volcán; son los objetivos del decreto de 1936 en el cual el Nevado de Toluca a partir de los 3,000 metros de altitud se convierte en Parque Nacional; un año después una sensible modificación a estos límites traza la línea de conservación mil metros más arriba, creando entre las dos cotas referidas un espacio concebido como Reserva Forestal Nacional.

Las funciones del flamante parque se centraban por una parte en la necesidad de conservar la vegetación y la fauna silvestre, pues presentaba un museo vivo de especies (CEPANAF, 1993); asimismo, se podría explotar el recurso maderable desde el punto de vista estrictamente "racional", en función de las necesidades de subsistencia de los núcleos de población y trabajadores del lugar.

La administración del parque recae en dependencias como la Comisión Estatal de Parques Naturales y de la Fauna, corporación subordinada a la Secretaría de Ecología del Gobierno del Estado de México, en la Secretaría de Desarrollo Social, en Ejidatarios y en la Secretaría de Pesca; sin embargo, en el terreno de lo posible, únicamente se administra con poco personal de la primera institución y ejidatarios de San Juan de las Huertas, localizados al Norte del volcán.

A pesar de las ideas de conservación y el aparente ejercicio de administración de los recursos que practican las instituciones anteriormente referidas, queda claro al revisar la documentación oficial concerniente al Nevado de Toluca y a otros parques nacionales que los responsables de este tipo de actividades no tienen una visión clara y profunda de la situación real y la problemática que enmarca a las áreas protegidas; de hecho, los documentos oficiales en un párrafo describen situaciones ideales de utilización del suelo basadas en el empirismo; el uso actual que se le proporciona y, ciertas recomendaciones que se expresan fuera de los objetivos de los parques; ejemplo de ello es el siguiente párrafo tomado textualmente de la Propuesta para el Sistema Estatal de Áreas Naturales Protegidas (1994) emanada de la Secretaría de Ecología del Gobierno del Estado de México.

"Los suelos de estas altas montañas son apropiados para el desarrollo y aprovechamiento racional de uso forestal, sin embargo el valle es empleado para la agricultura de temporal, principalmente de papa seguida de maíz, trigo, frijol, avena y haba. En cambio los pastizales inducidos en algunos pequeños valles son utilizados para el uso pecuario, el cual es más aceptable para la protección del suelo pero siempre y cuando no sea excesivo".

Así, en el ámbito nivel estatal y nacional se denota que no existen criterios que converjan en la definición y la conceptualización de las Áreas Naturales Protegidas; de hecho, las ideas manifiestas resultan diferentes en Sistema Nacional de Parques, en la Ley de Protección al Ambiente del Estado, en la Ley de Parques Estatales y Municipales y por supuesto en los Planes Nacionales de Desarrollo creados a partir del año 1982; en donde las categorías de clasificación de los parques oscilan entre 2 y 10 unidades de utilización de acuerdo con la "Vocación Natural" del parque.

En conclusión, esta situación es permisiva y multinivelada de acuerdo con la escala, reflejando particularmente en el Nevado de Toluca la falta de sistematización del área, generando con ello continuas sobreposiciones territoriales y por tanto un manejo y administración confuso e impreciso.

A modo de ejemplo, el cuadro siguiente presenta las variables contenidas y excluidas del Parque Natural Nevado de Toluca en dos documentos oficiales de la Comisión Estatal de Parques Naturales y de la Fauna que distan en su elaboración de un período de tres años.

VARIABLES OBSERVADAS EN LA ZONA DECRETADA COMO PARQUE NACIONAL							
DOCUMENTO CEPANAF	SUPERFICIE TOTAL	SUPERFICIE PROTEGIDA	ALTITUD	TENENCIA DE LA TIERRA	FAUNA PROTEGIDA	VEGETACIÓN	USO DE SUELO
1993	53,890 hectáreas	V/E	3000	V/E	Teporingo, rata de campo, ratón de montaña y tuza	Zacatonal alpino, bosque de Oyamel, Pino-Encino, Pastizal Inducido y Bosque Mesófilo de Montaña.	V/E
1996	51,000 hectáreas	1,000 hectáreas	3600	Ejidal	Coyote, conejo, tlacuache, zorrillo, halcón, aves, trucha, tejón, hurón reptiles	Pináceas, encinos, vegetación bosque húmedo.	Preservación ecológica, recreación y turismo

V/E. Variable Excluida

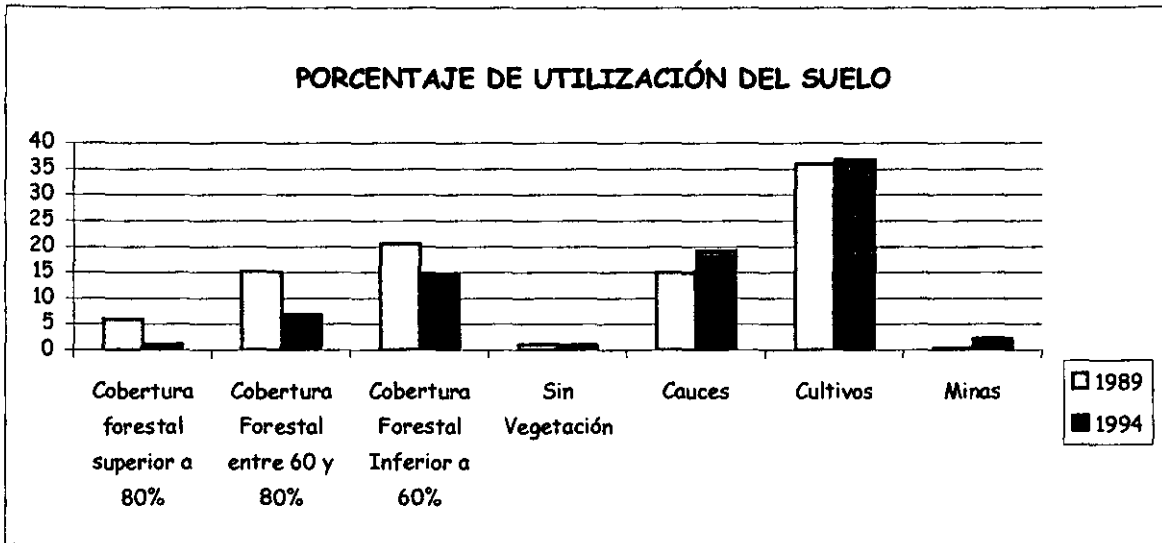
FUENTE: CEPANAF, 1993, 1996.

CUADRO 3.5 La imprecisión en los documentos oficiales.

Los objetivos del Sistema Estatal de Áreas Naturales Protegidas se centran en conservar y proteger el medioambiente y los recursos, sin embargo, parece ser que este tipo de prioridad es secundaria, aunque se ha planteado el ordenamiento de áreas existentes estableciendo políticas de manejo y aprovechamiento conforme a la clasificación del parque, aunque se siguen reconociendo como los principales problemas:

- La permanencia de diversidad biológica
- La tala clandestina
- El control del uso de suelo
- La erosión y la pérdida de agua
- Los incendios asociados al pastoreo descontrolado

Finalmente, a continuación se presenta la gráfica 3.5 en la cual se puede advertir las tendencias actuales de modificación de la utilización del suelo en la porción nororiental del Nevado de Toluca.



Gráfica 3.5 Utilización del suelo en los años 1989 y 1994.

Este gráfico indica las tendencias que se presentan en la actualidad con referencia al cambio en la utilización del suelo, la información aquí concentrada representa una pérdida importante de la cobertura vegetal desde los puntos de vista de la superficie de ocupación, así como de la densidad de la cubierta de la misma; y el aumento progresivo de cauces, áreas destinadas al cultivo, pastoreo y la minería, implicando con ello la generación de infraestructura que permite el desarrollo de las actividades económicas ahí desarrolladas, sin que ello signifique que esta manifestación antrópica goce de tecnología o métodos de prevención encaminados hacia la conservación del sitio sobre el cual se emplazan.

## **CAPITULO IV**

### **LA LADERA NORESTE DEL NEVADO DE TOLUCA**

“COMO CIENTÍFICOS, MUCHOS DE NOSOTROS HEMOS TENIDO PROFUNDAS EXPERIENCIAS DE ADMIRACIÓN Y REVERENCIA ANTE EL UNIVERSO. CREEMOS QUE AQUELLO QUE SE CONSIDERA SAGRADO TIENE MÁS PROBABILIDADES DE SER TRATADO CON RESPETO Y DESVELO. LOS ESFUERZOS POR SALVAGUARDAR Y PROTEGER EL MEDIO NATURAL NECESITAN VERSE IMBUIDOS DE LA VISIÓN DE LO SAGRADO. AL MISMO TIEMPO, SE REQUIERE UNA COMPRENSIÓN MÁS AMPLIA Y PROFUNDA DE LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA. SI NO ACERTAMOS A VER EL PROBLEMA, DIFÍCILMENTE PODREMOS RESOLVERLO.”

CARL SAGAN



CAPITULO IV




LA LADERA NORESTE DEL NEVADO DE TOLUCA

SISTEMA DE DRENAJE

Se reconoce la formación y la relación de un sistema lacustre que recibe los aportes de la cuenca alta del río Lerma a través de los escurrimientos superficiales y subsuperficiales; el sistema lacustre referido se encuentra conformado por algunos cuerpos de agua naturales como el de Almoloya, Texcaltengo, Alta Empresa, Chimaliapan y San Bartolomé entre otros; así como a algunas presas importantes como la Antonio Alzate.

La porción oriental del Nevado de Toluca posee desde la perspectiva fluvial un comportamiento muy variado en función del trazado de la red de drenaje; éste se clasifica con cierto orden, del norte hacia el NE en un cuadrante de 45° como dendrítico y el resto de la porción volcánica en estudio hacia el Este, como un sistema asimétrico de características pectiniformes que en algunos casos son representadas con mayor precisión; todos ellos formando parte de la cuenca alta del Lerma.

Se observa sobre toda la ladera la diferenciación de las cabeceras de los cauces de los arroyos, así como un importante proceso de asimetría de valles, en el primer caso, se clasifican tres tipos de cabeceras:

a. Cabecera semi-recta y recta	
b. Cabecera semicircular arborescente	
c. Cabecera en forma de punta de flecha	

El primer grupo de ellas se localiza en las porciones más altas del Nevado dando origen a corrientes fluviales extensas de primer orden; la morfología de este tipo de cabecera se encuentra asociado a procesos de origen glaciar, es decir, que se reconocen antiguas formas heredadas de las glaciaciones pasadas; que fueron marcadas sobre la estructura exterior del cráter, ya que como se recordará, aunque fueron formados algunos circos durante la ocurrencia de la serie MI y MII, de mayor importancia fue el desarrollo de valles con fondo semiplano y morfología de "U", los cuales encontraban sus cabeceras por encima de los 4,000 metros.

El segundo grupo de ellas, presenta una morfología más típica o común que se asocia a procesos de remoción y transporte de sedimentos; esta afirmación se basa en la distribución física de las mismas, ya

que como se podrá observar en la carta de sistemas de drenaje (figura 4.1), a éstas sólo se les localiza sobre el piedemonte superior e inferior de la ladera noreste; su presencia y disposición territorial nos permite inferir que los procesos erosivos fluviales de destrucción de tierras es importante, a pesar de que la morfología general de esta sección del estratovolcán es convexa.

El último grupo que presenta una forma en punta de flecha, se podría clasificar en dos grupos si se considera la escala en la cual son observados, en un primer caso; a nivel regional esta morfología es muy escasa y se encuentra ubicada hacia el norte en la porción que comprende al piedemonte superior; es probable que este tipo de cabecera represente las condiciones ideales para el desarrollo de un sistema de escurrimiento homogéneo en el cual las condiciones litoestratigráficas lo son también; empero, su número escaso nos indica por una parte que si bien se han dado las condiciones de erosión natural sobre la ladera; es la porción septentrional la que se encuentra en mejor estado de conservación desde el punto de vista erosivo, en comparación con la sección oriental del Nevado.

Esta forma de cabecera se logra observar también sobre algunos cauces muy particulares, y de forma contraria a lo expuesto líneas arriba, son una evidencia de la intensa disección vertical ocurrida alrededor de los 3,400-3,200m. en el NW y E; asociándose a caminos de saca mal trazados y predispuestos sobre materiales pumíticos deleznales.

Del sistema de localización y trazado de la red fluvial, se apuntan elementos de particular interés como lo son la combinación continua de cabeceras a lo largo de una misma cuenca, indicando con ella la diferenciación natural de los procesos que en esta se pueden presentar; en este orden de ideas, se establece que la mayor parte de escurrimientos que nacen desde el cráter y los que se distribuyen a lo largo del norte, presentan los tipos semirecto y semicirculares amplios, partiendo a niveles inferiores de altitud en corrientes de primer orden, las cuales se caracterizan por poseer longitudes amplias que en el mayor número de las veces sobrepasan los 5 km. de largo, hecho fundamental que indica por una parte el control de los escurrimientos por el sistema de lineamientos NW-SE que domina en la región y, el reconocimiento de los antiguos valles glaciares y fluvio-glaciares sepultados por las últimas erupciones del Nevado, como en el caso de los arroyos Terrerillos, Caballero, Cano, Agua Bendita, y Ojo de Agua.

La combinación de cabeceras se presenta sobre la zona del piedemonte, y de manera particular en la sección inferior localizada por debajo de los 3,200 m. donde, el sistema de drenaje reconoce a cabeceras activas en formas semicirculares y arborecentes que dan origen a escurrimientos de primer orden de corta longitud en comparación con los primeros, ya que la mayoría de estos poseen longitudes de 500 metros a 1 kilómetro dando origen inmediato a escurrimientos de segundo orden, caracterizados también por ser cortos y seguir un patrón de comportamiento más o menos similar a las corrientes que les dan origen, para dar paso a la formación de corrientes de tercer orden en una franja altitudinal relativamente estrecha.

Es claro que esta dinámica es una evidencia de procesos erosivos más concentrados y puntualmente localizados; es decir, que el comportamiento lineal de los elementos fluviales en el sector oriental es muestra fehaciente del modelado intenso tanto de los cauces como de las vertientes, de hecho, la

proximidad encontrada entre las subcuencas de los ríos Agua Bendita, Ojo de Agua y los que cruzan Calimaya muestran la posibilidad para desarrollar procesos de captura de cuenca, además de que algunas de estas corrientes tienden a generar una forma auvada en la cual parten desde un punto próximo, se alejan entre sí envolviendo a otros cauces y se encuentran formando escurrimientos de un orden mayor; es notorio en la red, que los afluentes llegan casi siempre de forma paralela a los cauces principales, indicando parte del control ya mencionado.

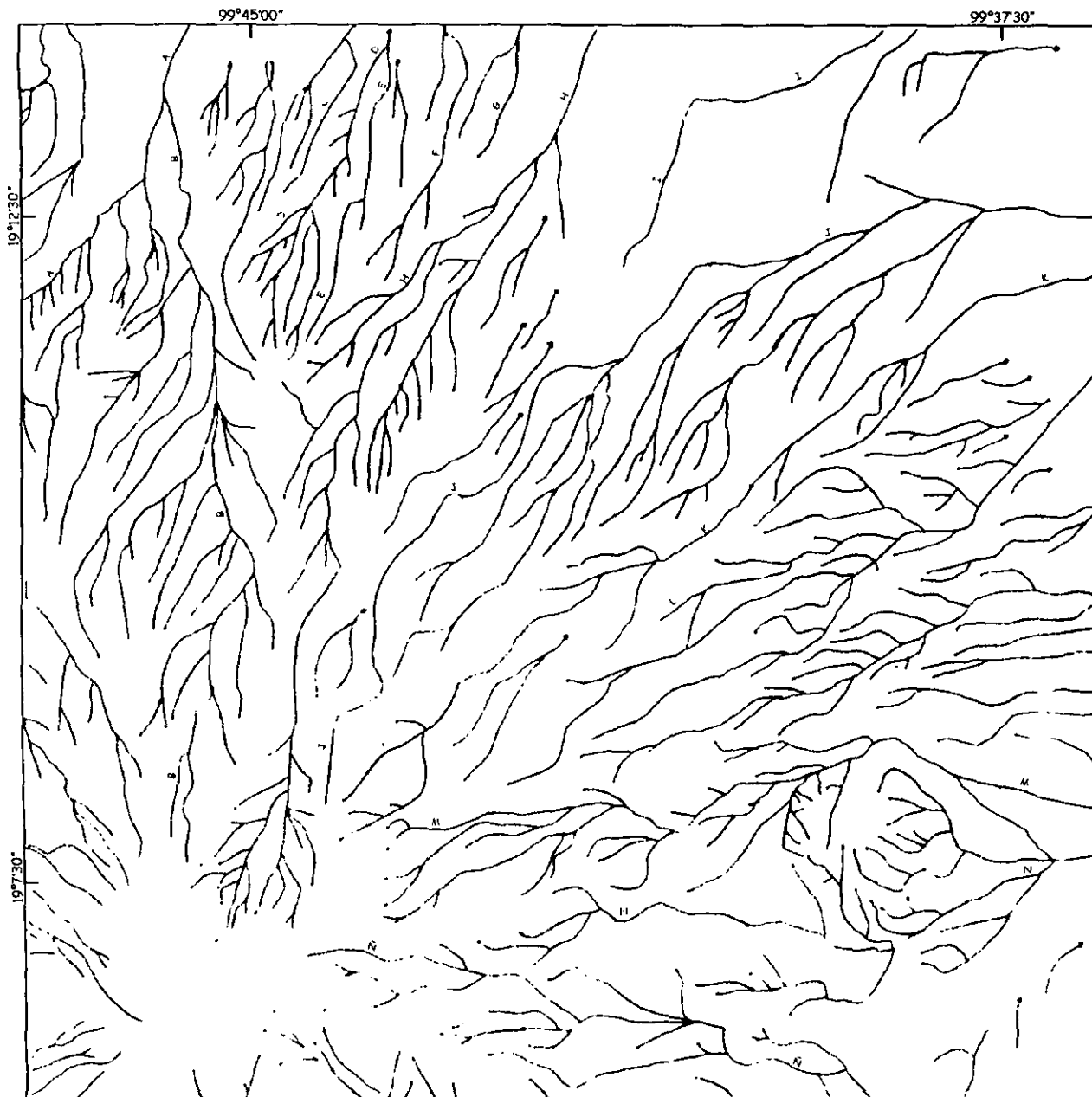
En el cuadro 4.1 se pueden observar las cuencas y subcuencas que encuentran su origen sobre la ladera noreste del Nevado, las cuales pertenecen al sistema tributario del Alto Lerma (Carta de Sistemas de Drenaje).

CUENCAS TRIBUTARIAS DEL ALTO LERMA CORRESPONDIENTES AL NEVADO DE TOLUCA			
Cuenca Tributaria	Clave Particular	Cuenca Específica	Superficie (En Hectáreas)
12 Aa 01	03	Santiaguito	10,950
	04	El Zaguán	
	05	Las Cruces	
12 Aa 04	01	Las Palmas	14,397
	02	Ojo de Agua	
	03	Zacango	
	04	Agua Bendita	
	05	El Arenal	
12 Aa 05	01	Cano	9,627
	02	Verdiguel	
	03	Caballero	
12 Aa 07	01	Terrerillos	25,961
	02	La Fábrica	
	10	Cuchilla	

FUENTE: GOBIERNO DEL ESTADO DE MÉXICO, 1993.

CUADRO 4.1 Sistema de cuencas que conforman al curso del alto del Lerma.

Por lo que respecta a la asimetría de valles, este es un proceso poco estudiado en el país, Palacio (1988) ha indicado su presencia en el arroyo El Zaguán en el Nevado de Toluca y, Ortíz (1985) lo ha estudiado como el resultado de procesos morfogenéticos del relieve en el Sistema Volcánico Transversal; y es este autor quien en su ensayo establece las posibles causas de este fenómeno sobresaliendo entre ellas el efecto desviatorio de Coriolis, a la tectónica generadora de bloques basculantes, a las diferencias litológicas dadas dentro de un mismo cauce, a la influencia de estructuras disyuntivas, el control estructural de valles y a la diferente resistencia de los materiales que componen las rocas de los mismos entre otros.



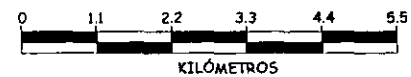
UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

**MAPA DE DRENAJE  
EN LA LADERA NORESTE  
DEL NEVADO DE TOLUCA**

**NOMBRE DE LOS ARROYOS**

- A.- ARROYO TEJALPA
- B.- ARROYO TERRERILLOS
- C.- ARROYO SAN MIGUEL
- D.- ARROYO TATA MERCED
- E.- ARROYO LA CUCHILLA
- F.- ARROYO CABALLERO
- G.- ARROLLO VERDIGUEL
- H.- ARROYO CANO
- I.- ARROYO ARENAL
- J.- ARROYO AGUA BENDITA
- K.- ARROYO ZACANGO
- L.- ARROYO OJO DE AGUA
- M.- ARROYO LAS CRUCES
- N.- ARROYO EL ZAGUÁN
- Ñ.- ARROYO CIÉNEGA

ESCALA 1 : 110 00



FUENTE: CARTAS TOPOGRÁFICAS E14A47 Y E14A48, INEGI 1990.

El proceso de modelado asimétrico en los cauces del Nevado es evidente en todos ellos y en diferentes proporciones; aunque en ocasiones resulta más notable en algunos torrentes, lo que prevalece como común denominador es la presencia de valles en los cuales la margen derecha presenta pendientes que oscilan entre los 45° y 90° exponiendo longitudes estrechas; toda vez, que las porciones siniestras de los mismos tienden a ser más suaves, de mayor longitud y por lo tanto, con un menor número de escurrimientos en comparación con la margen frontal. Las razones de la formación de valles asimétricos giran en torno a la diferencia de resistencia de los materiales que constituyen a las vertientes de los cauces, siendo la más débil la porción derecha de los cauces, así como a las diferencias encontradas durante el proceso de socavación lateral de las márgenes (figura 4.1).

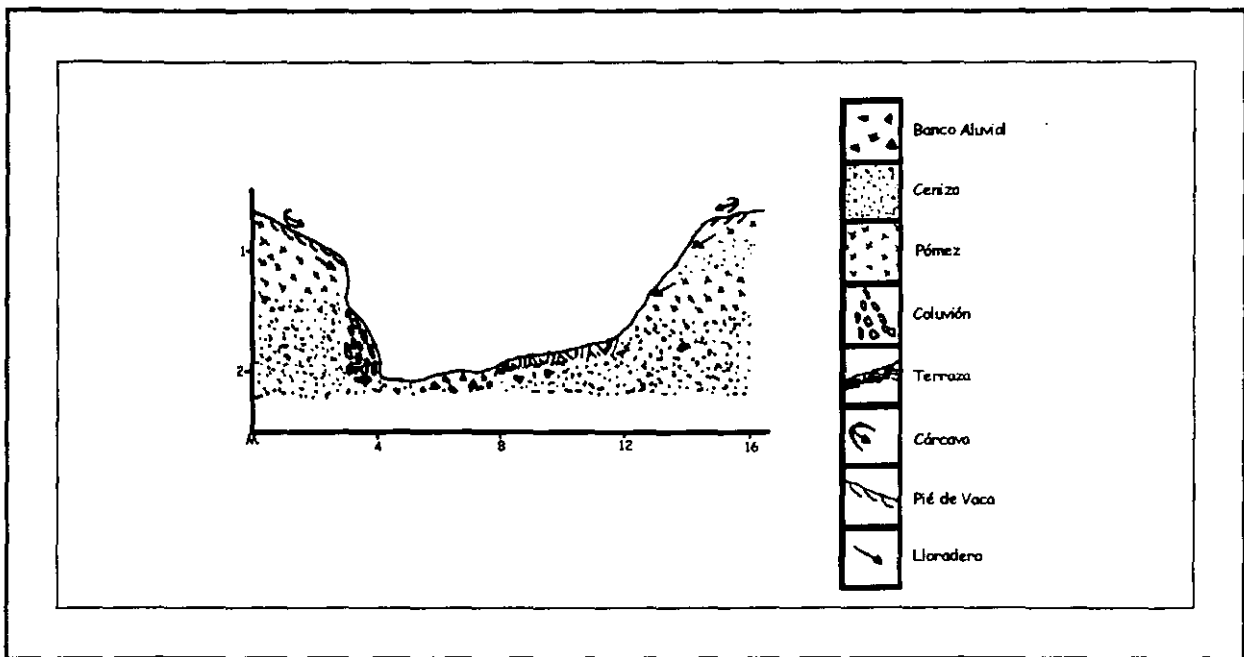
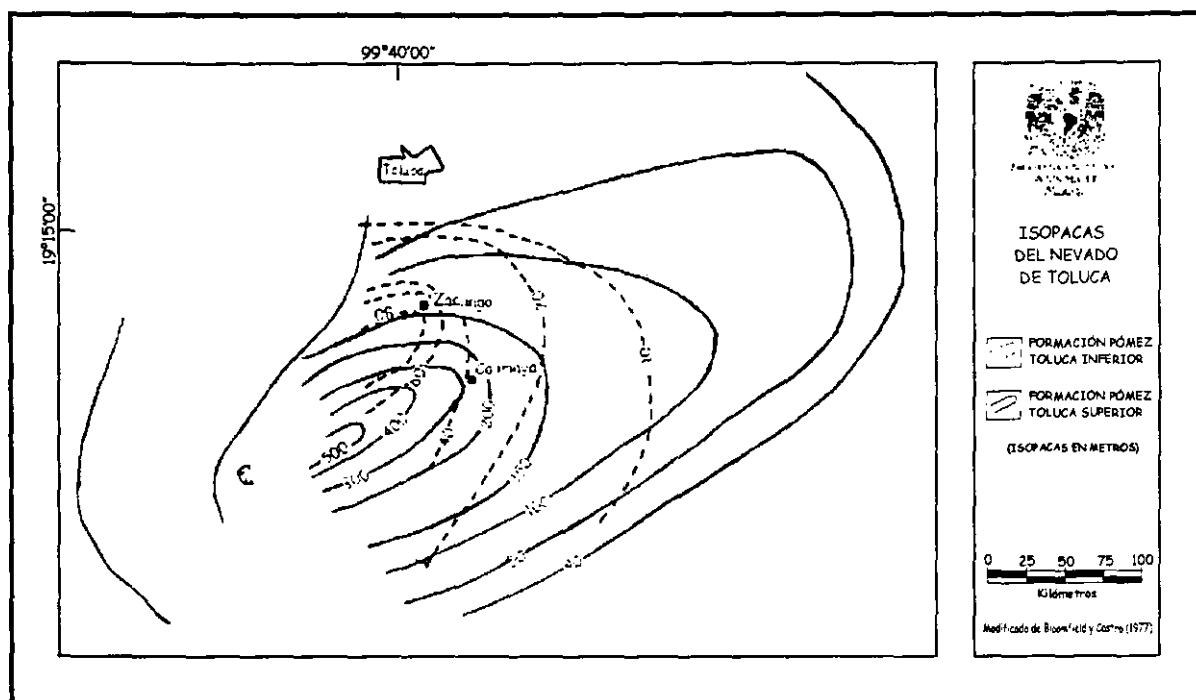


FIGURA 4.1 Perfil asimétrico del arroyo Cano.

La diferencia de los materiales constituyentes se debe al proceso eruptivo del Nevado en sus dos últimas fases plinianas; ya que como se sabe, si bien la dirección del flujo de la Formación Pómez Toluca Inferior tuvo una dirección ENE; y la de la Formación Pómez Toluca Superior fue dirigida al NE; ambas erupciones concentraron el mayor volumen y espesor de sedimentos pumíticos hacia el E; si se analizan las isopacas de Bloomfield y Valastro (1977) se podrá apreciar que la separación de estas isolíneas presentan valores más altos hacia esa dirección (figura 4.2).



FUENTE: BLOMFIELD Y VALASTRO (1977).

FIGURA 4.2 Isopacas de la Formación Pómez Toluca Inferior y Formación Pómez Toluca Superior.

Otra posible razón de la asimetría de los valles, a nivel de hipótesis, podría estar sustentada como una evidencia de un comportamiento anormal desde el punto de vista neotectónico; ya que existen algunas evidencias y pocas referencias de un movimiento disyuntivo lateral izquierdo sobre la ladera en cuestión, el cual podría encontrarse conectado con un sistema de alineamientos que se han detectado desde la ciudad de Toluca y que se extiende hacia el norte del mismo volcán intersectando a los sistemas de los ríos Cano y Verdiguél.

Dicho movimiento, podría provocar un aumento en el proceso de la disección asimétrica del relieve; empero, se requiere de un estudio más específico en esta materia a fin de comprobar el supuesto.

En el cuadro 4.2 se muestra el coeficiente de los escurrimientos superficiales del Nevado, en el cual puede advertirse que la localización de la concentración de los flujos hídricos refiere a la sección baja del pedimento del volcán; donde se encuentra la mayor concentración de problemas como la erosión intensa y la ubicación de minas y centros de población.

COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL, NEVADO DE TOLUCA		
ALTITUD	PORCENTAJE	ISOTERMA
4,400-4,000 metros	20%-30%	2°-6°
4,000-3,200 metros	0.0%-5%	6°-11°
3,200-2,600 metros	10%-20%	11°-12°

FUENTE: GOBIERNO DEL ESTADO DE MÉXICO, 1993.

CUADRO 4.2 Valores porcentuales de los aportes de las cuencas.

Por lo que respecta al sistema de infiltración y el flujo subterráneo, se establece que éste ha tenido que cambiar en las últimas décadas, ya que si se observan los datos plasmados en el capítulo anterior donde se hace referencia a la utilización del suelo desde la época colonial y de manera particular en los últimos treinta años, es fácil reconocer en las variables utilizadas en los mosaicos aerofotográficos, que si bien la superficie forestal disminuye su extensión y sufre cualitativa y cuantitativamente modificaciones en cuanto a su distribución, ecotonos, y dosel entre otros aspectos; toda vez, que las áreas de los cauces se incrementan así como las de caminos y zonas antropizadas; los flujos hídricos a pesar de contar con un sustrato geológico permisible a la infiltración, los cambios citados denotan que al ocurrir precipitación intensa, las condiciones dominantes del entorno favorecen más al escurrimiento superficial y en menor proporción favorecen la infiltración.

Esta situación aqueja problemas de subsidencia localizados sobre la planicie adyacente al volcán; donde, la disminución de agua en los mantos ha propiciado el desarrollo de grietas de desecación y hundimientos de suelo; al norte de Cacalomacán y en el sector oriental del municipio de Metepec se han encontrado evidencias importantes de este proceso; para el primer caso, en una porción territorial preparada para fines urbanos, la cual a pesar de no contar con infraestructura desarrollada, denota ya procesos diferenciales de hundimiento, (figura 4.3) mientras que para el segundo caso, aunque se encuentra más alejado que el primero y su dinámica parece ser más compleja, el proceso de subsidencia registra un ritmo de por lo menos 7 cm. anuales; sin embargo, como la región aún cuenta con un predominio agrícola, es difícil observar el proceso.



FIGURA 4.3 Traza de un futuro asentamiento humano localizado a 5 kilómetros de Cacalomacan; se advierte el proceso de subsidencia.

A nivel local, lo que aparentemente juega un papel importante en el proceso de filtración del agua, en la realidad se exhibe como uno de los principales problemas de la zona; y esto es debido a que la pómez que sobreyace a la superficie de la ladera noreste es la causa principal de la filtración del agua; los desequilibrios generados por la utilización del suelo, la profundización y ensanchamiento de los cauces, y la presencia de estratos impermeables en las vertientes como duripanes y tepetates, han provocado en su conjunto que la mayor parte de los escurrimientos en los interfluvios tengan un carácter subsuperficial, en el cual, los flujos hipodérmicos alcanzan a lograr sistemas complejos de ramificación y coalescencia de lloraderos; estos últimos llaman la atención por su tamaño y distribución, ya que lejos de presentarse como elementos aislados o poco comunes, su presencia masiva indica una dinámica que posee fuertes flujos de agua que transportan importantes cantidades de sedimentos.

De acuerdo con cifras oficiales en los últimos veinte años se han observado pérdidas importantes del flujo de agua subsuperficial estimándose descensos de los mantos freáticos entre 20 y 30 metros; y a partir de la extracción del recurso, actividad que coadyuva en el proceso de subsidencia se ha registrado un descenso anual del manto entre 1.0 y 1.5 metros al año (Gobierno del Estado de México, 1993).

Con ello y con base en la misma fuente de referencia, se tiene que la profundidad del nivel estático del agua del Nevado en la porción noreste se localiza próximo a los 70 metros de profundidad, aportando un total de  $101 \text{ mm}^3/\text{año}$ ; es decir, un 33.7% de la cuenca alta del Lerma.



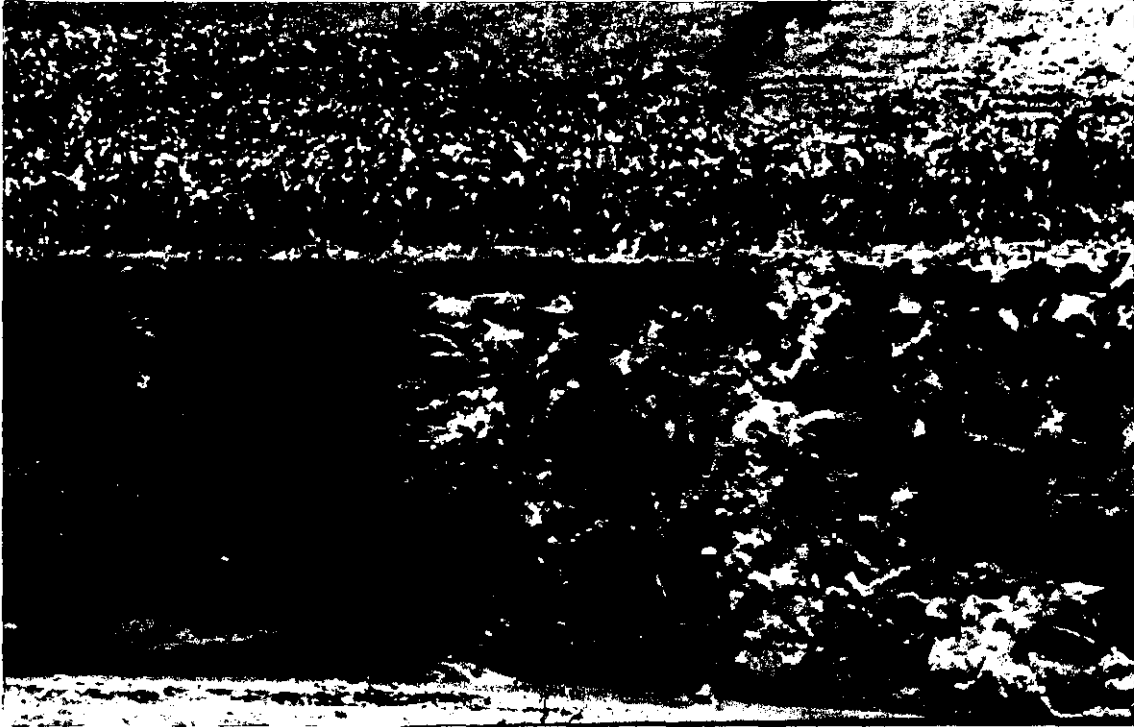


FIGURA 4.4 Se puede observar la presencia de varios lloraderos entre los cuales sobresale uno de aproximadamente de 50 centímetros de diámetro.

Sobre las laderas en las cuales se desarrollan los canales internos de agua, se observa una aparente estabilidad en cuanto a la forma y distribución de la pendiente en terrenos que son arados, mas no así en aquellos en los cuales la actividad predominante es el pastoreo; dicha "estabilidad" se rompe al observarse escalonamientos continuos, procesos de sufosión y de pie de vaca acentuados, toda vez que en las porciones marginales de las corrientes fluviales, como se indicó antes, el diámetro de los desagües de estos canales llegan a alcanzar entre 10 y 15 cm. , coalesciendo en algunos casos y evidenciando la actividad de transporte de agua y sedimentos; se ha encontrado un lloradero en una de las porciones más fitoestables del Nevado sobre el arroyo Terrerillos, la comunicación subsuperficial de una cárcava reciente éste que presume un diámetro de poco más de 60 cm. (figura 4.4).

ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA

## CARACTERÍSTICAS DE LOS FLUJOS TORRENCIALES

En este apartado se hace referencia de las principales características de los flujos torrenciales en el Nevado de Toluca, indicando las características propias de la morfología de éstos, de las áreas de desarrollo y los rasgos geomorfológicos heredados; de éstos se desprenden cinco particulares que llaman nuestra atención y son las:

- A. Características morfológicas.
- B. Características sedimentológicas.
- C. Características climático-meteorológicas.
- D. Características erosivo-acumulativas.
- E. Características Antrópicas.

### CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS

Para el primer caso, la literatura clásica ha citado desde varios puntos de vista algunas de las características cualitativas de la morfología de los torrentes, entre las cuales se describen elementos específicos para que sea posible el desarrollo de los mismos; entre los más importantes se ha destacado como requisito mínimo indispensable el comportamiento de la pendiente, la cual, según diversas fuentes, establecen como común denominador el que debe ser equitativa a terrenos irregulares que sobrepasen valores de 5%; asimismo, ellos deben encontrarse contenidos en cuencas reducidas donde puedan advertirse las áreas de captación de agua y sedimentos, los canales de escurrimientos y los conos de deyección; resaltándose la capacidad de encajonamiento de las corrientes en cauces que no presentan una gran longitud.

Para nuestro caso de estudio, se han detectado 12 corrientes fluviales que presentan características distintivas de los flujos antes descritos, las cuales se asocian a las cuencas de los ríos referidos en el cuadro 4.1, presentándose éstas de N a E sobre la ladera del volcán; y para ejemplificar con mayor precisión algunos de los particulares, se presenta a continuación el cuadro 4.3, en el cual se aprecian cifras representativas en cuanto al origen altitudinal de las corrientes, la diferencia que tienen éstos con respecto a la planicie, la longitud y la morfología general que presentan.

ARROYOS CON COMPORTAMIENTO TORRENCIAL				
NOMBRE	ORIGEN (ALTITUD)	LONGITUD EN KILÓMETROS	DIFERENCIA ALTITUDINAL	PERFIL GENERAL
Terrerillos	4,200	49,750	1,550	Cóncavo
La Cuchilla	3,050	13.0	400	Cóncavo-Rectilíneo
Tata Merced	3,200	13.2	550	Cóncavo
Las Cruces	3,850	4.3	1,200	Cóncavo
Verdiguel	2,980	6.7	330	Recto- Cóncavo
El Zaguán	3,600	31.3	1,100	Cóncavo
Ojo de Agua	3,140	22.6	490	Cóncavo curso superior, Semirecto-Convexo curso medio e inferior
Cano	4,320	51.4	1,770	Cóncavo
Arenal	2,880	8.3	230	Cóncavo
Agua Bendita	3,800	10.9	1,150	Cóncavo
Zacango	3,860	35.8	1,210	Cóncavo
Caballero	2,980	16.6	330	Semirecto- Cóncavo

CUADRO 4.3 Escurrimientos torrenciales que afectan la ladera noreste del Nevado de Toluca.

Como puede observarse en el cuadro anterior, existen elementos distintivos para cada uno de los torrentes que en algunos casos los incluyen dentro de las características ideales de éstos, pero que por otro, sus elementos distintivos funcionan como variables de exclusión.

En general, el desarrollo de todos los torrentes se presenta sobre laderas que poseen pocas variaciones de pendiente, que podrían considerarse como abruptas, y si se observa con claridad en los perfiles longitudinales de éstos; a pesar de no existir rupturas de pendiente, éstas no son continuas, toda vez que el comportamiento de ésta dentro de los cauces en general presenta valores de 3° y 4°, cifras que distan mucho de los datos, medios ideales que favorecen el desarrollo de las crecidas súbitas.

Se puede apreciar que existen en los torrentes diferencias importantes en cuanto al tamaño de la cuenca de captación, a los canales de escurrimiento y por supuesto en las secciones frontales de los conos que se desplazan sobre las planicies, por lo que una comparación de superficies de cuencas nos llevaría por sí sola a una aproximación no muy exacta del potencial de escurrimiento de cada cauce; por el contrario, si se analiza la forma de la cuenca en el espacio real que abarca, luego entonces encontramos relaciones espaciales más significativas como las que a continuación se presentan.

De manera general las cuencas de los torrentes se diferencian en cuanto a su tamaño, sin embargo, se denota que la mayoría de las que se encuentran por encima de los 3,200m. a excepción de la del arroyo Zaguán, debido al pasado geológico y climático, así como a la combinación de factores climático-geomorfológicos, que si bien presentan un comportamiento torrencial intenso que afecta a las poblaciones localizadas al pie del volcán, podría decirse que no son tan potentes desde el punto de vista

de la energía que liberan al desarrollarse las precipitaciones intensas en comparación con aquellas que se disponen en sus cabeceras alrededor de la cuenca antes referida.

La diferencia radica en los materiales que constituyen a las cabeceras, así como a la distribución de la precipitación sobre la ladera. Para el primer caso, nos referimos a sitios en los cuales dominaron procesos glaciares y que en la actualidad son los de carácter periglacial los que imponen los ritmos de meteorización. Es en la porción más elevada del edificio donde, a pesar de existir materiales *in situ* dispuestos a ser removidos en el proceso erosivo, su constitución litológica es más resistente en comparación con aquellos que forman las laderas, ya que los primeros se encuentran conformados por el macizo del cono y coladas lávicas dacíticas y andesíticas, mientras que los segundos por depósitos no consolidados de pómez.

Un aspecto que llama la atención es el desarrollo morfológico de los torrentes a partir de su cabecera y hasta la planicie; en general todo el grupo de escurrimientos baja de manera lineal en valles poco profundos y anchos; de hecho, algunos como el Cano y el Terrerillos reconocen las depresiones suaves en forma de "U" emanadas de la influencia glacial.

Esta condición de los valles comienza a cambiar según profundizan, pero respetando siempre la unidireccionalidad, toda vez que en forma progresiva ensanchan su cauce; sin embargo, en la porción que corresponde al piedemonte, el proceso erosivo se agudiza de tal forma que tanto la profundización como ensanchamiento del cauce y la acción remontante de las cabeceras se muestra de manera tal que existen importantes alteraciones en el trazado del río, como lo es la alta capacidad de encajonamiento y la muestra fehaciente a procesos erosivos como es la socavación lateral de los márgenes, la formación de escarpes erosivos y el retrabajo sobre antiguos depósitos sedimentarios como coluviones, terrazas y bancos aluviales.

Un común denominador en los torrentes estudiados, es que en ellos difícilmente se observan valles en forma de "U", lo que indica que el material que se encuentra dentro del proceso de erosión-transporte-depósito no presenta estructuras compactas que ofrezcan cierta resistencia a la erosión; sino por el contrario, la base o el fondo de la mayor parte de los cauces tiende a ser plano y colindante con vertientes verticales; señal indicadora de las altas condiciones de erodabilidad tanto de los materiales que componen la parte inferior del cauce así como de las paredes verticales a éstos, los cuales por supuesto, al ser atacadas en forma marginal por el agua, aún durante el estiaje, éstas se inestabilizan dando lugar a procesos gravitacionales continuos, ya que el debilitamiento se observa por medio de fracturas semicirculares ubicadas sobre las partes altas de las vertientes y sobre las mismas paredes de los valles (figura 4.5).



FIGURA 4.5 Inestabilidad de las vertientes.

En promedio, éstas llegan a alcanzar hasta los 10 metros de altura y como se ha anotado, reflejan muestras claras de fracturamiento y debilitamiento, en muchos casos presentan estructuras en forma de columna o bien amorfas que se encuentran ya separadas de los escarpes pero adosadas a estos por razones de cementación que en realidad no garantizan su permanencia.

Por lo que respecta al fondo de los torrentes, en este sentido se pueden apuntar otros elementos característicos, además de la forma plana del fondo ya citado; en general, la literatura menciona la probabilidad alta de combinación de diversos trazados como los meandros, cauces rectos, los lechos de inundación, crecidas, crecidas máximas y *talwegs*, y particularmente en éste último punto diversos autores convergen en la idea de que la presencia de un canal de estiaje puede ser vaga; empero, en la zona de estudio queda claro que este rasgo lineal además de presentarse en todos los cauces, sufre tantas migraciones y cambios que es posible llegar a identificar en un mismo sector -desde una perspectiva transversal al escurrimiento- de tres a cuatro *talwegs* activos después de una tarde de lluvia; así como a otro número parecido que han sido abandonados.

Cabe recordar que los canales citados funcionan o se activan durante la época de lluvias sin que ello en ocasiones implique su desbordamiento para cubrir la totalidad del lecho de inundación.

Haciendo hincapié en este último punto, también es pertinente destacar que sola en algunas porciones de los torrentes es posible identificar a los diferentes lechos de inundación con toda precisión; de hecho, difícilmente en un solo cauce podrían definirse las distintas partes a lo largo de éste, considerando que después de una época de lluvias, dichos límites sí existen suelen ser modificados.

Sin embargo, uno de los rasgos más representativos que se exhiben en los fondos de los cauces, es la continua presencia de terrazas que atestiguan diferentes niveles de altura y energía de los torrentes; así como a bancos de material aluvial dispuestos al centro y costado de los fluvios; geoformas que a su vez, son retrabajadas de forma constante.

Por lo que respecta al trazado rectilíneo y meandriforme, este primero es el más común en los cursos altos y bajos de los torrentes; toda vez que se intercalan con los segundos en la sección intermedia correspondiente al piedemonte.

Cabe resaltar que para todo el edificio volcánico, la zona transicional del piedemonte inferior y la planicie del noreste, la única que presenta en diferentes proporciones conos de deyección o abanicos aluviales muy importantes considerando sus dimensiones, ya que la mayor parte de ellos partiendo desde el ápice hasta el proluviación, muestran una longitud que varía entre 800 y 1,300 metros, alcanzando en uno de los casos, una distancia superior a los dos kilómetros de largo; mientras que la amplitud de los mismos oscila entre 600 y 1,100 metros, llegando a alcanzar los 1,600 m.

## CARACTERÍSTICAS SEDIMENTOLÓGICAS

Uno de los factores más importantes del presente estudio envuelve sin lugar a dudas el análisis de los sedimentos que son removidos, transportados y depositados a lo largo de las corrientes fluviales.

De esta manera, podemos comenzar indicando que el origen de ellos se ha clasificado en dos grandes grupos en el entendido que todos los sedimentos tienen un principio un origen volcánico; sin embargo, se han caracterizado de acuerdo con la fuente de abastecimiento de los clastos de la siguiente manera:

- A. Sedimentos de origen criogénico
- B. Sedimentos de origen volcanoclástico

Así, el primer grupo de ellos proviene de la sección andesítica y dacítica que conforma el cráter y algunas de las coladas lávicas que se encuentran alrededor del mismo; su meteorización se encuentra relacionada con procesos criogénicos como es la gelifración y las avalanchas de escombros entre otros.

Por su parte, los de origen volcanoclástico se encuentran relacionados con los flujos piroclásticos de las erupciones registradas en el pasado geológico del Nevado, y estos a diferencia de los primeros, no se encuentran *in situ* de forma consolidada, por lo que en realidad no requieren de procesos de

intemperismo para ser transportados de su lugar de origen; de hecho, en varias pruebas en campo, se demostró que el grado de intemperización de los sedimentos que forman terrazas y bancos aluviales en general es bajo, y en ocasiones medio, encontrándose una tendencia hacia el primer nivel referido; aunque resulta necesario explicar que sólo en ciertas muestras de material pumítico, los resultados fueran altos.

Los sedimentos encontrados sobre los cauces de los torrentes, muestran las siguientes características:

- Se observa que en las diferentes partes de los cursos, la carga sólida transportada tiende a ser abundante, distribuyéndose ésta de acuerdo con las condiciones, competencia y capacidad de carga o transporte; esto es, que se observa una clasificación dentro de los cauces con respecto a los diferentes flujos energéticos ocurridos sobre éstos.
- Los bancos aluviales se encuentran conformados por sedimentos semiangulosos que varían con respecto a su fábrica, ya que los materiales más finos se encuentran representados por arenas gruesas que suelen tener una función "cementante" dentro del depósito; de mayor tamaño se encuentran gravas, cantos rodados y bloques en forma desordenada, llegando a alcanzar los clastos, más grandes dimensiones entre 20 y 14 centímetros cúbicos. De manera dispersa y formando amplios campos de rocas se encuentran bloques rocosos que han sido transportados durante las avenidas más intensas, y como éstas últimas se presentan en general dentro de lapsos de tiempo que abarcan poco más de una década, algunos de ellos se encuentran sepultados o semicubiertos por los materiales nuevos de arrastre. Tanto en la parte más oriental, la nororiental y la norte se han encontrado evidencias de estos materiales que alcanzan volúmenes que sobrepasan los 50 cm<sup>3</sup> llegando en forma aislada a 100 o más (figura 4.6).
- El tamaño de los sedimentos removidos, es un indicativo de la necesidad energética que requiere el sistema para poder transportar dicha carga, a la del segundo grupo descrito; por lo que se puede anticipar que tanto la granulometría y la distribución de los sedimentos son una evidencia de altas condiciones tanto de erosión y transporte, como de las propias condiciones de erodabilidad de la zona. Una prueba que sustenta esta afirmación se encuentra plasmada en el tipo de transporte de los sedimentos, ya que ésta fundamentalmente es de fondo, es decir que la carga se mueve de forma preferencial dentro de un margen muy próximo a la superficie del torrente, favoreciendo con ello el transporte por rotación, embestimiento y saltación; aunque esto no deje fuera a otros modos de transportación.
- Se denota como un común denominador que esa energía de transporte tiende a ser lo concentrada para remover a los clastos descritos debido a la distribución y orientación de estos últimos dentro del cauce; como se apuntó, los requerimientos energéticos para poder cambiar de lugar a los materiales del fondo tienden a ser altos; sin embargo, resulta necesario aclarar que entre el 65 y 75% a ellos lo hacen girando a través del eje mayor y no del menor; dicho comportamiento fue observado en todos los cauces, implicando con ello que la capacidad

de carga durante un evento tiende a ser muy alta sin que la competencia sea un obstáculo importante; situación contraria advertible durante el estiaje.



Figura 4.6 Carga del arroyo Terrerillos.

De acuerdo con las condiciones antes descritas, al presentarse las avenidas torrenciales, los materiales arrastrados no alcanzan a ser redondeados, ya que tanto el incremento como el decremento del caudal líquido se desarrolla con rapidez; por ello la tendencia general encontrada, son sedimentos angulosos y semiangulosos fracturados muchos de ellos durante el evento por choques entre sí mismos, los cuales por las mismas condiciones presentan superficies abruptas, porosas y fracturadas, ya que durante su transporte, ni el medio ni el tiempo les permite pulir las caras.

Llama la atención citar en los conos de deyección el arreglo de los sedimentos; que como es de esperarse, estas zonas de transición tienden a mostrar la potencia del flujo torrencial a través de su geoforma y morfometría. Aunque en el apartado anterior al presente, se hizo referencia a las cualidades métricas de los abanicos, de ellos se pueden apreciar algunos puntos significativos como son los siguientes:

- Las condiciones de sedimentación en general se presentan conforme a cualquier cono de explayamiento sobre una planicie, donde en el ápice de los mismos llegan a acomodarse los



materiales más groseros; toda vez que en los frentes, se distribuyen los finos y los lodos. Sin embargo, en algunos de ellos como el de los arroyos Cano, Verdiguel y el Zaguán, muestran intensos procesos de sedimentación y trazado de escorrentías que en ocasiones pueden advertirse a varios kilómetros de distancia del ápice del abanico. Como algunos ejemplos particulares citaremos al arroyo Verdiguel, que en el caso de una crecida súbita, además de inundar la zona de deyección propia, su influencia se denota en la porción W y SW y S de Toluca, inundando a su paso una porción importante de la zona urbana. Otro significativo caso es la localidad de Cacalomacan, la cual recibe de forma directa las aportaciones hídricas y sedimentológicas del arroyo Caballero y Verdiguel; siendo este poblado "diseñado" en función de la traza de los flujos y donde, los asentamientos humanos se encuentran sobreyaciendo a antiguos depósitos aluviales y algunas de las actividades agrícolas funcionan en forma de chinampas.

- Otros escurrimientos importantes son como el de Zacango, Agua Bendita, Ojo de Agua, Las Palmas y Las Cruces entre otros, logran cubrir parte de la carretera que comunica a la ciudad de Metepec y Tenango del Valle, donde los escurrimientos fluviales alcanzan a localidades como Mexicaltzingo y Rayón; y el Santiaguito, quien ha construido un dique con el cual las aguas fluyen por encima del nivel medio de la planicie en las proximidades de San Francisco Putla y San Miguel Balderas.

#### CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICO-METEOROLÓGICAS

Dentro de este punto, se determinan, cuales son las condiciones que favorecen el desarrollo de los torrentes desde el punto de vista del sistema atmosférico. En este sentido se determina que las fuentes energéticas de los escurrimientos se relacionan con precipitaciones de pluviales ocurridas durante el verano y en los meses de julio, agosto y septiembre, dejando en un plano secundario a todas aquellas fuentes que involucran el derretimiento de nieve que ocurre pocos días después de su aparición y dependiendo de la temperatura local en la fase final del invierno.

Los climas encontrados sobre la ladera indican la posibilidad de encontrar alternancia entre espacios amplios de un relativo estiaje y crecidas repentinas originadas por precipitaciones intensas caracterizadas por su poca duración.

La distribución climática encontrada en la porción nororiental del Nevado es la siguiente:

CLIMAS REPRESENTATIVOS DE LA LADERA NORESTE DEL NEVADO DE TOLUCA	
TIPO DE CLIMA	CONDICIONES GENERALES
Et <sub>w</sub>	Localizado en la porción más alta del Nevado, este clima indica temperaturas medias entre -2°C y 5°C, sin embargo, la dominancia de temperaturas se registra por debajo de los 0°C; asimismo manifiesta poca precipitación.
C(w <sub>2</sub> )(w) b' g	Este tipo de clima representa condiciones de temperatura media del mes más frío entre -3° y 18°; la precipitación del mes más seco es menor a 40 mm; es semifrío con veranos frescos y largos; por lo general se le localiza extendido sobre toda la ladera; sin embargo, encuentra una zona de límite comprendida entre la franja de los 3,100 y 2,800 metros snm.
C(w <sub>2</sub> )(w) b (i') g	Clima templado húmedo caracterizado por ser el más húmedo de todos los de este tipo; la cantidad de precipitación que lo representa en ocasiones es diez veces mayor a la media mensual del mes más húmedo. Tiene poca oscilación térmica. Se le localiza en la zona transicional con el clima pasado generalmente por debajo de la cota de 3,000; hecho significativo que ayuda a comprender el porqué existe una concentración masiva de la precipitación en ciertos arroyos.
C(w <sub>1</sub> )(w) b'	Este clima representa una zona de transición entre lo húmedo y lo seco, a pesar de ser un templado húmedo se distingue por tener índices bajos de precipitación; éste se localiza en pequeñas porciones territoriales muy cerca de la planicie cerca de los 2,600 metros de altitud.

FUENTE: ACEVES, 1997.

CUADRO 4.4 Condiciones climáticas representativas de la ladera noreste del Nevado.

En el Anexo 1, se muestran los concentrados de las temperaturas máximas y mínimas anuales así como de la precipitación registrada en la estación meteorológica del volcán, donde se registran los datos a partir del año 1964 hasta 1995.

Asimismo, aunque de forma genérica se reportan condiciones homogéneas de carácter climático, pueden observarse algunas diferencias interesantes en cuanto a la cantidad y distribución de la precipitación.

De acuerdo con las isoyetas de la carta geomorfológica (ver carta en Capítulo V), se puede observar que la concentración de precipitación para la ladera es intensa; observándose que la mayor cantidad de ésta se presenta sobre la cota de 3,100 metros registrando una intensidad promedio de 80 milímetros por hora; toda vez que por debajo de la cota referida se encuentran valores de 60 mm/h (Graniel, 1990).

Estas cifras permiten visualizar que la cantidad de agua que se concentra en los cauces de los arroyos provoca el desarrollo de los torrentes, puesto que aún las cabeceras de los cursos que nacen en el piedemonte inferior son receptoras de la mayor cantidad de energía precipitada, la cual después de saturar la superficie, se convierte en energía hidráulica de escurrimiento.

Otro punto de especial interés se encuentra referido a la presencia de heladas en la zona de estudio, ya que éstas se presentan con frecuencia ocupando una posición territorial franca hacia el Este; donde, como podrá observarse en el cuadro 4.5 la influencia de este meteoro ocurre durante una mitad del año, hecho que favorece parte del intemperismo sobre los suelos, el estrato rocoso aflorante y la escasa vegetación; ocasionando en estos últimos, alteraciones en cuanto a la resistencia de las condiciones gélidas.

FRECUENCIA DE HELADAS			
FRANJA ALTITUDINAL	NÚMERO DE DÍAS CON HELADAS	PORCENTAJE DE HELADAS AL AÑO	LOCALIZACIÓN
4,400-4,000 metros	180	49%	Laderas Norte, Noreste y Este.
4,000-3,000 metros	160	43%	Ladera Este y Noreste
4,000-3,000 metros	140	38%	Ladera Norte
3,000 -1,800 metros	120	32%	Ladera Este y Noreste
3,000 -1,800 metros	100	27%	Ladera Norte

FUENTE: GOBIERNO DEL ESTADO DE MÉXICO, 1993.

CUADRO 4.5 Tendencia hacia las bajas temperaturas.

Por otra parte, aunque parecería un elemento excluyente desde el punto de vista de las modificaciones que puede ocasionar, el viento juega un papel importante en el modelado de las corrientes fluviales debido a pesar de que no existen evidencias fuertes de su presencia y geoformas heredadas por su acción erosiva y acumulativa, su existencia sobre las laderas tiende a ser importante.

La dirección predominante del fluido sobre la ladera es de SW-NE, es decir, que desde el sector suroccidental el viento remonta las vertientes para descender hacia una dirección franca al noreste, encajonándose éste en los principales torrentes atacando las márgenes de los cauces. El proceso generado se enfoca hacia el pulimiento de algunas paredes, y en especial se ha observado que el trabajo abrasivo se concentra sobre las márgenes siniestras de los fluvios, a excepción de aquellas donde el viento y los valles fluviales coinciden en su destino; ya que en estas porciones el trabajo tiende a ser regular sobre ambas vertientes.

El proceso abrasivo pudo ser constatado durante la realización del trabajo de campo y no existen antecedentes bibliográficos de su presencia en esta zona que indiquen la acción desarrollada; empero, su labor resulta interesante ya que una velocidad de un metro por segundo es capaz de mover a los sedimentos arenosos que componen a las paredes de los flancos más deleznable representados por las arenas finas y las capas de pómez; todo ello más en el período comprendido entre los meses de noviembre y abril.

## CARACTERÍSTICAS EROSIVO-ACUMULATIVAS

Como se ha observado a través de este capítulo, las características morfológicas, sedimentológicas y climático-meteorológicas para la ladera NE del Nevado de Toluca, tienden a observar un patrón particular que matiza en general a toda la porción territorial estudiada, dejando como herencia a una secuela de procesos denudativos, erosivos y acumulativos que se combinan sobre los cauces e interfluvios.

A nivel de interfluvios como ya se había anotado, existen intensos procesos de erosión remontante que provocarán procesos como la captación de cuencas; es importante referir que estas secciones en general son las que se encuentran confinadas a la utilización agrícola y ganadera, y que los suelos que éstas poseen tienden a ser hidrofóbicos. Asimismo, el proceso de erosión explicado en la literatura a través de pasos o momentos bien definidos durante tiempos y áreas diferenciables en realidad no se observa; es decir, la secuencia lógica dada por medio de la erosión pluvial matizada por la caída de agua concentrada en las hojas de los árboles (*trough fall*), por el escurrimiento de agua a través de ramas y troncos (*stream flow*) y por el salpicamiento o efecto de *splash* seguida por la erosión laminar y el posterior desarrollo de regueros, surcos, canales y cárcavas no puede definirse con precisión; ello debido a que en suelos aparentemente estables después de la acción inmediata de la lluvia y el desarrollo de fenómenos como el salpicamiento, de manera lineal e inmediata aparecen cárcavas profundas bien desarrolladas, en las cuales puede observarse el movimiento gravitacional de los márgenes que las componen, hundimientos con desplazamiento rotacional y cabeceras remontantes (figura 4.7).



FIGURA 4.7 Desarrollo de cárcava en la margen derecha del arroyo Zacango.

Este tipo de procesos se observan de un día para otro, y donde en apariencia existe una ladera estable, después de la lluvia de la tarde, podría presentarse una familia de cárcavas bien definidas y dispuestas a favor de la pendiente.

Como complemento a lo anterior, se observa que el movimiento del suelo a través de los flujos hipodérmicos es importante; este proceso es fácilmente detectable tanto en los árboles de mayor edad como en los más pequeños por medio de la inflexión de los troncos que apuntan pendiente abajo, evidenciando procesos como la reptación y la sufosión.

Por su parte, a nivel de los cauces se observa un intenso modelado lineal en el cual las vertientes son trabajadas y retrabajadas constantemente por los flujos de agua, dejando a su paso procesos como la socavación lateral de las márgenes; el desarrollo de coluviones de diferentes tamaños, así como la formación de terrazas y bancos aluviales.

El poder erosivo tiende a concentrarse en los cambios de dirección de las corrientes aumentando en zonas meándricas el ataque sobre ciertas márgenes y, la sedimentación en zonas de acumulación; sin embargo, es importante el proceso destructivo sobre obras de carácter antrópico, ya que los torrentes tienden a romper, sepultar y aislar a presas de mampostería, gabiones y bordos construidos para intentar controlar la acción erosiva de las corrientes; de hecho, la "especialización" erosiva se desarrolla con mayor eficacia en los lugares donde estas obras existen, generando en algunos casos y aunque parezca fuera de lo normal, procesos de cavitación, con los cuales las obras de los hombres pasan a la historia (figura 4.8).



FIGURA 4.8 Cavitación desarrollada al pie de un gavión.

Cabe aclarar que para todos los casos, se ha observado que la mayor dinámica erosiva se ha localizado en las afluentes de los arroyos, toda vez que las corrientes principales tienden a concentrar y dar salida a los flujos de agua y sedimentos.

#### CARACTERÍSTICAS ANTRÓPICAS

Este punto no será desarrollado en esta sección de la investigación, debido a que ha sido expuesto ya con mayor detalle en el Capítulo III; no obstante, se señalará que la distribución de las minas de arena, así como los caminos que llevan a ellas, se conectan por medio de los mismos cauces de los ríos en un buen número de veces, donde el cauce (por supuesto en estiaje) es el camino para los camiones, trailers y maquinaria pesada de esa actividad económica. (figura 4.9).



FIGURA 4.9 El camino que pertenece al curso bajo del arroyo Cano,

#### ELEMENTOS CUANTITATIVOS DE LA LADERA

El estudio geomorfológico de Nevado de Toluca, se encuentra apoyado bajo un enfoque cuantitativo, el cual se aborda bajo dos perspectivas diferentes, las cuales se explican a continuación:

##### A.- Morfometría

Bajo esta perspectiva este enfoque muestra características particulares que se relacionan con la distribución de estructuras dominantes del relieve, en las cuales se experimentan cambios en función de las estructuras dominantes y los procesos de modelado.

El análisis morfométrico ha sido justificado y aplicado en numerosos estudios debido a que los métodos empleados permiten la solución de problemas particulares del relieve.

## B. - Análisis estadístico

El análisis de las variables que intervienen en el modelado de la ladera del volcán desde el punto de vista estadístico fue procesado a través del análisis de gráficos de Pareto con los cuales se obtuvo información que corrobora.

De esta manera por medio del análisis cuantitativo fueron discretizadas las variables que observen, el 50% de la responsabilidad de los procesos generados en la ladera; así como de aquellas que influyen de una manera media, que si bien no determinan la intensidad de los fenómenos registrados, contribuyen en su desarrollo; y excluye a las de menor influencia.

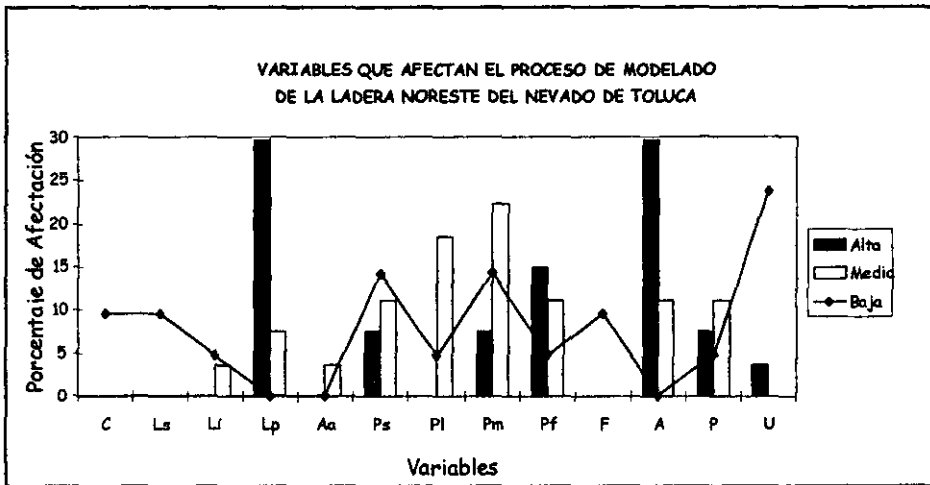
El análisis fue realizado en los cauces de mayor importancia en la ladera, distinguiéndose aquellas que se involucran en la mecánica erosiva-acumulativa de la ladera.

De esta manera se ha obtenido un gráfico individual en el cual se representan las condiciones dominantes *in situ* de las corrientes fluviales; para su representación gráfica fue necesario establecer una nomenclatura para cada una de las variables, las cuales se agrupan en clases que involucran la dominancia físico geográfica del sitio; es decir, registra la geología disectada, la pendiente media de los cauces y el uso de suelo, quedando representado de la siguiente manera:

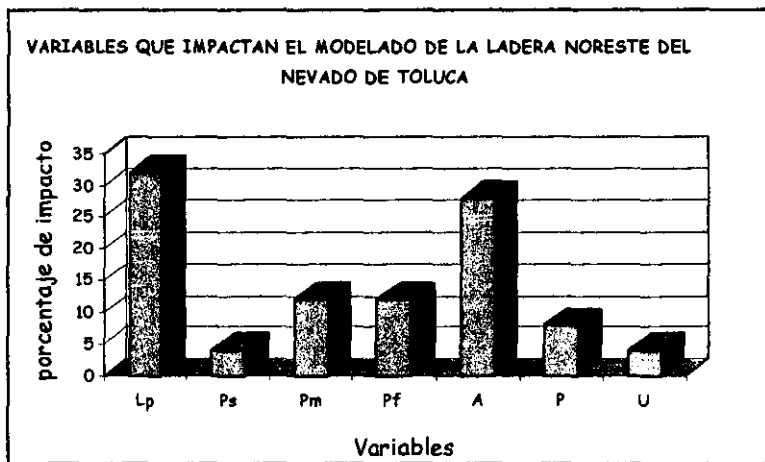
CLAVE	ATRIBUTO
<b>Geología</b>	
C	Cono del volcán formado por derrames lávicos
Ls	Ladera superior formada por lavas y depósitos de caída
Li	Ladera inferior formada por lavas y depósitos de caída
Lp	Ladera de pómez
Aa	Abanico aluvial
<b>Pendiente media</b>	
Pl	Planicie con 0°
Ps	Pendiente suave comprendida entre 0° y 2°
Pm	Pendiente media comprendida entre 2° y 5°
Pf	Pendiente fuerte comprendida entre 5° y 15°
<b>Uso de suelo</b>	
F	Forestal
A	Agrícola
P	Pastizal
U	Urbano

A continuación se presentan las gráficas construidas bajo los criterios mencionados; cabe resaltar que una de las bondades de este tipo de análisis estadístico, es que permite la comparación objetiva de variables que poseen diferentes cualidades.





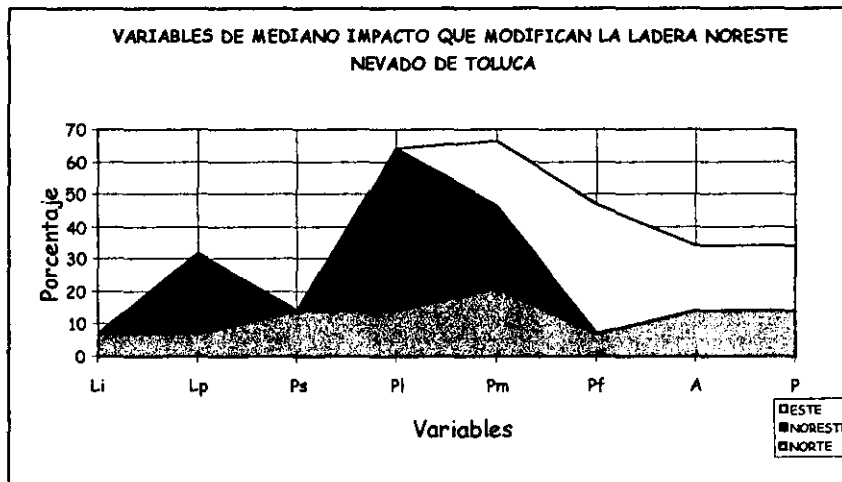
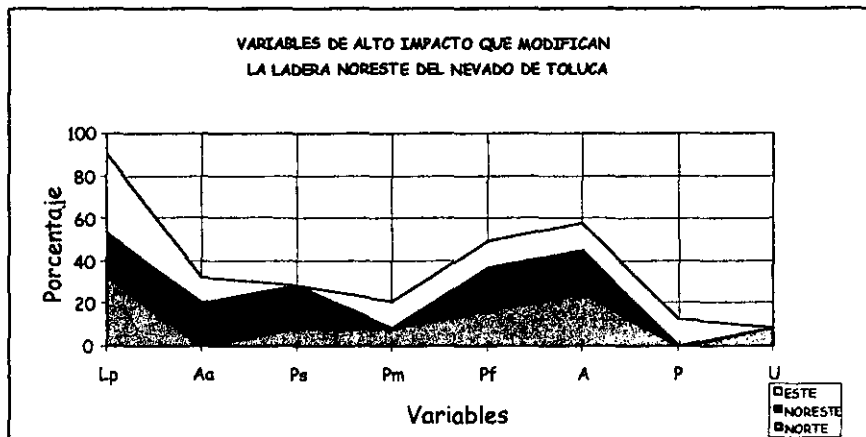
GRÁFICA 4.1 Conjunto de variables que han sido consideradas para el estudio de la degradación.



GRÁFICA 4.2 Gráficas de Pareto

Con la información obtenida de los gráficos se obtiene que las variables que afectan el modelado de la ladera se relaciona con el sustrato pumítico, la pendiente media de los cauces así como la utilización del suelo; esto es representado en la gráfica 4.1, y en la 4.2, donde se identifican siete variables que impactan sobre la ladera noreste; estos son: El material que conforma la ladera de pómez, la distribución de la pendiente media de los cauces, distinguiéndose los valores medios y fuertes así como el uso agrícola y pecuario registrado. Como se podrá observar en dicho gráfico es la combinación entre el sustrato y el uso agrícola el que domina en el proceso de modelado de la vertiente, favorecido por las condiciones topográficas establecidas a través de la pendiente.

De manera particular, se aplicó este análisis por sectores de la ladera (Norte, Noreste y Este), obteniéndose el comportamiento zonal de las variables antes descritas, de tal forma que se establece el peso específico expresado en porcentaje de las variables que impactan de manera intensa y media sobre la ladera en cuestión; ello se expresa a través de las gráficas 4.3 y 4.4, que se presentan a continuación:



GRÁFICA 4.3 y 4.4 Impacto de las variables.

Como puede advertirse en la primera representación, es la porción oriental la que representa una intensidad que sobresale debido a la combinación de las variables que fueron citadas líneas arriba; en segundo término, es la porción noreste la que identifica una intensidad mayor en cuanto a lo que representa cada variable.

Por lo que corresponde al grupo de variables que coadyuvan al desarrollo del proceso erosivo, se puede citar que en el sector este y noreste se clasifican de manera puntual, dominando para el

primer caso la influencia de la pendiente y la utilización del suelo; toda vez que para el segundo es la relación existente entre la distribución de pendientes y el material disectado; mientras que en el norte la combinación de variables tiene un comportamiento más homogéneo en comparación con las porciones territoriales antes referidas.

El conjunto de variables converge de manera puntual en cada uno de los sectores, definiéndose de una manera muy particular la influencia de las actividades humanas en el sector oriental del volcán, tal y como se había definido desde el capítulo que aborda la influencia antrópica en el modelado del volcán.

Se considera que el papel de la litología de la ladera pumítica, los cambios en el uso del suelo y los cambios de pendiente, son factores concomitantes que determinan una dinámica erosiva y acumulativa más intensa en el este de la ladera; prueba de ello es el mapa geomorfológico en el cual se observan una densidad mayor de corrientes que presentan un carácter torrencial, y conos de deyección más potentes.

Ello no quiere decir que al norte y al noreste, el modelado erosivo no sea intenso; por el contrario, representa también ambientes de alta energía en los cuales la ocurrencia de torrentes es significativa, pero menos frecuente.

Todo esto también puede ser observado en las cartas de pendientes, altimétrica, densidad de la disección y energía del relieve; lo que confirma la eficacia de los métodos cuantitativos geomorfológicos empleados, evidenciando con ello que tanto éstos como los estadísticos empleados se complementan obteniendo con ello, una idea más clara de las variables y los mecanismos que hacen funcionar a los subsistemas que comprenden a la ladera.

Una de las variables que se han considerado en el estudio de sistema de drenaje en la ladera del volcán, se refiere a la Relación de Bifurcación ( $R_b$ ), la cual se encuentra sustentada en la Ley de los Números de los Cauces, estableciendo que el número de segmentos de órdenes inferiores de una cuenca, tiende a formar una progresión geométrica que comienza con el único segmento de orden más elevado y crece según una relación constante de bifurcación.

Bajo esta premisa, a continuación se presentan los resultados más representativos de los arroyos obtenidos por dicha relación.

ARROYO LA CIÉNAGA		
ORDEN DE CAUCE	NÚMERO DE SEGMENTOS	RELACIÓN DE BIFURCACIÓN
1 <sup>o</sup>	17	3.4
2 <sup>o</sup>	5	5
3 <sup>o</sup>	1	---

ARROYO SANTIAGUITO		
ORDEN DE CAUCE	NÚMERO DE SEGMENTOS	RELACIÓN DE BIFURCACIÓN
1 <sup>o</sup>	31	3.8
2 <sup>o</sup>	8	4
3 <sup>o</sup>	2	---

ARROYO CANO		
ORDEN DE CAUCE	NÚMERO DE SEGMENTOS	RELACIÓN DE BIFURCACIÓN
1 <sup>o</sup>	46	5.75
2 <sup>o</sup>	8	4
3 <sup>o</sup>	2	2
4 <sup>o</sup>	1	---

ARROYO AGUA BENDITA		
ORDEN DE CAUCE	NÚMERO DE SEGMENTOS	RELACIÓN DE BIFURCACIÓN
1 <sup>o</sup>	28	4
2 <sup>o</sup>	7	2.33
3 <sup>o</sup>	3	3
4 <sup>o</sup>	1	---

ARROYO ZACANGO		
ORDEN DE CAUCE	NÚMERO DE SEGMENTOS	RELACIÓN DE BIFURCACIÓN
1 <sup>o</sup>	11	11
2 <sup>o</sup>	1	---

ARROYO TATA MERCED		
ORDEN DE CAUCE	NÚMERO DE SEGMENTOS	RELACIÓN DE BIFURCACIÓN
1 <sup>o</sup>	15	5
2 <sup>o</sup>	3	3
3 <sup>o</sup>	1	---

ARROYO CALIMAYA		
ORDEN DE CAUCE	NÚMERO DE SEGMENTOS	RELACIÓN DE BIFURCACIÓN
1 <sup>o</sup>	14	7
2 <sup>o</sup>	2	2
3 <sup>o</sup>	1	---

ARROYO TERRERILLOS		
ORDEN DE CAUCE	NÚMERO DE SEGMENTOS	RELACIÓN DE BIFURCACIÓN
1 <sup>o</sup>	44	3.66
2 <sup>o</sup>	12	4
3 <sup>o</sup>	3	3
4 <sup>o</sup>	1	---

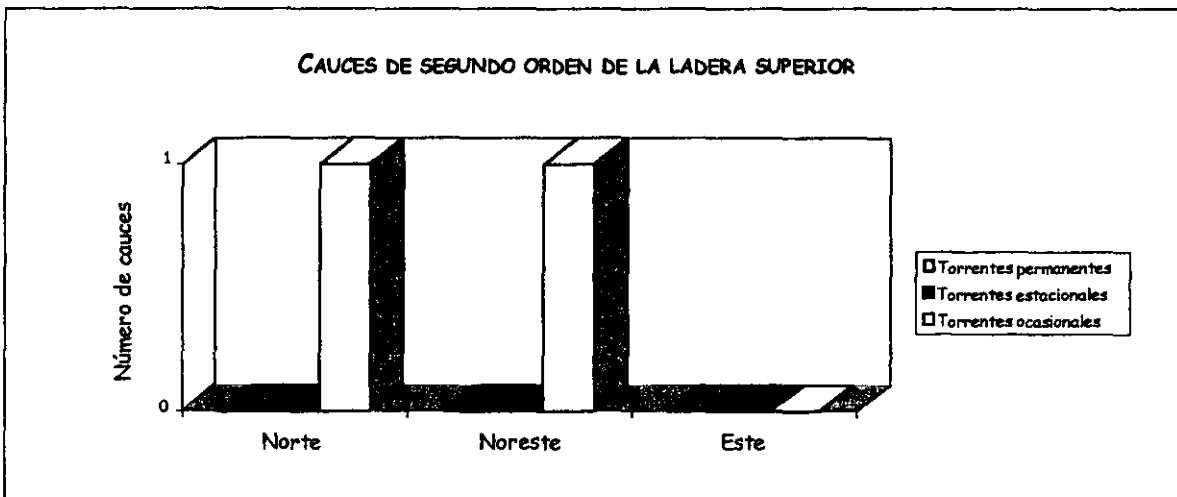
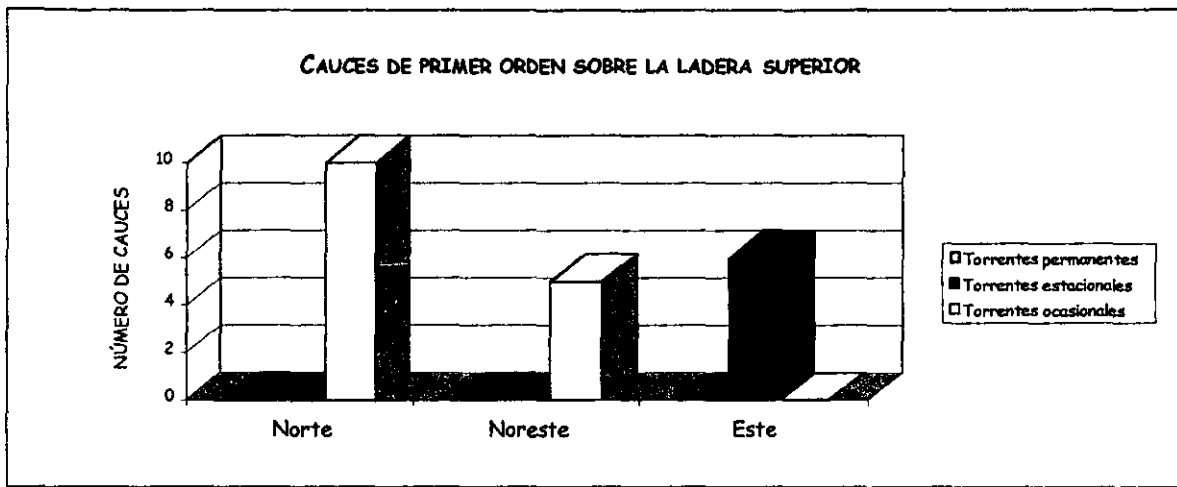
De acuerdo con los resultados obtenidos puede advertirse que de manera general las condiciones de crecimiento geométrico propuesta por la relación de bifurcación no se cumplen, destaca el hecho de que los arroyos localizados en el sector oriental de la ladera son los que presentan resultados que rebasan la proporción normal de la ecuación.

Así, puede advertirse que la dinámica erosiva de la ladera tiende a ser bastante alta, encontrando la energía denudativa hacia el oriente, pero conservando niveles altos de manera homogénea, en toda la zona de estudio.

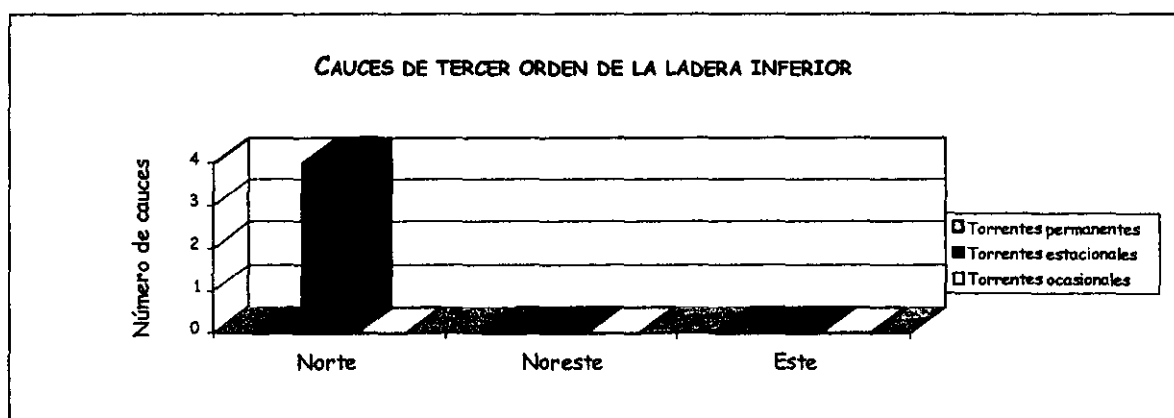
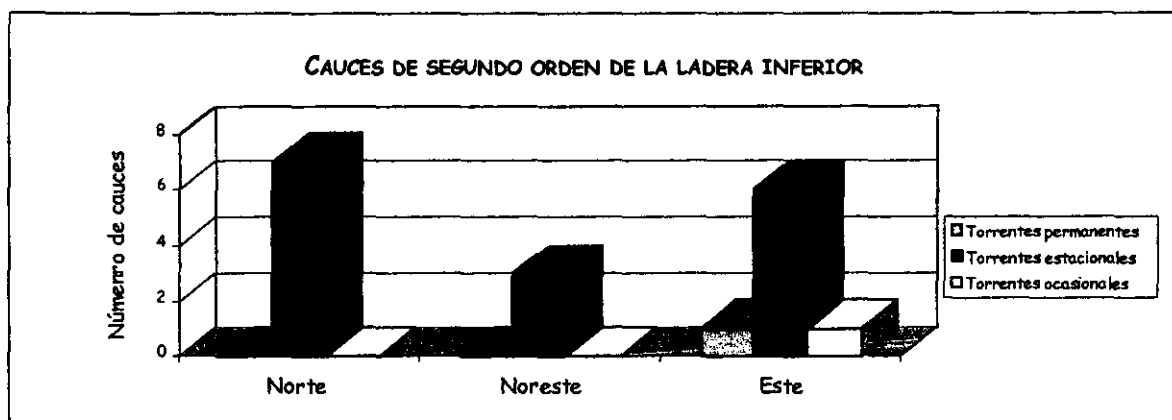
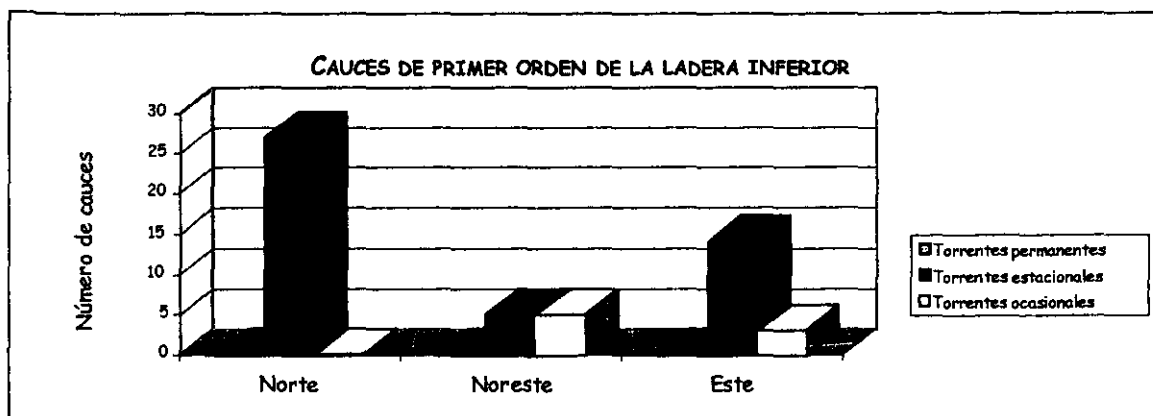
El amplio desarrollo de corrientes de primer orden es una muestra fehaciente del trabajo erosivo de cauces que atacan de manera remontante a interfluvios y parteaguas donde, las variables de cambio en la utilización del suelo, litología y pendiente encuentran un fuerte eco en el desarrollo de la morfogénesis, aumentando de tal forma las condiciones de erodabilidad y reexistencia del sitio.

El desarrollo de este tipo de corrientes se encuentra asociado a depósitos de ceniza y pómez, áreas impactadas por la presencia humana a través de la utilización agrícola, ganadera, minera y a pendientes medias de los propios escurrimientos.

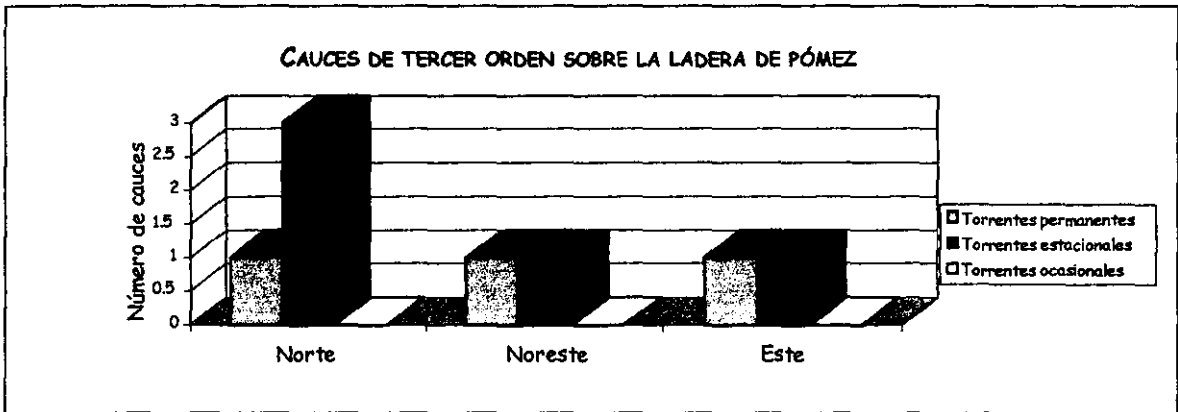
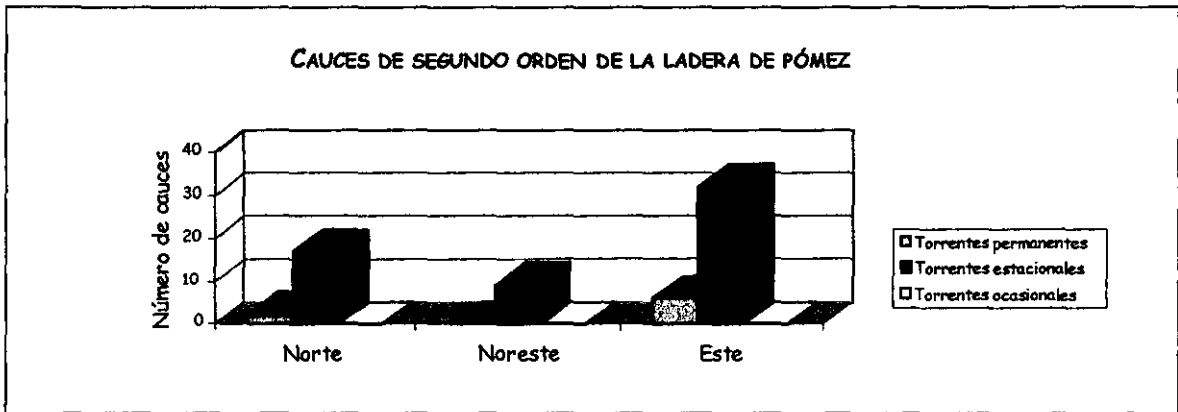
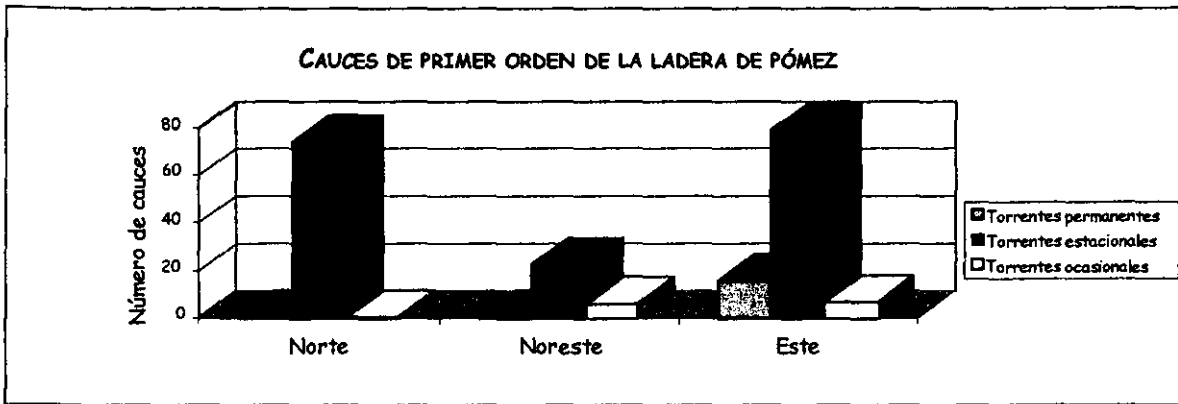
Con el propósito de explicar la relación de bifurcación con la incidencia de problemas de erosión, se han elaborado gráficos de distribución de corrientes de primer y segundo orden estacionados con su localización geográfica, así como sobre la litología sobre la cual se desarrollan.

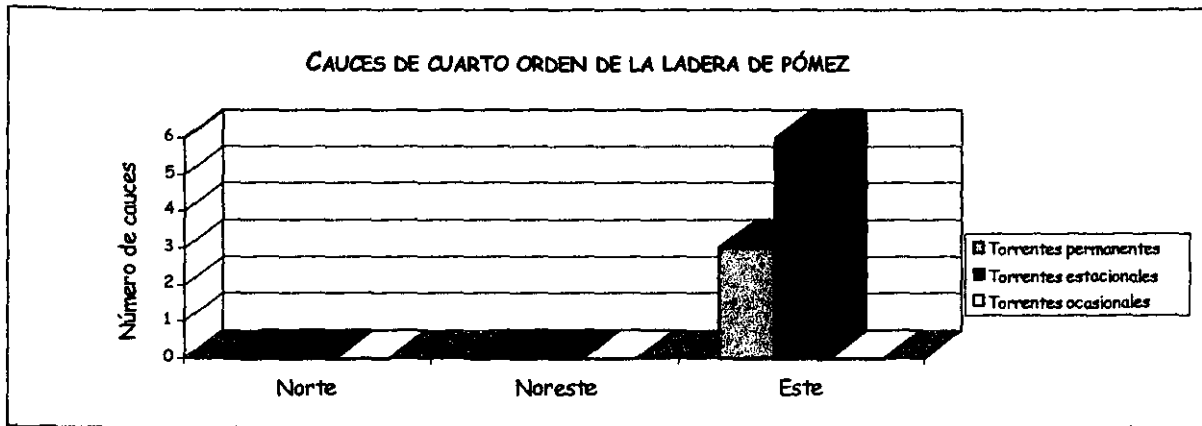


GRÁFICA 4.5 Y GRÁFICA 4.6 Se presenta la relación existente entre el número de corrientes localizadas en la Ladera Superior.



GRÁFICA 4.7, GRÁFICA 4.8 y GRÁFICA 4.9 Se presenta la relación existente entre el número de corrientes en la Ladera Inferior.



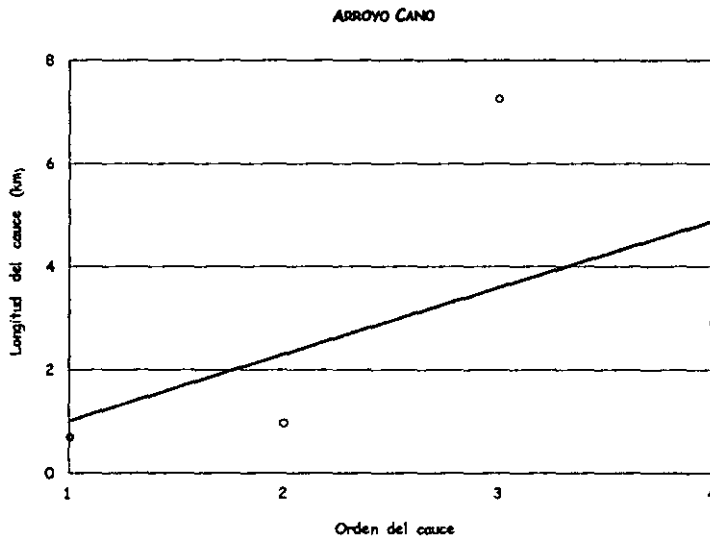


GRÁFICA 4.10, GRÁFICA 4.11, GRÁFICA 4.12 y GRÁFICA 4.13 Se presenta la relación existente entre el número de corrientes de acuerdo con su orden y localización en la porción correspondiente a la Ladera de Pómez.

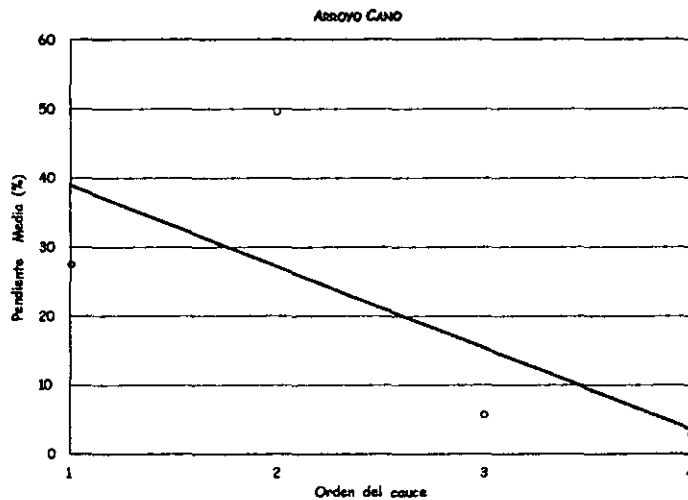
Como puede observarse los resultados de la comparación de órdenes de cauces de acuerdo con su distribución geográfica y características litológicas del volcán muestran el amplio dominio de este tipo de corrientes, rompiendo así con el equilibrio planteado por la ley de los cauces, evidenciando así la fuerte dinámica erosiva y las porciones territoriales más susceptibles a la erodabilidad.

Por otra parte, el análisis cuantitativo de las formas de erosión observó también la relación existente entre los órdenes de corrientes de los cauces con respecto a la longitud de los mismos y las pendientes sobre las cuales se desarrollan.

A continuación, se presentan los gráficos de regresión del arroyo Cano, que fueron realizados para este análisis; el resto de los gráficos se localizan en el anexo.







**GRÁFICA 4.14 Y 4.15** La primera gráfica muestra la regresión obtenida entre la longitud de los cauces y el orden de los mismos; la segunda de ellas conserva la segunda variable del primer gráfico, pero ahora con la relación se realiza con la pendiente media.

En una primera instancia, la relación dada entre la longitud de los cauces y el orden de éstos tiende hacia el desarrollo de una progresión geométrica que guarda una relación constante; ello representa el ritmo de crecimiento o evolución de las cuencas del volcán.

Como puede observarse en las gráficas, las proporciones geométricas que deberían guardarse en el crecimiento de las cuencas presentan problemas particulares en los cauces de primero, segundo, tercer y cuarto orden en las cuencas de los arroyos Cano, las Cruces, Terrerillos, Agua Bendita y Ojo de Agua, la máxima desproporción se encuentra en los dos primeros órdenes, indicando ello que las condiciones de erodabilidad tienden a ser demasiado altas además de manifestar una mayor capacidad torrencial.

Estos resultados muestran que el factor litológico es un fuerte condicionante para el desarrollo de la morfogénesis, ya que la mayor parte de las anomalías encontradas sucedieron sobre materiales pumíticos y, que éstas se acrecentaban conforme las isopacas tienden a ser más amplias; y para el resto de los puntos fuera de la regresión, implica una fuerte influencia de carácter antrópico que modificó el desarrollo de los mismos.

Con referencia a la capacidad torrencial, como puede advertirse la mayor parte de los cauces que presentan problemas además de desarrollarse sobre un sustrato erodable, la longitud de éstos y su distribución espacial sobre la ladera favorecen el desarrollo de crecidas con alto gasto energético, de tal forma que se constituyen como fuentes de emisión de energía concentrada.

Por lo que corresponde a la relación encontrada entre el orden de drenaje y la pendiente de los cauces, se muestran las condiciones de equilibrio a través de la distancia horizontal y la inclinación del terreno; en este sentido la alometría se encuentra sustentada en la Ley de Gradientes de los Cauces, donde se logra observar una progresión geométrica de carácter inverso.

En este sentido como ocurrió, los gráficos exhiben que las anomalías encontradas evidencian zonas de mayor erodabilidad; así como energía concentrada de modelado fluvial; los problemas encontrados se observan fundamentalmente sobre la ladera de pómez en el mayor número de los casos y con una fuerte tendencia hacia el sector oriental del volcán.

La relación encontrada entre los órdenes de los cauces y las pendientes muestran una vez más discrepancias de proporción entre las escalas permisibles de relación dadas a través del gradiente de los cauces, manifestando de tal suerte que existen desajustes importantes en el equilibrio del sistema de las cuencas.

En resumen, el análisis morfométrico de la ladera realizado a través de las gráficas de regresión advierte problemas específicos: la concentración del proceso erosivo en aquellas áreas en las cuales el sustrato pumítico lo permite y donde la presión externa ha ejercido mayor fuerza; asimismo es una muestra de que los ritmos de crecimiento de las cuencas no es normal, de hecho es progresivo y además los gradientes de crecimiento se han disparado de manera importante rompiendo así con el propio equilibrio que una cuenca en su desarrollo normal presentaría.

Los resultados obtenidos apuntan hacia la presencia de un conjunto de procesos erosivos que se concentran sobre la ladera NE y E sin excluir al resto del edificio en cuestión, y que éstos trabajan de manera muy eficiente sobre todo bajo la cota de 3,300 metros, siendo los cauces más erosivos aquellos que poseen poca longitud, menor orden y problemas de correlación entre la pendiente de los mismos y el orden de corriente.

## CAPÍTULO V

### ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

LA POSICIÓN EXCEPCIONAL DEL HOMBRE EN LA CREACIÓN NO LE DA DERECHO A TRATAR AL MUNDO DE LA NATURALEZA EN UNA FORMA ABSOLUTISTA E IRRESPONSABLE. EL HOMBRE ES UN SER FÍSICO Y ESPIRITUAL. ESTA DIMENSIÓN ESPIRITUAL LE HACE TRASCENDER A LA NATURALEZA . EL HOMBRE CONTEMPLADO EN UNIDAD CON SU ENTORNO SE HALLA EN LA CIMA DE TODA JERARQUÍA DE LA CREACIÓN Y SÓLO A TRAVÉS DEL HOMBRE ALCANZA EL MUNDO SU VERDADERO VALOR.

UNA COMPRENSIÓN ASÍ DE LA EXISTENCIA HUMANA OTORGA A LA RELACIÓN ENTRE EL HOMBRE Y SU AMBIENTE UN VÍNCULO DE MAYOR COOPERACIÓN. EL HOMBRE EN ESTE MUNDO, ES COMPAÑERO DE DIOS EN EL ACTO DE LA CREACIÓN. PARA PODER CONFORMAR EL ENTORNO NATURAL MÁS SABIAMENTE, EL HOMBRE DEBE ACERCARSE A ÉL CON REVERENCIA EL OBJETIVO DE TODO CRECIMIENTO ECONÓMICO O TÉCNICO HA DE IR SIEMPRE ENCAMINADO AL DESARROLLO PLENO DE LA PERSONA.

JAN GRZESICA

## CAPITULO V

### DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Entre los principales factores que condicionan dinámica geomorfológica del Nevado de Toluca se tienen seis grupos bien definidos, los cuales son:

- Origen del volcán
- Condiciones Climático-Meteorológicas
- Estado y Dinámica del Agua
- Procesos de Modelado Fluvial
- Factores Biogeográficos
- Presencia Antrópica

De éstos, se analizan las principales características observadas a través del presente estudio, acotando elementos que si bien se citaron en los apartados anteriores, en esta sección tienen un carácter particular destacando los resultados obtenidos durante el proceso de investigación.

#### ORIGEN DEL VOLCÁN

No queda duda que la historia eruptiva del volcán ha dejado una profunda huella morfológica que incide directamente sobre los procesos dominantes que actúan hoy en día sobre la ladera noreste; resulta claro observar que la historia tectovolcánica y la climática se encuentran asociadas de tal forma, que el conjunto de formas heredadas en el pasado así como las actuales, se relacionan de manera importante, aunque probablemente no con la misma intensidad.

Para nuestro caso, podemos asegurar que la estructura geológica es un factor dominante en el control y evolución de las formas del relieve, destacándose los eventos ocurridos de carácter volcánico y glaciar; ejemplo de ello son las emanaciones de carácter peleano que rompen parte de estructura superior del cráter del edificio hace aproximadamente 36,000 años, así como los fenómenos asociados como las avalanchas y flujos de cenizas; así como del colapsamiento que da origen a la caldera.

Destaca la reactivación violenta manifestada por la primera erupción pliniana que se caracterizó por la importante depositación de pómez de caída y su coincidencia con la Serie MII, combinación que sepulta a las geoformas desarrolladas por la erosión glaciar e hídrica y de manera especial, la segunda erupción asociada a la Formación Pómez Toluca Superior, la cual hereda la forma actual del edificio que hasta la fecha conocemos, así como los depósitos de sedimentos que actualmente son retrabajados y transportados y acumulados en diferentes partes de la ladera.

Destaca como resultado de ello, la profunda e intensa disección de la ladera en la porción noroeste y oriental desarrollada sobre los depósitos más frescos de la Formación Pómez

Toluca Superior, donde a su vez, por las características propias de la Formación son localizados los centros mineros y los asentamientos humanos más desarrollados de la región.

Es necesario precisar que el pasado del volcán y los procesos que en él se han desarrollado, indistintamente han dejado su conjunto de formas particulares, las cuales se han asociado para mostrar una fisonomía particular de acuerdo con los estados sucesivos de su desarrollo; y que la interpretación cabal de las formas que ahora observamos, sería incompleta si dejamos de lado a todos aquellos procesos que dominaron en épocas pretéritas.

## CONDICIONES CLIMÁTICO-METEOROLÓGICAS

Fundamentado en Hereford y en Graf (1984 y 1986 respectivamente) Palacio (1988) se cuestiona acerca de que los cambios climáticos alteran las tasas de erosión de cuencas pequeñas, y concluye que esto resulta dudoso, matizando que las posibles modificaciones en éstas podrían ser atribuidas a la influencia de otros factores más relevantes; sin embargo, parece ser que nuevos estudios aportan ideas que si bien no lo contradicen, plantean parte supuestos diferentes.

En este apartado, se toma como referencia aquéllas anotaciones en las cuales se reportan anomalías de carácter climático-meteorológico. En el Capítulo II se hace referencia acerca de los cambios meteorológicos que afectaban el ciclo de la lluvia y el régimen climático, ocurriendo un fenómeno periódico de cada diez años aproximadamente, con lluvias abundantes, sequía, heladas y granizo que generaban importantes crisis agrícolas y calamidades en la población, así como cambios en las formas de tenencia de la tierra.

Estos cambios también son observados en algunos trabajos antecedentes al presente, en los cuales se indican variaciones importantes en cuanto al régimen de precipitación y al comportamiento de la temperatura dentro del Valle de Toluca.

Como se ha observado en estudios climático-meteorológicos dicho valle es sensible al viento que proviene del Pacífico, por lo que los cambios de temperatura y humedad son fácilmente detectados; y aunque éste trabajo no tiene como objetivo aclarar cuales son las posibles causas de estas variaciones en períodos consecutivos observados cada 11 años, se plantea que probablemente estas tengan un origen que va más allá del sistema atmosférico local y regional. Esta observación nace en el punto de coincidencia de los cambios globales registrados en periodos de tiempo bien definidos, advertidos desde la época colonial hasta nuestros días.

En otras palabras las condiciones atmosféricas alternan entre largas temporadas de sequía y posteriormente de humedad registradas en los códigos y en las estaciones de sondeo atmosférico más modernas, nos hacen suponer la conformación de ciclos sequía-humedad registrados no solo en el valle de Toluca, sino a nivel planetario espaciados aproximadamente entre 11 y 22 años.

Este supuesto nace de los estudios que correlacionan los cambios climáticos con la actividad solar, siendo estas primeras un efecto directo de las condiciones evolutivas del Sol.

Este tipo de relaciones en general tiende a ser estudiada con muchas precauciones todavía; no obstante, los resultados encontrados correlacionan la gestación y aumento de actividad en la estrella a través del acto de aparición de manchas solares con cambios en la precipitación, temperatura, presión y por tanto en el sistema de circulación de vientos.

Más aún, se ha tratado de correlacionar dicha actividad con la presencia del fenómeno *ENSO* (El Niño/ *Southern Oscillation*) relacionado directamente con la modificación de los flujos del Pacífico.

Estas anotaciones coinciden con el comportamiento local del Nevado observado por los oriundos y las estaciones meteorológicas locales y periféricas; destacándose profundamente la presencia de largas temporadas en las que si bien la lluvia es intensa, cada 10 ó 11 años en promedio, se denota un importante aumento en la humedad, y particularmente destacándose la presencia de torrentes es más significativa desde el punto de vista de los caudales y las modificaciones morfológicas que heredan; hecho que cuestiona significativamente la posible relación establecida por el aumento de temperatura en el Pacífico Sur y el sistema local y regional de vientos y las condiciones generales de humedad.

Ha quedado demostrado que la dinámica geomorfológica del Nevado de Toluca depende en cierta medida del comportamiento de los agentes agua, hielo y viento y su combinación con otros factores independientes como la litología y la utilización del suelo para interactuar y definir los procesos morfogenéticos en amplia diferencia con los pedogenéticos, dando como resultado el modelado erosivo particular de cada sector de la ladera noreste.

Así, destacan sobre la ladera los contrastes expuestos por la morfogénesis y las condiciones microclimáticas, particularmente por que a pesar de existir condiciones generales de erodabilidad del volcán, ésta se localiza y se intensifica con mayor precisión en el sector oriental, ya que en este sentido, es el sector que se encuentra expuesto a temperaturas más bajas a lo largo del año, evidenciando un trabajo erosivo más efectivo que el que se encuentra en el noreste y norte del edificio.

## ESTADO Y DINÁMICA DEL AGUA

El hielo que se funde después de la época invernal, coadyuva de cierta manera al desarrollo de formas erosivas en la ladera, esto básicamente a través del proceso de saturación de suelos favoreciendo el proceso de palpitación presente prácticamente durante el otoño, el invierno e inicios de la primavera. Esta condición permite la activación de un intenso proceso de intemperismo registrado por lo menos la mitad del año en la sección este del volcán.

En este caso, los escurrimientos por lo general no presentan altas concentraciones energéticas, su velocidad se encuentra condicionada con la rapidez con la cual se efectúa el deshielo, generalmente de carácter lento debido a las condiciones atmosféricas ya citadas. Y a pesar de que superficies importantes de suelos en las partes altas se encuentran ya saturadas, los flujos hídricos en la sección del piedemonte al no encontrar las mismas condiciones de

permeabilidad, se filtran relativamente de manera fácil ocasionando con ello sólo la inundación del canal de estiaje.

## PROCESOS DE MODELADO FLUVIAL

El modelado de las vertientes más intenso que se observa en el volcán, depende directamente del agua que escurre superficialmente por los arroyos especialmente durante la época de lluvias y más particularmente durante los últimos tres meses de esta temporada; éste de cierta manera se encuentra intensamente relacionado con variables de carácter estático y dinámico, que al combinarse dejan como resultado una morfología que en general, se caracteriza por poseer en el mayor número de las veces a lo largo de los cauces de los arroyos y en los interfluvios geformas erosivas (cuadro 5.1).

VARIABLES QUE AFECTAN LA ESCORRENTÍA	
ESTÁTICAS	DINÁMICAS
Naturaleza del sustrato	Precipitación total
Suelos	Intensidad de la lluvia
Vegetación	Lluvia antecedente
Morfología de la cuenca	Cambios en la tasa de pérdida de agua

CUADRO 5.1 Variables inciden en el proceso de destrucción de tierras.

Desagregando la información contenida en el cuadro anterior, puede advertirse claramente que dentro del grupo correspondiente a las variables de tipo estático, la parte que refiere al sector de la naturaleza del sustrato como se ha apuntado ya, se caracteriza por poseer material volcanoclástico representado en la mayor parte de su superficie de materiales pumíticos y suelos arenosos que si bien favorecen el proceso de filtración del agua, no tienen la capacidad de realizar esta acción a la misma velocidad con la cual las lluvias torrenciales se desarrollan, por lo que propician la activación de los atributos dinámicos que modifican a la superficie constantemente.

Asimismo habrá de recordarse que los suelos desarrollados sobre la superficie del volcán en este sector, disponen de la característica típica de la hidrofobia, es decir, que al contacto del agua proveniente de la precipitación, al encontrarse poco consolidada la capa superficial, se desarrollan fácilmente procesos que favorecen la desintegración de las partículas así como de su transporte.

Se presupone que las cuencas que poseen mayor altura y pendiente producen la mayor cantidad de escurrimientos por lo que la tasa de erosión debe presentar valores superiores en comparación con aquellas cuencas en las que las cabeceras principales se localizan en porciones altitudinales más bajas que las primeras: sin embargo, localmente, se observa que los procesos erosivos son más intensos y por tanto, la mayor concentración de energía de los flujos torrenciales se presenta en forma preferencial sobre aquellos cauces que son cortos y de menor altura, como es el caso de los arroyos Santiaguito, Verdiguél y Caballero; los cuales destacan por la capacidad tan alta de carga.

Esta situación no excluye la importancia de las corrientes que encuentran su origen en las proximidades del cráter del volcán como del arroyo Terrerillos y Cano que son buenos ejemplos de torrentes potentes; sin embargo, la diferencia radica en que en la mayor cantidad de precipitación e intensidad de la misma se presentan por debajo de la cota de los 3,600 metros, lo que quiere decir que en los cursos fluviales literalmente existe menos espacio para contener la cantidad de agua generada durante una precipitación, lo que no ocurre con una corriente larga, ya que el agua tiende a distribuirse de manera más amplia y, en las corrientes cortas, el fluido se concentra e incrementa por lo que los niveles de energía erosiva aumentan.

Ha quedado demostrado así que las cuencas pequeñas en cuanto a su extensión se refiere, tienden a concentrar el agua en forma más eficiente desde el punto de vista de los cambios generados a partir de la precipitación y la transformación del agua de lluvias en escurrimiento superficial, ejemplo de ellos son las características observadas en los arroyos que nacen por debajo de la cota de los 3,200 m; caso particular la cuenca del Zaguán y del Verdiguel.

Entonces a pesar de que las cuencas mayores tienen mayor capacidad de almacenamiento a través de la corriente principal, las de menor proporción espacial manifiestan gastos energéticos más elevados expresados a través de la modificación geomorfológica de los cauces, ello ha quedado demostrado a través del análisis morfométrico de las cuencas.

Este hecho resulta importante desde el punto de vista de la diferenciación espacial y de la energía liberada al interior de los cauces de los arroyos, ya que en cuencas amplias donde la longitud de estas es amplia, el fenómeno erosivo más intenso se presenta no en el cauce principal, sino que la mayor cantidad de modificaciones y carga de sedimentos es observada en los tributarios de primer y segundo orden; que al concentrar su energía en porciones altitudinales más bajas, llevan consigo un gasto intenso observado principalmente en el cono de deyección; ejemplos particulares de este caso se muestran en los arroyos Terrerillos y Cano con mayor precisión, donde la misma forma de las cabeceras tiende a diferenciarse ampliamente por estas circunstancias; así las que se localizan en la parte alta del Nevado, a pesar de evidenciar las huellas del modelado glacial, los valles a su pie tienden a mostrar formas suaves como las vaguadas; al mismo tiempo que las cabeceras de las fuentes que nacen más abajo, encuentran una intensa disección vertical.

Finalmente; las diferencias erosivas y acumulativas en los cauces de los arroyos además de depender del tamaño de la cuenca, se circunscriben éstas tanto a la cantidad y distribución de los escurrimiento, como a las condiciones de estabilidad presentes en el suelo y en la cobertura vegetal; manifestándose prácticamente en toda la ladera noreste condiciones propias de fitoestabilidad, acentuadas con mayor énfasis en la presión oriental del edificio.

De las cuencas desarrolladas en el volcán, se observa también que existe una correspondencia entre las condiciones altimétricas (ver mapa 5.1) y las de pendiente (ver mapa 5.2), ya que se advierte que si bien las condiciones genéricas del sustrato y del clima tienden a ser semejantes, son precisamente las irregularidades locales las que permiten la diferenciación espacial de la obra.



Al observar los mapas, podrá corroborarse que las laderas menos tendidas se localizan del NE franco hacia el Este, y es sobre la porción del piedemonte donde el encajamiento de los valles es más intenso; sin embargo, además como el mapa de pendientes lo resalta, la densidad de corrientes así como la intensidad del fenómeno erosivo se localiza en el sector anteriormente citado.

Resalta también hacia el norte el encajamiento intenso de las corrientes del Terrenillos particularmente en el piedemonte, mientras que el sector central comprendido entre el NE y N aparentemente representa un trabajo energético menor.

Las corrientes fluviales que trabajan en este sector, si bien no se distinguen por la fuerte pendiente, como se anotó líneas arriba, lo corto de los cauces combinado con la precipitación y el material pumítico expuesto, hace posible que el comportamiento torrencial tienda a ser efectivo en términos de la alta capacidad de carga de sedimentos.

En otro orden de ideas pero también con referencia a la combinación altitudinal y de pendientes, al analizar el proceso de distribución de ambas aunada con la ausencia de cobertura vegetal en la zona de transición con la llanura, es identificable que por lo menos las condiciones actuales tienden por un lado a minimizar la capacidad de filtración del agua de lluvias; mientras que por el otro favorecen el desarrollo de corrientes torrenciales de magnitud importante.

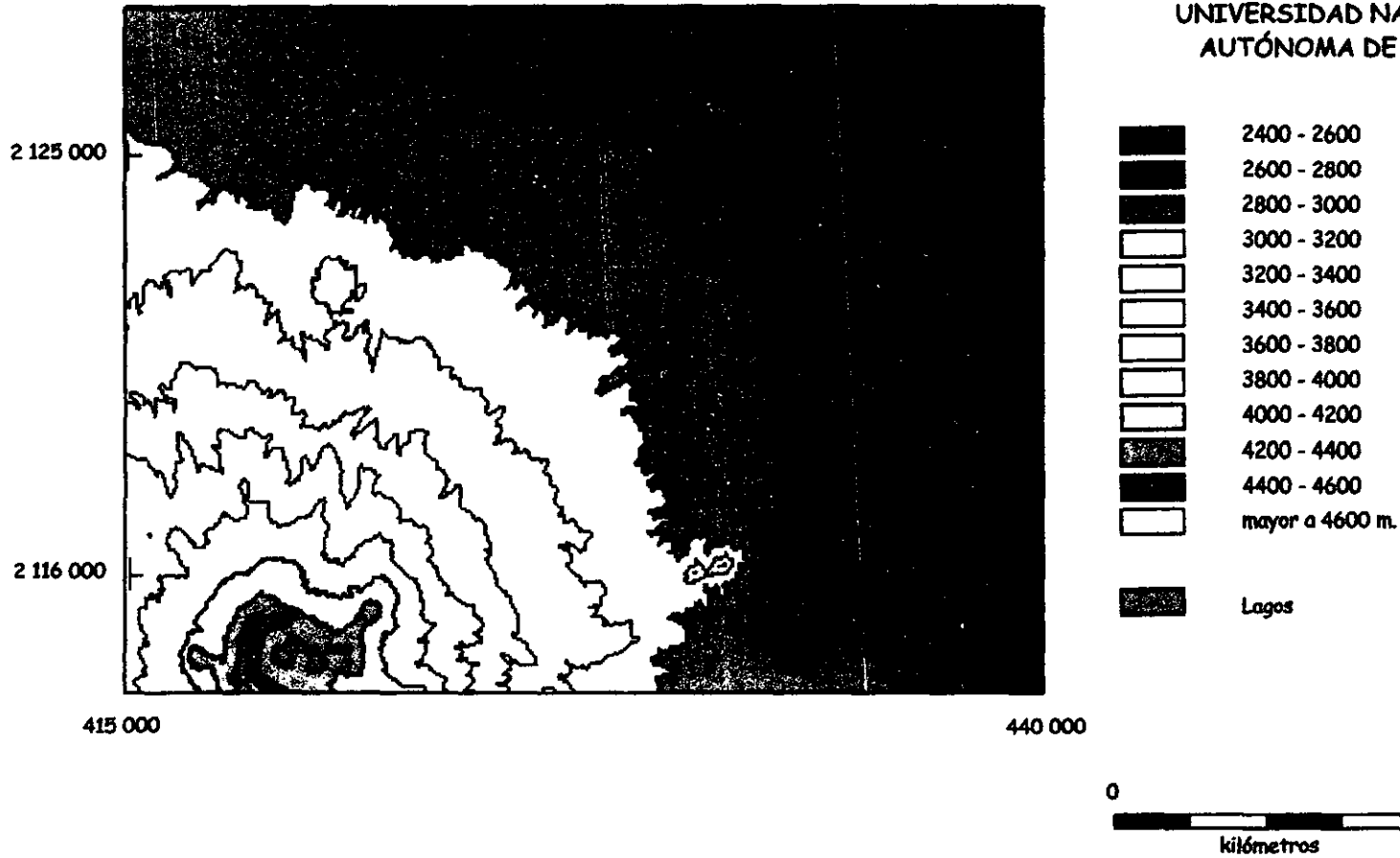
Lo expuesto anteriormente, presenta una relación directa con el arreglo del sistema de drenaje, ya que como se apuntó en el apartado anterior, la configuración dendrítica, la asimétrica, y el desarrollo paralelo de interfluvios permiten condiciones favorables que involucran tanto a la capacidad o propensión de generación de avenidas con el mismo sistema hidráulico.

# CARTA HIPSOMÉTRICA

## LADERA NORESTE, NEVADO DE TOLUCA, MÉXICO



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE MÉXICO



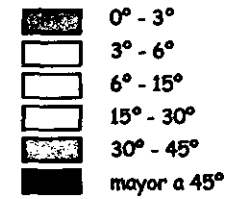
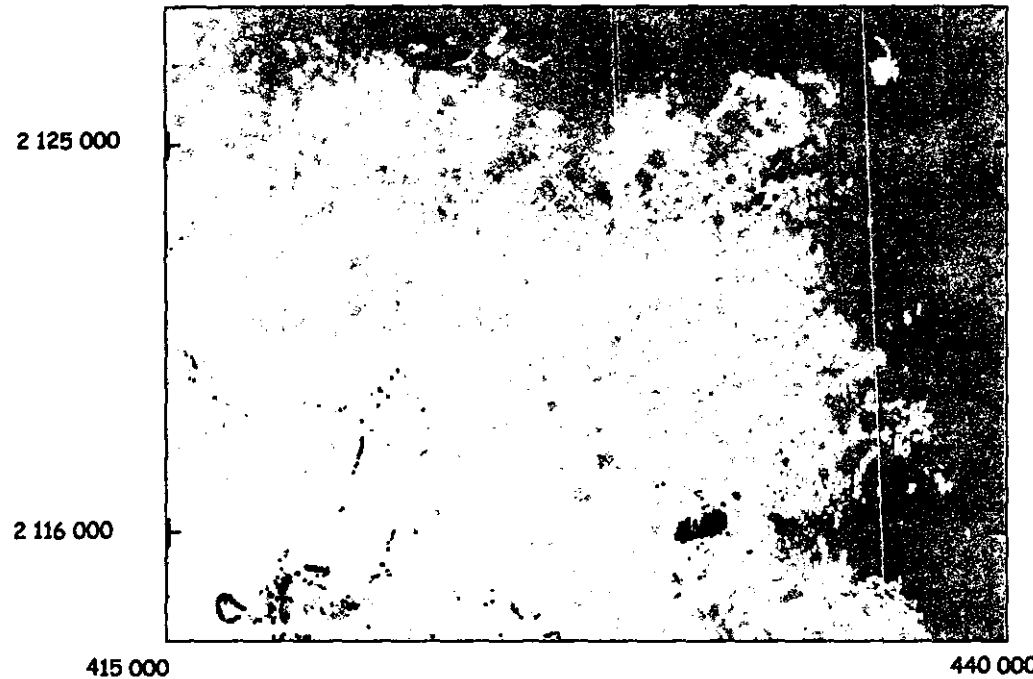
Proyección: UTM.  
Fuente: IGECEM, 1979

# CARTA DE PENDIENTES

## LADERA NORESTE, NEVADO DE TOLUCA, MÉXICO



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE MÉXICO



Pendiente en grados



Proyección: UTM.  
Fuente: IGECM, 1979

Por lo que respecta a las variables de tipo dinámico, se observa que la precipitación total afecta el volumen de las crecidas, ya que existe una relación proporcional en este sentido; ya que al aumentar la primera, la segunda variable presenta la misma condición; incrementando así la proporción de la escorrentía.

El segundo factor identificado a través de la precipitación total, ha mostrado que su influencia radica en dos sentidos; el primero observado a través de la localización particular de la concentración de los flujos pluviales y el segundo, determinado por la capacidad de filtración del agua, ya que entre mayor sea la intensidad de la lluvia, menor tiende a ser la capacidad de filtración del suelo.

Se ha observado que en una lluvia intensa y rápida se puede reponer el suelo de un déficit, sin embargo, el proceso ocurre con tal rapidez que el agua no alcanza a penetrar hacia el manto freático.

Resulta interesante apuntar que posterior al proceso citado, se favorece el desarrollo de flujos hipodérmicos; denotándose que la erosión subsuperficial se presenta de manera continua durante la temporada de lluvias cuando éstas no suelen tener un carácter torrencial debido a que los suelos tienden a saturarse, lo que destaca después de la ocurrencia de un meteoro extraordinario.

Por lo que corresponde a la presencia de lluvia antes de una precipitación de carácter torrencial, éstas resultan básicas, ya que se ha observado que la torrencialidad se presenta después de que la temporada de lluvias ha comenzado; es decir, que la precipitación de los primeros meses tiende a saturar los suelos, los cuales se encuentran expuestos a condiciones de alta erodabilidad por el arrastre de sedimentos y los flujos de agua descendentes de las cuencas de captación; donde la filtración del líquido es nula, favoreciendo entonces el desarrollo de la dinámica torrencial en los meses de julio y agosto.

Lo anterior, resume que sobre la ladera noreste del Nevado de Toluca, la escorrentía supera a la cantidad de precipitación registrada, esto ocurriendo durante los últimos meses de humedad en el año.

El punto que refiere a los cambios en la tasa de pérdida de agua se encuentran referidos a las condiciones locales de la vegetación, donde la presencia de estratos y estacionalidad juegan un papel importante dentro del balance hídrico afectando a la evaporación, interceptación del agua de lluvia y por consiguiente a la evapotranspiración.

Esto nos indica que la falta de vegetación y estratos bien diferenciados sobre la ladera exponen a los suelos a los procesos de la erosión pluvial observados a través de los efectos de salpicamiento directo, a través de las hojas de los árboles y el escurrimiento de agua en las ramas y troncos de los árboles (*splash, trough fall y stream flow*); así como a la erosión laminar.

Se advierte sobre las laderas que cuando las corrientes transitan en zonas con apariencia fitoestable, aún se denota un aporte importante de sedimentos; lo que se traduce como la

facilidad que tiene el trabajo erosivo aún sobre sitios donde existe la presencia de vegetación, evidencia de su debilitamiento por la presión antrópica ejercida.

Todas estas condiciones favorecen que los flujos de agua se concentren y se encajen en arroyos; se observa asimismo el frecuente desarrollo de cárcavas como elemento de colonización de los interfluvios, es decir que su número y distribución conforme avanza la temporada de lluvias aumenta de forma considerable su influencia en el proceso erosivo; estas formas además de desarrollar su propio conjunto de formas y procesos, en general se disponen a favor de las pendientes canalizando entonces los flujos de agua. Cabe hacer mención, que las prácticas de conservación que se desarrollan a este respecto en general son ineficientes desde su propia concepción y operación, debido a que los agricultores del lugar tienden a rellenar las cárcavas con la capa más superficial del suelo que se encuentra adosado a dichas geoformas.



FIGURA 5.1 Suelo desprovisto de la vegetación original impactado por la precipitación; asimismo logra advertirse el desarrollo del pie de vaca.

Por otra parte, se destaca que las obras de infraestructura creadas con el propósito de amortiguar el problema de las avenidas y las inundaciones de la planicie adjunta al piedemonte, en general no han resultado como en teoría se había planeado, ello como causa del desconocimiento de la dinámica particular de cada cuenca y subcuenca, además, han contribuido con el proceso erosivo ya que además de presentarse en la zona flujos torrenciales concentrados, los gabiones y presas de mampostería localizan puntos de rompimiento de pendiente que al ser colmatados en su totalidad, provocan la generación de otro tipo de procesos que centran su energía denudativa en dichos sectores.



FIGURA 5.2 Restos de un gabi6n en el arroyo el Zagu6n.

Se ha establecido que los desniveles de este tipo en general coadyuvan a aumentar la energa cinética del agua tomando en consideraci6n el flujo de agua y la masa de sedimentos transportados.

Las variaciones de velocidad de escurrimiento del agua y del caudal mismo provocan en s6 que el transporte de sedimentos se caracterice por poseer una importante carga de fondo, la cual aunque en la literatura se establece que 6ste tipo no representa a m6s del 3% del total de materiales transportados, su importancia radica en funci6n de la definici6n de los procesos locales de depositaci6n y erosi6n. Ello se encuentra referido con la continua formaci6n y destrucci6n de terrazas fluviales constituidas por sedimentos groseros que reflejan altos 6ndices de rodamiento t6picos de los torrentes; as6 como de bancos aluviales dispuestos en forma de lechos alargados; y sobre los abanicos aluviales que denotan la r6pida acci6n del deposito de cargas masivas de sedimentos, retrabajan sobre el dep6sito mismo creando canales de desagüe y algunos diques naturales dispuestos sobre la planicie.

En conclusi6n, las variaciones de velocidad de los escurrimientos influyen con la probabilidad de mover la carga de sedimentos y determinar la din6mica de la misma.

De manera particular, los dep6sitos heredados de las corrientes de primer y segundo orden que son tributarios, presentan en general poco desgaste al mostrar a6n facciones angulosas, y cierta clasificaci6n de los sedimentos.

## CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS TORRENTES

Los arroyos provenientes del Nevado de Toluca presentan características comunes en cuanto al desarrollo de las formas a los procesos erosivos y acumulativos.

Si bien en el apartado anterior se expusieron las características morfológicas de los torrentes, en este punto se comparan las características particulares de ellos a través de una matriz en la cual se observa como a pesar de tener similitudes, en algunos de ellos se matizan en mayor o menor proporción algunas de éstas.

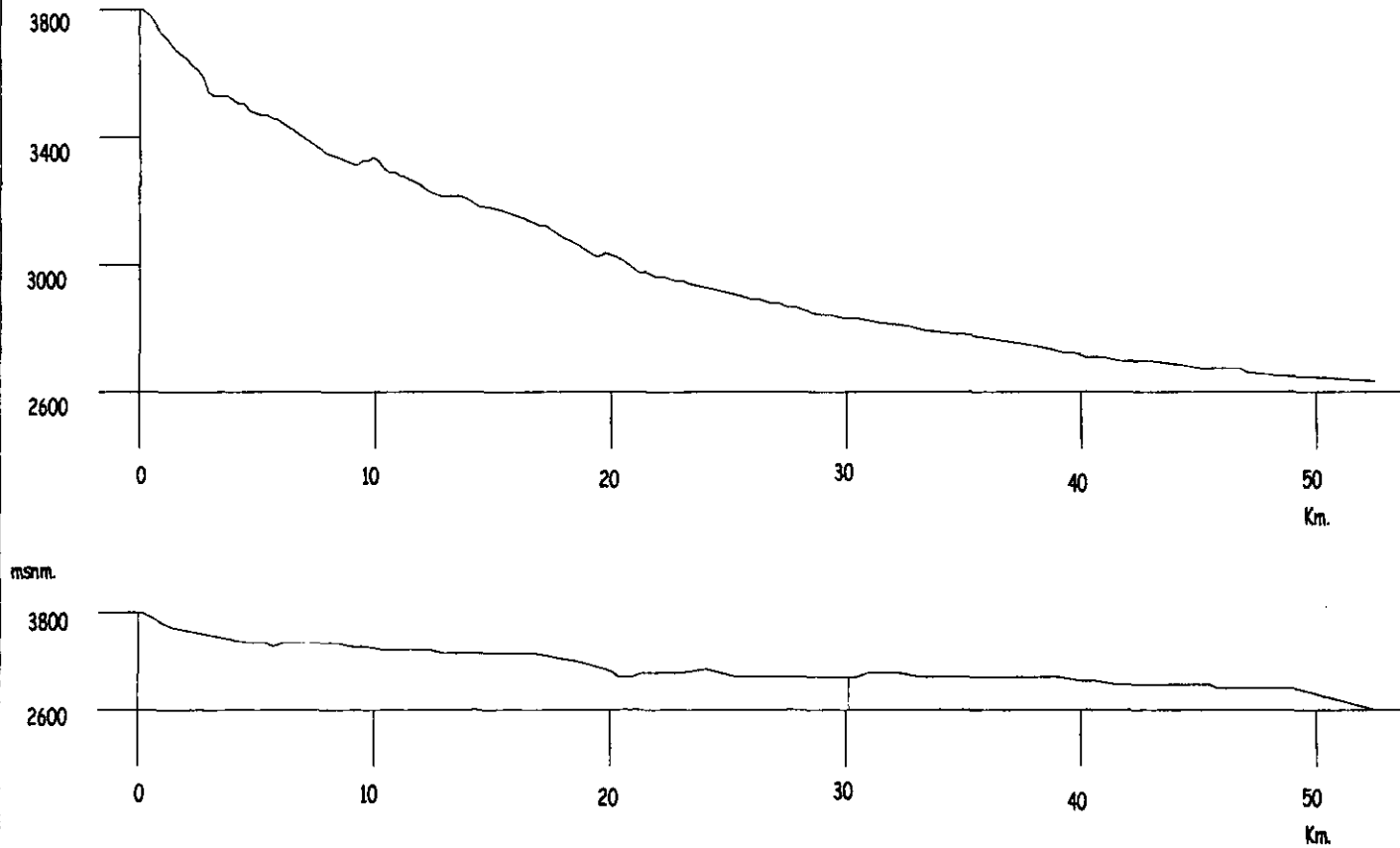
Para cada uno de los torrentes se levantó un perfil geomorfológico compuesto de acuerdo con los criterios de Ortiz (1990), en el cual además de mostrar las características geométricas, incorpora información geológica, climática edafológica y de uso de suelo.

A continuación se presenta el perfil geomorfológico de un arroyo, en el cual pueden apreciarse los rasgos citados.

Con ellos, se ha preparado una ficha de caracterización en la cual por un lado se observa, el sistema principal de unidades morfológicas, las cuales se encuentran representadas por el tipo de cabeceras, la sección del macizo que corresponde al curso alto; el piedemonte, la planicie y, las características de los interfluvios.

Asimismo, se definen los atributos particulares de cada una de las secciones mencionadas, resaltando por supuesto las características morfológicas del cauce, y aunque ya conocida la litología, se acotan algunos puntos acerca del sustrato y la carga de la corriente. Se incorpora información acerca de la cobertura vegetal existente y los procesos modeladores más representativos destacado las características geométricas del cauce y, la presencia e influencia de las actividades humanas en el caso de existir (cuadro 5.2).

# PERFIL LONGITUDINAL DEL ARROYO AGUA BENDITA



## LEYENDA

### CLIMA

C(W2)(W)b'jg

C(W2)(W)b(i')g

### USO DEL SUELO

FBC(P)

FBC(P)-Pn

Pi-FBC(P)

Pi

FBL(AI)-Pi

S(Mi)Pi

Pi-S(Mi)

FBL(AI)

AtpA

S(Mi)

### EDAFOLOGIA

ANU2-2S

Hh+Be/2

Je/1

Hh+Be/1

### GEOLOGIA

Ladera de Pómez

Planicie Aluvio Lacustre

### FUENTE:

INEGI, 1979, 1980, 1996; Aceves, 1997.



CARACTERÍSTICAS FÍSICO-GEOGRÁFICAS DE LOS ARROYOS				
SISTEMA DE UNIDADES MORFOLÓGICAS				
CABECERAS Y CURSO ALTO	PIEDEMONTE	INTERFLUVIOS	PLANICIE	
M O R F O L O G Í A	Presentan laderas rectas y la mayor parte de los cauces que nacen en las partes altas forman vaguadas, mientras que aquellos comienzan por debajo de los 3,200 metros desarrollan valles profundos en "V".	Los perfiles transversales tienden a ser cóncavos y algunos poco más rectos, dominando en ellos la geometría erosiva; se desarrollan valles asimétricos pronunciados que alternan fondos planos, terrazas y bancos aluviales importantes.	Presentan por lo general cimas planas y una geometría recta tendiente hacia la concavidad; sin embargo, la pendiente expresada sobre ellos favorece el desarrollo de regueros y cárcavas; así como de erosión subsuperficial; en algunas ocasiones simulan condiciones de equilibrio.	Los conos de deyección tienden a mostrar una morfología potente, evidenciando con ello la importancia de los flujos torrenciales. Sobre ellos se presentan procesos de disección fluvial y se localizan asentamientos humanos.
L I T O L O G Í A	Predominan los depósitos de pómez y cenizas; en la parte superior del edificio se encuentran materiales crioturbados.	Caracterizado por los depósitos pumíticos y cenizas, se presentan en los fondos de los cauces bloques que forman bancos aluviales que disponen sus materiales perpendicular a los cauces el eje de rotación "A"	Materialmente colonizados por actividades agrícolas se encuentran conformados por los depósitos de la Formación Pómez Toluca Superior que sobreyace a la Formación Pómez Toluca Inferior.	Se encuentran materiales clasificados de acuerdo con su granulometría, disponiendo en los ápices los materiales más groseros, se localizan importantes bancos aluviales y la formación de algunos diques naturales que elevan a las corrientes por encima del nivel de base de la planicie.
V E G E T A C I Ó N	Se presentan relictos de vegetación natural, dominan sin duda comunidades secundarias; mientras que en las partes más altas, se disponen algunos pastos y zacatonales.	Sólo existe vegetación en galería, y ésta prácticamente es de tipo secundario; aparecen indicadores de desequilibrio ambiental como algunas epífitas, y la constante irregularidad de los estratos vegetativos.	Existen pocos árboles testigos de la vegetación original del lugar; su presencia prácticamente es nula y presentan problemas de <i>trough fall</i> , <i>stream flow</i> , erosión laminar y reptación.	Sólo se disponen sistemas de cultivos tradicionales y algunas chinampas abandonadas, por lo que la cobertura vegetal natural es inexistente.

CARACTERÍSTICAS FÍSICO-GEOGRÁFICAS DE LOS ARROYOS				
SISTEMA DE UNIDADES MORFOLÓGICAS				
CABECERAS Y CURSO ALTO		PIEDEMONTE	INTERFLUVIOS	PLANICIE
P R O C E S O S	En las partes altas se localizan procesos de gelifracción y formación de conos de detritos; la erosión fluvial no es muy incisiva. En los cauces originados a baja altitud, la disección del agua es pronunciada.	Erosión vertical, ampliación de márgenes, socavación lateral, formación de terrazas, bancos aluviales y coluviones son característicos en todos los cauces.	Se presenta la erosión subsuperficial, algunos asentamientos así como el desarrollo de regueros y cárcavas.	Se caracteriza por la acumulación intensa de materiales torrenciales asociados también a inundaciones periódicas y a la formación de diques.
	A N T R Ó P I C O	Agricultura de temporal, tala, pastoreo y rellenos sanitarios clandestinos.	Agricultura de temporal, tala, pastoreo y rellenos sanitarios clandestinos.	Agricultura de temporal, pastoreo, asentamientos humanos y extracción minera.

El común denominador de las corrientes se encuentra caracterizado por la disección vertical intensa localizada de manera puntual sobre el piedemonte al comenzar los escurrimientos en la porción de los cauces; de hecho, las formas profundas y aplanadas encontradas en este sector, indican la potencia de los flujos torrenciales, así como su capacidad modelada observada a través de la socavación lateral de las márgenes, de escapes que sobrepasan los 90° de pendiente y la continua formación de coluviones y el retrabajo de los mismos.

En el sector del pediplano inferior, se localizan con mayor frecuencia un dominio de terrazas fluviales que indican la constante acumulación y erosión de los depósitos.

En este sentido, es necesario aclarar que la mayor parte de las terrazas se encuentran colonizadas por lo menos por estratos vegetativos herbáceos y algunos pastos, situación que nos indica que la formación de este tipo de depósito en general ha sido pobre en los últimos años, observándose que las más recientes sólo alcanzan diferencias de altura de unos cuantos centímetros; ello indica entonces que las condiciones normales de funcionamiento del sitio, evidencian que la erosión supera ampliamente a la acumulación, donde las terrazas anteriormente descritas más bien tienden a ser disectadas vertical y horizontalmente, presentando socavaciones intensas de más de 30 centímetros hacia su interior a partir de la base de las mismas.

Finalmente, el aterrazamiento es también observado en las porciones más bajas de los cauces en las proximidades de los conos de deyección, presentando las mismas características de trabajo erosivo.

Un punto importante dentro de la morfología de los torrentes se encuentra asociado con los procesos de transporte y carga de sedimentos; particularmente esta relación destaca en los sitios de intersección de las corrientes de orden inferior al constituir una del siguiente orden formado de una especie de conos debido a la acumulación de los materiales transportados por los mismos.

Los depósitos son recientes y por lo general cuando son coluviales se asocian a cortes frescos de los escarpes; los cuales a su vez son retrabajados por las corrientes con facilidad.

Por su parte, los depósitos del lecho se clasifican básicamente por su grado de redondez en redondeados y angulosos, siendo los primeros modelados por el medio de transporte y los segundos, el resultado del rompimiento de los primeros por el choque entre estos mismos.

Cabe aclarar que el grado de redondez, distribución y disposición de los sedimentos manifiestan la ocurrencia de crecidas súbitas de las aguas, ya que éstos dentro de la morfoscopia exhiben algunas caras planas y una forma tendiente a la angulosidad lo que en este caso indica que el medio acuático activó con rapidez y en un tiempo relativamente corto; mientras que los bancos aluviales y la orientación perpendicular del eje "a" con respecto al cauce, esta evidencia inherente a la energía empleada durante su transporte.

Estos depósitos juegan un papel importante durante la época de lluvias por que los materiales de remoción y transporte de acuerdo con su volumen y distribución coadyuvan a modificar la morfología interna de los arroyos al provocar sistemas trezados y cursos divagantes que atacan las márgenes fluviales.

Al observar las corrientes fluviales en planta, las condiciones antes referidas matizan en los torrentes cambios importantes desde la cabecera principal hasta los conos de deyección con relación a la amplitud y profundidad de los cauces.

De manera general la mayor parte de las corrientes responde a un sistema de disección vertical al pie de las cabeceras que denotan entre los interfluvios una estrechez que conforme se desciende hacia el piedemonte se pierde súbitamente mientras que la incisión vertical del agua se encarga de tal manera que llega a observar profundidades que oscilan entre los 15 y los 20 metros.

Sin embargo, al continuar la visión hacia las porciones que cobran los cursos bajos de las corrientes, el estrechamiento de algunas corrientes y la menor profundidad denotada es sensible, obedeciendo estos cambios también a las rupturas de pendiente y a las altas condiciones de erodabilidad de la ladera.

#### CONDICIONES DE ERODABILIDAD

El análisis de la densidad disección del relieve denota que en general este proceso tiende a ser poco concentrado en la parte norte de la ladera noreste del Nevado, ello se debe al tipo de rocas y a que el sustrato tiende a ser poco más resistente a los procesos de erosión fluvial y

gravitacional en comparación con la parte oriental. La altitud en la que se encuentran pequeños sectores con alta disección en esta parte oscila entre los 3,000 y 4,000 metros, esto asociado a los rangos de pendiente encontrados, los cuales oscilan entre los 30° y 40° (mapa 5.2).

La parte oriental de la ladera presenta los mayores valores de densidad de disección, muestra que el tipo de material y estructura geológica se encuentran poco consolidados, por lo que la erosión fluvial es más fuerte, originando mayor número de *talwegs* que tienen una acción erosiva. Con las pómez y cenizas aflorando y las fuertes pendientes observadas, la intensidad así como el número de procesos geomorfológicos e hidrológicos que modelan el relieve al incrementarse aumentan la reexistencia del lugar, además de generar condiciones propicias para la ocurrencia de fenómenos asociados al riesgo tanto para las propias condiciones bióticas, las que involucran a los grupos de población y las actividades económicas que ahí se desempeñan.

El fenómeno descrito tiende a ser más representativo en aquellos sectores con pendientes de 30° y 45°, porque ahí es donde encuentran su origen la mayor número de corrientes de primer orden, aumentando así la densidad de disección.

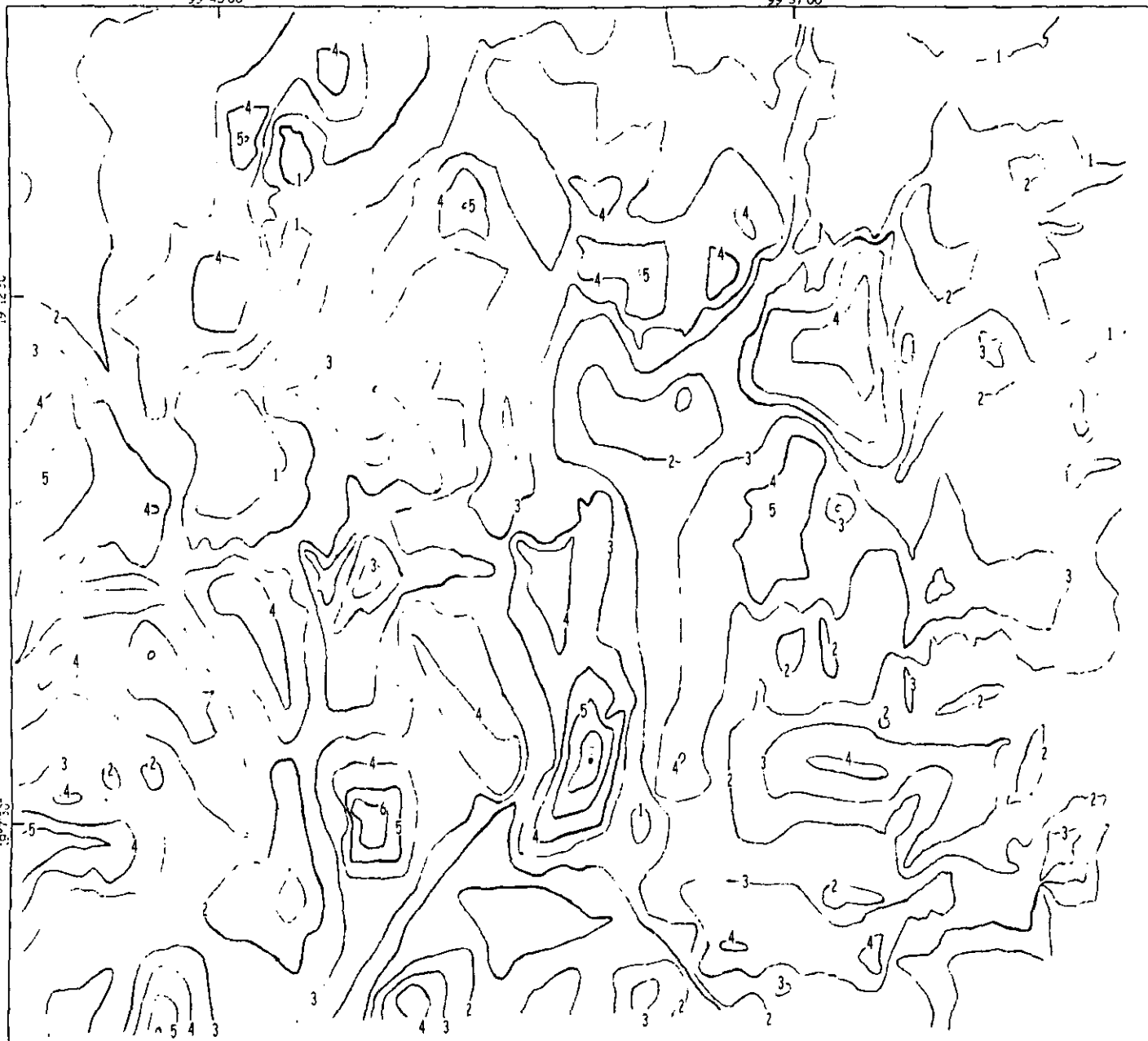
Asimismo, cabe resaltar que la alta densidad es originada por las características de las lluvias, son principalmente de tipo torrencial y el tipo de material esta poco compactado particularmente sobre la Formación Pómez Toluca Superior; ello representado con mayor dinamismo en la parte oriente de la ladera, donde la fragilidad de la roca es la que permite mayor número de corrientes, incrementando la dinámica de las *talwegs*, los cuales intervienen intensamente en el modelado de las corrientes tributarias y principales.

99°45'00"

99°37'00"

19°12'30"

19°13'



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

MAPA DE LA DENSIDAD DE LA DISECCIÓN  
EN EL NORESTE DEL NEVADO DE TOLUCA

RANGOS

0-1 Km.

1-2

2-3

3-4

4-5

5-6

6-7

ESCALA 1 : 110 00



KILÓMETROS

DENSIDAD DE LA DISECCIÓN			
ALTITUD EN METROS	SECCIÓN DE LA LADERA		
	N	NE	E
3600	0.5-1.0	1.0-1.5	1.5
3200-3600	2.0	2.0-2.5	2.0
2800-3200	2.5	2.5	2.5-3.0
2600-2800	2.5	2.5-3.0	3.0-4.0

CUADRO 5.3 Concentración energética de la erosión fluvial y la potencial areal.

### SUBSIDENCIA

Sobre la planicie periférica al volcán se han mostrado puntualmente procesos de hundimiento, los cuales no son extraordinariamente evidentes debido al predominio de la actividad agrícola en estas porciones; no obstante, las áreas donde éste puede ser identificado con cierta facilidad presentan ya influencias antrópicas, observándose el fenómeno sobre las estructuras de casas o zonas urbanizadas.

Además de mostrar la existencia de la subsidencia (figura 4.3) para comprobar su existencia y comprender su dinámica, se procedió a realizar un levantamiento de un perfil edafológico (figura 5.3), encontrándose los siguientes parámetros:

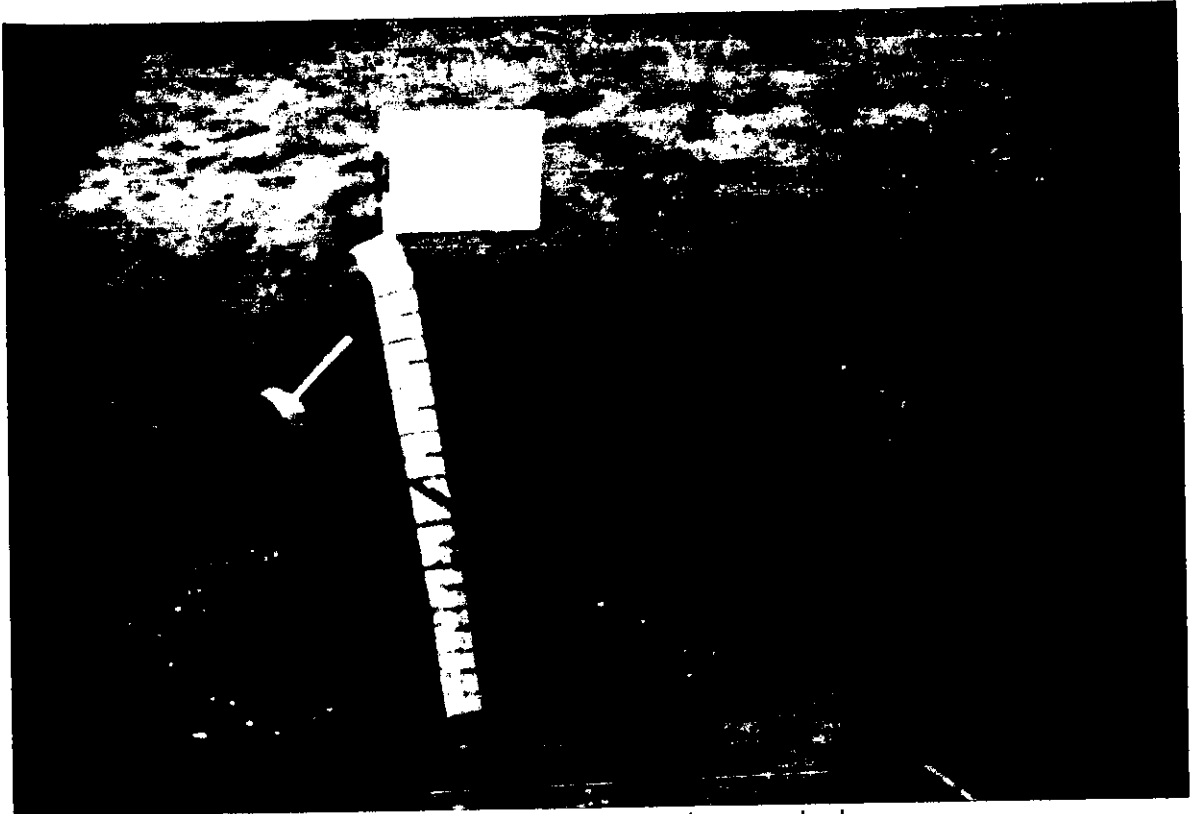


FIGURA 5.3. Perfil edafológico con afloramiento de materiales marmoleados,

DESCRIPCIÓN DEL PERFIL EDÁFICO	
HORIZONTE	DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA
0-15 A <sub>p</sub>	Migajón arenoso, 10YR <sup>6</sup> / <sub>3</sub> marrón, pequeños bloques angulares desarrollados ligeramente adhesivos y ligeramente plástico, poros tubulares medianos frecuentes, raíces abundantes medias finas, límite tenue.
15-30 A <sub>12</sub>	Migajón arenoso, 10YR <sup>6</sup> / <sub>3</sub> marrón, bloques angulares débilmente desarrollados, ligeramente plástico, ligeramente adhesivo; abundantes gravas y gravillas, abundantes poros tubulares, raíces comunes de fines a medias, límite tenue.
30-57 A <sub>13</sub>	Migajón arenoso 10YR <sup>6</sup> / <sub>3</sub> marrón, grumosa, abundantes gravillas angulosas, ligeramente adhesivo, poros tubulares y vesiculares abundantes; raíces finas comunes, límite marcado de horizonte.
57-105 B <sub>w</sub>	Migajón arcillo-arenoso 10YR <sup>6</sup> / <sub>4</sub> marrón (matriz) marmoleado 2.5Y <sup>7</sup> / <sub>2</sub> gris claro, grumoso, adhesivo y plástico; abundantes gravillas, poros tubulares abundantes, raíces finas escasas, imperfectamente drenado.

CUADRO 5.4 Características particulares del perfil de suelo.

Los datos observados en el cuadro nos indican la presencia de cuatro horizontes, de los cuales el A<sub>12</sub> y A<sub>13</sub> son presentan una fuerte semejanza entre sí.

El perfil de suelo observado es un Vitriohaplustand, en el cual puede advertirse un suelo reciente y poco evolucionado que presenta procesos de iluviación y formación de arcillas *in situ*; y al considerar la constitución del mismo con arena, grava y gravillas, es comprensible entonces determinar que dicho suelo permite de manera fácil la infiltración de agua.

El arrastre referido, es el responsable del transporte de partículas finas que dejan a su paso espacios vacíos que a su vez facilitan la remoción de materiales hacia la parte inferior del perfil y del flujo de agua; situación que favorece el propio desarrollo del horizonte B<sub>w</sub>.

A la profundidad de 57 centímetros se presenta el depósito de los sedimentos finos y por lo tanto el movimiento del agua en dicho horizonte disminuye de manera significativa; ello se demuestra al encontrarse moteados en el color; este proceso se explica a través de la oxidación y la reducción; y de particular interés resulta este último, ya que cuenta con el tiempo suficiente para generar procesos de gleisación.

Una particularidad del suelo es la cantidad de espacio poroso, con la cual se ha comprobado el proceso de subsidencia de la zona plana, los datos encontrados para el perfil se encuentran alrededor del 50%. En este sentido resalta el predominio de macroporos sobre los microporos; y ello demuestra en conjunto con las condiciones dominantes anteriormente descritas que el movimiento del agua dentro del perfil además de ser más intenso, provoca la generación de espacios libres caracterizados como grietas de desecación, favoreciendo así los procesos de hundimiento del suelo y formación de macroporos laminares, particularmente en aquellos sobre los cuales se ha dispuesto de cierta infraestructura, la cual por su peso al ocurrir el intercambio de fluidos en la parte más profunda del suelo, simplemente por gravedad tiende a compactar los espacios porosos; de hecho, el proceso de subsidencia se presenta en los horizontes profundos del suelo sin alterar a los superiores; no obstante, el espacio creado



entre ambos permite que las partes que conforman la parte superior, tiende a asentarse generando escalonamientos e irregularidades en la superficie.

## FACTORES BIOGEOGRÁFICOS

### CONDICIONES EDAFOLÓGICAS

La naturaleza del suelo, la pendiente, y las condiciones climáticas favorecen las condiciones de erosión pluvial, laminar y concentrada.

Como correspondiente a esta situación, los suelos al encontrarse expuestos disminuyen su cohesión por la sustitución de raíces, los cambios de nutrientes presentan por tanto el empobrecimiento del mismo disminuyendo así la capacidad fértil.

Una particularidad encontrada en sectores localizados en las columnas estratigráficas de algunos arroyos como el Cano, Agua Bendita y Terrerillos, es la presencia de un estrato de color amarillo grisáceo que corresponde a la presencia de tepetates y duripanes, los cuales son una muestra de difícil manejo agrícola, así como de su baja productividad; asimismo representan características de impermeabilidad y dureza importante de acuerdo con el grado de cementación dentro del perfil (figura 5.4).



FIGURA 5.4 Afloramiento de un tepetate localizado en la margen derecha del arroyo Verdiguél.

Los tepetates encontrados son evidencia de un mal manejo de los suelos, sean éstos desde el punto de vista agrícola, pecuario o forestal, y en general denotan diferentes grados de cementación; algunos autores como Flores (1990) definen que "siempre son índices de problemas severos de erosión"; y de manera importante se distribuyen por debajo de horizontes tipo *Gley*, favoreciendo así el desarrollo de flujos hipodérmicos de agua.

Resulta importante destacar que los tepetates en general se condicionan a dos tipos de origen, uno clasificado como volcánogénico y otro pedogénico; el primero de ellos asociado al Nevado de Toluca proviene de la descomposición de cenizas volcánicas donde los cambios climáticos en general se han diversificado de manera importante a través del tiempo geológico, donde las variaciones de temperatura y humedad han sido significativas; estos cambios provocan procesos de transformación de los minerales generando cementantes.

Se sabe que los elementos que favorecen la formación y endurecimiento de dichas capas de suelo volcánico se relacionan con los continuos depósitos de materiales volcanoclásticos, la circulación de soluciones enriquecidas de Fe y Si; la presencia de pantallas texturales dentro de los perfiles y, finalmente las altas tasas de erosión hídrica; asimismo, se ha precisado que el aumento de sílice por el lavado interno del suelo favorece el endurecimiento del horizonte el cual es denominado como duripan.

Estas capas indican a su vez, la ocurrencia de cambios importantes dentro del perfil del suelo ocasionados por las condiciones ambientales dominantes del lugar, ya que éstos por lo general se desarrollan con facilidad cuando las condiciones de humedad y aridez se acentúan; destacada en los cambios climáticos ya referidos.

La literatura ha anotado en varias ocasiones que el desarrollo de los tepetates es favorecido por el proceso de intemperismo desarrollado sobre cenizas volcánicas, las cuales se encuentran compuestas por trazas de obsidiana, horblenda, y piroxenos sobre las cuales han ejercido presión fases húmedas y subhúmedas; elementos que en general son comunes en los depósitos del Nevado, los cuales son ricos en  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y  $\text{FeO}$  y cumplen con la función cementante.

En general los tepetates tienen porcentajes en su composición bajos de nitrógeno y fósforo debido a que prácticamente no existen residuos importantes de materia orgánica, esta situación exhibe necesariamente la fuerte condicionante para el desarrollo de plantas superiores (Etchevers, *et. al.* 1991 a y b).

Otro factor importante que caracteriza estos materiales, es el proceso de endurecimiento de las superficies expuestas a la precipitación directa, donde las partículas por el golpeteo constante del agua tienden a disgregarse y posteriormente a depositarse de tal manera que con el escurrimiento superficial sobre el depósito, los poros tienden a colmatarse y cerrarse de forma definitiva formando en su superficie una costra estructural.

Se observa que estas capas endurecidas son indicadoras de problemas de manejo de suelo y de la concentración de la erosión; en resumen, son en esta zona indicadores de desequilibrios ambientales que entre otras cosas como consecuencia directa de su presencia inhiben el desarrollo de las plantas, y particularmente de aquellas que forman sustratos arbóreos de raíces profundas; degradan el suelo al eficientar el proceso de lavado dentro del mismo perfil al disponerse como planos de escurrimiento exhibidos en favor de la pendiente; lo que se traduce en el favorecimiento de la erosión del suelo ya que propician el drenaje interno del agua a través de canales y cavidades internas, lo que se asocia también con un mayor escurrimiento subsuperficial del agua.

En otro orden de ideas pero asociado a lo anterior, las condiciones propias de altitud y localización geográfica del Nevado han influido desde su creación en los procesos de modelado del volcán; los contrastes observados entre la geomorfología y las condiciones climáticas de la región son una respuesta de esta relación, ya que de esta simbiosis se desprenden los mecanismos de modelado de la superficie y de las relacionadas con la pedogénesis.

En este sentido, la vegetación discontinua exhibida a través de un cada día más mermado dosel, de flexiones en los troncos a favor de la pendiente con fustes amplios o reducidos, no logra la retención de partículas de suelo que son removidas por el agua o el viento superficial o subsuperficial, por lo que los cambios observados en la escasa cubierta vegetal denotan la presencia de desequilibrios de carácter ecológico o de impacto ambiental, debido a que las superficies de cobertura tienden a disminuir continuamente además de que los estratos vegetativos cuando se presentan, difícilmente se identifican o clasifican conforme a los estratos correspondientes, presentándose de manera continua comunidades vegetales de tipo secundario.

## PRESENCIA ANTRÓPICA

Cabe destacar que las actividades económicas desarrolladas por el hombre no inciden de manera autónoma sobre el modelado de la vertiente, sino que, la alternancia y combinación de éstas en espacios relativamente pequeños pero frecuentes, intensifican el grado de presión o estrés, entendiéndose a éste como los cambios ocurridos dentro del sistema que rompen con la dinámica de autoregulación del mismo; prueba de ello es la figura 5.5.



FIGURA 5.5 Combinación y diversidad de actividades desarrolladas en superficies pequeñas.

Con referencia a la presencia del hombre y a la carga que éste proporciona sobre la ladera en cuestión, se definen particularidades que modifican la dinámica geomorfológica del volcán; así se definen los siguientes puntos:

ANTROPIZACIÓN DE LA LADERA NORESTE	
ACTIVIDAD	MODIFICACIONES AL MEDIO O CARACTERÍSTICAS DISTINTIVAS
AGRICULTURA	Elimina la superficie boscosa ocupando áreas en las cuales la pendiente tiende a ser superior a los 15 grados, favoreciendo el desarrollo de sistemas de cárcavas.
PASTOREO	Se desarrolla prácticamente en toda la ladera sin restricciones importantes como la altitud; compacta el suelo y elimina las plántulas que fijan nitrógeno y suelo.
EXPLOTACIÓN FORESTAL	Modifica las condiciones de filtración de agua en el suelo e inestabiliza las vertientes desde el punto de la erosión sub y superficial. Favorece el desarrollo del pastoreo y la agricultura de temporal.
MINERÍA	Provoca fenómenos de subsidencia e inestabilización de laderas; asimismo involucra la pérdida de la cubierta vegetal y del suelo.
CONSTRUCCIÓN DE CAMINOS	Generan cambios en la concentración de las escorrentías, particularmente la favorecen a través de los caminos de saca y aquellos utilizados para la extracción de arena.
DESARROLLO DE COMPLEJOS URBANOS	Invaden áreas no aptas para el desarrollo urbano como son los tajos de las minas abandonadas y los canales de crecidas y crecidas máximas de los escurrimientos.

CUADRO 5.5 Diversificación de actividades antrópicas y efectos primarios encontrados.

Otros factores que han coadyuvado con proceso de destrucción de tierras en el Nevado se circunscriben por una parte a las técnicas de arado, las cuales si bien continúan su disposición con respecto a las curvas de nivel, las que se utilizan para la conservación del suelo y relleno de cárcavas tienden a destruir lo fértil de éste; asimismo se señala que la capacidad erosiva generada al interior de las parcelas aumenta en proporción con el peso de los animales utilizados en el proceso de barbecho o de la maquinaria dispuesta para los mismos fines.

El abandono de las áreas cultivadas es otro de los factores detonantes para que la erosión del suelo tienda a incrementarse rápidamente, ya que dichas unidades territoriales sean reutilizadas para el pastoreo o desechadas en su totalidad para el desarrollo de otro tipo de actividad dejando con ello expuestos a los suelos agotados.

Sin embargo, parece ser que el problema más grave que aqueja la ladera noreste se encuentra relacionado con la explotación minera la cual, desde el origen, parece ser que el caos ha determinado su desarrollo, así como la legislación que la acompaña publicada en la Gaceta del Gobierno el día 25 de abril de 1997 y avalada tanto por el Poder Ejecutivo del Estado así como por la Secretaría de Ecología de la entidad.

En este documento se presentan los acuerdos del Secretario de Ecología por medio del cual se establecen y ratifican los criterios ambientales para la regularización de minas en explotación de materiales pétreos no consolidados en el Estado de México; los títulos básicos de la legislación se centran en la explotación de materiales pétreos en predios ubicados fuera de áreas forestales; con referencia a los recursos hídricos; el la infraestructura; con relación en los residuos sólidos y líquidos, y en función de la rehabilitación ecológica

Al analizar los contenidos de la legislación y comparar lo propuesto con la realidad, se observa una tendencia hacia la irregularidad en todos los campos observados; ya que la aplicación de la ley en este sentido no funciona ni ha funcionado para ninguna de las minas localizadas en la ladera oriental del volcán; de hecho, se observa una importante densidad de minas activas hacia el noreste, el mapa 5.3 muestra dicha distribución; sin embargo, cabe aclarar que la construcción de éste ha sido realizada con los datos oficiales, y que en campo se comprobó que la proliferación de minas clandestinas en general es alta.

Al mismo tiempo, se ha verificado que desde su origen y principio de funcionamiento, ninguna de las empresas mineras cubren por lo menos con el 1% de lo acordado oficialmente.

Todo ello nos conduce finalmente a determinar que el caos de la minería, las formas de explotación y la legislación, son detonantes ya que en realidad el papel que juegan se vierte más al favorecimiento de condiciones de fito-inestabilidad y destrucción de tierras, que cualquier otra cosa que se parezca a la conservación o restauración de algún paisaje o área natural perturbada.

## RIESGOS

A pesar de que el presente trabajo de investigación no contempla de manera directa el proceso de evaluación de riesgos en la zona de estudio, particularmente se destaca como un resultado del trabajo una caracterización simple de las condiciones genéricas observadas sobre la ladera noreste.

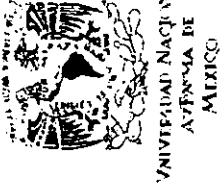
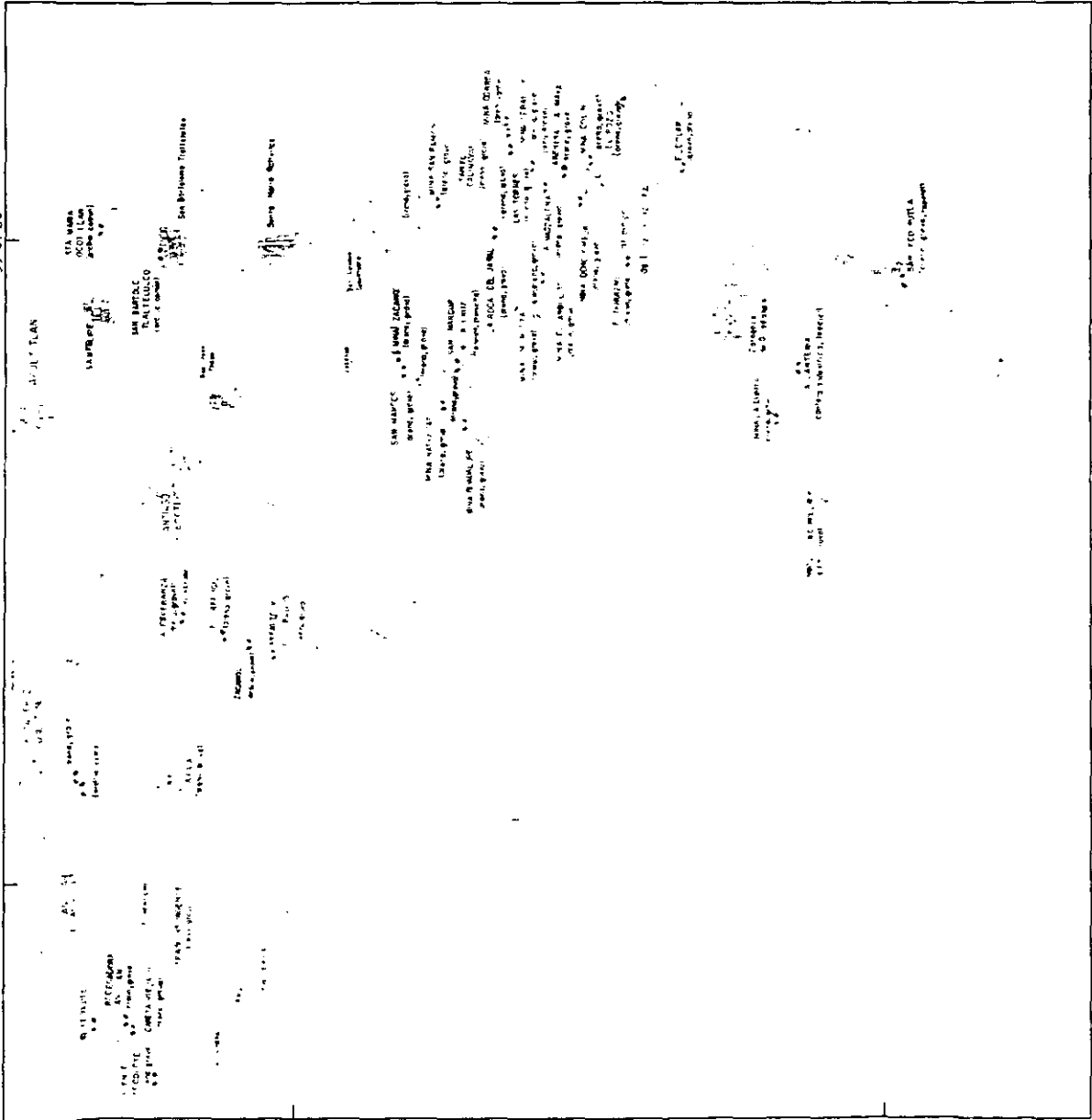
Actualmente hablar de riesgos no es precisamente una moda, sino más bien una necesidad inmediata; así, a nivel mundial se han desarrollado innumerables ensayos acerca del tema, no obstante, son los puntos de vista los que de cierta forma sesgan la conceptualización de éstos conforme a los matices de diversas disciplinas como la sociología, la psicología, el derecho, la medicina y la geografía entre otras, y particularmente la que nos atañe descansa en los geosistemas; y aunque ello no representa la única forma de abordar este tipo de problemas, resulta una manera útil de considerar desde una base objetiva tanto la conceptualización como la evaluación de los mismos.

En este sentido, se ha definido que el riesgo es una resultante de la combinación de tres elementos fundamentales, los cuales son la peligrosidad, la vulnerabilidad y el valor.

Por peligrosidad se entienden las características cualitativas y cuantitativas que refieren la ocurrencia de un fenómeno perturbador de origen natural, sea éste endógeno, exógeno o mixto, es decir que se genere a partir de la combinación de estos dos primeros. Ejemplo particular para la zona de estudio se encuentra representado por la ocurrencia de fenómenos torrenciales, procesos de remoción en masa y subsidencia.

99°45'00"

99°37'30"



**DISTRIBUCIÓN DE MINAS, EN EL  
PIEDEMONTTE NORORIENTAL**

**LOCALIZACIÓN DE MINAS ACTIVAS**

ESCALA 1:130 000



PUENTE GOBIERNO DEL ESTADO DE MÉXICO

Los primeros han sido identificados particularmente con mayor afectación sobre los conos de deyección de los arroyos al disponerse sobre ellos obras de infraestructura minera y desarrollos urbanos de distintas clases; los procesos gravitacionales han sido identificados sobre las márgenes de ataque de los cauces, afectando a zonas de cultivo, equipos de labranza, personas y caminos de saca, al mismo tiempo que los procesos de hundimiento se detectan directamente sobre la planicie como se ha explicado.

La escala más representativa de la peligrosidad observada se muestra por su extensión en los poblados aledaños al volcán, destacando Cacalomacan, Toluca, Calimaya, Metepec y San Francisco Putla entre otros.

Por lo que respecta a la vulnerabilidad, ésta ha quedado definida a través de los atributos específicos que presentan todas aquellas superficies sobre las cuales la peligrosidad puede desarrollarse, evaluándose así las condiciones socioeconómicas del sitio. Este punto, cuenta con diversas variables que requieren ser precisadas con detalle durante la evaluación de los riesgos si se considera el origen de la misma.

Los problemas más puntuales se trazan sobre la vulnerabilidad de origen, ya que por ejemplo el trazado de algunas localidades como la primera que se mencionó en la pasada lista, encuentra diseñada la traza urbana en antiguos escurrimientos mientras que en las casas los "cimientos" de éstas descansan sobre depósitos aluviales recientes.

Por otra parte, el último componente del riesgo es el valor, representado por la capacidad que posee el hombre para afrontar la ocurrencia de un fenómeno natural ocasional que daña su entorno; y aunque este punto poco se ha desarrollado en nuestro país, queda claro que dentro de este tipo de evaluación, se definen con claridad por lo menos tres fases operativas bien definidas a través de un sistema de retroalimentación continua.

En este sentido nos referimos a la fase de Prevención, una segunda de Emergencia durante la ocurrencia del evento y finalmente otra de Recuperación dada posterior al mismo.

Por prevención entre otras cosas se entiende como la fase de estudio detallado acerca de los fenómenos perturbadores que pueden ocurrir, así como la difusión de los mismos; así como, el proceso de generación de una cultura preventiva que manifieste explícitamente las acciones que deberían realizarse al ocurrir la catástrofe.

Por su parte la emergencia, como su nombre lo indica, debido a las circunstancias permite a las personas actuar razonadamente, es decir, que cada individuo de una comunidad sabe específicamente cual es su rol y las funciones que debe desempeñar; mientras ocurre el fenómeno; mientras que la recuperación, es probablemente la más larga y penosa de las partes, ya que en ella se contempla la restauración parcial y total de un sitio proponiendo alternativas de solución a problemas particulares.

En este sentido, para la zona de estudio, no se han encontrado parámetros que indiquen si el valor puede ser observado objetivamente; de hecho, no hay evidencias ni supuestos que involucren a este punto.



La combinación de los elementos que se han considerado, nos llevan a plantear que las condiciones de riesgo pueden ser calificadas desde un punto de vista cualitativo como alto, medio y bajo, expresadas a través de la cartografía.

### **CARTOGRAFÍA GEOMORFOLÓGICA DE LA LADERA NORESTE**

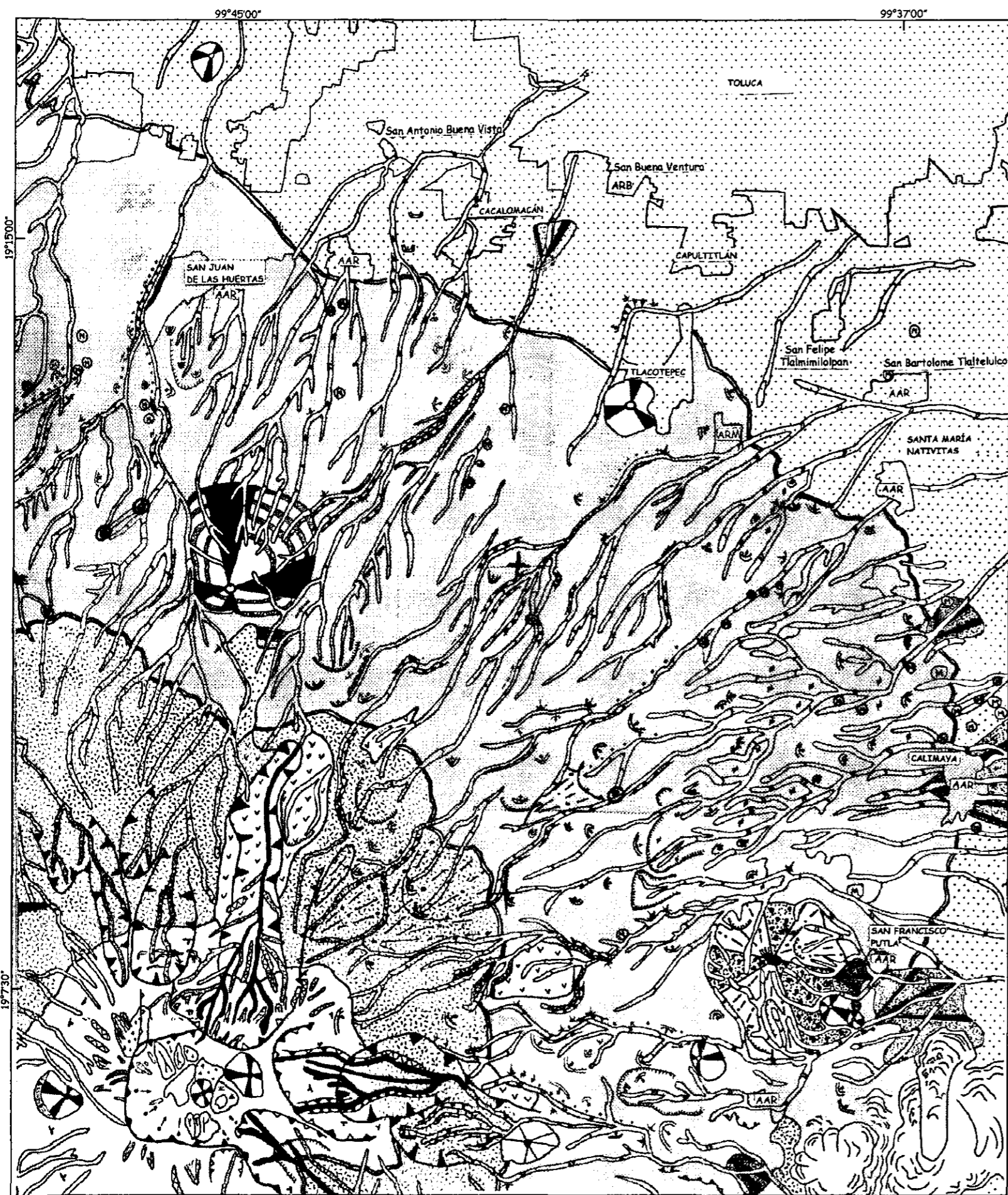
La representación de los elementos dominantes del relieve, así como de los procesos que modelan la superficie, es uno de los resultados de esta investigación; para ello, y con el objeto de lograr una representación adecuada se realizó el acopio y el análisis de diversas fuentes metodológicas en las cuales se aborda el problema de la cartografía geomorfológica.

Así, para la elaboración de la leyenda de la carta geomorfológica 1:50000 de la ladera estudiada, se tomaron en cuenta los criterios establecidos por diferentes escuelas geomorfológicas en el ámbito mundial, destacándose los estudios de ITC de Holanda, los trabajos ingleses representados por King (1986) y Goudie (1990), los de la española caracterizada por Pedraza (1996) y por supuesto, de la mexicana a través de las publicaciones de Lugo (1988).

La leyenda del mapa permite entre otras cosas interrelacionar la información contenida dentro del mapa de forma analítica por encontrarse constituida por la descripción analítica de las formas expresada por medio de su configuración geométrica; así como por la funcionalidad de los procesos presentes, y por las formas heredadas del pasado.

Asimismo, se encuentra estructurada agrupando los grupos principales de formas y procesos por medio de símbolos basados en puntos, líneas y superficies, donde los primeros señalan sin escala un significado particular; los segundos, animan a los primeros con un sentido lineal que caracteriza y enfatiza la fuerza expresiva de la geoforma o el proceso; y los terceros incorporan los elementos de bidimensionalidad.

La cartografía elaborada fue en la escala 1:50,000 en la cual es representada toda la ladera oriental del volcán.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

## GEOMORFOLOGÍA DEL NORESTE DEL NEVADO DE TOLUCA

### SIMBOLOGÍA

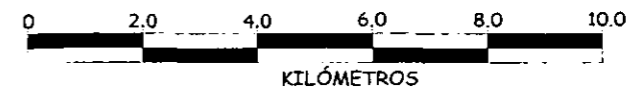
MORFOLOGÍA VOLCÁNICA Y TECTÓNICA			
	Cráter		Ladera Superior Compuesta de Lavas y Depósitos de Caída
	Domo Andesítico-Dacítico		Ladera Inferior Compuesta de Lavas y Depósitos de Caída
	Domo Volcánico de Rocas Intermedias		Derrame Láxico Fisural
	Domo Piroclástico Fuertemente Disectado		Límite Inferior de la ladera Superior
	Cono Piroclástico		Límite Inferior de la ladera Inferior
	Colada Brechada	LS	Lago del Sol
	Ladera Pumítica de Geometría Convexa	LL	Lago de la Luna
	Ladera Antigua Fuertemente Disectada		Espejo de Falla
	Planicie Formada por Depósitos piroclásticos		Planezze

MORFOLOGÍA GLACIAR Y PERIGLACIAR			
	Circo Glaciar		Valle de Modelado Fluvio-Glaciar
	Glaciar Rocoso		Límite de hielo
	Morrenas		Debris flow
	Valle Glaciar		Cono de Gelifracción
	Valle de Modelado Glaciar		Corredor de gelifracción

MORFOLOGÍA FLUVIAL			
	Barranco Encajado con Fuerte Disección Torrencial Potente		Escarpe de Erosión Fluvial Activo
	Barranco Encajado con Fuerte Disección Fluvial de Dinámica Torrencial		Socavación Lateral de Márgenes
	Barrancos Encajados con Fuerte Disección Fluvial de Dinámica Torrencial Ocasional		Cano de Deyección
	Cabeceras Erosivas		Depósitos Aluviales y Coluviales
	Cabeceras de Erosión Suave		Cárcavas
	Captura de Cuenca		Terrazas
	Ruptura de Pendiente		Erosión Subsuperficial
	Depresión (zona inundable)		

PROCESOS GRAVITACIONALES			
	Escarpe Gravitacional Activo		Remoción en Masa de materiales finos
	Remoción en Masa de detritos		Subsidencia

PROCESOS ANTRÓPICOS Y ÁREAS DE RIESGO			
	Mina		Terrazas
AAR	Asentamiento Humano de Riesgo Alto	ARM	Asentamiento Humano de Riesgo Medio
p p	Pie de Vaca	ARB	Asentamiento Humano de Riesgo Bajo



## SINOPSIS

El principio de esta investigación versó en un análisis de los conceptos teóricos y conceptuales desde un punto de vista sistémico, en este sentido, podemos anotar que ello ha sido útil debido a la complejidad observada en los elementos que conforman y dinamizan la porción oriental del Nevado de Toluca.

En la siguiente página se presenta un diagrama en el cual pueden advertirse los tres ejes básicos que han determinado la evolución de la zona de estudio, las condiciones antecedentes, los estadios principales y finalmente los efectos generados por la dinámica volcánica, erosiva y antrópica.

Así, y bajo el enfoque previamente definido, se observa que en el Nevado de Toluca los límites y las fronteras del sistema han quedado perfectamente definidas a través de los flujos de materia y energía que entran y salen continuamente, identificándose los siguientes subsistemas o componentes:

- Componente Morfológico
- Componente Climático-Meteorológico
- Componente Antrópico

El primero de ellos depende directamente de la composición del sustrato y de las formas que en éste se han desarrollado desde tiempos antiquísimos; donde la dominancia de las laderas pumíticas alternantes con la pendiente favorecen plenamente el desencadenamiento de los procesos erosivos intensos que a su vez, son activados por la cantidad y distribución de la precipitación y los cambios en la utilización del suelo.

La entrada de materia en el sistema se presenta inicialmente por lluvias que saturan el sustrato y las que favorecen el escurrimiento torrencial, incorporándose el agua a flujos violentos donde las cabeceras de los cauces cumplen con la función de emisión de agua y sedimentos, situación repetitiva en las confluencias de las corrientes.

Por su parte, el transporte del fluido así como de la carga sólida, generalmente al interior de los cauces cumple con una función doble, como fuentes emisoras más destacadas y prominentes que las anteriores y como transmisoras de la materia y energía; al mismo tiempo que las áreas de recepción localizadas sobre la planicie y desenvueltas en los conos de deyección, representan las áreas de salida de los materiales bajo altas condiciones energéticas resultado de las riadas; provocando en muchos casos la afectación directa sobre los territorios antropizados.

Se aprecia en términos generales que si bien el tipo de energía que se necesita para que el sistema naturalmente se desenvuelva sin problemas es la de carácter natural, se advierten cambios interesantes en el sistema por la incorporación progresiva de energía antrópica, la cual aunque podría considerarse como poco excesiva, la calidad de ésta ha tendido a modificar las condiciones naturales del sitio.

Ha quedado claro que la transformación de la materia y la energía dentro del sistema se realiza en función con la materia contenida dentro de este; es decir, que la intensidad de los procesos se ve directamente influenciada por los atributos particulares del sustrato, la cobertura vegetal, y el suelo.

Por otra parte, es sabido que los sistemas por lo general tienden a lograr un equilibrio dinámico no perfecto, ello a través de las regulaciones generadas entre la entrada y la salida de materia y energía; para nuestro caso, esta relación de igualdad prácticamente en cada uno de los subsistemas no se logra. Esto particularmente se observa en el dominio claro de la morfogénesis sobre la pedogénesis, donde además de la fuerte tendencia hacia la generación de formas erosivas, el retroceso continuo de la frontera forestal con respecto a la agrícola y ganadera; y de éstas con referencia a la minera y habitacional.

La autoregulación del sistema parece ser superada por la dominancia de procesos erosivos y las modificaciones constantes al medio, ahora más enfocadas hacia la explotación de bancos de materiales.

Ello nos lleva a pensar que la capacidad de almacenamiento o amortiguamiento dado al interior del sistema tiende progresivamente a ser menor, por lo que los cambios observados sobre la superficie son evidentes; demostrando que la capacidad de respuesta del sistema ante las presiones internas y externas que se ejercen sobre él, prácticamente decae de forma continua, lo que nos plantea la posibilidad de encontrarnos frente a un sistema reflejo de altas condiciones de estrés donde sus componentes esenciales se modifican de tal forma que los cambios generados en ellos se dirigen hacia el campo de lo irreversible y la máxima entropía.

La combinación de este tipo de modificaciones en la estructura del sistema permite observar que de cierta manera las entradas y salidas de materia y energía tienden a generar cambios secundarios que llevarían hacia su desaparición, implicando con ello la interrupción del funcionamiento del sistema; por lo que inherentemente asociado a esto, la tendencia general del sistema natural es encaminada hacia la creación de un nuevo sistema con sus propias particularidades, no sin antes haber cesado con la vida funcional del sistema presente.

Para concluir, se presenta la figura 5.6 que representa de cierta forma las condiciones que guarda actualmente la ladera noreste del volcán.

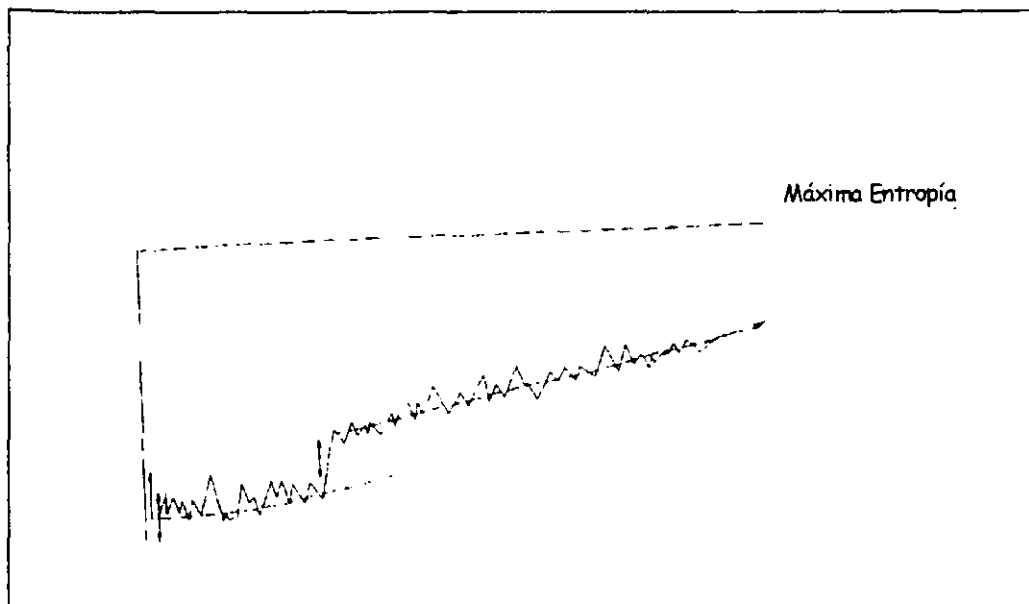


FIGURA 5.6. Comportamiento sistémico de la ladera noreste del Nevado de Toluca.

Lo que se aprecia en el gráfico, es una serie de fluctuaciones continuas que se encuentran circundando en torno a un valor medio, el cual al mismo tiempo presenta una tendencia progresiva.

Esto se interpreta que ante los estímulos externos, los factores que controlan el sistema de funcionamiento generan un desplazamiento según la dirección tendiente a absorber los efectos de dicho cambio.

En este sentido es importante aclarar que el equilibrio es provisional; el cual aparentemente puede alcanzarse en cualquier estado evolutivo, por lo que no se precisa una tendencia determinante hacia un estadio final; sin embargo, la tendencia final se dirige hacia la máxima entropía.

## BIBLIOGRAFÍA DE REFERENCIA

“PODRÍA SUCEDER QUE LA ESPECIE HUMANA FUESE INCAPAZ DE SOPORTAR LOS CATASTRÓFICOS CAMBIOS DEL MUNDO CONTEMPORÁNEO. PUES ESTOS CAMBIOS SON TAN TERRIBLES, TAN PROFUNDOS Y SOBRE TODO TAN VERTIGINOSOS, QUE AQUELLOS QUE PROVOCARON LA DESAPARICIÓN DE LOS REPTILES RESULTAN INSIGNIFICANTES. EL HOMBRE NO HA TENIDO TIEMPO PARA ADAPTARSE A LAS BRUSCAS Y POTENTES TRANSFORMACIONES QUE SU TÉCNICA Y SU SOCIEDAD HAN PRODUCIDO A SU ALREDEDOR, Y NO ES ARRIESGADO AFIRMAR QUE BUENA PARTE DE LAS ENFERMEDADES MODERNAS SEAN LOS MEDIOS DE QUE SE ESTÁ VALIENDO EL COSMOS PARA ELIMINAR A ESTA ORGULLOSA ESPECIE HUMANA. EL HOMBRE ES EL PRIMER ANIMAL QUE HA CREADO SU PROPIO MEDIO. PERO –IRÓNICAMENTE– ES EL PRIMER ANIMAL QUE DE ESA MANERA SE ESTÁ DESTRUYENDO A SÍ MISMO”

ERNESTO SÁBATO

## BIBLIOGRAFÍA DE REFERENCIA

- ACCC. Archivo del Comisariado Comunal de Calimaya. "Litigios por agua y tierras comunales contra españoles". Siglos XVII-XVIII. s/f.
- Acevedo O. y Flores D. "Los tepetates de México" En: Revista del Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México. México, s/f.
- Aceves J. "Morfología de las nubes peleanas del Nevado de Toluca". En: Resúmenes de la Tercera Reunión Nacional de Geomorfología. Guadalajara, 1994.
- Aceves J. "Geología y Geomorfología del volcán Nevado de Toluca" Tesis de Maestría en Ciencias. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México, 1997.
- AGN. Archivo General de la Nación. "Ramo de Indios" VF.2, expediente 32, f.8.
- Aguayo J., Marín C. y Sánchez D. "Evolución geológica de la Cuenca de México". En: Memoria del Simposio sobre Tópicos Geológicos de la Cuenca del Valle de México. Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos. 1989.
- Aguilera G. "El Nevado de Toluca", En: Boletín M.F. 1878.
- Almeida L., Campos G., Clefeg M., Enríquez M. García-Rendón A. Luna I., Romero F., Salazar G., Salmeron R. y Velázquez A. "Análisis florístico y fitogeográfico preliminar de la vegetación de zacatonal alpino del Nevado de Toluca y el volcán Popocatepetl, México". En: Resúmenes del I Simposio Cubano de Botánica. La Habana Cuba, 1975.
- Alonso F. "Karst externo. Las Torcas de Cuenca" En: Atlas de Geomorfología. Martínez de Pisón E. y Tello B. Coordinadores. Alianza Editorial. Madrid, 1986.
- Anguiano A. "El Estado y la política obrera del cardenismo" Ed, ERA. Distrito Federal, México, 1975.
- APC. Archivo Parroquial de Calimaya. "Serie de testamentos y de compra-venta de tierra y Directorio Parroquial" s/f.
- Bashenina V., Gellert J., Joly F., Klimaszewski E. "Leyenda unificada para cartas geomorfológicas de detalle". En: La cartografía geomorfológica en escalas grandes. Ed. MGU, Moscú (en ruso), 1975.
- Beaman J. "A preliminary ecological study of the alpine flora of Iztaccíhuatl and Popocatepetl" En: Boletín de la Sociedad Botánica Mexicana. México, 1965.
- Beaman J. "The timberlines of Iztaccíhuatl and Popocatepetl" En: Boletín de la Sociedad Botánica Mexicana de Ecología México, 1962
- Beaman J., De Jong D. and Stoutamire W. Chromosome studies in the alpine and subalpine floras of Mexico and Guatemala. In: American Journal of Botanic, no. 49. USA. 1962.

- Bejar R. y Casanova F. "Historia de la industrialización del Estado de México" Biblioteca Enciclopédica del Estado de México. Toluca, México, 1970.
- Bertalanfy L. "Teoría General de los Sistemas" Fundamentos, Desarrollo, Aplicaciones. Ciencia y Tecnología. Fondo de Cultura Económica; Séptima reimpresión; México, 1989.
- Billings W. "Las plantas y el ecosistema" Editorial Herrero, México 1970.
- Blásquez, L., F. Mooser, A. Reyes y J.L. Lorenzo, 1961. "Fenómenos geológicos de algunos volcanes mexicanos". En: Boletín del Instituto de Geología, No. 61. Universidad Nacional Autónoma de México. 1961.
- Bloomfield K. "The age and significance of Tenango Basalt in Central México". In: Bull. Vulcanology. 1973.
- Bloomfield K. "Reconocimiento geológico en el Nevado de Toluca, México". Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Divulgación. 1974
- Bloomfield K. "A late monogenetic volcano field in central México". Sonderdruck aus der Geologischen Rundschau Band. Stuttgart. 1975.
- Bloomfield K. y Valastro S. Jr. "Late Pleistocene eruptive history of Nevado de Toluca Volcano, Central México". In: Geol. Soc. of America Bull. 1974.
- Bloomfield K. y Valastro S. "Late Quaternary tephrochronology of Nevado de Toluca Volcano, Central Mexico", In: Overseas Geol. Miner Resource. 1977.
- Bloomfield K., Sánchez G. y Wilson L. "Plinian eruptions of Nevado de Toluca", México. Sonderdruck aus der Geologischen Rundschau Band. Stuttgart. 1977.
- Boiós M., Tura P., Estruch X., Pena R., Ribas y Socer J. "Manual de ciencia del paisaje" Teoría, Métodos y Aplicaciones. Masson S.A. Ediciones, España 1992.
- Boyas J. y Vela L. "Estudio ecológico forestal del Nevado de Toluca" INIF, México, 1984 (Inédito).
- Cantagrel J., Robin C. y Vincent P. "Les grandes étapes d'évolution d' un volcan andésitique composite: Exemple du Nevado de Toluca (Méxique)". In: Bull. Vulcanologie, 44(2): 177-188. 1981.
- Cardoso G. y Martínez C. "Antecedentes históricos de la fuerza de trabajo calificada en la ciudad de Toluca y su región" Tesis para obtener el grado de Licenciatura en Turismo. Facultad de Turismo, Universidad Autónoma del Estado de México, 1998.
- Casas G. y Rojas G. "El escenario político, económico y social, y su impacto en la práctica profesional en la ciudad de Toluca y su región" Tesis Licenciatura en Geografía. Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, México, 1998.



- Castillo I., Castro C., Castillo M., Arteaga M. y Castillo L. "Evaluación de las condiciones de sitio para zonas forestales del Nevado de Toluca" Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 1998.
- Cervantes J. "Reseña general sobre la investigación sistémica del medio natural." En: Boletín 9, Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. 1979.
- Comisión Estatal de Parques Naturales y de la Fauna. "Anteproyecto: Propuesta para el Sistema Estatal de Áreas Naturales Protegidas" Secretaría de Ecología del Gobierno del Estado de México. Toluca, México, 1993.
- Comisión Estatal de Parques Naturales y de la Fauna. "Fichas descriptivas de los parques administrados por la CEPANAF" Secretaría de Ecología del Gobierno del Estado de México. Toluca, México, 1996.
- Comisión Estatal de Parques Naturales y de la Fauna. "Sistema Estatal de Áreas Naturales Protegidas" Secretaría de Ecología del Gobierno del Estado de México. Toluca, México, 1994.
- Charley R. y Keneddy A. "Physical Geography: a systems approach" Prentice-Hall, London, 1971.
- D' Luna C. "Evaluación del paisaje para el ordenamiento territorial en el área de conservación "La Esperanza", Guanajuato" Tesis para optar por el grado de Maestría en Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. México, 1995.
- De Cserna Z. "Notas sobre la geología de la región comprendida entre Iguala, Cd. Altamirano y Temascaltepec, Estados de Guerrero y México". En: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Libro-guía a Tierra Caliente. 1978.
- De Cserna Z. y Fries C. Jr. "Resumen de la geología de la hoja Taxco, Estados de Guerrero, México y Morenos". Mapa con texto explicativo. Carta Geológica. Hoja Taxco 14Q-h(7), Serie 1:100,000, No. 15. Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México. 1981.
- De Cserna Z., De la Fuente M., Palacios M., Triay L., Mitre L. y Mota R. "Estructura geológica gravimetría, sismicidad y relaciones neotectónicas regionales de la Cuenca de México. En: Boletín 104. Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, México. 1988.
- Demant A. "Interpretación geodinámica del volcanismo del Eje Neovolcánico Trasmexicano". En: Revista del Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México. 1981(a).
- Demant A. y C. Robin. "Las fases del vulcanismo en México: una síntesis en relación con la evolución geodinámica desde el Cretácico". En: Revista del Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México. 1975.
- Demant A. "Características del Eje Neovolcánico Trasmexicano y sus problemas de Interpretación". En: Revista del Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, 1978.

- Demant A. "Vulcanología y petrografía del sector occidental del Eje Neovolcánico". En: Revista del Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, 3:39-57. 1979.
- Demant A. "L'Axe Neo-volcanique Transmexican. Etude Vulcanologique et Petrographique e Signification Geodinamique". These du Doctorat d'Etat Université D'Aix-Marseille, 259 p. 1981(b).
- Demant A., R. Mauvois y L. Silva. "Eje Neovolcánico Transmexicano". En: Excursión No. 4. III del Congreso Latinoamericano de Geología. Acapulco-México. Instituto de Geología. Universidad Nacional Autónoma de México. 1976.
- Drew D. "Man environment processes" George Allen & Unwin. London G.B. 1983.
- Drischel H. "Formale theorien der Organisation" Kybernetik und verwandte Disziplien. Nova Acta Leopoldina. Halle, 1968.
- Easton D. "An approach to the analysis of political systems" World Politics. Vol IX. USA. 1956.
- Etchevers J., Cruz L., Mares J. y Zebrowski C. "Fertilidad de los tepetates" En: Memorias del Primer Simposio Internacional Sobre Suelos Volcánicos Endurecidos. Uso y Manejo de Tepetates. Colegio de posgraduados, Montecillo México, 1991.
- Etchevers J., Zebrowski C., Hidalgo C. y Quantin P. "Incorporación de los tepetates a la producción agrícola" En: Memorias del Primer Simposio Internacional Sobre Suelos Volcánicos Endurecidos. Uso y Manejo de Tepetates. Colegio de posgraduados, Montecillo México, 1991.
- Etter A. "Introducción a la Ecología del Paisaje" Un marco de integración para los levantamientos, rurales. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Colombia, 1991.
- Feibelman H. "The theory of integrative levels" In: Journal of Phil. Science. 1971.
- Flores D., González A., Alcalá J. y Gama J. "Los Tepetates" En: Revista de Geografía. México, 1990.
- Flores T. "Le Xinacantecatl ou Volcan Nevado de Toluca". Libreto Guía. En: Excursión No. 9. Del Congreso Geológico Internacional, No. 10, 1906.
- Florescano E. y Gil I. "1750-1808: La época de las Reformas Borbónicas y del crecimiento económico" En: Cuadernos de Trabajo del Departamento de Investigaciones Históricas, Instituto Nacional de Antropología e Historia. México, 1974.
- Foerster H. y Zopf G. eds. "Principles of self-organization" Pergamon Press. New York, 1962.
- Fries C. "Geología del Estado de Morelos y de partes adyacentes de México y Guerrero, región central meridional de México". En: Boletín del Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México. No. 60. 1960.

- Fries C. "Resumen de la geología hoja Cuernavaca, Estados de Morelos, México, Guerrero y Puebla". Mapa con texto explicativo. Carta Geológica. Hoja Cuernavaca 14Q-h(8). Serie 1:100,000, No. 7. Instituto de Geología. Universidad Nacional Autónoma de México. 1966.
- Gobierno del Estado de México. "Plan estratégico de la ciudad de Toluca" Toluca, México, 1990.
- Gobierno del Estado de México. "Atlas ecológico de la cuenca hidrográfica del río Lerma" Comisión Coordinadora para la Recuperación Ecológica de la Cuenca del Río Lerma. Tomo I. Cartografía. Toluca, México, 1993.
- Gobierno del Estado de México. "Sistema Estatal de Áreas Naturales Protegidas" Secretaría de ecología. Toluca, México, 1994.
- Gobierno del Estado de México. "Anuario Estadístico del Estado de México" Toluca, 1995.
- Gobierno del Estado de México. "Anuario Estadístico de la Minería del Estado de México" Dirección General de Industria, Minas y Artesanías. Subdirección de Promoción Minera. Toluca, 1998.
- González A. "Descripción y aspectos fitogeográficos de la vegetación alpina del Nevado de Toluca, Estado de México". Tesis de Licenciatura en Biología. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, 1986.
- González F. "Ecología y paisaje" H. Blume ediciones. Madrid, 1981.
- González M. "El modelado de las vertientes" En: Atlas de Geomorfología. Martínez de Pisón E. y Tello B. Coordinadores. Alianza Editorial. Madrid, 1986a.
- González M. "Las terrazas del Tajo en el sector de Fuentidueña de Tajo (Madrid)". En: Atlas de Geomorfología. Martínez de Pisón E. y Tello B. Coordinadores. Alianza Editorial. Madrid, 1986b.
- González O. y Arcía M. "Fundamentos teóricos y metodológicos de la Geografía del Medio Ambiente" En: Geografía del Medio Ambiente: Una alternativa del ordenamiento ecológico. Universidad Autónoma del Estado de México; Toluca, México, 1984.
- Goudie A. "Geomorphological Techniques" Edited for the British Geomorphological Research Group. University of Oxford. London, 1990.
- Graf L. "Fluvial erosion and federal public policy in the Navajo region. In: Physical Geography. 1986.
- Granjel J. "Carta morfohidroclimática" En: Proyecto Malpais Áreas Naturales Protegidas Gobierno del Estado de México y Escuela de Geografía, UAEM. Toluca, 1990
- Heine K. "Blocklesher und blockzungen-Generation an Nevado de Toluca, México" Die Erde. 1976.

- Heine K. "Neue Beobachtungen zur Chronostratigraphie der mittelweissenzeitlichen Vergletscherungen un Böden mexikanischer Vulcane". Eiszeitalter. Ohningen-Würt Deutch. 1978.
- Heine K. "The Classical Late Wiechselian. Climatic fluctuation in México". Climatic Changes on a Yearly to Millenial Basis. Mörner and W. Karlen (Eds.), Readol Publishing Company. 1984.
- Heine K. "Late Quaternay glacial chronology of the Mexican volcanoes". Dies Geowissenschaften. 1988.
- Heine K. "Present and past geocryogenic process in México". Permafrost and Periglacial Process, 1994.
- Hereford R. "Climate and ephemeral-stream processes" In: Geol. Soc. American Bulletin. 1984
- Hess B. y Chance B. "Über zellyläre regulations mechanismen and ihr matthematisches Model" Die Naturwiss en chaftem 46. Germany, 1959.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática "Conteo de Población". Resultados definitivos. Tabulados básicos 1995.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática "Estado de México". Resultados definitivos. Tabulados básicos del XI Censo General de Población y Vivienda 1990. México, 1990.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática "X Censo General de Población y Vivienda 1980". México, 1984.
- Isachenko A. "Investigaciones del paisaje y optimización del medio Geográfico" en: Documentos del Instituto de Geografía de Siberia y Lejano Oriente. Siberia, Unión Soviética, 1976.
- King Ch. "Geografía Física" De. Oikos Tau. Madrid, 1990.
- Koestler A. "The tree and the cordle" Unity and diversity of Systems. Festschrift for L. Bertalanfy. Germany, 1968.
- Lazlo E. "The systems view of the world". Blackwell, Oxford. 1972.
- Loera M. y De Esteinou Ch. "Tenencia y trasmisión hereditaria de la Tierra en dos comunidades indígenas coloniales. El caso de Calimaya y Tepemaxalco" Serie Chimalphain. Colección Divulgación Histórica. México, 1980.
- Lorenzo J. "Los glaciares de México" En: Monografías del Instituto de Geofísica. Universidad Nacional Autónoma de México. México, 1959
- Lorenzo J. "Condiciones periglaciares de las Altas Montañas de México" En: Paleoecología. No. 4. INAH, Departamento de Prehistoria, 4:1-45. 1969. México, 1969

- Lorenzo J. "Clima e historia". En: Anales de Antropología, Instituto Nacional de Antropología e Historia. México. 1992.
- Lorenzo J. "Sobre el Cuaternario". En: Anales de Antropología, Instituto Nacional de Antropología e Historia. México, 1993.
- Lugo J. "Geomorphological zonation of the southern region of the basin of México". In: Geographical topics of Mexican City and its environment. Latin American Regional Conference. IGU, Brasil. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. 1982.
- Lugo J. "Geomorfología del sur de la Cuenca México". En: Serie Varia T. 1 (8). Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. 1984.
- Lugo J. "Elementos de Geomorfología Aplicada (Métodos Cartográficos)". Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. 1988.
- Lugo J. "El relieve de la República Mexicana". En: Revista del Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México. 1990.
- Lugo J., Ortiz M., Palacio J., y Bocco G. "Las zonas más activas del Cinturón volcánico Mexicano (entre Michoacán y Tlaxcala)". En: Geofísica Internacional, 1985.
- Madrigal D. y González M. "Geomorfología glacial y periglacial del Nevado de Toluca, México". En: Resúmenes de la Reunión Nacional de Geomorfología. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. México. 1990.
- Madrigal D. y González M. "Geomorfología glacial y periglacial del Nevado de Toluca". En: Ciencia Ergo Sum. Universidad Autónoma del Estado de México, 3(1):95-101. 1996.
- Martínez de Pisón E. "Los glaciares de Fuerteventura" En: Atlas de Geomorfología. Martínez de Pisón E. y Tello B. Coordinadores. Alianza Editorial. Madrid, 1986.
- Martínez M. "Catálogo de nombres vulgares y científicos de plantas mexicanas" Ed. Fondo de Cultura Económica. México, 1979.
- Martínez R. y Nieto S. "Efectos geológicos de la tectónica reciente en la parte central de México". En: Revista del Instituto de Geología. Universidad Nacional Autónoma de México. 1990.
- Mateo J. "Apuntes de Geografía de los Paisajes" Universidad de la Habana. La Habana Cuba. 1984.
- McDowell F. y Clabaugh S. "Edades K/Ar de rocas volcánicas de la Sierra madre Occidental al NW de Mazatlán, México." En: Memorias de la Convención Geológica Nacional. Sociedad Geológica Mexicana, México, 1972.

- Medina J. "Análisis del Potencial recreativo del Parque Nacional Nevado de Toluca". Tesis para obtener el grado de Licenciatura en Turismo. Facultad de Turismo, Universidad Autónoma del Estado de México, 1984.
- Mejía M. "Desarrollo del Parque Nacional Nevado de Toluca". Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca. 1985.
- Michal I. "Ecosistema-geosistema-geobiocenosis: una concepción de la Teoría General de Sistemas" Ziva, 1984.
- Mooser F. y Maldonado K. "Penecontemporaneous tectonics along the Mexican Pacific Coast" En: Geofísica Internacional. México, 1961.
- Mooser, F. y K. Maldonado. "Penecontemporaneous tectonics along the Mexican Pacific Coast". En: Geofísica Internacional, México, 1961.
- Mooser F. "Bosquejo geológico del extremo sur de la cuenca de México". En: Memorias del XX Congreso Geológico Internacional, México. Excursión C-9, p. 9-16. 1956.
- Mooser F. "La cuenca del valle de México" En: Memorias de las obras del Drenaje Profundo del Distrito Federal. Departamento del Distrito Federal I: 8-38. 1975.
- Mooser F. "The Mexican volcanic Belt and development. Formation of fractures by differential crustal heating". En: Simposio Panamericano del Manto Superior, México. Marzo 18-21, p. 15-22. 1968.
- Mooser F. "The Mexican Volcanic Belt structure and tectonics". En: Geofísica Internacional, 12: 55-70. 1972.
- Mooser F., Nairn A., and J. Negendank. "Paleomagnetic investigations of the Tertiary and Quaternary rocks. VIII A paleomagnetic and petrologic study of volcanics of the Valley of México". Sonderdruck aus der Geologischen Rundschau Band. Stuttgart. 1974.
- Mooser F., White S. y Lorenzo J. "La cuenca de México". Consideraciones Geológicas y Arqueológicas. Instituto Nacional de Antropología e Historia. INAH. 50 p. 1956.
- Mooser F., Montiel A. y Zúñiga A. "Nuevo mapa geológico de las cuencas de México, Puebla y Toluca" Estratigrafía, tectónica regional y aspectos geotérmicos Comisión Federal de Electricidad. México, 1996.
- Morales I. "Compamiento de Altura" Tesis de Licenciatura en Turismo. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca. 1996.
- Morán D. "Geología de la República Mexicana". INEGI, S.P.P., México, 88 p 1984

- Moreno M. "Los parques nacionales: Una alternativa válida de uso de suelo para el desarrollo regional. Caso de estudio Nevado de Toluca". Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca. 1991.
- Navarro C. "Algunos estudios de suelos derivados de cenizas volcánicas o de ando del Nevado de Toluca (Región Este y Sur)". Tesis de Licenciatura en Biología. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, 1976.
- Naveh Z. and Lieberman A. "Landscape ecology. Theory and applications" Springer, 1984.
- Nelson, A. y Sánchez-Rubio G. "Trans-Mexican Volcanic Belt. Field Guide, Volcanic Field Trip to the Western end of the Mexican Volcanic Belt". Tulane University, New Orleans, Louisiana. 1986.
- Nixon T. "The relationship between Quaternary volcanism in central México and the seismicity and the structure of subducted oceanic lithosphere". In: Soc. Geol. of American Bull., 93:514-523. 1982.
- Nixon T. "The Geology of Iztaccihualt Volcano and adjacent areas of the Sierra Nevada and Valley of México". The Geological Society of America, Special Paper 219, 58 p. 1989.
- Nixon T., Demant A., Armstrong L. y Harakal E., "K-Ar and Geological data bearing on the age and evolution of the Trans-Mexican Belt". En: Geofísica Internacional- Special Volume on Mexican Volcanic Belt. Part 3A, 26 (Ed. S.P. Verma). 1987.
- Ordoñez E. "Le Xinantecalt ou Volcan de Toluca". Mem. Soc. Cient. Mexicana Antonio Alzate. México. 1902.
- Ortiz M. "Perfiles geomorfológicos compuestos" En: Serie Varia. T 1. No. 12. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 1990.
- Ortiz M. "Algunos Conceptos de Geografía" En: Resumen de ponencia dictada en la Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad Nacional Autónoma de México. 1988. (Inédito).
- Ortiz M. y Bocco G. "Análisis morfotectónico de las depresiones de Ixtlahuaca y Toluca, México". En: Geofísica Internacional. 1989.
- Ortiz P. y Ovando J. "Propuesta de Sendero Educativo e Infraestructura en el Parque Nacional Nevado de Toluca". Tesis de Licenciatura, Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, México, 1995.
- Palacio G. "Breve análisis geomorfológico ambiental en las márgenes del río Necaxa-Tecolutla". Tesis de Licenciatura en Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. México, 1989.
- Palacio G. "Ensayo metodológico geosistémico para el estudio de los riesgos naturales". Tesis de Maestría en Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. México, 1995.
- Palacio J. "Breve análisis geomorfológico de la región de Tenancingo, Estado de México". En: Memorias del VIII Congreso Nacional de Geografía. Tomo I, Toluca, 1981.

- Palacio J. "Destrucción de tierras en el flanco oriental del Nevado de Toluca, el caso de la cuenca del arroyo el Zaguán" En: Boletín No. 18, Instituto de Geografía Universidad Nacional Autónoma de México. 1988.
- Palacio J. "El croquis geomorfológico: una alternativa en Geomorfología Aplicada" En: Divulgación Geográfica No. 3, Instituto de Geografía Universidad Nacional Autónoma de México. , México, 1985.
- Palacio J. y Vázquez L. "La cuenca del arroyo el Zaguán: un caso de modelado por torrentes en la vertiente oriental del Nevado de Toluca" En: Memorias del X Congreso Nacional de Geografía. Morelia, Michoacán, México 1985.
- Pasqueré G., Ferrari L., Perazzolli V. Y Turchetti. "Morphological and structural analysis of the central sector of Transmexican Volcanic Belt" En: Geofísica Internacional. No 26. México, 1987.
- Pedraza J. "Geomorfología: principios, métodos y aplicaciones" Ed. Rueda. Madrid, 1996.
- Peña O. y Sanguin A. "El mundo de los Geógrafos" Oikos Tau S.A. Ediciones. Barcelona, 1984.
- PROTIMBOS. "Síntesis del Proyecto Nevado de Toluca: Reforestación a ocho años" Protimbos. Estado de México. Toluca, 1972.
- Ramírez M. "Análisis morfoestructural de la Faja Volcánica Transmexicana (centro-oriental)". Coordinación General de Investigación Científica, Escuela de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México, 1(10), 25 p. Toluca. 1988.
- Ramírez M. Summerfield M and Ortiz M. "Tectonic geomorphology of the Acambay graben, Mexican Volcanic Belt". Zeitschrift für Geomorphologie. 1994.
- Robelo C., Olaguibel M. y Peñafiel A. "Nombres geográficos indígenas del Estado de México. Estudio crítico-etimológico" Biblioteca Enciclopédica del Estado de México. México, 1966.
- Robin C. "Relations volcanologie-magmatologie, géodynamique: Application au passage entre vulcanisme alcalin et andésitique dans le Su Mexican (Axe Transmexican et province Alcaline Oriental)". Annal. Sci. L'Univ. Clermont Ferrand II, No. 30, 1982.
- Robles R. "Algunas ideas sobre la glaciología y morfología del Iztacihualt". En: Revista Geográfica del Instituto Panamericano de Geografía e Historia, México. 1944
- Rzedowski J. y Calderón G. "Flora fanerogámica del Valle de México" Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional. México, 1985
- Salinas E., Mateo J., Bollo M., Montiel S y Ulloa D. "El ordenamiento geoecológico de los paisajes" En: Resúmenes del I Taller Internacional Sobre Ordenamiento Geoecológico de los Paisajes Facultad de Geografía de la Universidad de la Habana La Habana, Cuba 1993.



- Sánchez O. "La Flora del Valle de México" Editorial Herrero. México, 1980.
- Sánchez-Rubio G. "Notas sobre la vulcanología cenozoica de la región entre Temascaltepec y La Marquesa, Estado de México". En: Libro guía de la excursión a Tierra Caliente, Estados de Guerrero y México. IV Convención Geológica Nacional. Sociedad Geológica Mexicana. México, 1978.
- Sánchez-Rubio G. "Cenozoic volcanism in the Toluca-Amealco Region. Central México" Tesis de Maestría, Univ. de Londres (Inédita), 1984.
- Sandoval J. "Actualización y análisis cartográfico sobre usos del suelo y vegetación del Parque Nacional Nevado de Toluca, Estado de México". Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México 1987.
- Sans C. "Periglacialismo en montaña: La Sierra de Guadarrama" En: Atlas de Geomorfología. Martínez de Pisón E. y Tello B. Coordinadores. Alianza Editorial. Madrid, 1986.
- Schlaepfer C., "Resumen de la geología de la hoja México, Distrito Federal y los Estados de México y Morelos". Carta Geológica. Hoja México 14Q-h(5). Serie 1:100 000. Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México. 1968.
- Secretaría de Agricultura Ganadería y Desarrollo Rural. "Boletín Informativo Semanal de Precios y Venta al Mayoreo de Granos y Semillas en los Centros de Abasto" Servicio Nacional de Mercados. México, 1998.
- Silva L. "Contribution a la connaissance de l'Axe Volcanique Transmexican: Etude geologique et petrologique des laves du Michoacan Oriental" Tesis para obtener el grado de Doctor. Universidad d' Aix Marseille, France. 1979.
- Silva L., Demant A. y Mauvois R. "Las diferentes fases volcánicas pliocuaternarias del sector oriental del Estado de Michoacán; caracteres petrográficos y su significación" En: Resúmenes del III Congreso Latinoamericano de Geología. México, 1976.
- Simon A. "The Sciences of the artificial" Mass M.I.T. Press. Cambridge, 1969.
- Strahler A. y Strahler A. "Elements of Physical Geography" John Willey & Sons. USA. 1984.
- Suter M. "State of stresses and active deformation in Mexico and Western Central America". The Geology of America. D.B. Slemmons, E.R. Engdhal, M.D. Soback and D.D. Blackwell (Comps.), Neotectonics of America Geological Society of America Boulder, Colorado, USA Decade Map. Vol. 1. 1991.
- Suter M., O. Quintero, C.A. Johnson. "Active faults and state of stress in the central part of Trans-Mexican Volcanic Belt, México, 1 The Venta de Bravo Fault". Journal of Geophysical Research. 1992.
- Tricart J. "La Tierra planeta viviente" Akal editores, Madrid España, 1981.

- Van Gighen J. "Teoría General de Sistemas Aplicada" Ed. Trillas. México, 1981.
- Vázquez L. "Glaciaciones del Cuaternario Tardío en el Volcán Téyotl, Sierra Nevada". En: Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, 1991.
- Venegas S., Herrera J., y Maciel R. "Algunas características de La Faja Volcánica Mexicana y de sus recursos geotérmicos". En: Geofísica Internacional. México, 1981
- Villalpando B. "Algunos aspectos ecológicos del volcán Nevado de Toluca" Tesis de Licenciatura en Biología. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, 1976.
- Wait, P., "Excursión al Nevado de Toluca". En: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. México. 1910.
- Walker L. "Plinian Eruptions and their Products". Bull. vulcanologie. 1981.
- Weber M. "Politics as a vocation" In: Essays in Sociology. Gert H. y Mills W. eds. Oxford University Press. New York, 1958.
- Weiss P. "Experience and experiment in Biology" In: Science 139. USA, 1969.
- White S., Reyes M., Valastro S. y Ortega J. "El Ajusco: geomorfología volcánica y acontecimientos glaciales durante el Pleistoceno Superior y comparación con las series glaciales mexicanas y las Montañas Rocallosas". Colección Científica, Serie Arqueología No. 212. Instituto Nacional de Antropología e Historia, México, 1990.
- White S. "Geología glacial del Iztaccíhuatl". En: La cuenca de México: consideraciones geológicas y arqueológicas. Instituto Nacional de Antropología e Historia México, 1956a.
- White S. "Late Pleistocene glacial sequence for the west side of Iztaccíhuatl, México". Geol. Soc. of America Bull. 73 1962b.
- White S., "Probable substages of glaciation on Iztaccíhuatl". Journal of Glaciology 1956b.
- White S. "Quaternary glacial stratigraphy and chronology of Mexico Quaternary glaciations in the Northern Hemisphere". Quaternary Sciences Review. 1987.
- White S. "El Iztaccíhuatl. Acontecimientos volcánicos y geomorfológicos en el lado oeste durante el Pleistoceno superior". Instituto Nacional de Antropología e Historia. México. 1962a.
- Whitford J. y K. Bloomfield, "Geochemistry of Late Cenozoic Volcanic rocks from the Nevado de Toluca area", Carnegie Institute Washington, Yearbook, 1976.
- Williams, H. And McBirney A. "Vulcanology". Freeman, Cooper and Co. San Francisco California, 1979.

Williams H., "Calderas and their origin". Bull of Dept. of Geology Sciences. Univ. California Publications. 1941.

Yamamoto J. y Mota R., 1988. "La secuencia de temblores del Valle de Toluca de agosto de 1980". En: Geofísica Internacional. México, 1988.

## ANEXO I

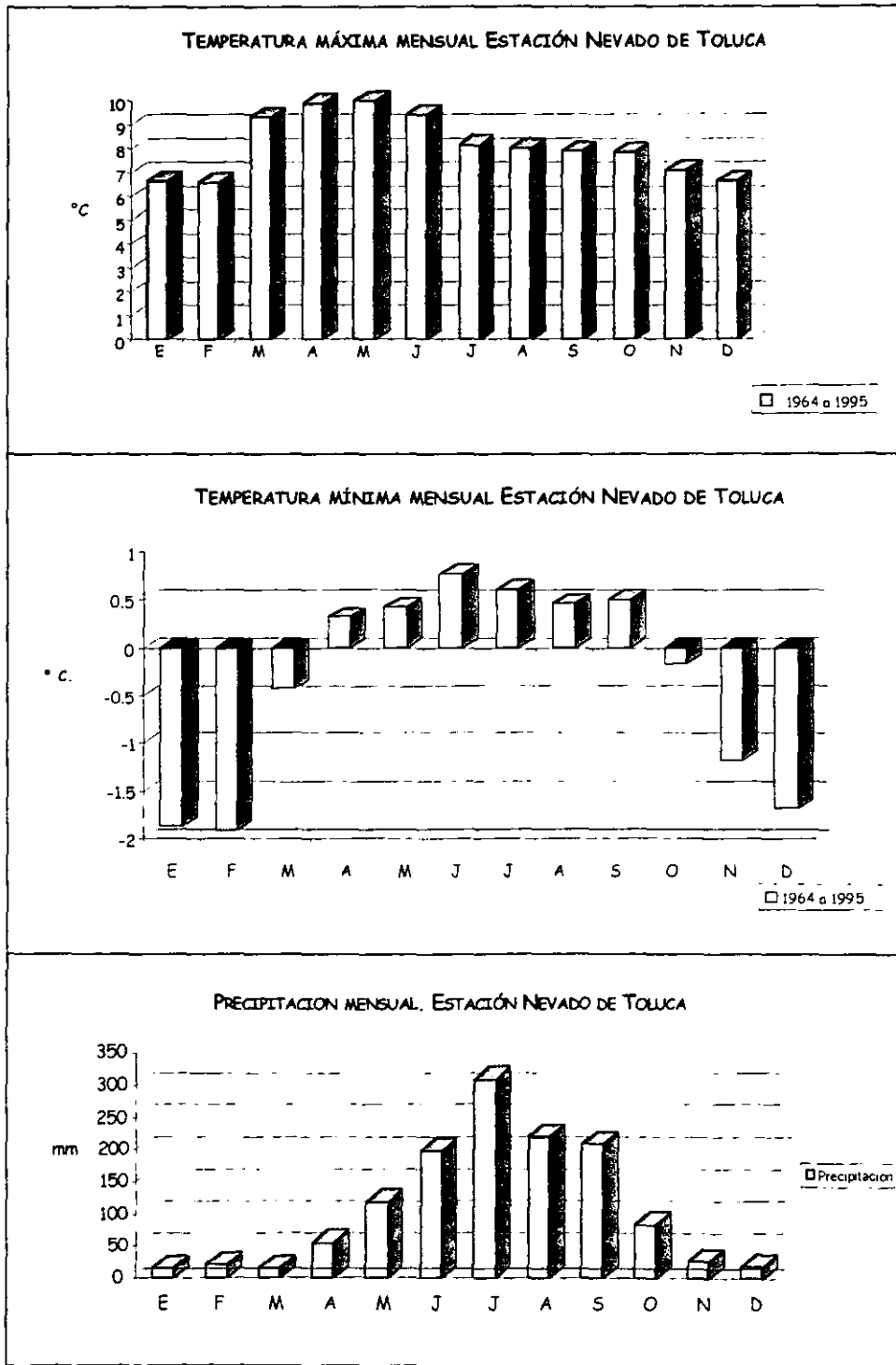
### PARÁMETROS METEOROLÓGICOS

LA MADRE NATURALEZA ESTABLECIÓ DESDE ANTIGUO  
QUE VIVIÉRAMOS Y MURIÉRAMOS Y NACIÉRAMOS  
A TRAVÉS DE LAS EDADES DEL HIELO, EL AGUA, LA TIERRA Y LA NIEVE.  
CON ECOS DE AQUEL GRITO DE NUESTRA MADRE AL NACER  
HEMOS SEGUIDO CRECIENDO.  
DESDE LA TEXTURA DEL SENO UNIVERSAL  
NOS ASOMAMOS AL UNIVERSO  
A TRAVÉS DE NUESTRO VENTANAL DE AIRE,  
¿SEREMOS ALGÚN DÍA, ME PREGUNTO, TUMBA UNIVERSAL?  
LAS LENGUAS DE LO VEGETAL Y LO NO HUMANO  
FLUYEN EN ARMONÍA CON EL ESPÍRITU DE NUESTRA MADRE.  
LA PIEDRA ES LA OSAMENTA DE NUESTRA MADRE,  
EL BARRO ES LA PROPIA CARNE DE NUESTRA MADRE,  
LA LAVA FORMA LA MÉDULA DE NUESTRA MADRE.  
EL SOL, EL VÉRTICE ANGULAR DE NUESTRA MADRE,  
MIENTRAS LA LUNA COMPONE LOS RITMOS DE NUESTRA MADRE.  
EN 1990, EL VOYAGER II ABANDONABA NUESTRO SISTEMA SOLAR  
Y NOS ENVIABA UNA FOTO DE NOSOTROS, UN PUNTO EN LO AZUL,  
EL COLOR DE LA PAZ EN LO INFINITO.  
NO VA CONTRA EL SENTIDO DE LA REALIDAD  
PROMETER A NUESTRA MADRE UNA VIDA PERPETUA.

JEFE GARY POTTS

ANEXO I

GRÁFICOS METEOROLÓGICOS



**ANEXO II**

**VARIABLES CUANTITATIVAS**

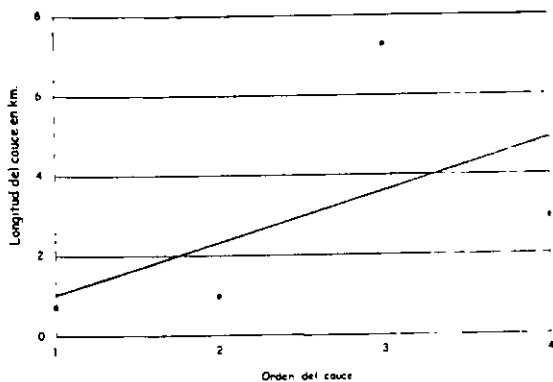
NUESTRA ÉPOCA NO ES LA PRIMERA NI LA MEJOR. LOS ACONTECIMIENTOS SE PRECIPITAN A UN RITMO VERTIGINOSO Y NADIE SABE QUE NOS RESERVA EL MAÑANA: SI SERÁ CAPAZ NUESTRA ACTUAL CIVILIZACIÓN DE SOBREVIVIR A LOS PELIGROS QUE NOS ASECHAN Y TRANSFORMARSE, O SI EN LOS PRÓXIMOS UNO O DOS SIGLOS ACABEMOS DESTRUYENDO NUESTRA SOCIEDAD TECNOLÓGICA. PERO EN NINGUNO DE ESTOS CASOS SE PRODUCIRÁ EL FIN DE LA ESPECIE HUMANA.

Carl Sagan

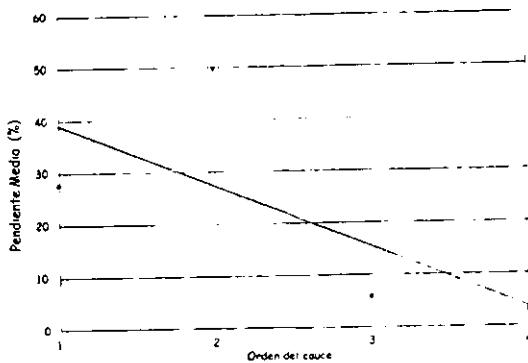
ANEXO II

VARIABLES CUANTITATIVAS

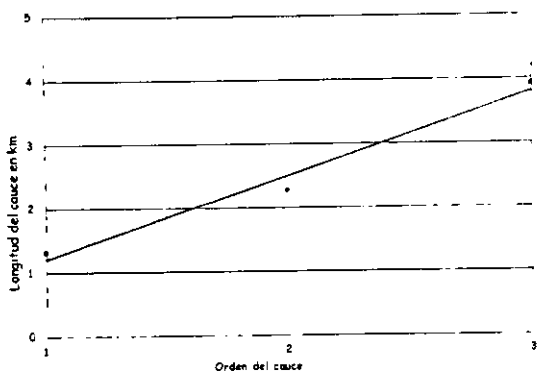
ARROYO CANO



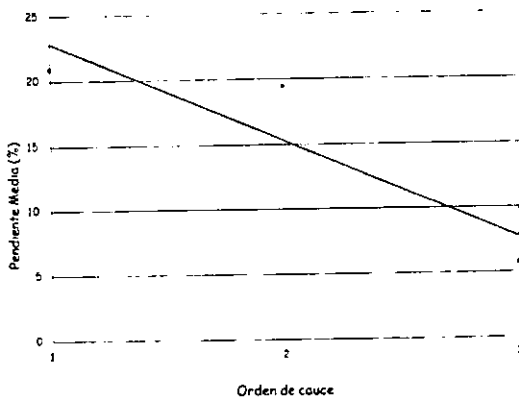
ARROYO CANO



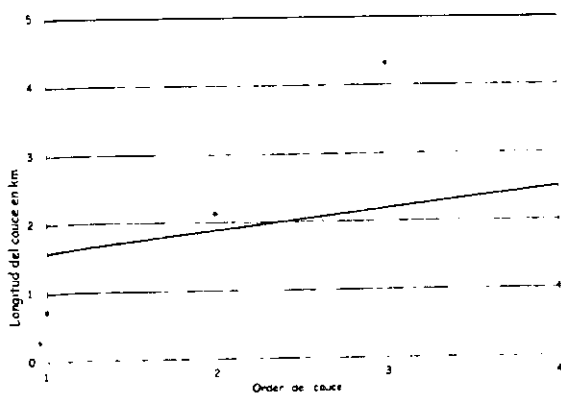
ARROYO LA CIÉNAGA



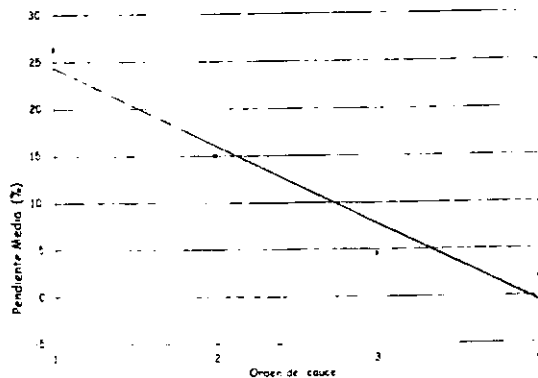
ARROYO LA CIÉNAGA



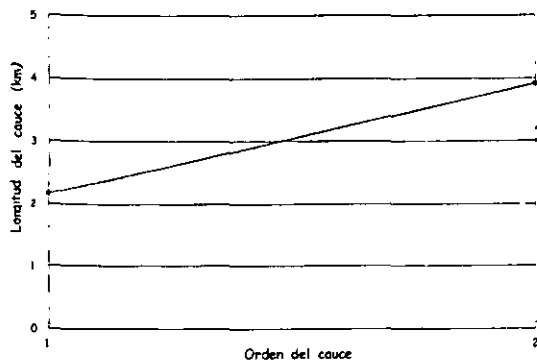
ARROYO LAS CRUCES



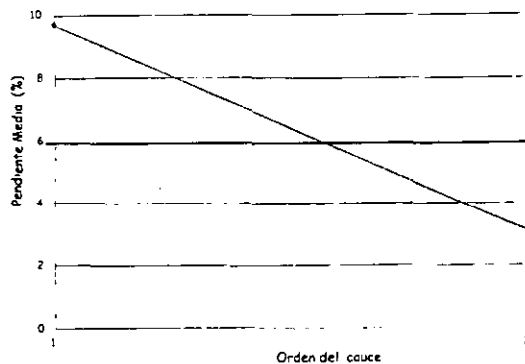
ARROYO LAS CRUCES



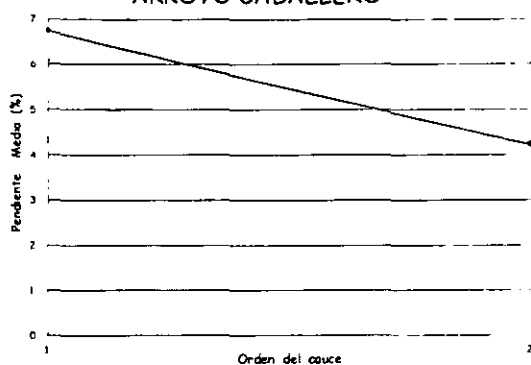
ARROYO LA CUCHILLA



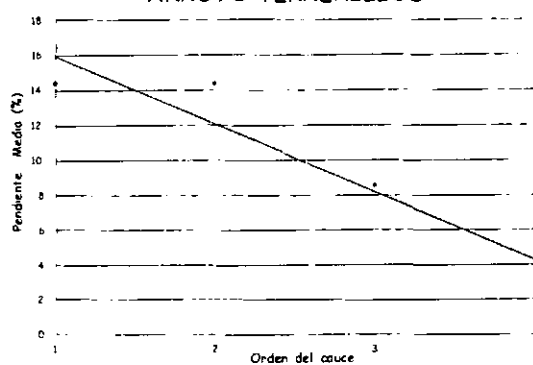
ARROYO LA CUCHILLA



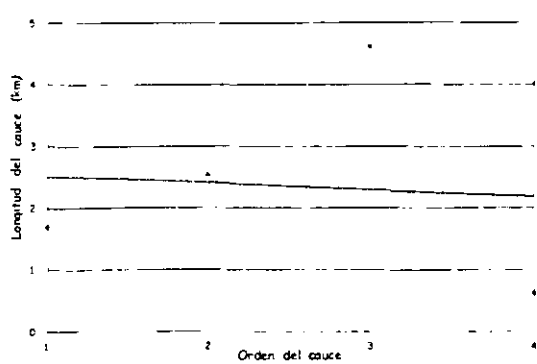
ARROYO CABALLERO



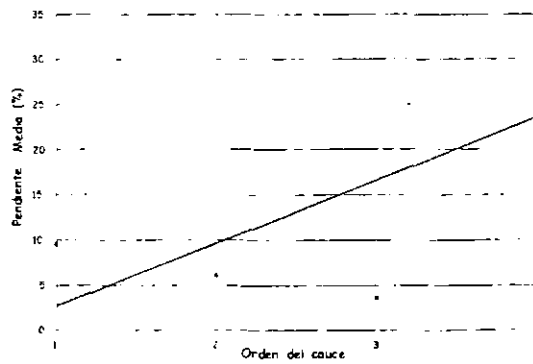
ARROYO TERRERILLOS



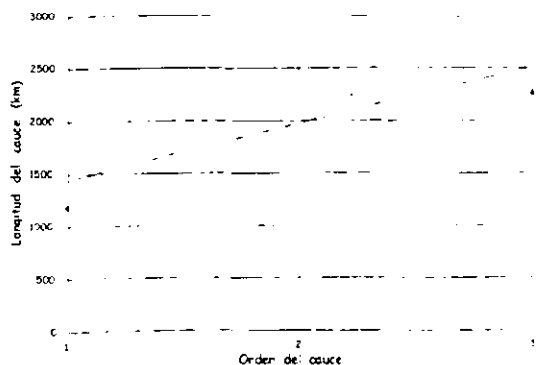
ARROYO AGUA BENDITA



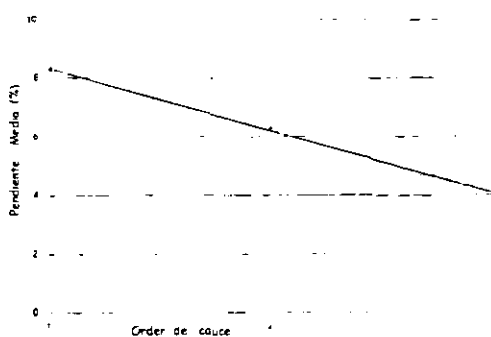
ARROYO AGUA BENDITA



ARROYO OJO DE AGUA

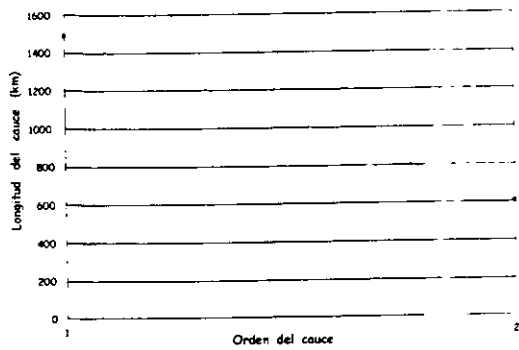


ARROYO OJO DE AGUA

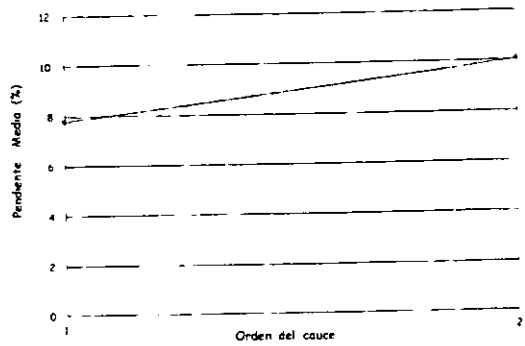




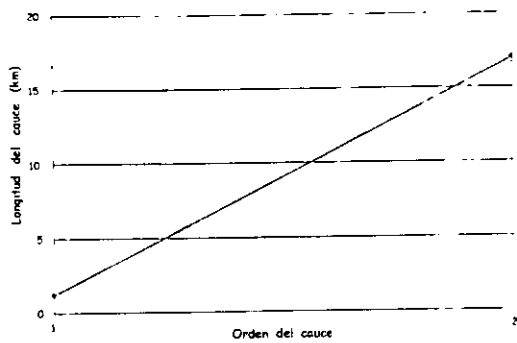
ARROYO CALIMAYA



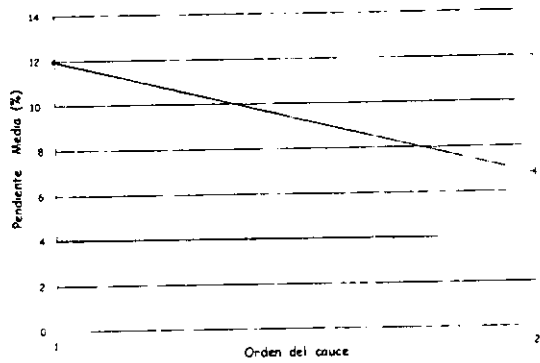
ARROYO CALIMAYA



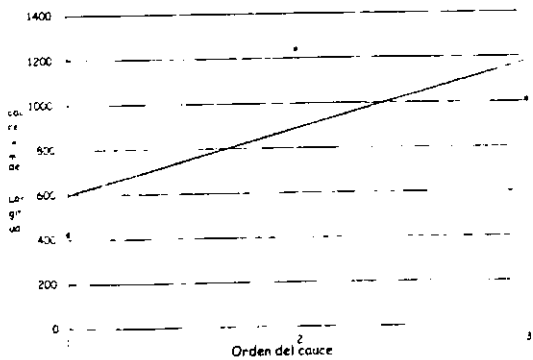
ARROYO ZACANGO



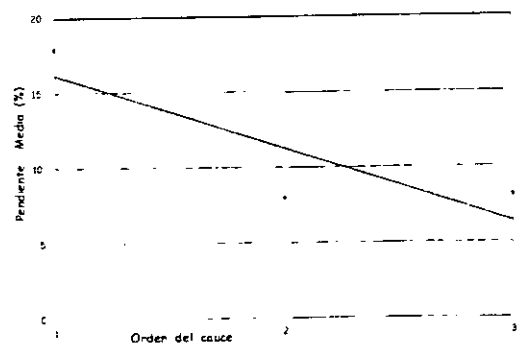
ARROYO ZACANGO



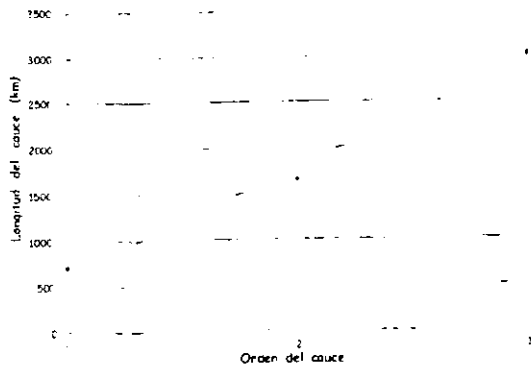
ARROYO EL REMOLINO



ARROYO EL REMOLINO



ARROYO TATA MERCED



ARROYO TATA MERCED

