



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

PROPUESTA DE EVALUACIÓN MORFOEDÁFICA
DE PAISAJES EN LADERAS

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
DOCTOR EN GEOGRAFÍA

PRESENTA
LUIS MIGUEL ESPINOSA RODRÍGUEZ

COMITÉ TUTORAL:
DR. MARIO ARTURO ORTIZ PÉREZ
DRA. MARTHA CERVANTES RAMÍREZ
DR. JOSÉ RAMÓN HERNÁNDEZ SANTANA

CIUDAD UNIVERSITARIA
MÉXICO

OCTUBRE DE 2006



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

Agradecimientos

Agradezco a todas las personas que han participado y colaborado en este proyecto, en primer lugar mi agradecimiento a Julieta Maldonado por la asesoría en la traducción del resumen a la lengua francesa y Nicolás Meixeiro por la revisión del mismo; a Vicente Osorio Maldonado quien revisó el texto en lengua inglesa.

Mi gratitud a Julio Carbajal y a Roberto Franco por su ayuda en el trabajo estadístico y cartográfico respectivamente; reconozco el apoyo logístico de Araceli León y Cristina Méndez, así como la participación de los equipos de trabajo del Laboratorio de Geomorfología y Suelos de la Facultad de Geografía y de manera muy especial a Gaby García Tinoco.

De manera muy especial agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México y a todo el personal académico que ha impreso una huella distintiva en mi formación. Al Dr. Mario Arturo Ortiz quien nos ha enseñado con su forma de vida que la sencillez es una virtud; al Dr. José Ramón Hernández, hermano y amigo cubano que revisó de forma minuciosa la investigación; a la Dra. Martha Cervantes quién acompañó y ayudó a direccionar mis estudios de posgrado.

Reconozco de forma puntual el análisis crítico de los miembros del sínodo; en primer término al Dr. David Velásquez quien aceptó revisar el texto y aportó elementos para el análisis del mismo; al Dr. Delfino Madrigal quien accedió también participar en la revisión y contribuyó con ideas para mejorar la estructura de la investigación; al Dr. Genaro Correa por sus observaciones en el estilo y redacción del trabajo y a la Dra. Laura Elena Maderey por su confianza.

Luis Miguel



Dedico este trabajo a mi padre Miguel Ángel;
a mis hermanos Malú y Jorge;
a mis primos y hermanos Carmina y David;
a Karla;
a todos mis amigos y
a todos los que nos cuidan desde el cielo.

A la Memoria de David Rodríguez Díaz,
Por luchar cada toda su vida por un ideal: La ley de Dios.

A la Memoria de María del Rosario Rodríguez Díaz,
Por que hasta el último momento nos enseñó con su ejemplo
a crecer, a ser hombres de bien y a reconocer el camino
que conduce a Dios.

“Por mi Raza Hablará el Espíritu”

Ciudad Universitaria

Otoño de 2006



ESTRELLAS

*No se les ve en el día tan fácilmente,
Musas de poetas cunas de
depressiones.
Destinatarias de sueños
esperanzados
Faroles eternos e inalcanzables.*

*Orientación o simple admiración.
Materiales amalgamados, empapados
De la misma luz de Dios*

*Guías de poetas
Puntos de referencia entre Dios y la
Tierra*



*Porque calientan las noches,
Porque son el color de los sueños.
Porque contarlas es imposible
Porque están hechas de polvo
Y en polvo nos convertiremos*

*Por eso me gusta verlas
Porque finalmente estamos hechos
Del mismo material que ellas.*

*Karina Conzuelo Nava
Instituto para la Educación Integral
del Bachiller*

Abril de 2004



INTRODUCCIÓN

*Con tristeza veo que en la sociedad nos
quejamos de falta de todo, y hacemos
todo lo posible por no hacer nada...*

...¿qué faltó?, ¿qué sobró?, ¿quién te ayudó o traicionó?...

*...ahora queda tiempo para prepararte
mejor y ver desde otra perspectiva mas objetiva...
de cambiar a tu pequeño México y juntar
a muchos otros que ya son mejores.*

*Si tienes la oportunidad, vida e
inteligencia, no te lamentes y
levántate, y anda; y anda bien!*

Jorge Espinosa Rodríguez

*Editado de un documento redactado en un tiempo y espacio
que afianzaba surgimiento de una nueva esperanza
Sanatorio Guadalupe en Carretas.
Santiago de Querétaro*



CAPÍTULO I

MORFOEDAFOGÉNESIS,

UNA RELACIÓN ENTRE GEOMORFOLOGÍA Y GEOGRAFÍA DEL SUELO

Cada persona en su vida puede tener dos actitudes: Construir o Plantar.

Los constructores pueden demorar años en sus tareas, pero un día terminan aquello que estaban haciendo. Entonces se paran y quedan limitados por sus propias paredes. La vida pierde el sentido cuando la construcción acaba.

Pero existen los que plantan. Éstos a veces sufren las tempestades, las estaciones y raramente descansan. Pero al contrario que un edificio, el jardín jamás para de crecer. Y al mismo tiempo que exige la atención del jardinero, también permite que, para él, la vida sea una gran aventura.

Los jardineros se reconocerán entre sí, por que saben que en la historia de cada planta esta el crecimiento de toda la Tierra.

Paulo Coelho



CAPÍTULO II

METODOLOGÍA DE LA EVALUACIÓN MORFOEDÁFICA EN SISTEMAS DE LADERAS

*Nuestro corazón sabe por que estamos aquí,
aquel que escucha a su corazón,
sigue las señales y vive su leyenda personal,
entiende que está participando de algo,
aún cuando no lo comprenda racionalmente.*

Paulo Coelho



CAPÍTULO III

EVALUACIÓN MORFOEDÁFICA EN LOS SISTEMAS DE LADERAS

*No tengas prisa.
Si caminas despacio percibirás la firmeza de tus pasos.
Necesitas cambiarte a ti mismo antes de transformar al mundo.
Inédito*



CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

*El camino incluye obstáculos, o pruebas y también peligros.
Esto puede hacernos dudar o detener la marcha.
Sin cometer locuras, es necesario arriesgarse.
Si quedamos paralizados, nuestro crecimiento se detiene, nuestra búsqueda se
desdibuja y nos alejamos de nuestros sueños.
Paulo Coelho*



GLOSARIO

*No recuerdo que el Señor haya hablado nunca de éxito.
Él habló de la fe plena en el amor
Este es el único éxito que cuenta*

Teresa de Calcuta



BIBLIOGRAFÍA DE REFERENCIA

*Un artista es un traductor de emociones,
pero no conoce completamente el lenguaje
que está traduciendo.
si intenta imitar o controlar la inspiración,
jamás llegará
adonde desea*

Inédito.



ÍNDICE GENERAL

Resumen, Abstract, Resumé.....	1
INTRODUCCIÓN.....	3
Introducción.....	4
Planteamiento del problema de investigación hipótesis y objetivos.....	6
Tipo de investigación.....	8
Antecedentes.....	13
Estructura de la investigación.....	17
Zonas de muestreo y aplicación de la metodología.....	19
CAPÍTULO I	
Morfoedafogénesis, una relación entre Geomorfología y Geografía del Suelo.....	23
Morfoedafogénesis, una relación entre Geomorfología y Geografía del Suelo.....	24
Morfoedafogénesis en México y América Latina	32
Morfoedafogénesis en el Siglo XXI	35
Propuesta conceptual morfoedáfica.....	36
Ubicación de la Morfoedafogénesis en el campo de las ciencias geográficas.....	48
CAPÍTULO II	
Metodología de la evaluación morfoedáfica en sistemas de laderas.....	62
Desarrollo metodológico de evaluación morfoedáfica.....	63
Instrumento para la evaluación morfoedáfica de paisajes en laderas.....	67
Fase 1. Clasificación geomorfológica.....	67
Fase 2. Atributos cuantitativos.....	70



Fase 3. Índice de desarrollo geomorfológico (IDG).....	76
Fase 4. Levantamiento de suelos.....	80
Fase 5. Uso de suelo.....	83
Fase 6. Relación de equilibrio edáfico.....	87
Fase 7. Estabilidad morfoedáfica y cartografía.....	89
Modelo de representación sistemática e interpretación de resultados.....	91
Validez y confiabilidad.....	96

CAPÍTULO III

Evaluación morfoedáfica en los sistemas de laderas.....	98
Evaluación morfoedáfica en los sistemas de laderas.....	99
Fase 1. Clasificación geomorfológica.....	100
Fase 2. Atributos cuantitativos.....	106
Fase 3. Índice de desarrollo geomorfológico (IDG).....	110
Fase 4. Levantamiento de suelos.....	114
Fase 5. Uso de suelo.....	120
Fase 6. Relación de equilibrio edáfico.....	120
Fase 7. Estabilidad morfoedáfica y cartografía.....	123

CAPÍTULO IV

Análisis y discusión de resultados.....	126
Análisis y discusión de resultados.....	127
Aproximación al marco conceptual de referencia	127
El problema de investigación.....	130
La hipótesis de investigación.....	131
Importancia de la ubicación de la investigación en el campo de las ciencias geográficas.....	132
Alcance de los objetivos.....	133
El desarrollo metodológico.....	133
La selección de la muestra.....	139



Modelo de representación e interpretación morfoedáfica.....	139
Glosario.....	157
Bibliografía de referencia.....	160

ANEXO 1

Relaciones entre elementos de geomorfología y Geografía del suelo. Análisis cluster.....	Formato digital
---	-----------------

Anexo 2

Evaluación de tierras y sistemas de utilización de tierras TUT.....	Formato digital
---	-----------------

Anexo 3

Validez y confiabilidad.....	Formato digital
------------------------------	-----------------

Anexo 4

Resultados de aplicación del método morfoedáfico en los Sistemas Bosencheve y Nevado de Toluca.....	Formato digital
--	-----------------

Anexo 5

Índice de Desarrollo Geomorfológico	Formato digital
---	-----------------

Anexo 6

Datos de suelos.....	Formato digital
----------------------	-----------------



ÍNDICE DE CUADROS

i.1	Variables de estudio geomorfológico.....	12
i.2	Variables de estudio edáfico.....	12
i.3	Atributos geográfico-generales de los sistemas de laderas.....	22
1.1	Geoformas y suelos.....	29
1.2	Matriz de relación entre Geomorfología y Geografía del suelo.....	35
1.3	Matriz de relación.....	40
1.4	Síntesis, orden y elementos de estudio del paisaje	58
2.1	Índices litológicos de resistencia a la erosión	73
2.2	Atributos de pendiente.....	74
2.3	Valores de densidad de la disección.....	75
2.4	Relación de bifurcación.....	75
2.5	Longitud de cauces.....	76
2.6	Matriz de integración de los componentes del índice IDG.....	77
2.7	Rangos de desarrollo geomorfológico.....	77
2.8	Clases de desarrollo geomorfológico.....	78
2.9	Desarrollo geomorfológico.....	80
2.10	Criterios de clasificación.....	82
2.11	Levantamiento de suelos. Clasificación del tipo de suelo de acuerdo con sus características.....	83
2.12	Levantamiento de suelos. Integración de las unidades de suelo de acuerdo con un estado de equilibrio.....	83
2.13	Primera clasificación de uso de suelo (US).....	85
2.14	Factores limitantes (FL).....	86
2.15	Técnicas de producción y Mecanización del suelo (TPM).....	86
2.16	Variables de uso de suelo.....	86
2.17	Clasificación de uso de suelo (CUS).....	87
2.18	Relación de equilibrio edáfico.....	87
2.19	Rangos de relación de equilibrio edáfico.....	88
2.20	Integración de variables geomorfológicas y del suelo.....	89
2.21	Clasificación del tipo de estabilidad morfoedáfica.....	90
2.22	Leyenda morfoedáfica.....	91
3.1	Atributos geomorfológicos de El Gavilán.....	101



3.2	Parámetros y valores encontrados para la obtención del IDG de El Gavilán.....	110
3.3	Rangos de desarrollo geomorfológico.....	113
3.4	Levantamiento de suelos.....	118
4.1	Elementos cualitativos del relieve.....	134
4.2	Elementos cuantitativos del relieve.....	135
4.3	Media y clasificación de los IDG.....	140
4.4	Relaciones entre variables en el proceso morfogénico y pedogenético.....	143
4.5	Interpretación de relaciones.....	145
4.6	Parámetros que componen al IDG en seis unidades especiales de muestreo. Ejemplo: Nevado de Toluca.....	148
4.7	Parámetros edáficos componen al suelo en seis unidades especiales de muestreo. Ejemplo: Nevado de Toluca.....	149
4.8	Parámetros del primer horizonte en seis unidades morfoedáficas, Ejemplo: Nevado de Toluca.....	149

ÍNDICE DE FIGURAS

i.1	Localización de las zonas de aplicación de la metodología.....	18
1.1	Estructura y dinámica bio-física del ambiente.....	25
1.2	Relaciones pedología-geomorfología.....	26
1.3	Factores de formación de geoformas, atributos e interrelación.....	27
1.4	Posición puente de la Geopedología.....	31
1.5	Relación geomorfología-edafología.....	31
1.6	Relaciones entre elementos de geomorfología y geografía del suelo.....	41
1.7	Diagrama de ecología de paisaje.....	50
1.8	Esquema modificado de la Ecología del paisaje.....	52
1.9	Diagrama de ordenamiento ecológico.....	53
2.1	Diagrama de flujo de la metodología para la evaluación morfoedáfica.....	66
2.2	Clasificación de la geometría de laderas.....	94
2.3	Perfil geológico-geomorfológico.....	96
3.1	Complejo volcánico El Gavilán.....	106
3.2	Sector oriental de El Gavilán.....	114
3.3	Perfil edáfico número 1; El Gavilán.....	116
4.1	Perfil morfoedáfico ideal del Nevado de Toluca.....	153



ÍNDICE DE TABLAS

1.1	Comprensión y representación de los procesos de la morfoedafogénesis.....	28
-----	---	----

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

1.1	Concepción teórica de la morfoedafogénesis.....	44
3.1	Diagnóstico del procedimiento para el levantamiento de suelos.....	114

ÍNDICE DE GRÁFICAS

1	Dendrograma. Clases y cortes de la matriz de relación geomorfología–geografía del suelo.....	42
2.1	Relación de equilibrio en un sistema de laderas.....	92
3.1	Variables del IDG de El Gavilán.....	111
3.2	Selección de variables del IDG de El Gavilán.....	111
3.3	Relación morfoedáfica en el sistema de El Gavilán.....	125
4.1	Comparación de resultados del IDG en los sectores muestra.....	140
4.2	Contraste de resultados del IDG en sectores muestra por variable.....	140

ÍNDICE DE MAPAS

1	Geomorfología.....	105
2	Pendientes.....	107
3	Densidad de la disección.....	108
4	Longitud de cauces y Relación de bifurcación.....	109
5	Índice de desarrollo geomorfológico.....	112
6	Edafología.....	119
7	Uso de suelo.....	121
8	Relación de equilibrio edáfico.....	122
9	Morfoedáfico.....	124



PROPUESTA DE EVALUACIÓN MORFOEDÁFICA DE PAISAJES EN LADERAS

RESUMEN

Bajo el enfoque de la Geografía del Paisaje y desde una perspectiva original y de integración se presenta una metodología de análisis morfoedáfico. El proceso metodológico integra razonamientos del análisis geomorfológico y de la Geografía del Suelo, los cuales se expresan e interpretan desde un punto de vista holístico-territorial.

El problema de investigación se centra en la resolución de fases terminales de evaluación geomorfológica y edáfica. El proceso de validez y confiabilidad del instrumento de medición creado es aplicado y valorado en tres sistemas de laderas localizadas en el paralelo 19^o en la parte central del Sistema Volcánico Transversal.

Palabras clave: Metodología, análisis morfoedáfico, perspectiva paramétrica, cualitativa, sistema de laderas.

SUMMARY

Explicit about a Landscape Geography point of view, with an original and integrative perspective, a morphoedaphic methodology is shown. The methodology integrates reasons from the Geomorphology analysis as well as from Soil Geography which are shown and understood through a holistic-territorial point of view.

The problem in researching is focused on setting up terminal phases of geomorphological and edaphological analysis. The validity and reliability processes of the measuring instrument, is evaluated and applied in three hillslopes systems located in the 19^o parallel in the Central Trasmexican Volcanic System.

Key Words: Methodology, morphoedaphic analysis, parametric, quality, hillslope systems.

RESUME

En se basant sur la Géographie du Paysage et d'une perspective originale et d'intégration se présente une méthodologie d'analyse morphotoédaphique. Le processus méthodologique intègre des raisonnements d'analyse géomorphologique et de la géographie des sols qui sont interprétés du point de vue holistico-territorial.

Le problème de recherche est centré dans la résolution de phases terminales d'évaluation géomorphologique et édaphique. Le processus valable et fiable de l'instrument de mesure créé est appliqué et valorisé dans trois systèmes de versants localisés sur le parallèle 19^o dans la partie centrale du Système Volcanique Transversal.

Most clé: Méthodologie, analyse morphotoédaphique, paramétrique, qualitative, versants.



INTRODUCCIÓN

El reto de afrontar el tercer milenio preservando la Tierra como sustento de la vida y de la humanidad, la exigencia de replantear los conceptos y paradigmas científicos, así como del perfeccionamiento de los mecanismos que regulan la distribución de riquezas y los bienes naturales, son entre otros algunos objetivos que nos plantea la ciencia geográfica.

De acuerdo con lo anterior y considerando los resultados de diferentes estudios desarrollados sobre tópicos del medio ambiente en nuestro planeta durante las últimas décadas, se han llevado a cabo, de manera continua y detallada, investigaciones que abordan la evaluación de recursos basadas en el análisis del espacio o del paisaje, entendidos éstos como bienes materiales, partiendo de la idea de que los estos son aprovechables por el hombre y que deben, a su vez, ser protegidos.

Se cuentan numerosos antecedentes que preceden el estudio del medio ambiente y los procesos que en éste se desencadenan, en este sentido se citan algunos eventos detonantes, tales como las revoluciones de los consumidores, la generación de enfermedades, las crisis energéticas, las alimentarias y las de los sistemas económicos, las catástrofes ecológicas; así, como todas aquellas acciones encaminadas a mejorar y preservar el equilibrio de los sistemas naturales como es el caso de las reuniones internacionales entre las que se encuentran la de Estocolmo, Cocoyoc, Río de Janeiro y Johannesburgo; y la firma de convenios específicos como los de Montreal y Kyoto, entre otros; la generación de programas internacionales, nacionales, estatales e institucionales, la aparición progresiva de mercados, etiquetas y partidos verdes y la generación de acuerdos, propuestas y comisiones particulares enfocadas a trabajar para mejorar las condiciones del medio ambiente.

Sin embargo, los cambios en los sistemas naturales no pueden ser discernidos con suficiente claridad, a través de una disciplina única, como la Biología y la Ecología, ciencias que se han considerado como las más representativas para entender los



cambios en la naturaleza de los sistemas. En este sentido, dentro del campo de la valoración y de la conservación de tierras y, en especial por la capacidad de manejo y comprensión del espacio y las relaciones que en éste se presentan, la Geomorfología apareció como la disciplina capaz de resolver problemas territoriales relacionados con el medio ambiente, la planeación y la evaluación de riesgos. Ésta ciencia se complementó con la Edafología y ofreció un enfoque holístico que dio origen a la Morfoedafología o Morfoedafogénesis (Killian, 1973; Tricart y Killian, 1982).

Este punto de vista consiste en acceder al conocimiento del medio físico, tanto en su descripción como en su dinámica, discretizando los procesos que permiten la formación y la evolución del modelado; el origen y desarrollo de los suelos; y las diferentes velocidades de desarrollo que imprimen al paisaje características propias.

Es la noción del balance morfogénesis–pedogénesis establecido por Tricart (1982), el que permite identificar las tendencias geodinámicas y precisar el sentido de su evolución. Así, se establecen los medios estables cuando el balance favorece la pedogénesis, los inestables cuando se orienta hacia la morfogénesis y los penestables, cuando hay interferencia permanente entre morfogénesis y pedogénesis sin que ninguno predomine.

La expresión más desarrollada de la unión de criterios geomorfológicos y edafológicos se encuentra en la cartografía morfoedafológica, que se define como un elemento de síntesis, capaz de representar una visión global del paisaje.

Esta cartografía no es el resultado de la sobreposición de mapas temáticos, sino una síntesis de los elementos que componen al medio natural que explica la dinámica de la edificación del paisaje y de su evolución actual, permitiendo prever la relación del medio con los mejoramientos, usos y cambios de utilización del suelo, además de precisar los factores limitantes de la producción agrícola (Tricart y Killian, 1982).

Desde este punto de vista, resulta necesario estudiar los procesos geomorfológicos y edáficos, observando al mismo tiempo, de qué manera interfieren o se relacionan con las



actividades humanas; esto es, que el resultado de los procesos morfoedáficos dejan de ser un hecho de implicaciones naturales para poseer un carácter social; es por ello que el punto de vista morfopedológico entendido como base de la estructura del paisaje se constituye como un pilar en la gestión o dirección ambiental y de la evaluación de recursos.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN, HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

Existen propuestas y métodos de evaluación morfoedáfica que se desarrollaron en la década de los años ochenta, los cuales se encuentran en un proceso de consolidación y aunque poseen un carácter novedoso y aportan elementos importantes de descripción y análisis del territorio; presentan problemas de integración, motivo por el cual es difícil encontrar una propuesta holística que se desarrolle bajo una concepción geográfica capaz de explicar el proceso de distribución espacial y los escenarios alternativos que presenta el territorio; todo ello expresado en un solo documento cartográfico, habilitado para conformar e integrar una leyenda ordenada y jerarquizada que exhiba el comportamiento cualitativo y cuantitativo de las variables geomorfológicas, edáficas y sistémicas de un territorio particular.

A partir de esta idea, se considera que la integración del estudio del suelo y el relieve sustenta un estudio de evaluación de paisajes, partiendo de la premisa de que a cada unidad de suelo le corresponde un tipo particular de geoforma.

Esta aseveración no se circunscribe a una unión simple; por el contrario, la correspondencia comienza desde la génesis de la geoforma y los estados evolutivos de la misma; por lo que considera la intensidad de energía empleada y los tiempos en los cuales ésta se ha desarrollado conforme se gesta el propio origen del suelo y los procesos inherentes a su evolución.



De acuerdo con lo anterior, en este proyecto de investigación se desarrolla una propuesta integral de evaluación morfoedáfica de paisajes en laderas, en la cual las variables de estudio poseen un carácter dinámico, en el entendido de que cada una de ellas muestra los atributos espaciales, desde un punto de vista cualitativo y cuantitativo; todo ello representado en una escala de trabajo 1:50:000 y con la ejemplificación a escalas de trabajo más grandes.

El desarrollo de la propuesta se ha diseñado bajo una perspectiva de lógica heurística, que permitiría a cualquier usuario del método, una concepción clara, ordenada y lógica de las variables, fases de trabajo, requerimientos de la metodología, resultados que podrían esperarse al ser aplicada; así como la validez y confiabilidad.

La hipótesis general de la investigación se fundamenta en que la selección, manejo e integración de variables geomorfológicas y edafológicas permitirán la confección de un método paramétrico y cartográfico confiable y de fácil manejo, que permitan la evaluación de sistemas de laderas. El tiempo que representa la hipótesis de trabajo se refiere al presente y debido al proceso de validación estadística que se emplea.

De acuerdo con lo anterior, el objetivo central de esta investigación se centra en proponer, desarrollar y validar un método práctico y eficiente para la evaluación de laderas.

De manera particular, la investigación se concentra en la elaboración de la propuesta en cada una de sus fases; en determinar la susceptibilidad geomorfológica en tres sistemas de laderas localizados geográficamente sobre el paralelo 19°; especificar las condiciones de equilibrio edáfico en los sistemas de estudio; y por último, evaluar las condiciones de balance morfoedáfico en los sistemas morfológicos.

TIPO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación que se desarrolla posee diversos criterios, de acuerdo con el planteamiento de la hipótesis y de los objetivos, de tal manera, que en una primera



instancia se considera como exploratoria-descriptiva-confirmatoria, en un proceso de gradual transición, que culmina en la ratificación de la propuesta.

La parte exploratoria refiere que aunque se sabe con precisión lo que se va a estudiar y medir, se realiza una primera aproximación al proceso con el propósito de entender cómo éste se relaciona con otros; lo que se hace cuando un área no ha sido estudiada y proporciona las bases para la generación de un planteamiento más estructurado en un nivel diferente de complejidad.

Por su parte, la fase considerada como descriptiva, referirá la aparición, frecuencia y desarrollo de procesos geomorfológicos y edáficos, tal y como se presentan en los territorios, los cuales serán calificados de manera cualitativa y cuantitativa, de tal forma que los resultados describen al grupo de unidades, además de explicar la naturaleza de las variables y la interacción entre ellas.

Asimismo, la parte descriptiva ayuda en la conceptualización y estructuración del instrumento que se utiliza para la calificación de cada una de las variables en cada fase de trabajo, y delimita la población y muestra que se estudia, debido a que se ha seleccionado sólo un sector que conforma a los sistemas de laderas empleados para la validación de la metodología.

Se considera que la última fase de la investigación corrobora la hipótesis de trabajo, indicando que la aproximación teórica empleada ha sido la correcta, de tal forma, que se considera por una parte, como confirmatorio que indica la distancia entre los resultados y el marco teórico; y pone a prueba la teoría empleada para la explicación del problema de investigación, la cual en este caso, es sustentada a través de sistemas.

Por otra parte, la investigación tiene un carácter de un estudio de campo, ello debido a que si bien el planteamiento de la misma se ha desarrollado en gabinete, ésta se sustenta en el medio natural y es de tipo experimental, debido a que existen variables que se controlan y relacionan entre sí, como parte de la hipótesis y la explicación del proceso.



Este tipo de estudio tiene dos componentes: la de laboratorio y la de campo; la primera, que permite un control estricto de las variables; y la segunda, permite la generalización con mayor certeza.

Asimismo, posee las características de una investigación trasversal, porque se interesa en conocer el proceso morfoedáfico en un momento determinado, el cual en este caso, se circunscribe al presente; sin embargo, asienta un carácter longitudinal desde la perspectiva conductual del proceso a través del tiempo futuro.

La hipótesis posee un carácter confirmatorio de la metodología propuesta, al mismo tiempo conforman una investigación de tipo piloto, debido a que su aplicación en otro tipo de región sugiere necesariamente el replanteamiento de las variables que se piensa controlar, de tal forma que éstas y las muestras en el estudio pueden ser modificadas.

Por otra parte y de acuerdo con el problema de investigación e hipótesis, las variables principales utilizadas en el presente trabajo son la Geomorfología y la Geografía del suelo.

En el primer caso esta disciplina se aplica en diferentes campos, como lo es el ordenamiento del territorio, el manejo de áreas protegidas, la manifestación de impacto, la determinación de riesgos y la planeación rural y urbana, entre otros.

La Geomorfología, como ciencia auxiliar de la Geografía, plantea desde diferentes puntos de vista, la resolución de problemas específicos de la superficie terrestre, en los cuales se involucran la génesis, edad, morfología, dinámica, evolución y distribución del relieve; por ello, los métodos empleados constituyen un aporte para el desarrollo de trabajos de carácter inter y multidisciplinario.

Resultado de ello, es que los trabajos en Geomorfología se encaminan hacia la previsión y corrección de los efectos sobre el medio natural, en los cuales se considera que la actividad humana genera una serie de impactos sobre el mismo.



Por lo que concierne a esta investigación, se considera a la Geografía del Suelo como una ciencia que fortalece el proceso cognoscitivo de los paisajes, debido a que el suelo representa una interfase entre los subsistemas naturales y entre lo abiótico y lo biótico.

El papel que desarrolla la ciencia del suelo se observa a través de evaluar, predecir la aptitud y las limitaciones de los suelos con el propósito de realizar la planificación conducente a un desarrollo eficiente y equilibrado (Mireles, 2001).

De acuerdo con Porta *et.al.* (1994), este concepto genera la opción de conocer la potencialidad y fragilidad de los recursos para mejorar su uso, así como evitar la degradación de los mismos en el largo plazo. En este sentido, los métodos que ofrece la Geografía del Suelo, a partir de la realización de inventarios, permiten conocer el estado de desarrollo del suelo, de sus condiciones de producción, de soporte de la biota y de sus condiciones particulares de degradación.

Con referencia a lo anterior, Gaucher (1972) establece que la pedogénesis representa el conjunto de fenómenos que descomponen las rocas, produciendo suelos a sus expensas, provocando con ello transformación y desplazamiento de sustancias, lo que se advierte a través de una fase de reblandamiento, que permite la erosión y la sedimentación.

En 1982, Tricart y Killian inducen que la pedología es la ciencia que estudia la génesis de esta formación superficial, así como las propiedades que adquiere bajo la influencia de factores externos como la hidrosfera, la atmósfera y la biosfera; de tal manera, que el estudio de esta evolución constituye la pedogénesis.

La evolución del suelo que lleva a la diferenciación de éste por medio de horizontes, caracterizados por el color y diferentes propiedades constituye la pedogénesis.

Cotler (2003) indica que a escala regional las geoformas principales están caracterizadas por unidades o asociaciones de diferentes tipos de suelo, donde se pueden diferenciar catenas, debido a que los suelos se distribuyen en función de la topografía y el material



parental influenciado por el flujo de agua. De acuerdo con esta autora, los segmentos de éstas que corresponden a la misma unidad de suelo se denominan polipedones, es decir, aquellas variaciones de espesor de un horizonte en una misma unidad de suelo, los cuales a su vez, se encuentran conformados por pedones.

Asimismo define que la formación, desarrollo, funciones, erosionabilidad y la aptitud de los suelos solo pueden ser entendidos al integrarse a una unidad de paisaje; ello debido a que postula, que si bien el conocimiento de las características edáficas permiten inferir las calidades de los suelos, éstas por si solas no son resultan suficientes; y para lograr el enfoque integral se requiere de una perspectiva morfoedáfica

Así, el desarrollo de la investigación geomorfológico-edáfica en esta investigación descansa bajo una visión geosistémica, entendida ésta como un modelo teórico del paisaje establecido por diversos autores, como Bolós (1992), Strahler y Strahler (1999) y King (1984), entre muchos otros; ya que ésta explica las relaciones que prevalecen en el paisaje, entre las cuales destacan las conexiones específicas entre la estructura horizontal y vertical de sus componentes.

Este enfoque refiere una visión interdisciplinaria; y tiene como propósito identificarse como una base sólida para la conceptualización aplicada y orientada hacia trabajos de planeación física, evaluación de los recursos, organización de diferentes tipos de territorios en función de la cobertura y uso de suelo, y en la confección de sistemas cartográficos regionales.

Las variables básicas que conforman al proceso de evaluación morfoedáfica, desde el punto de vista de la Geomorfología, son las siguientes:



VARIABLES DE ESTUDIO GEOMORFOLÓGICO	
INDEPENDIENTE	DEPENDIENTE
Clasificación de Geoformas	Forma Origen Geometría Estructura Edad
Parámetros Cualitativos	Sistema de drenaje
Parámetros Cuantitativos	Litología Pendiente Densidad de la disección Órdenes de drenaje Longitud de cauces

Cuadro i.1 Variables de estudio geomorfológico.

Desde la perspectiva edáfica, las variables que se utilizan son las que se muestran a continuación en el Cuadro i.2 Variables de estudio edáfico.

VARIABLES DE ESTUDIO EDÁFICO	
INDEPENDIENTE	DEPENDIENTE
Descripción Física	Litología Geomorfología Clima Hidrología Uso de suelo
Parámetros Cuantitativos	Descripción de textura Color en húmedo y seco Densidad aparente y real Espacio poroso Alófanos Potencial hidrógeno en H ₂ O Carbono, calcio, magnesio, sodio y potasio Capacidad de intercambio catiónico

Cuadro i.2 Variables de estudio edáfico



ANTECEDENTES

Los antecedentes para este trabajo se dividen en dos rubros: los geosistémicos que definen la visión general de la investigación; y los de carácter morfoedafogenético desarrollados en nuestro país y América Latina; estos últimos serán abordados en el siguiente capítulo.

Para efectos de la investigación, no se reconoce ningún tipo de trabajo morfoedáfico en las zonas de muestreo, que sirva como antecedente teórico o metodológico.

Visión Geosistémica

Conocer, reflexionar y tomar decisiones acerca del espacio y su expresión en el territorio, y de las relaciones que interactúan, de manera específica, entre los componentes de un sistema y las condiciones que originan la distribución y organización espacial, es motivo por el cual se ha seleccionado la perspectiva geosistémica en este estudio.

Los antecedentes de una visión sistémica se remontan dentro de la Geografía al siglo XIX con Humboldt, quien propuso sistematizar el método de estudio bajo una visión que trataba, además, de describir el paisaje y explicar los nexos entre dos o más elementos que lo constituyen (Peña y Sanguin, 1984).

La concepción sistémica se ha matizado conforme a los objetivos de la investigación geográfica dominante; y aunque cada una de ellas retoma y se apropia el concepto de geosistema como original, ésta ha sido utilizado de manera frecuente y, en ocasiones, de forma discreta y por escuelas que se suponen antagónicas.

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.

Una aplicación desde esta perspectiva, se presenta en el ámbito de la investigación del medio ambiente apoyada en la interpretación geomorfológica y edáfica, esto debido a la condición permisiva de observar cuáles son las complejas relaciones que existen entre los 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, y diferenciar a cada una de ellas, de acuerdo con su jerarquía y funcionamiento.

La visión geosistémica no se limita sólo a explicar 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.

En 1992, Bolós 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, por lo que se constituye 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 de éstos.

Es por ello, que esta perspectiva se contextualiza en los instrumentos de la planificación y se dirige a establecer las formas de utilización racional del espacio y optimizar las interrelaciones entre los sistemas naturales y los sistemas socioeconómicos.

En el contexto de la Geografía y del conocimiento de las unidades territoriales, las relaciones que se estudian se centran en los procesos en los cuales interviene la geomorfología, la pedología, la ecología, la cultura, los cuales resultan de y se reflejan en la absorción, asimilación, y transformación de energía, materia e información (Espinosa, 2001).



Para el estudio del espacio geográfico los geosistemas permiten la aplicación de un punto de vista holístico-cronológico, que accede a identificar y caracterizar a los elementos que conforman a un sistema; es decir, poseen la capacidad de integración y explicación 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 y en el cual, el tiempo marca los cambios en los sistemas; sean éstos temporales, permanentes, primarios o secundarios.

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); es por ello, que esta perspectiva posee la capacidad de definir fronteras e interrelaciones, de acuerdo con la naturaleza de cada componente que constituye a los paisajes; así como la función específica que éstos realizan; la capacidad de carga y amortiguamiento; y 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.

Este último autor establece que el estudio geosistémico posee un carácter integral, lo que permite llegar al entendimiento de las complejas relaciones entre los elementos del medio natural y el hombre; la organización jerárquica y patrón de funcionamiento de éstos; así como su manifestación en el territorio; las causas de su diferenciación espacial y su expresión en diferentes escalas de representación cartográfica, por lo que su aplicación metodológica permite reconocer las diferentes relaciones entre los sistemas naturales y antrópicos.

Los geosistemas como modelo de estudio, además de asimilar los componentes de los sistemas y su dinámica en cuanto a la velocidad y ritmo de sus cambios, involucra el estudio de las relaciones existentes entre la naturaleza y el hombre con las actividades y consecuencias. Así, acceden a relacionar 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.

Por otra parte, la utilización del concepto geosistémico, entendido éste desde su connotación filosófica, científica y metodológica, determina el análisis de la estructura y complejidad del espacio; así como, 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; para con ello, proporcionar soluciones prácticas y apropiadas a problemas de índole conceptual, metodológico y aplicado, que se presentan y alteran la dinámica de éstos.

ESTRUCTURA DE LA INVESTIGACIÓN

La estructura de la presente investigación se encuentra formada por cuatro partes, las cuales se organizan de la siguiente manera:

El Capítulo Primero intitulado “Morfoedafogénesis”, presenta una introspección a la Morfoedafogénesis, como un sistema de análisis y observación del espacio, que se considera innovador, pero difícil de abordar por la complejidad de las relaciones que se presentan entre las variables que lo comprenden.

Por último, se desarrolla, de forma breve, una presentación de las zonas que han sido utilizadas como los prototipos para la aplicación de la metodología y la medición de las variables, exhibiendo algunas de sus características y atributos como localización, clima, geoformas generales y litología, entre otros.

El Segundo Capítulo titulado “Metodología de la Evaluación Morfoedáfica en Sistemas de Laderas”, aborda de manera puntual el desarrollo metodológico de evaluación morfoedáfica en la cual se explican las variables utilizadas para la realización del peritaje geomorfológico y edafológico; así como la estructura formal del instrumento de evaluación. En este apartado, se detalla el proceso de obtención, manipulación y



medición de cada uno de los parámetros desde una perspectiva didáctica.

La tercera parte de la investigación se refiere a la aplicación de la metodología en los tres sitios seleccionados de muestreo para la ocasión y se presentan los resultados obtenidos, en cada uno de ellos, de manera individual; los sistemas en observación corresponden a la Ladera Norte del Parque Nacional Nevado de Toluca; el segundo sistema se localiza en la Ladera Sur del Megacomplejo El Gavilán; y por último, a la Ladera Sureste del Parque Nacional Bosencheve; todos ellos localizados dentro del Paralelo 19⁰, en el Estado de México.

El cuarto y último capítulo se denomina “Análisis y Discusión de Resultados”, en el cual se realiza una discusión de los resultados encontrados, una vez aplicada la metodología y comprobada la validez del instrumento de medición; de esta manera la discusión versa sobre tres ejes rectores los cuales son: la Morfoedafogénesis, como sistema de evaluación y opción de diagnóstico de sistemas de laderas o de paisajes. En segundo plano, se aborda la propia metodología de la evaluación morfoedáfica para determinar sus alcances, problemas, formas de corrección y nuevas perspectivas, para finalmente, atender el problema y resolución del mismo, acerca de la aplicación de la metodología de evaluación morfoedáfica en diferentes espacios geográficos.

Asimismo, en este apartado se presenta un sumario en el cual se discute sobre la hipótesis, los resultados y el método paramétrico.

ZONAS DE MUESTREO Y APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA

Los sistemas de laderas, en los cuales se desarrolla la propuesta metodológica, son los siguientes y pueden ser observados en la figura i.1:



- Ladera norte del volcán Nevado de Toluca
- Laderas del complejo volcánico El Gavilán
- Ladera oriental del Parque Nacional Bosencheve

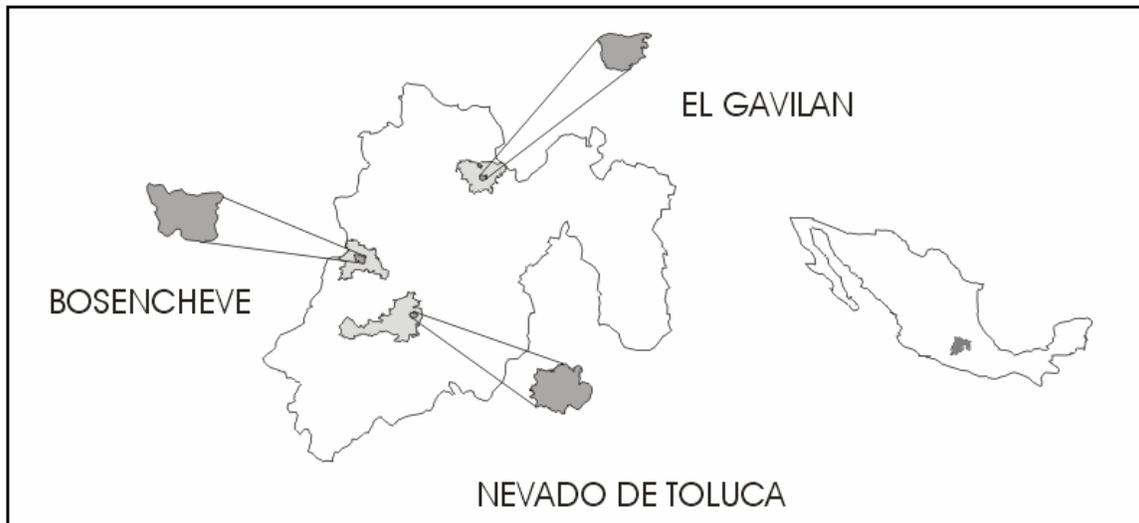


Figura i.1 Localización de las zonas de aplicación de la metodología.

La selección de las zonas de muestreo responde a la selección de criterios de funcionamiento de la metodología, considerando, por una parte, las condiciones paramétrico-estadísticas que permiten la comparación y ratificación de los resultados.

En este sentido, la selección de las tres unidades de muestreo obedece a consideraciones estadísticas que se relacionan con el proceso de certificación y validación de la información.

El proceso de certificación se basa en el análisis multivariado, por medio del cual se realiza la obtención de unidades morfoedáficas con atributos particulares, considerados en el diseño de más de dos muestras independientes.

Otro criterio responde a la ratificación y valoración geográfica, fundamentada en las



regularidades de la envoltura geográfica, expresadas a través de procesos de zonalidad y azonalidad geográfica, determinados éstos por los gradientes de latitud y la altitud, y; manifestados a través de una franja territorial, que se circunscribe al Paralelo 19° N.

Es importante precisar, que la selección de tres áreas de muestreo para realizar el trabajo experimental responde a una consideración que se basa en la posible similitud que podría encontrarse en los espacios estudiados; no obstante, también queda claro que la zonalidad no precisa condiciones idénticas de comparación entre los sistemas de laderas que se estudian; partiendo del entendido que los mecanismos que se desarrollan sobre la superficie terrestre son complejos, de tal forma no existe un solo proceso que se manifieste en la naturaleza de forma idéntica.

De acuerdo con la idea anterior, se utiliza el concepto de zonalidad para la selección de las laderas del Nevado de Toluca, El Gavilán y Bosencheve desde la perspectiva de los procesos de zonalidad y azonalidad geográfica, como parte de un complejo sistema que pertenece a la envoltura geográfica.

A partir de esta consideración, se define a la envoltura geográfica como un sistema material integral, existente, objetivo; dicho en otras palabras; es un complejo natural planetario, en el cual los componentes que la integran, se encuentran en una interacción e interdependencia profunda y estrecha, impulsada con la participación de la energía solar, y en menor grado, la endógena y gravitacional.

Mateo (1984) establece, que la integridad y la unidad de la envoltura geográfica, se determina por el estrecho intercondicionamiento entre sus componentes, por su permanente interpenetración, por el constante intercambio de energía y de sustancias.

La envoltura geográfica como un todo, se hace más compleja, alcanzando nuevas propiedades; es por ello, que define que la parte más complicada de la envoltura geográfica se puede denominar como esfera de los paisajes terrestres, constituida por la capa cercana a la Tierra, de la troposfera, la hidrosfera, la pedosfera y la zona de



hipergénesis (Mateo, 1984).

Una característica de esta envoltura, se refiere a la formación de regularidades geográficas generales, destacando las de: composición y estructura de la Tierra, como planeta; diferenciación espacial o territorial de la envoltura geográfica; ritmo y desarrollo de la envoltura geográfica; y circulación de energía y sustancias en la envoltura geográfica.

De manera particular, la diferenciación espacial de la envoltura geográfica y la definición y causas de la zonalidad latitudinal, se condicionan por la correlación entre la energía del Sol y la endógena, que se manifiesta por medio de la diferenciación espacial y a través de la zonalidad latitudinal y altitudinal.

De acuerdo con las ideas de Mateo (1984), la zonalidad geográfica es la regularidad más importante de la diferenciación espacial de la naturaleza de la Tierra. El estudio de la distribución de las zonas, las peculiaridades de los procesos geográficos que ocurren en las zonas, tiene un gran significado, tanto teórico como práctico.

Entre algunas de las características importantes que determinan las particularidades de los paisajes que se originan por procesos de zonalidad, destacan las siguientes:

- Distribución irregular de la radiación.
- Desarrollo de los procesos físicos, químicos, biológicos y biogeoquímicos.
- Balance de calor de la superficie terrestre.
- Evaporación y entrega de calor a la atmósfera.
- Circulación de la atmósfera y de la humedad.
- Zonalidad climática.
- Esguerramiento y el régimen hidrológico.
- Migración de elementos biogeoquímicos.



Asimismo, se destaca la importancia de las zonas de estudio, según los criterios de Baron (2002), quien establece diez puntos clave acerca del estudio de montañas y partes de ellas, éstos son:

- Influencia de gradientes físicos.
- Afectación a la vida por parte de los gradientes físicos.
- Movimiento de vida salvaje.
- Zonas de migración humana.
- Caracterización climática.
- Importancia prehistórica e histórica.
- Procesos de modelado.
- Procesos físicos y bioquímicos.
- Conformación de paisajes.
- Transformación de paisajes.

De acuerdo con lo anterior, se ha realizado un cuadro, en el cual se observan las variables en cada uno de los sistemas de laderas, que se han seleccionado para la aplicación metodológica y su posterior validación.



ATRIBUTOS GEOGRÁFICO-GENERALES DE LOS SISTEMAS DE LADERAS				
ATRIBUTOS GEOGRÁFICO-GENERALES		NEVADO DE TOLUCA	EL GAVILÁN	BOSENCHVE
Latitud media		19° 06´	19°54´	19°25´
Longitud media		99° 46´	99° 29	100°07´
Altitud msnm.		4,680	3,020	2,710
Origen	Unidad Fisiográfica	Porción central del Sistema Volcánico Transversal		
Geología	Tipo de Roca	Andesitas y Pómez	Basaltos, tobas y brechas volcánicas	Basaltos y tobas
	Edad	Derrames lávicos y depósitos piroclásticos datados de 10,500 años <i>B.p.</i>	Bloques y derrames del Terciario.	Depósitos piroclásticos y basálticos del Terciario inferior
Geomorfología	Geoforma	Predominio de Laderas convexas	Laderas en sistemas de bloque y calderas volcánicas	Laderas acumulativas y piedemonte
	Orientación	N	S-SW	E
Clima	Clasificación	Cw ₂ (w)(b´)g Semifrío E(t)w Frío	Cw ₁ (w)(w)bg Templado subhúmedo	C(w ₂)(w)B(i) Templado subhúmedo
	Isotermas	4° C - 12° C	14° C	12° C - 14° C
	Isoyetas	1,200 - 1,800 mm	800 mm	800 - 900 mm
Uso de suelo		Agrícola y Forestal	Forestal y Agrícola	Forestal y Agrícola

Cuadro i.3 Características de los sistemas de laderas. Fuente: Mooser *et. al.* (1996) e INEGI, (1998).



CAPÍTULO I

MORFOEDAFOGÉNESIS, UNA RELACIÓN ENTRE GEOMORFOLOGÍA Y GEOGRAFÍA DEL SUELO

MORFOEDAFOGÉNESIS, UNA RELACIÓN ENTRE GEOMORFOLOGÍA Y GEOGRAFÍA DEL SUELO

Aunque se considera a Tricart como uno de los primeros artífices de la morfoedafología, anterior a este autor, Gaucher y Segalen (1967), de manera respectiva consideraban relevante realizar estudios acerca de la dinámica en la interfase entre el desarrollo del relieve y los procesos de formación del suelo.

Un aporte que se considera significativo corresponde al aporte de la escuela norteamericana y de la francesa; donde la primera fundamenta la concepción fisiográfica para la generación del sistema de clasificación de tierras de la *Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization* (CSIRO) de Australia (1926); mientras que la segunda, a través del Instituto de Investigaciones en Agronomía Tropical (IRAT-France) establece una metodología para el desarrollo de ordenamiento agro-silvo-pastoril (Killian, 1972).

El último autor referido establece que la finalidad del método morfoedáfico se centra en el uso y manejo de suelos a partir de cuatro elementos o factores de límite agronómico; éstos son los edáficos, morfodinámicos, hídricos y climáticos.

La asociación entre la Geomorfología y la Geografía del suelo ha sido explicada por Tricart (1982) a través de un esquema que representa a los elementos que constituyen este medio, así como las conexiones que se presentan entre éstos, y que se muestran en la figura 1.1.

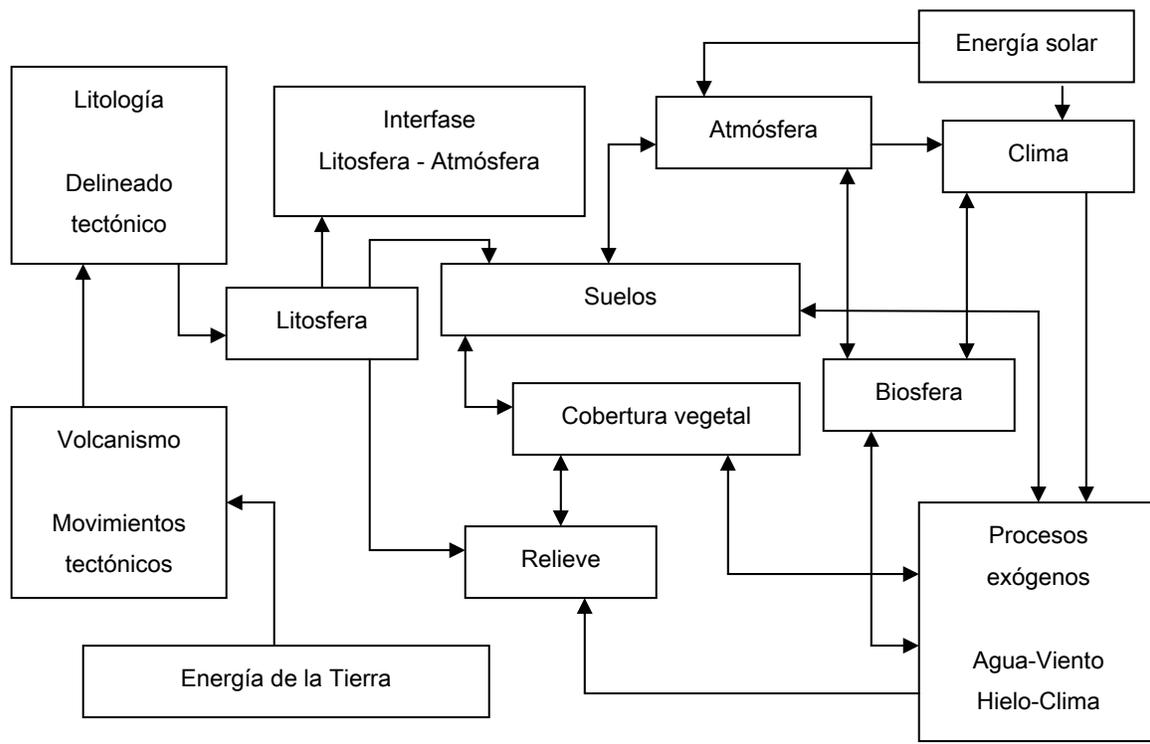


Figura 1.1 Estructura y Dinámica de la Bio-física del ambiente, propuesta por Tricart, en 1972.

En correspondencia con las ideas de Tricart (1982), Killian (1973) propone un sistema de relación pedológico-geomorfológico en el cual describe una guía metodológica; la figura 1.2 muestra el esquema referido.

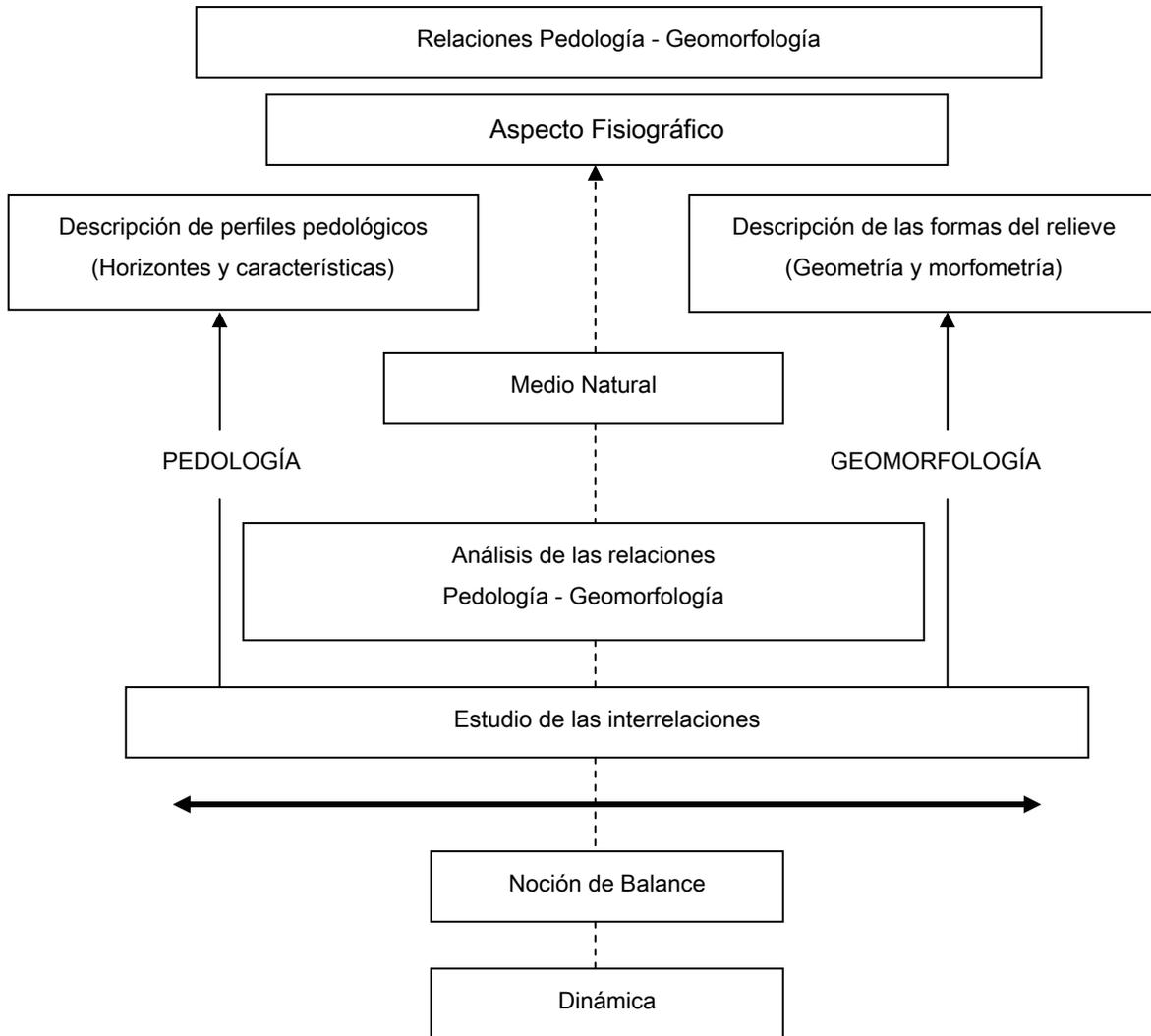


Figura 1.2 Relaciones Pedología-Geomorfología.

El concepto morfoedafogenético también ha sido desarrollado por Zonneveld (1979); sin embargo, este autor considera como punto central a las propiedades y atributos de los elementos que forman a los paisajes; encontrando así coincidencias y antípodas con la propuesta del investigador francés; aunque en ambos casos, las variables de estudio son las mismas (ver figura 1.3).

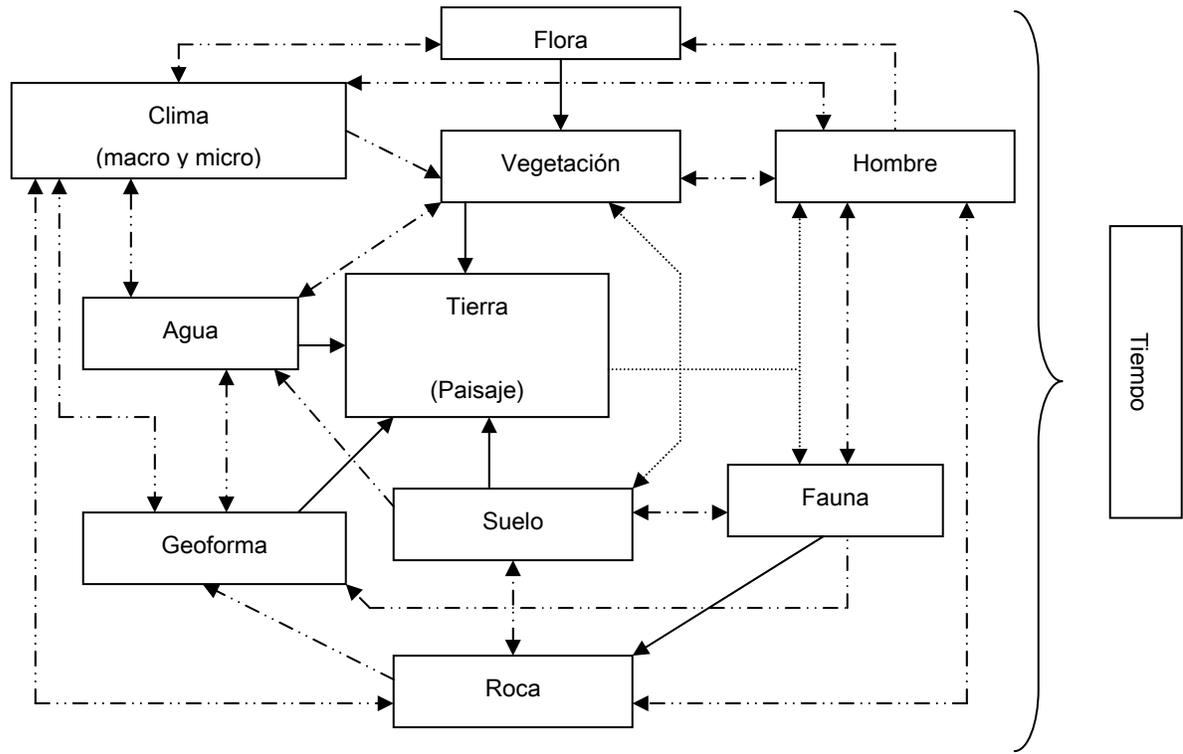


Figura 1.3. Factores de formación de geoformas, atributos e interrelación (Zonneveld, 1979).

De acuerdo con Rossignol (1987), los estudios morfoedafológicos se pueden realizar en diferentes escalas de análisis, las cuales asumen un valor sucesivo de precisión y estudio; en éstos, cada unidad morfoedáfica debe describir información que conforma los siguientes rubros jerarquizados:

- Hidrográfica (sistemas de cuencas y jerarquización).
- Morfológica (definición simple de las formas de modelado del paisaje).
- Geológico-litológica (características del sustrato).
- Tectónica (definición del sistema estructural).
- Geodinámica (estabilidad morfoedáfica).
- Edafológica (elementos de pedogénesis, clasificación y repartición).
- Hídrica (circulación del agua).



- Biológica (vegetación natural y uso del suelo).
- Climática (análisis de rasgos del régimen hidrotérmico).

Por lo que refiere a la escala de trabajo, este autor propone la clasificación siguiente:

COMPRESIÓN Y REPRESENTACIÓN DE LOS PROCESOS DE LA MORFOEDAFOGÉNESIS		
NIVELES	ESCALA	DESCRIPCIÓN
Región	1:500,000 a 1:100,000	Porción del territorio con características de cierta homogeneidad.
Paisaje	1:50,000 a 1:20,000 ó 1:10,000	Corresponde a una porción del territorio, soportando uno o varios tipos de medio o paisajes.
Parcelario	1:10,000 1:1,000	Corresponde al nivel más fino de estudio, donde se estudia una parte de una unidad morfoedafológica, definida en escalas más pequeñas

Tabla 1.1 Diferenciación de escalas para el estudio morfoedáfico de Rossignol (1987).

Entre otras ideas o conceptos que entablan ya la importancia de la relación entre el suelo y las geoformas, resalta la de Graham *et al.* (1988) quienes definen una "imagen central" de los suelos formados en montañas con un perfil poco desarrollado de sedimentos recientes; con esta misma idea el mismo autor, en 1990, con dos obras diferentes define que los suelos de las áreas montañosas forman un mosaico originado de un complejo de procesos geomorfológicos y edáficos particulares (Graham y Buol, 1990; Graham *et al.*, 1990).

Entretanto, algunos autores como Zink (1989), consideran que el concepto de morfoedafogénesis al ser analizado en sus componentes, exhibe un problema para definir las fronteras entre las geoformas y el suelo; motivo por el cual establece que los límites entre estos dos elementos tienden a ser difusos. Establece que una geoforma se



constituye por dos componentes, los cuales son la configuración de la superficie y el volumen de la misma, la cual tiene correspondencia con el material que la constituye.

Por otra parte, este mismo autor define que el suelo también posee dos condiciones básicas que lo constituyen; la primera de ellas, refiere a que se desarrollan sobre material de origen geomorfológico, y la segunda, a que el proceso se encuentra condicionado por otros más y la dinámica que la geoforma genera por encontrarse en contacto con ella.

Al referir factores comunes de formación entre el suelo y la forma de la superficie, se involucran los materiales constitutivos y la energía en un sistema de integración a través de una relación que se expresa de la siguiente manera:

GEOFORMAS Y SUELOS		
PROCESO	MATERIAL	ENERGÍA
Endógeno	Rocas: En diferentes facies (textura, estructura y mineralogía). Con influencia del delineado tectónico Edad y estratigrafía.	Volcanismo y deformaciones tectónicas.
Exógeno	Influencia del clima y la atmósfera en la superficie, biosfera y dinámica geomorfológica.	Geodinámica bioclimática que transforma y distingue geoformas y suelos.

Cuadro 1.1 Integración de las variables compartidas entre el suelo y las geoformas (Zink,1989).

Por otra parte, resulta significativo establecer el papel de la Geomorfología como sustento de cartografía edáfica desde el momento en que ésta se considera para llevar a cabo la fase de levantamiento de suelos; así como en la interpretación de la génesis del suelo y de los procesos que éste desarrolla; así como, en otro tipo de aplicaciones, tales como la reconstrucción y la planeación ambiental.



Entre las ventajas más importantes que se obtienen de la Geomorfología, es que ésta, a través de la interpretación de cartografía morfológica y/o morfométrica, o por medio de fotografías aéreas, imágenes de satélite o radar, permite la caracterización y clasificación del sitio de selección para el muestreo en la primera instancia del proceso metodológico para el análisis.

De acuerdo con lo anterior, Zink (1989) propone dos modelos en los cuales se aprecia e interpreta la posición que guarda la Geomorfología como un puente o conexión por medio de la cual el manejo de variables conceptuales y métodos de estudio, fortalecen en éstos mismos ámbitos a la ciencia del suelo, a través de una interfase en la cual existe un flujo constante de materia y energía pluridireccional; y un segundo modelo, en el que se continúa observando ese mismo sentido de relación, pero ahora desde la perspectiva que constituye a la fase metodológica que permite el conocimiento de las propiedades del suelo, la cual inicia desde la delimitación de fronteras hasta la clasificación y representación cartográfica.

En el proceso de interpretación de la génesis del suelo y de sus características, la orientación, conocimiento y comprensión, planteadas desde la Geomorfología, permite la selección de transectos, áreas de muestreo y en la explicación de su origen, dinámica y evolución en una dimensión espacial; y esta es la base para realizar la interpretación del paisaje (ver figuras 1.4 y 1.5).

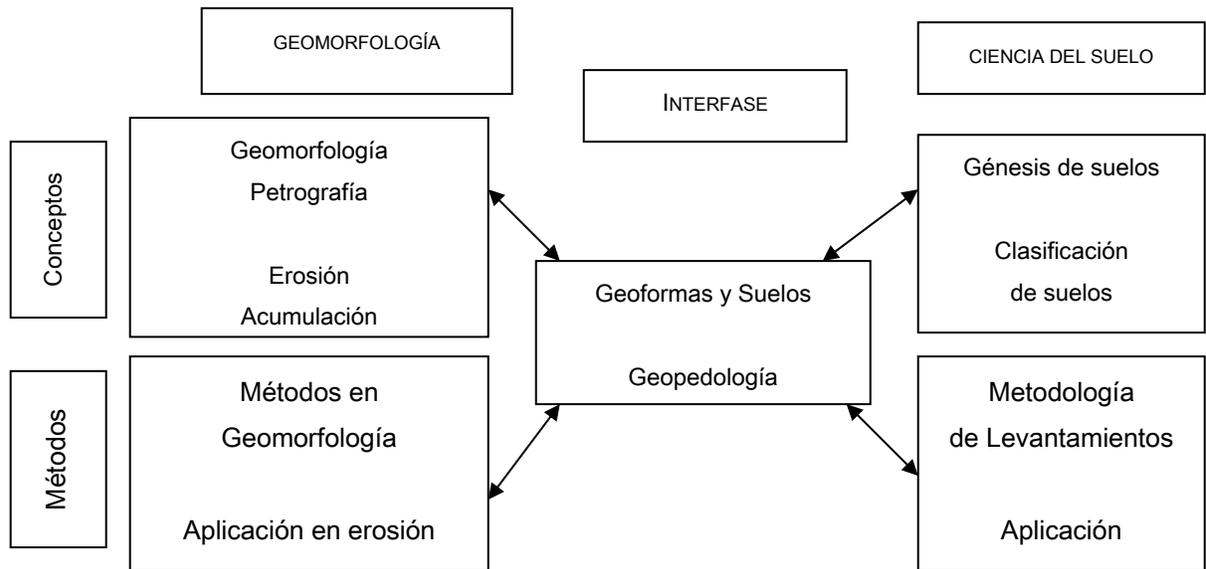


Figura 1.4 Posición puente de la Geopedología, según Zink (1989).

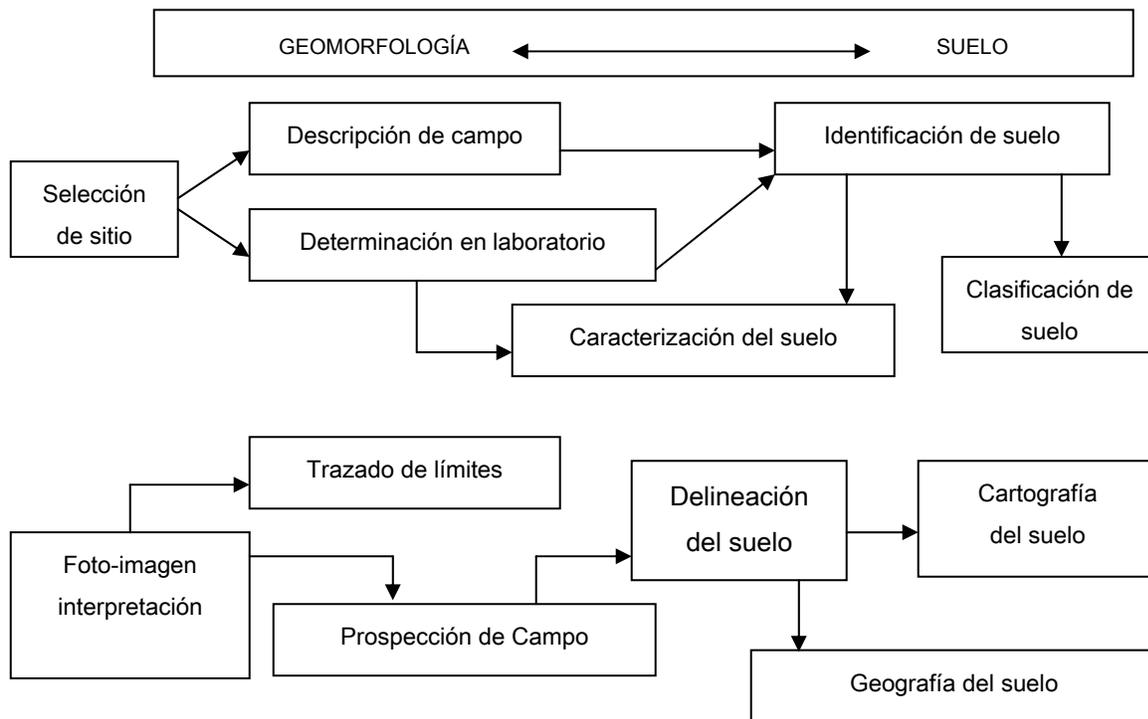


Figura 1.5 Relación Geomorfología-Edafología, según Zink (1989).



Por último, en el contexto europeo el término referido a morfoedafogénesis posee un término correspondiente denominado Geopedología, sin embargo, los conceptos versan de manera paralela hacia un mismo objetivo, por ejemplo, Dent y Young (1981) establecen que la geoforma y los suelos controlan patrones de variación entre diferentes cualidades y patrones de hidrología y vegetación; mientras que Birkeland (1999) define que la integración entre la geomorfología y la pedología posee la dificultad de separar lo que es difícil de comprender: la formación del suelo sin entender el desarrollo de las geoformas.

Este autor la define como el mejor sistema de delineado y clasificación del paisaje, a través de los elementos bióticos y abióticos ordenados jerárquicamente y una organización estructural y, al mismo tiempo, es un sistema que genera una base espacial para el estudio de relaciones, tales como vegetación suelo-geomorfología, estudios de evaluación y manejo de recursos.

Morfoedafogénesis en México y América Latina

En nuestro país la visión morfoedáfica no ha sido utilizada con mucha frecuencia; y aunque de manera general es reconocida como una perspectiva importante para el estudio de la envoltura geográfica, es a principios de este siglo, cuando se retoman los planteamientos desarrollados en las postrimerías de los años ochenta.

Los primeros estudios sistemáticos se encuentran referidos en los trabajos de investigación, que se llevaron a cabo en la región cafetalera comprendida en el corredor de Xalapa y Coatepec, en el Estado de Veracruz (Geissert, 1987, 1991, 1992 y 1995); en ellos se aplican enfoques de análisis del medio físico y de ordenamiento, propuesto por Rossignol (1987 a y b; y *et al.*, 1989); y las aplicaciones de estabilidad y caracterización geomorfológica expuestos por Campos y Gutiérrez (1989), de manera respectiva.

De forma paralela, se cuenta con un registro en otro sector del país, y este pertenece al



Lago de Pátzcuaro, en Michoacán, investigación elaborada por Barrera en 1989.

De manera mas reciente destaca el trabajo de Geissert (2004), quien para establecer diferentes tipos de degradación de paisaje recurre a una clasificación cualitativa de geformas y pendiente del relieve, las cuales relaciona con características físicas de unidades de suelo, de vegetación y uso de suelo.

Por su parte, Juárez y Gallegos, en el mismo año realizan un estudio similar al anterior, pero los resultados se asocian a procesos de laderas, tales como los *debris flows* y de remoción en masa; obteniendo una relación entre el espesor del suelo y características morfológicas de perfiles realizados en vertientes e índices de erosión.

Destacan también las investigaciones realizadas en la Ciudad de México, por parte de Cram *et al.* (2004) y Vela (2004) de forma correspondiente, donde se considera la realización de cartografía morfoedáfica basada en altitud, pendientes y disección vertical para calificar el papel que desarrolla el suelo en el paisaje urbano y natural sobre laderas.

Asimismo, se hace referencia de los trabajos desarrollados por Tamariz *et al.* (2004) en la Sierra Norte de Puebla, en los cuales relaciona variables geomorfológicas y edáficas para obtener procesos de formación, evolución y zonificación de unidades de suelo desde diferentes perspectivas; el de Fuentes *et al.* (2004), quienes establecen reglas de distribución de paisajes a través de la Geografía del suelo, criterios de altitud, erosión y material parental de origen volcanoclástico, de rocas sedimentarias antiguas, sedimentarias no consolidados y conglomerados en el Sistema Volcánico Transversal; y por último, el de Krasilnikov *et al.* (2004), quien, en la Sierra Sur de Oaxaca, define que la diversidad del suelo representa la base para la sustentabilidad, al establecer una condición entre el desarrollo del suelo versus la intensidad de procesos geomorfológicos de transporte.

Cabe hacer mención, que en América Latina no se ha encontrado una línea de investigación formal en el campo de la investigación morfoedáfica; sin embargo se



encuentran trabajos publicados en resúmenes o ponencias en extenso de eventos académicos a partir del año 1987. Es en Brasil en donde se encuentran más trabajos concernientes a este tipo de investigación, la cual es difundida a través de las memorias de los diferentes Encuentros de Geógrafos de América Latina.

Destaca el primer trabajo que acerca a la temática desarrollado en 1987 por Novaes en el cual a partir de una caracterización y clasificación de unidades geomorfológicas se realiza un análisis del medioambiente; el trabajo de Gómez y Edneida (1989) quienes desde la perspectiva edáfica realizan una caracterización del paisaje de montañas, mientras que de manera específica, Cabrera (1995) presenta por primera vez una investigación en la cual aparece la noción de balance morfoedáfico como un método de carácter integral, que permite determinar la estabilidad de los paisajes, en el cual se utiliza también la clasificación de suelos *Soil Taxonomy* (1993).

En el contexto de los eventos académicos referidos, el último par de trabajos pertenecen a estudios en los cuales el balance morfoedáfico permite el conocimiento de procesos diversos en sistemas de vertientes a diferentes escalas de trabajo (Furian, 1995; y Vitte, 1997).

Por último, existe un antecedente de evaluación morfoedáfica de tipo cualitativo, desarrollado bajo la idea de la ordenación ecológica en la Academia de Ciencias de Cuba, en la cual se integró una matriz de categorías de optimización del territorio, la cual se observa en el siguiente cuadro.



MATRIZ DE CATEGORIZACIÓN EDAFOGEOLOGICA						
SUELOS	RELIEVE					
	Muy favorable	Favorable	Poco favorable	Muy poco favorable	Desfavorable	Muy desfavorable
Muy favorable	I	I	II	III	IV	VI
Favorable	I	II	II	III	IV	VI
Poco favorable	II	II	III	IV	V	VI
Desfavorable	III	III	IV	IV	V	VI
Muy desfavorable	IV	IV	V	V	V	VI
Extremadamente desfavorable	VI	VI	VI	VI	VI	VI

Cuadro 1.2 Categorías de optimización del territorio de acuerdo con las características cualitativas geomorfológicas y edafológicas (Peña, 1997).

Morfoedafogénesis en el Siglo XXI

En el presente siglo, bajo las perspectiva Geomorfológico-Edáfica orientada hacia el ordenamiento del territorio y el conocimiento de los paisajes, Canacher (2001a y b) determina que el estudio de las geoformas, orientación del relieve, uso de suelo y desarrollo morfológico, permiten observar problemas de los paisajes en cuencas, tales como la influencia de los procesos geomorfológicos; así como en la determinación de problemas particulares, como salinización o fijación y/o acumulación de metales pesados o elementos contaminantes, donde la geomorfología permite la incorporación de una estrategia de utilización del suelo.

Asimismo, Mateo y Ortiz (2001a y b) establecen que mediante la noción del paisaje, es posible establecer los grados de degradación geocológica, ello debido a la utilización de indicadores, los cuales a través de sus propiedades, se pueden utilizar como una herramienta de planificación y gestión ambiental, y en la construcción de la sustentabilidad.



Algunos autores, como Farshad y Barrera (2001) definen que la sustentabilidad, a través del uso del suelo, es determinada por cuatro factores básicos establecidos a través de los subsistemas tierra, labor, capital y uso de suelo, ello comprendido dentro de dos sistemas base: el biofísico y socioeconómico.

Por otra parte, el enfoque etnopedológico se circunscribe a la percepción, conocimiento y manejo de tierras entre los campesinos; este enfoque es importante, porque permite la conceptualización del dominio de la tierra como un dominio integral; los sistemas de evaluación de la calidad de las tierras en función de las aptitudes agroproductivas y el manejo de policultivos, que distingue variaciones suelo-relieve y suelo-humedad (Barrera y Winkler, 2001).

Como puede apreciarse, el balance morfoedáfico, a pesar de ser observado y utilizado como una herramienta “comodín” en el estudio de paisajes, su aplicación es aún de manera aislada y no sistematizada; es decir, que las diferentes investigaciones referidas, a pesar que de contar con un común denominador, el punto de vista de éstas y los referentes particulares de las mismas, derivan en la generación de procedimientos de evaluación diferentes y contrastantes entre sí.

Es por ello, que se motiva la elaboración de una propuesta de evaluación morfoedáfica, que si bien no posee un carácter universal, debido a la diferenciación geográfica y las regularidades de la envoltura geográfica, se plantea como una herramienta para su aplicación en sistemas de laderas, localizados en zonas latitudinales afines a las del presente trabajo.

PROPUESTA CONCEPTUAL MORFOEDÁFICA

De acuerdo con los conceptos tradicionales de morfoedafogénesis, que serán abordados en la siguiente parte de este capítulo, resulta importante en la presente investigación, fijar la posición de la perspectiva con la cual se manejan los conceptos teóricos y



operacionales, y de manera particular, de los componentes que constituyen a dichas nociones, como resulta en el caso referente al estudio del suelo.

Por lo que refiere a la contextualización de la Geomorfología, no se enjuicia en este documento su valor como ciencia, debido a que entre otros factores ha quedado demostrado a lo largo de su historia, su importancia como una ciencia geográfica y su alcance en la planteamiento de soluciones acerca del conocimiento, utilización y planeación del territorio, a través de sus paradigmas, determinaciones y métodos de estudio con referencia al origen de las geoformas y su edad, el estado evolutivo, la dinámica y el momento particular de desarrollo de las mismas; así como de las razones físico-geográficas que se involucran en el proceso de la distribución espacial de las mismas, y su relación con las diferentes esferas que componen a la epigeósfera.

La Geomorfología representa la expresión viva y continua de los cambios sobre la superficie terrestre determinados por procesos que evidencian una relación estrecha de éstos con los materiales que conforman al relieve; las geoformas heredadas; y los tipos de energía que hacen posible la dinámica y evolución de la superficie de la Tierra, expresada a través del tiempo; así como los ritmos e intensidad con la que actúan los diferentes tipos de suministro energético que se desenvuelven en nuestro planeta.

Por lo que respecta al estudio del suelo, se parte del concepto teórico, conceptual y operacional de "Geografía del Suelo", el cual se acuña desde el papel que éste posee como interfase en un sistema complejo de interrelaciones de la epigeósfera; es decir, que no sólo refiere a una sustitución en el lenguaje, como de manera tradicional se le ha utilizado, sino como una conceptualización de un sistema plurifuncional que implica mucho más que una caracterización de atributos físicos y químicos; este punto de partida en el análisis y estudio del suelo se circunscribe a la propia naturaleza de la Geografía Física Compleja, observada a través de la ventana de los geosistemas, aunque esta posición no se restringe a una perspectiva única y absoluta.



Es de esta manera que se considera al suelo como un elemento que permite una aplicación teórica y práctica en el proceso de ordenación del territorio, a través de su capacidad para mostrar los procesos que permiten la evolución del suelo y el tipo de relaciones que éste puede tener con otro tipo de elementos, tales como la zonalidad geográfica, la gestación y evolución de provincias fisiográficas, regiones naturales y por consiguiente, el desarrollo de la biota.

Este punto de vista, además de situar al suelo como un recurso, permite entre otras cosas, no sólo la clasificación del mismo, sino la capacidad de realizar sistemáticamente procesos de análisis del territorio a través de condiciones que permiten la formación y diferenciación espacial; y todo ello, desde una razón ecética, es decir, con referencia a su capacidad de conocimiento del territorio para así sostener recursos bióticos y antrópicos.

Es por ello, que la Geografía del Suelo representa un camino sintético y analítico que permite la comprensión de las complejas interacciones entre los componentes de las esferas del paisaje; ello debido a que comparte con la Geomorfología factores comunes de formación, desarrollo, evolución y alteraciones del suelo que se asocian al vulcanismo, tectonismo y a los ciclos de erosión-transporte-acumulación; por lo que el suelo y las geoformas constituyen, dentro del geosistema, un factor de enlace entre los componentes de la epigeósfera.

En otro orden de ideas, pero en completa vinculación con los referentes anteriores, el último término empleado que se define corresponde al de Morfoedafogénesis, el cual en esta investigación no sólo se circunscribe a los aportes teóricos establecidos por diferentes autores; sino que ante la necesidad de contar con un término que se ajuste a la posición sistémica y ecética planteada, se ha desarrollado un concepto en el cual se destacan diferentes formas de enlace y organización de elementos geomorfológicos y edáficos.

Para sostener las ideas establecidas se ha desarrollado una matriz que explica la relación entre las variables geomorfológicas planteadas en la metodología de esta investigación y



las de carácter edáfico; obteniendo con ello un concepto operacional, que a nuestro juicio, resulta de relevancia, debido a que si bien se acepta y se asume una relación estrecha entre ambas ciencias, no se contaba con una referencia específica que mostrase los diferentes tipos de relación, orden y jerarquía dentro de las mismas.

La matriz se encuentra conformada por once variables que involucran elementos básicos de la Geografía del Suelo ordenados de derecha a izquierda y de manera jerárquica, la cual advierte momentos particulares, que abarcan desde los preparativos para la realización de trabajo de campo, el desarrollo del mismo y los procesos de preparación de muestras en laboratorio para el análisis y determinación de procesos de clasificación, génesis, desarrollo, cartografía, determinación de estado de equilibrio, y finalmente, la formulación de escenarios tendenciales.

El otro eje representa las variables geomorfológicas predeterminadas y también ordenadas desde un punto de vista jerárquico, de tal manera, que se parte desde la caracterización del delineado tectónico y los elementos morfográficos del relieve, considerando también al paisaje como un elemento fundamental.

Los valores que se encuentran dentro de la siguiente matriz representan lo que se ha considerado como las “razones mínimas” que se pueden encontrar en cada nivel jerárquico y sector, sin embargo, cada uno de los números establecidos no posee un carácter estático, es decir, que éstos pueden aumentar o disminuir en función de los objetivos que puede plantear una investigación de carácter morfoedáfica, así como de la escala en la cual se realicen análisis; de tal manera, que entre los principales tipos de relaciones encontrados se encuentran los siguientes:



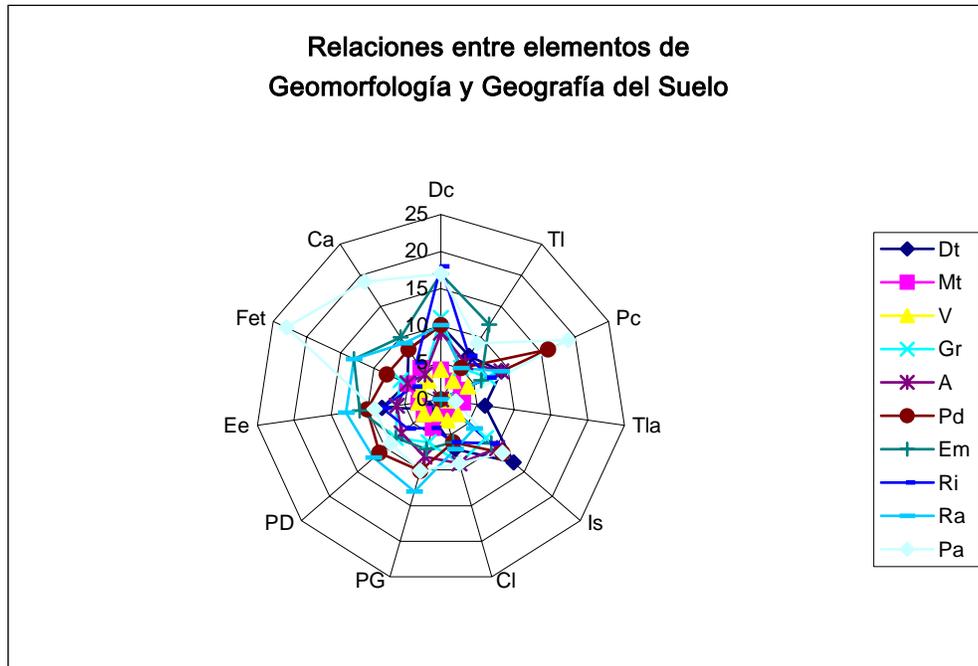
MATRIZ DE RELACIÓN ENTRE GEOMORFOLOGÍA Y GEOGRAFÍA DEL SUELO												
Variables		Elementos de Geografía del Suelo										
		Dc	Tl	Pc	Tla	Is	Cl	Procesos		Ee	Fet	Ca
								G	D			
Elementos de Geomorfología	Dt	10	7	9	6	13	7	3	2	8	5	8
	Mt	4	3	3	3	4	2	4	3	3	5	5
	V	4	3	4	1	3	3	2	3	3	3	3
	Gr	11	5	7	0	8	9	6	8	6	6	4
	A	10	6	9	0	10	9	8	7	6	5	4
	Pd	9	5	16	0	11	6	10	10	10	8	8
	Em	17	12	6	0	9	6	7	8	12	13	10
	Ri	18	7	7	0	9	6	4	6	8	4	6
	Ra	10	5	9	0	6	7	13	12	13	13	9
	Pa	17	9	19	2	11	9	10	9	9	23	19

Variables de Geografía del Suelo	
Dc	Descripción de campo
Tl	Trazado de límites
Pc	Prospección de campo
Tla	Trabajo de laboratorio
Is	Identificación de suelo
Cl	Clasificación
G	Procesos de génesis
D	Procesos de desarrollo
Ee	Estado de equilibrio
Fet	Formulación de escenarios tendenciales
C	Cartografía

Variables de Geomorfología	
Dt	Delineado tectónico
Mt	Movimientos tectónicos
V	Vulcanismo
Gr	Geometría del relieve
A	Altimetría
Pd	Pendiente
Em	Elementos de morfometría
Ri	Roca y estado de intemperismo
Ra	Relación con procesos atmosféricos
Pa	Paisaje

Cuadro 1.3 Matriz de relación.

Con base en la matriz, se presenta el siguiente gráfico que representa, de manera particular, no sólo el número y la distribución de las relaciones presentes, sino las áreas en las cuales el número de éstas tienden a ser más frecuentes, y por tanto, el nivel de aplicación que se genera a través de las relaciones que se manifiestan.



Variables de Geografía del Suelo		Variables de Geomorfología	
Dc	Descripción de campo	Dt	Delineado tectónico
TI	Trazado de límites	Mt	Movimientos tectónicos
Pc	Prospección de campo	V	Vulcanismo
Tla	Trabajo de laboratorio	Gr	Geometría del relieve
Is	Identificación de suelo	A	Altimetría
Cl	Clasificación	Pd	Pendiente
G	Procesos de génesis	Em	Elementos de morfometría
D	Procesos de desarrollo	Ri	Roca y estado de intemperismo
Ee	Estado de equilibrio	Ra	Relación con procesos atmosféricos
Fet	Formulación de escenarios tendenciales	Pa	Paisaje
C	Cartografía		

Figura 1.6 Relaciones entre elementos de Geomorfología y Geografía del Suelo.

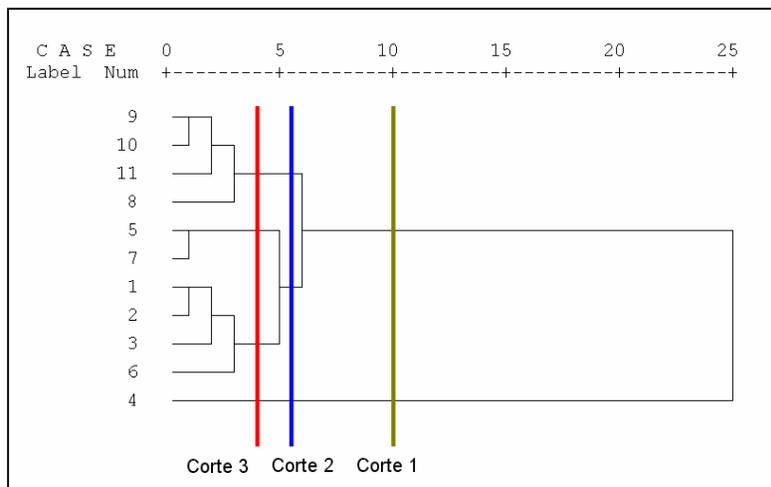
En el sector periférico de la gráfica, se registran las variables de la Geografía del Suelo, mientras que en la leyenda aparecen las de carácter geomorfológico. De la parte central hacia el exterior de la gráfica se encuentra la frecuencia de relaciones encontradas.



En el primer anexo se presenta un listado de los enlaces que se encuentran entre cada una de las variables que constituyen a la matriz y que ayudan a definir el sentido de integración entre la disciplina del relieve y la del suelo.

Por último y con referencia a la matriz de relación entre la Geomorfología y la Geografía del suelo, se realizó un estudio de estadístico de tipo multivariado denominado análisis cluster. A partir del procesamiento de datos se obtiene un dendrograma en el cual se aprecia la formación de grupos diferenciados de las variables de estudio de ambas disciplinas.

La formación de los grupos valida la selección de las variables escogidas para realizar el proceso de integración disciplinario; destaca en los resultados la forma en la cual se agrupan, así como el comportamiento cuantitativo y cualitativo de las mismas. En la segunda parte del Anexo 1 se localiza el procedimiento estadístico de clasificación y los cortes correspondientes para el análisis de gráfico que se presenta a continuación.



Dendrograma 1. Clases y cortes de la matriz de relación Geomorfología – Geografía del suelo.

Conceptualmente se establece entonces, que la morfoedafogénesis se centra en el estudio de las relaciones particulares, así como, en la correspondencia directa e indirecta



entre los elementos que constituyen a las variables de la evaluación geomorfológica y edáfica expresados a través de la distribución en una unidad territorial con una estructura bien definida, la cual pertenece a un geosistema de la envoltura geográfica; todo ello concebido desde una perspectiva sistémica y ecética. El diagrama 1.1 ejemplifica lo establecido líneas arriba.

La filosofía del concepto integra sistemáticamente a los elementos que lo constituyen, así la perspectiva morfoedáfica aquí planteada descansa en la composición espacial del sistema de energía que interactúa e influye en el territorio; en el concepto de tiempo que manifiesta una condición de cambio progresivo, el cual, no es isócrono en cada una de las partes que conforman al concepto; la matriz de relación que establece los entretrejos del sistema morfoedáfico ya definidos; la capacidad del término acerca de la potencialidad de generación de diagnósticos en el tiempo presente y futuro, así como la toma de decisiones acerca del conocimiento sobre los posibles cambios e intensidad de los mismos en la estructura del paisaje en función de su estado actual, su capacidad de acogida a diferentes actividades y de su tendencia natural como parte del paisaje.

La parte operacional del concepto se explica en el capítulo siguiente, a través de la medición y obtención de parámetros geomorfológicos y edáficos; sin embargo, debe de quedar claro que el manejo de esta parte corresponde al investigador en el proceso de selección de la variable dependiente e independiente, en un caso particular de estudio, y de acuerdo con las condiciones físico geográficas dominantes.

Con el objeto de lograr una mejor comprensión del concepto morfoedáfico plasmado en el diagrama de flujo, se señalan a continuación las partes importantes que lo constituyen.

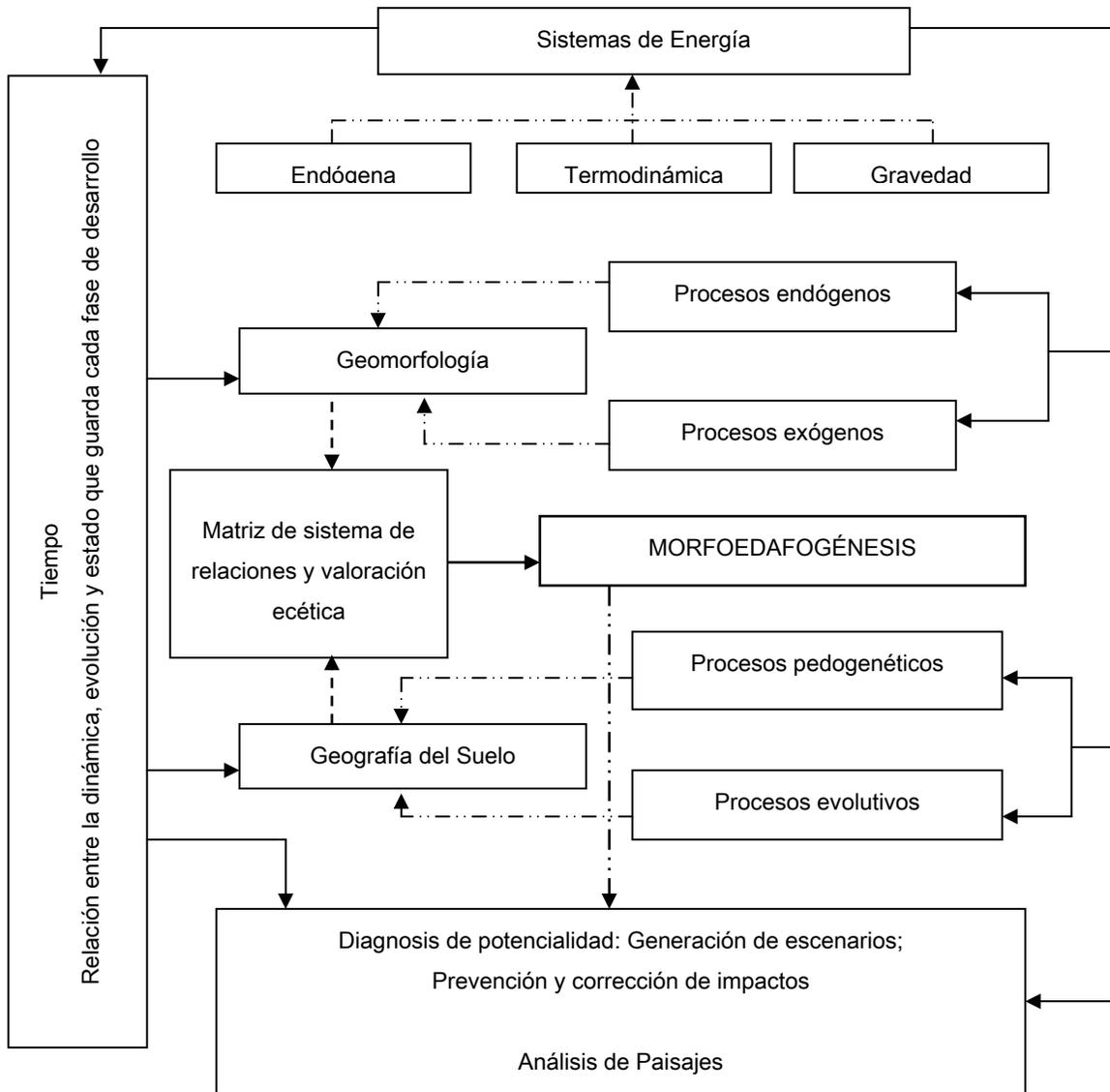


Diagrama 1.1
 Concepción teórica
 de la
 morfoedafogénesis

—————> Subsistema con nivel jerárquico inferior
 —————> Condiciona intensidad y procesos evolutivos
 - - - - -> Integración interdisciplinaria de variables
 —————> Producto holístico
 - - - - -> Aplicación teórica y metodológica en el territorio



Las características distintivas generales del diagrama de flujo son las siguientes:

1. La representación de los sistemas de energía en los cuales se clasifica el sistema, ello representa la fuente endógena, termodinámica, y la energía de gravedad;
2. La relación entre estos sistemas, las fases del tiempo y un vínculo entre los procesos que caracterizan la geomorfología, tales como los endógenos y los exógenos, así como los pedogenéticos y los procesos evolutivos del suelo que se relacionan con la génesis y desarrollo del suelo, todo ello en un marco de integración, donde el tiempo marca una relación de dinámica, evolución, coevolución en cada fase de desarrollo dentro del paisaje;
3. Se establece que el desarrollo de los procesos morfológicos y edáficos son isócronos, situación que modifica la forma y profundidad de interrelación entre variables morfoedáficas;
4. La relación entre Geomorfología y Geografía del Suelo, bajo esa perspectiva morfoedáfica y relacionada con los sistemas de utilización adecuada del suelo, lo que conduce a la diagnosis, la prognosis y la síntesis; dicho de otra forma, establece algunos de los principios o de las características que permiten la evaluación de diferentes tipos de paisajes.

De manera particular, a continuación se desagrega la información que compone a cada una de las partes que conforman al diagrama de flujo.

La representación de las diferentes formas de energía manifiesta importancia en la clasificación de los procesos y la intensidad de los mismos, que se presentan sobre la superficie, tanto desde el punto de vista del desarrollo del suelo, así como de las propias geoformas.

Por ello, es importante definir o caracterizar la energía endógena, ya que ésta encuentra una relación entre el desarrollo de sistemas fluviales versus el del suelo, la manifestación de este tipo de energía se representa a través de la tectónica o del vulcanismo, exhibidos en diferentes procesos sobre la superficie, tales como en el desarrollo de valles



encajados, terrazas o bien a través de hipogeo de algunas formas heredadas o algunos suelos. Por su parte, la energía termodinámica que refiere a todos los procesos relacionados con la atmósfera imprime características importantes en los procesos de modelado, a través de las características meteorológicas y las climáticas; la combinación de éstas y particularmente el efecto de esta última, se considera como uno de los elementos diferenciadores de todo el paisaje, de tal forma, que estos dos elementos marcan una pauta y las directrices que caracterizan el desarrollo del paisaje.

Por lo que respecta a la gravedad, esta variable representa la energía que permite el desarrollo de diferentes procesos y la intensidad de los mismos, particularmente los asociados a sistemas de vertientes.

La segunda parte que se ha referido dentro del diagrama de flujo representa a los procesos morfoedáficos y el concepto de morfoedafogénesis por medio de la vinculación de los sistemas de energía referidos con el tiempo. La presencia del tiempo es importante, debido a que los procesos de formación de suelo y los de modelado no necesariamente se gestan en un momento común ni actúan con la misma intensidad, es decir, la isocronía no es una característica de los procesos geográficos que conforman al paisaje.

Dentro de este contexto aparece la Geomorfología y la Geografía del Suelo con atributos particulares, donde la caracterización de los procesos endogenéticos y exógenos, así como los pedogenéticos y evolutivos para cada una de las disciplinas representan indicadores particulares de desarrollo de cada una de ellas y, en la medida de que éstos puedan ser diferenciados con precisión, el alcance de la metodología y del propio concepto alcanza un nivel amplio de comprensión acerca de los elementos que componen el territorio y, por consiguiente, el análisis sobre su manifestación espacial e interdependencia; todo ello se traslada a la siguiente fase, en la cual el proceso de interrelación permite una concepción del paisaje de tipo holístico.

Al considerar los elementos del tercer sector de este diagrama de flujo representado por el tiempo y la relación entre la Geomorfología y Geografía del Suelo se presenta la



generación del concepto morfoedáfico, entendido no solamente como la idea de un término ya utilizado, si no como una idea renovada desde el punto de vista de su concepción teórica y por la conceptualización metodológica orientada al conocimiento del paisaje y a la evaluación del mismo.

Es importante destacar que la relación entre ambas disciplinas se establece, de manera tradicional, y se manifiesta por entendido el nexos, sin embargo, las características de la misma, así como las formas de establecer contacto e interactuar, de manera común, no se explican, aunque diferentes autores proponen la idea de que existen puentes y vínculos relacionados con procesos correlativos; en este sentido, se han escrito listados como el de Porta y López (2001) en el que se manifiesta la influencia que el relieve puede tener con el desarrollo del suelo, sin desarrollar un proceso descriptivo y de análisis. Es por ello, que resulta de valía el establecimiento de la matriz de relación (figura 1.1) y el anexo correspondiente, con los cuales se esclarece en diferentes niveles jerárquicos, las relaciones que pueden existir, de manera directa o de manera lineal, en ambas ciencias de la Tierra.

Por otra parte, la matriz de relación que se orienta hacia la morfoedafogénesis, desde el punto de vista de este trabajo, esta basada en la idea de una sola escala, en la cual se hace la investigación, sin embargo, el concepto creado para este fin no se circunscribe a una sola graduación cartográfica, sino que se ha concebido con el propósito de aplicarlo con diferente capacidad de análisis; de esta forma, esta propiedad genera que la caracterización o el comportamiento de esta matriz sea dinámico, ya que el número de relaciones y el tipo de relación entre las variables que conforman pueden aumentar o disminuir de acuerdo con el nivel de detalle o de observación que se requiere al desarrollar un problema de investigación; y al mismo tiempo, refuerza el concepto de que los procesos en el paisaje no son isócronos.

Una vez obtenido el concepto de morfoedafogénesis desde el planteamiento teórico y metodológico necesariamente, éste ahora es observado desde el punto de vista de aplicación, el cual aparece en el diagrama con una referencia ecética, que relaciona tanto



a la Geomorfología como a la Geografía del Suelo en el entendido de la vocación del territorio y el uso que se le otorga al mismo.

Asimismo, la relación morfoedáfica se dirige a la definición de la capacidad de acogida de una unidad de territorio en función de una actividad, y precisar una decisión en función de la compatibilidad del territorio y la actividad humana.

Por otra parte, permite la generación de diferentes escenarios donde la variabilidad temporal representa un factor importante de interacción con el territorio; así que tiempo y espacio son dos elementos que están representados en el proceso morfoedáfico, de tal manera, que se logra la posibilidad de prever la aparición de problemas o cambios en la estructura vertical y horizontal del paisaje, y al mismo tiempo, sugerir o desarrollar diferentes formas para la corrección de los mismos, como lo sugieren diferentes autores en sus propuestas metodológicas, como Bolós *et.al.* (1991) y, Ribas y Arcia (1994) de manera respectiva.

Por último, en este orden de ideas se define que este paisaje se observa desde su perspectiva amplia, al considerar una relación del concepto con el componente humano, al incorporar diferentes puntos de vista acerca de variables culturales, sociales y económicas.

UBICACIÓN DE LA MORFOEDAFOGÉNESIS EN EL CAMPO DE LAS CIENCIAS GEOGRÁFICAS

Abordar el problema del paisaje y ubicar el desarrollo de la evaluación morfoedáfica en este contexto, requiere de una revisión acerca de posiciones teóricas, conceptuales y metodológicas diferentes.

En el campo de la planeación y del ordenamiento del territorio existen, en este momento, tres vertientes principales que consideran al paisaje como objeto de estudio, el cual es



estudiado desde la perspectiva de la Arquitectura, de la Ecología y de la propia Geografía, desde la cual parte todo principio en esta investigación.

De acuerdo con el objetivo de la investigación y debido a la importancia y el impacto que posee la Ecología y la Geografía, a continuación se establecen algunas de las características de cada una de las perspectivas planteadas por estas ciencias, las cuales convergen en el paisaje desde sus puntos particulares de vista.

La ecología del paisaje estudia los patrones de dinámica e interacción entre los ecosistemas orientados al manejo de tierras. El término fue introducido por Troll en 1939 (Troll, 1950, en Richling, 1994) y diferentes autores consideran que es una combinación entre la aproximación espacial de la Geografía y el punto de vista funcional de los ecólogos (Naveh y Liberman, 1984; y Forman y Godron, 1986).

Algunos de los puntos sobresalientes de la perspectiva de la ecología del paisaje son los siguientes:

1. Relación espacial entre elementos y ecosistemas.
2. Determinación de flujos de energía, nutrientes y especies.
3. Explicación de mosaicos formados a través del tiempo.

La ecología del paisaje enfatiza la interacción entre los patrones espaciales y los procesos ecológicos, que causan la heterogeneidad espacial en diferentes tipos de escalas, de hecho Wiess (1995) la define como la explicación del paisaje, su composición y arreglo.

Los planteamientos teóricos de Forman (1995) establecen que con esta disciplina se logra obtener una aplicación en todo tipo de escala cartográfica y escalas de procesos -en el reconocimiento de elementos y áreas de ocupación- hasta llegar a los modelos fractales; de tal forma, que el concepto aplicado se centra en tres elementos de análisis, éstos son:

- Área heterogénea con un punto de interés.



- Interrelación con las actividades humanas.
- Manejo y aplicación.

De acuerdo con la Asociación Internacional de Ecología de Paisaje (IALE,1998), la Ecología del Paisaje tiene dos aplicaciones fundamentales; la primera de ellas se ciñe a una perspectiva ecologista, en la cual sus principales representantes son Troll (1950), Forman y Godron (1995), entre otros; mientras que la segunda de ellas posee un carácter de ordenamiento territorial y gestión, la cual ha sido desarrollada por algunos autores como Zonneveld (1995), y Naveh y Lieberman (1984), (ver figura 1.7).

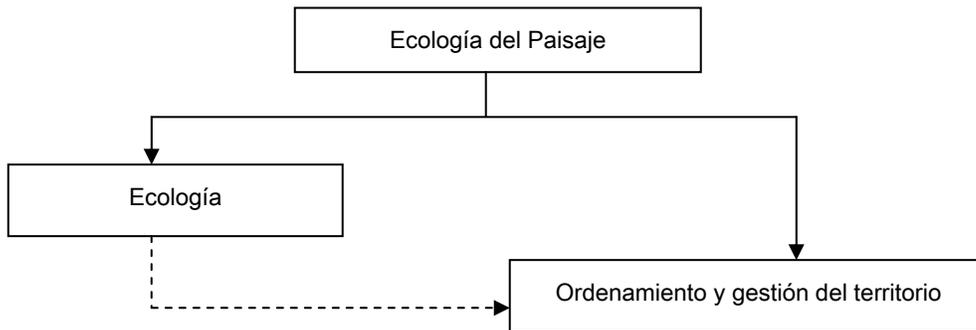


Figura 1.7 Diagrama de Ecología de Paisaje elaborado a partir de los conceptos establecidos por la Asociación Internacional de Ecología de Paisaje (1998).

La perspectiva ecológica refiere a los sistemas móviles y heterogéneos, estudia la influencia de la estructura del paisaje sobre los procesos ecológicos, tanto la escala regional como local. Bajo este punto de vista, el concepto de paisaje se ajusta para designar escala de trabajo y nivel de percepción.

La aplicación en el ordenamiento y gestión del territorio representa la convergencia hacia la planeación del espacio; analiza la dinámica, estructura del uso de la tierra y la cartografía ecológica; algunos autores la denominan como el estudio del "Ecosistema humano total".



Los ecólogos y biólogos la consideran como una ciencia transdisciplinaria, que tiene como objeto principal, la resolución de problemas de gestión y desarrollo del territorio en escalas regionales y locales.

Bajo esta idea, el paisaje representa una realidad compleja y diversificada, el cual se evalúa en función de un fin utilitario, es decir, de acuerdo con la existencia de un sujeto o usuario social, natural, cultural, económico o visual.

De manera práctica ocurre en el caso de Polonia, país en el cual el estudio del paisaje se encuentra normado en la constitución desde los años treinta y establece el análisis de la relación entre las condiciones económicas, sociales y el balance ecológico (Wolski *et al.* 2000, en Cieszewska, 2004).

En 1999, la Asociación Canadiense de Ecología y Gestión del Paisaje establece que la Ecología del Paisaje representa el único medio geográfico para alcanzar la sustentabilidad, donde, el reconocimiento de los impactos acumulados por los problemas locales necesita del estudio de las interrelaciones verticales y horizontales en los geosistemas, en diferentes escalas y niveles jerárquicos.

Es así, que durante la celebración del Concilio de Europa a través de la Convención Europea del Paisaje, se ha definido al paisaje como algo superior a un escenario, el cual se constituye y conforma con la interacción de valores sociales y espirituales en muchas partes del mundo (Garrido, 2004).

La idea europea de paisaje se basa en el modelo propuesto por Zonneveld (1995), en el cual se representa un proceso pragmático que conecta e integra elementos naturales y antropogénicos que envuelven a la Tierra y se enfocan a la orientación de la evaluación y planeación del uso, de tal forma, que el concepto se entiende, además, bajo la concepción que los procesos de geodiversidad y biodiversidad poseen atributos diferentes en tiempo y espacio.



En términos ecológicos, este último autor establece que la Ecología del paisaje es la integración sistemática entre la geología, la geomorfología y el suelo, en términos ecológicos, como se aprecia en la figura siguiente.:

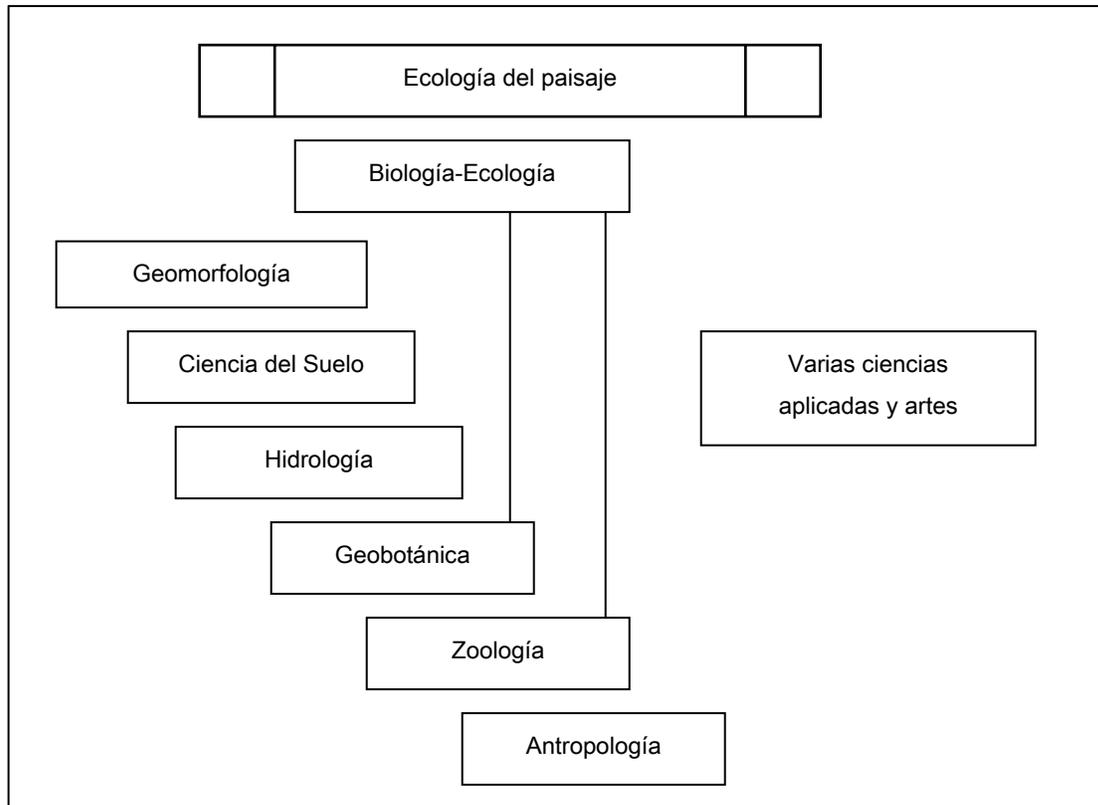


Figura 1.8 Esquema modificado de la Ecología del paisaje, ciencia transdisciplinaria. Zonneveld (1995).

La misma razón comprendida de sistemas con relaciones complejas es explicada por Ploeg y Vlijm (1978); mientras que la *European-Landscape-Convention* (2000) define al paisaje como un área percibida por la gente, resultado de la acción e interacción de factores naturales y humanos; el cual, corresponde a un territorio único, según Isachenco y Masey (1973).



Con referencia al sistema antrópico, Phillips (2002) destaca la interacción de la gente con el medio ambiente en el tiempo, basado en las ideas de Zee y Zonnenveld (2001), quienes lo exponen como un sistema espacial, entidad de carácter holístico, donde de cada acción resultan muchas reacciones, donde existe independencia y todo tiene una relación ante el tiempo y el espacio. Los principales objetivos de la ecología del paisaje, de acuerdo con Zonnenveld (1995) son:

1. Análisis de paisajes, componentes e interrelaciones.
2. Identificación de unidades espaciales y su clasificación jerárquica.
3. Evaluación de sistemas naturales y varios tipos de actividades humanas.
4. Diagnóstico como forma de organización natural del espacio.

Por último y de acuerdo con lo anterior, el modelo de aplicación se vierte en el concepto de ordenamiento geoecológico, el cual asume tres posiciones o momentos particulares, como se aprecia en la figura 1.9.

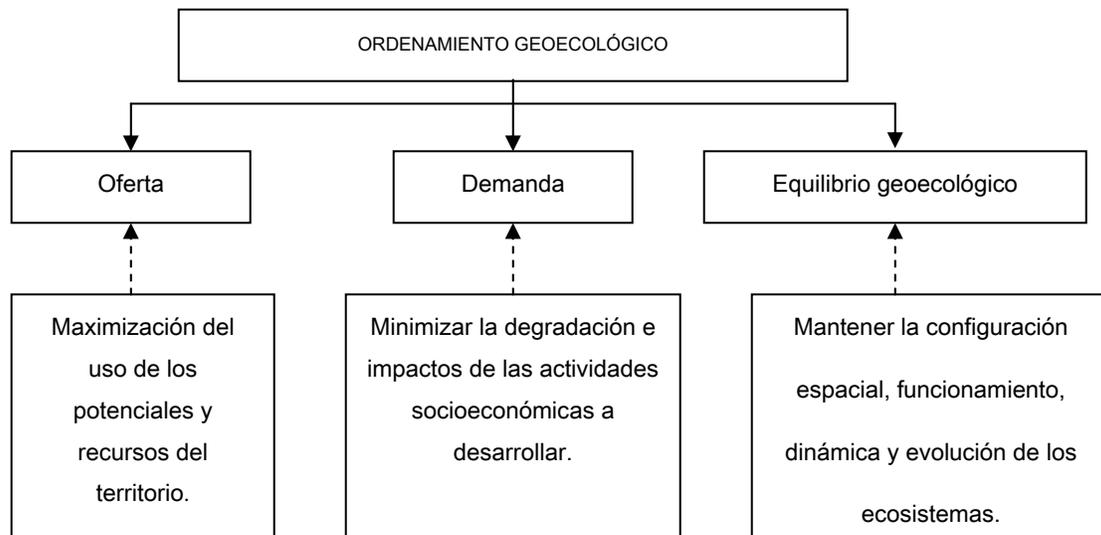


Figura 1.9 Diagrama de ordenamiento ecológico basado en las ideas propuestas por la Asociación Canadiense de Ecología y Gestión del Paisaje (Wiens, 1995).



Así y desde la perspectiva de la aplicación, destaca la generación de programas de optimización para alcanzar la máxima productividad de los ecosistemas (Valerian *et. al.*, 1998), la valoración de tipos físico-geográfico e hidrológicos y antropopresión y unidades territoriales inundables con un principio geomorfológico-paisajístico de análisis (Miroslaw, 1998) e investigaciones que destacan el cambio de las funciones dentro de un sistema desde la perspectiva teórica, metodológica, de transformación y de manejo (Bastian, 1998).

Por lo que refiere a la concepción del paisaje en el campo de la Geografía, es importante considerar las bases del pensamiento geográfico y retomar algunos de los planteamientos básicos formulados en diferentes escuelas, las cuales aunque aparentemente antagonistas en sus principios filosóficos, convergen de maneras distintas en la concepción del paisaje como un contexto concreto.

Para conceptuar el paisaje resultan necesario considerar el legado de la escuela formada por Humboldt, quien establece en los principios de análisis geográfico, las particularidades del espacio, tales como la unidad del “cosmos”, del universo y de la superficie terrestre; la globalidad, que se alcanza a través de las múltiples relaciones, la naturaleza como algo dinámico; en constante movimiento hacia un determinado equilibrio; el movimiento interno comporta la constitución de diferentes fisonomías, que corresponden a otras unidades que pueden ser clasificadas mediante una adecuada taxonomía; la utilización del método racional empírico y la búsqueda de leyes generales.

Las ideas de Humboldt fueron sustentadas y puestas en práctica por aportes subsecuentes, como la explicación de la unidad y complejidad de la superficie terrestre por la interconexión de tres esferas: la atmósfera, la litosfera y la hidrosfera, y como resultado de dicha interconexión puede aparecer una cuarta esfera, la biosfera o esfera de la vida expuesta por Richthofen (s/f en Bolós, 1991), por la Teoría del Holismo, la Teoría General de Sistemas y la Dialéctica de la Geografía.



De forma particular, al referir Geografía de los Paisajes, se consideran los aportes de Mateo (1984), cuando establece el lugar que guarda el estudio del paisaje en el contexto geográfico, de tal manera, que en un primer orden define su lugar dentro de la Geografía Física, debido a que el objeto de estudio se relaciona con el problema de la estructura de las ciencias geográficas.

Aún y a pesar de la aparente contrariedad creada a partir de la división de la Geografía, el carácter holístico de la disciplina permite entrelazar un mismo objeto de estudio desde diferentes ópticas; es decir, que permite la convergencia del origen, orden y problemas de la sociedad y su economía relacionadas con la naturaleza y sus formas de explotación y aprovechamiento en un espacio común.

Desde la perspectiva de los paisajes, el objeto de estudio es la envoltura geográfica o epigeósfera, la cual posee una estructura constituida por la disposición e interacción de los componentes que la forman.

De acuerdo con el mismo autor, esta estructura puede ser vertical u horizontal, la estructura consiste en la existencia de partes dentro de un límite horizontal de diverso grado de homogeneidad, que se distingue por su aspecto exterior y sus peculiaridades interiores.

Así, la estructura vertical que se clasifica como simple, funcional o compleja de acuerdo con sus atributos, está formada por diversas esferas geográficas o geosferas, que se disponen de manera circular, y concéntrica, las cuales se encuentran formadas por sustancias en un mismo estado físico; mientras que en el sentido horizontal, la estructura de la envoltura geográfica se caracteriza por su diferenciación territorial de complejos naturales de diversos tamaños con una estructura jerárquica definida.

Conforme a las ideas de Gvozdietskiy (citado en Mateo, 1984), los partidarios del medio geográfico como objeto de estudio de la Geografía Física, aducen el hecho de que el medio geográfico, abarca toda la envoltura y que permite afianzar el carácter aplicado y



constructivo de la ciencia, de tal forma, que éste se define como la parte del medio natural circundante a la sociedad humana, con el cual se encuentra en el momento dado en interacción directa, o sea que la forma más cercana está relacionada con la vida y la actividad productiva del hombre (Kalesnik, 1970).

Es por ello, que Sochava (1978 *cf.* Mateo, 1984) define que para la división de la Geografía Física Compleja General se utiliza la noción acerca de que los geocomplejos que son subdivididos en tres rangos o niveles, de acuerdo con su diferenciación, tamaño y grado de complejidad y que cada uno de esos rasgos sirve de objeto de estudio de las tres partes principales de la Geografía Física Compleja.

Los rangos citados corresponden al planetario, el regional y el topológico, al cual pertenece la Geografía de los Paisajes; este nivel también denominado morfológico o local está dado por unidades elementales de carácter simple, que comprende la morfología de los paisajes y según Mateo (1984) las tareas principales de este nivel se centran en el estudio de las regularidades de la diferenciación local o topológica de la envoltura geográfica y de la estructura de los complejos naturales locales; en la clasificación, tipología, métodos de investigación, estudio de dinámica, desarrollo y funcionamiento y cartografía de los complejos naturales locales.

Desde una perspectiva particular, Bolós (1991) discute acerca de modificaciones del término paisaje en Geografía desde las lingüísticas hasta las posiciones teóricas y metodológicas, y explica que el concepto de paisaje fue introducido en Geografía por A. Hommeyerem (s/f en Bolós, 1991), entendiéndose por este término el conjunto de elementos observables desde un punto jerárquico alto, donde se subraya el ámbito tangible de las formas resultantes de la asociación del hombre con los demás elementos de la superficie terrestre; en dicho contexto, se habla de paisaje rural, urbano, cultural, natural.

Esta autora define algunas características fundamentales de los paisajes como unidades integradas, en las cuales establece que éstas no son una suma de componentes; que los



conjuntos integrados son relativamente homogéneos desde el punto de vista interno, y a su vez, contrastan con los demás. Asimismo, define que a medida que las unidades se van haciendo más pequeñas, ganan en homogeneidad interna y en contraste entre ellas, por lo que estas características permiten establecer un sistema de clasificación o taxonomía que bajo las tendencias modernas se pueden asociar a la geometría fractal.

Asimismo, define que los conjuntos o unidades integradas presentan una clara delimitación, además de presentar una dinámica propia que consiste en procesos de intercambio y transformación de la materia y energía, de tal forma, que los conjuntos integrados presentan una estructura relacionada con su funcionamiento vertical y horizontal; y cada unidad integrada presenta una evolución que le es propia y que le lleva a experimentar cambios en la estructura.

Para esta autora la escala de análisis y el tipo de territorio tiene particular interés por la relación que se forma entre los elementos diferenciadores del paisaje, tales como el clima, la geoforma dominante, el territorio socioeconómico y la unidad cartografiable como se aprecia en el cuadro 1.5, además de correlacionarlo con las posturas teórico-metodológicas de otros autores, como Bertrand (1968 y 1979) y Tricart (1982).



UNIDAD PAISAJE (KM ²)	CALLEUX-TRICART	ESCALA G. BERTRAND	UNIDAD CLIMÁTICA	UNIDAD DE RELIEVE GEOMORFOLÓGICA	PAISAJE VEGETAL	UNIDAD SOCIOECONÓMICA	ESCALA CARTOGRAFIABLE
I Zona 15 a 100 millones	I	Zona	Clima zonal	Sistema morfogénético	Zona	-----	1:1 000,000
II Dominio 15 mill. A 2000	II	Dominio	Dominio climático	Dominio estructural	Dominio	Región	1:500,000 1:100,000
III Megageocora 1000 a 2000	III	Región natural	Clima regional	Gran valle Gran vertiente	Distrito	Comarca	1:500,000 1:100,000
IV Macrogeocora 100 a 1000	IV	Comarca	Clima local	Valle de ó Vertiente de 2º orden	Subdistrito	Subcomarca	1:100,000 1:50,000
V Mesogeocora 10 a 100	V	Geosistema	Mesotopoclima	Sector de vertiente	Mosaico local	Municipio	1:25,000 1:10,000
VI Geocora 1 a 10	VI	Geofacies	Topoclima	Mesoforma	Célula de paisaje vegetal	Campo, parcela, pueblo, barrio	1:10,000 1:5,000
VII Microgeocora 100m. A 1	VII	-----	Microclima	Microforma	Teseta	Sector de campo, pueblo, casa	1:5,000
VIII Nanogeocora menor a 100m.	VIII	Geotopo	Clima estacional	Sector de microforma	Localidad	Vivienda unimiliar, elemento	1:5,000 o inferior

Cuadro 1.4 Síntesis, orden y elementos de estudio del paisaje (Bolós, 1991).



En el anexo número 2 se presenta una serie de cuadros, en los cuales se resume, de forma breve, una línea de tiempo reciente en Europa, América Latina y México, que comprende trabajos de investigación relacionados con Geografía del Paisaje y/o aplicaciones particulares de utilización del territorio, que de manera directa o indirecta, asumen la presencia del paisaje como unidad integradora.

Por último, cabe destacar que algunos autores europeos definen que existen traslapes importantes de conceptos y métodos entre la Geografía y la Ecología, por parte de la escuela americana, la europea occidental y la de la ex-Unión Soviética; por lo que sugieren la integración de cada uno de los aportes de cada escuela vertidos a través del concepto de Geoecología.

Así, este proceso de integración y el contexto disciplinario permiten encontrar puntos de convergencia para determinar las condiciones de “salud del ecosistema” (Moss, 1994).

Los puntos que más destacan en el proceso de análisis de paisaje, según este último autor, corresponden a los siguientes:

- Clasificación de unidades territoriales de acuerdo con el uso y características biofísicas.
- Análisis histórico del uso de suelo y cambio de éste,
- Determinación de impactos.
- Selección de procesos relevantes que se puedan medir.
- Medición de procesos entre unidades territoriales.
- Medición de interacción de procesos derivados.



CAPÍTULO II

METODOLOGÍA DE LA EVALUACIÓN MORFOEDÁFICA EN SISTEMAS DE LADERAS

DESARROLLO METODOLÓGICO DE EVALUACIÓN MORFOEDÁFICA

La propuesta metodológica que resuelve el problema de investigación se centra en la resolución de siete etapas de trabajo que conforme generan resultados; éstas dan lugar a un sistema de integración que constituyen dos fases terminales caracterizadas por una evaluación geomorfológica y una edafológica, que a su vez, convergen en una matriz que liga la información de cada variable estudiada.

La proposición de evaluación morfoedáfica es de tipo multicriterio y multivariable; entendiéndose la primera como la integración de razonamientos diversos, pero que encuentran un punto de coincidencia; de tal forma, que los criterios de partida son emanados de la Geomorfología y la Geografía del Suelo, y el punto de unión se observa a través de la interpretación de cada punto de vista y de su expresión holístico-territorial manifestada en documentos cartográficos.

La parte multivariable responde a la selección de parámetros específicos que muestran una realidad concreta a través de su comportamiento y distribución espacial y que además, son los que mejor representan el estado actual del suelo o la geoforma, así como sus tendencias, es decir, la dinámica que poseen y su posible propensión evolutiva.

El desarrollo metodológico de la evaluación morfoedáfica en sistemas de laderas se clasifica como paramétrico; no obstante a ello, es enriquecido por una visión cualitativa que las propias variables generan y por la distribución espacial que



exponen.

Las variables básicas que conforman al proceso de evaluación morfoedáfica se presentaron en la parte introductoria, y una vez determinadas, resulta importante puntualizar que cada uno de los parámetros utilizados han sido concebidos y ordenados con el propósito de que muestren la importancia o jerarquía, que éstos poseen en el sistema.

En esta idea se centra de manera inicial en el procedimiento para definir el peso de cada variable, de tal forma, que al encontrarse con un número determinado de éstas y un valor asignado a cada una de ellas, en el registro de las mismas se advierte cual de ellas posee mayor o menor influencia en el desarrollo del proceso geomorfológico o edáfico.

Esto último se ha planteado en función de encontrar, de la forma más natural posible, la influencia de cada parámetro, a través de su valor y la comparación con los demás valores que componen a cada matriz de evaluación.

Con referencia a lo anterior, es importante destacar que el proceso metodológico presenta siete fases de trabajo, las cuales se integran de manera sistemática hasta llegar a la evaluación del paisaje y conocer las condiciones de estabilidad del mismo.

El desarrollo de cada una de las etapas de trabajo es explicado a continuación; entendiéndose además, que de cada una de ellas por lo menos se obtiene un producto cartográfico a escala 1:50,000.

Es importante destacar que el empleo de escalas de medición corresponde a la capacidad que éstas tienen para clasificar los objetos desde el punto de vista de los elementos que proporcionan respuestas, como lo establece Briones (1995).



De acuerdo con esto, los niveles o escalas de medición utilizadas en este apartado, de acuerdo con Pick y López (1995) y Kerlinger (1988), miden las propiedades de los indicadores de los objetos; de tal manera, que se seleccionaron las de tipo interval y de razón.

Para el primer caso, las categorías empleadas manejan las distancias exactas que existen entre ellas, de tal manera, que se requiere de una unidad de medición que es utilizada en diferentes ocasiones y que obtiene los mismos resultados.

Para el segundo caso, la diferencia de la escala con el nivel anterior define mayor precisión en la medición al considerar el valor de "0", que puede ser localizado.

Por último, el desarrollo del procedimiento metodológico se apoya en un sistema cartográfico, el cual se basa en la sobreposición de polígonos, los cuales reflejan las características cualitativas y cuantitativas determinadas en las diferentes áreas obtenidas. Es decir, que se han formado rodales de orden temático que reflejan un valor numérico específico; y éstos a su vez, conforman un sistema con el cual se obtiene la geometría topológica que determina la generación de polígonos nuevos a los cuales les etiqueta, siendo éste un indicador del nivel de complejidad del sistema cartografiado.

Por último, en el ámbito cartográfico queda por definir que si bien la aplicación de la metodología fue desarrollada a través de un método tradicional, el volumen de la información generada, y por tanto la base de datos compuesta por cada uno de los parámetros de medición, requirió de un manejo sistemático de la misma a partir de un módulo seleccionado en el Programa ArcView GIS, desarrollado por Franco *et al.* (2005) con el objeto de generar cartografía geomorfológica a escala 1:50,000.

El módulo de programación referido cuenta con el lenguaje de programación *Avenue*, el cual se orienta a objetos y una interfaz gráfica para la personalización; esta última incluye la caja de diálogo de personalización (*customize*) y el editor de *scripts*, que



permiten escribir, ejecutar y depurar el código de *Avenue* y la personalización de la interfaz de usuario gráfica estándar (GUI), mientras trabaja en el entorno de desarrollo familiar de ArcView GIS (ESRI, 1996).

La propuesta metodológica se presenta en el siguiente diagrama de flujo:

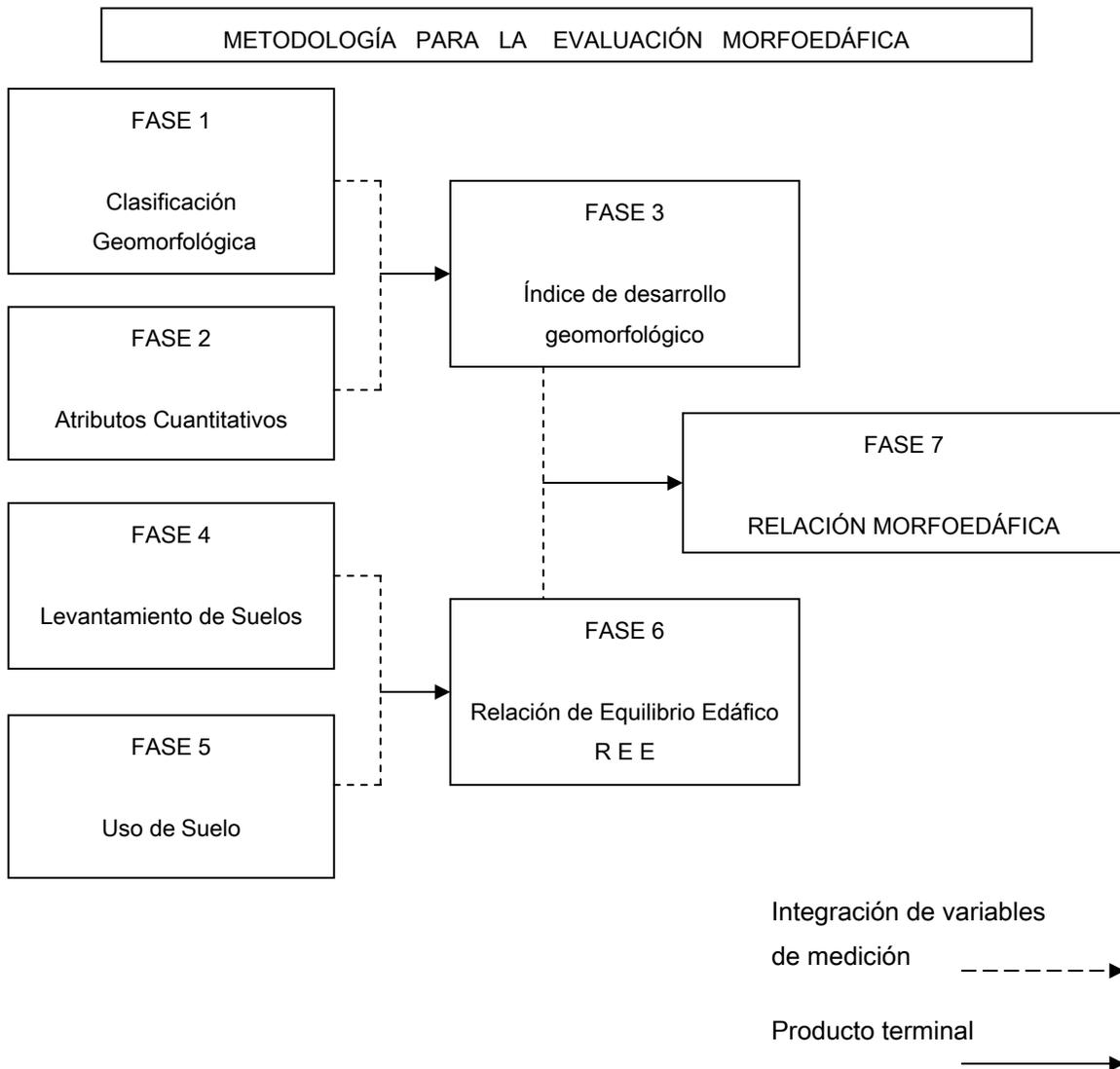


Figura 2.1 Diagrama de flujo de la metodología para la evaluación morfoedáfica.



A continuación se explican las características específicas de cada una de las fases que corresponden a la metodología y los criterios con los cuales se ha construido ésta.

Aparecen también los índices paramétricos, la forma de obtención, las características de las matrices de integración; así como la interpretación de cada una de éstas con los valores obtenidos en las mismas.

Por último, se explica el proceso y los criterios con los cuales se conforma la leyenda final del mapa morfoedáfico.

INSTRUMENTO PARA LA EVALUACIÓN MORFOEDÁFICA DE PAISAJES EN LADERAS

FASE 1. CLASIFICACIÓN GEOMORFOLÓGICA

El objetivo se centra en obtener una diferenciación de las formas del relieve utilizando criterios de origen, geometría, y características distintivas del sustrato geológico.

El desarrollo de esta fase comprende la interpretación de material cartográfico previamente elaborado y de mosaicos aerofotográficos, a escala grande; asimismo, se fundamenta en la verificación directa en campo; así como de la valoración de las condiciones climáticas regionales y locales.

El producto terminal de esta primera etapa, se circunscribe a la realización de una carta geomorfológica general, a escala 1:50,000, en la cual, cada una de las unidades geomórficas identificadas se clasifican de forma jerárquica y se le asigna un valor numérico.



Los atributos básicos considerados para la elaboración de la clasificación geomorfológica son los siguientes:

- a. Caracterización de geoformas.
- b. Tipo de geología y edad.
- c. Tipo de Geometría de la Geoforma.
- d. Consolidación del sustrato.
- e. Caracterización Climática.
- f. Sistema de drenaje.

a. Caracterización de geoformas

Esta parte refiere a una identificación de las principales formas que constituyen al paisaje, tales como planicies, valles, piedemonte, montañas, lomeríos y mesetas, identificados éstos como elementos básicos constitutivos del relieve.

b. Tipo de geología y edad

Se realiza una clasificación del tipo del sustrato que comprende a las laderas de estudio para determinar las características de erodabilidad, resistencia a la erosión, procesos gravitacionales y permeabilidad, entre otros.

c. Geometría

La clasificación de la geoforma depende de sus atributos espaciales identificados a través de su geometría, la cual y para fines de esta investigación, se determina a través de rasgos puntuales, lineales y areales.



d. Consolidación del sustrato

Por consolidación del sustrato se entienden las características de intemperismo, que presentan las rocas expuestas sobre la superficie para conocer las condiciones actuales que guarda un espacio determinado y, las que podría desarrollar en un tiempo futuro.

e. Caracterización climática

Este apartado define particularidades de la influencia climática sobre la dinámica y la evolución de las geoformas; así como de los suelos que se desarrollan en las unidades mapeadas.

f. Sistema de drenaje

La caracterización de los atributos cualitativos del relieve se basa en la interpretación de la red fluvial dominante para identificar en primer orden, elementos de control estructural, características generales de la disección fluvial y de las condiciones generales del sustrato sobre el cual éste se desarrolla.

De manera particular, el proceso de reconocimiento de la red fluvial y la importancia de la interpretación de los sistemas dominantes se circunscriben solo a un proceso de identificación.

El análisis del sistema de disección permite valorar y considerar las anomalías en el relieve, el desarrollo de vertientes, las características y origen de las rupturas de pendientes, los contactos litológicos, rasgos lineales o areales, las relaciones entre el sustrato geológico y la geoforma; así como diferentes procesos de modelado entre otros.



Por otra parte, en el proceso de interpretación geomorfológica se establece la presencia o no de procesos de remoción en masa, debido a que éstos se presentan con frecuencia en sistemas de laderas; por lo que el registro de este tipo de dinámica en el relieve es considerado, así como las variables que le atañen.

Por último se registra la presencia de sistemas de cárcavas, aunque éstos por razones de distribución espacial no pueden ser representados en la escala de trabajo empleada para el análisis.

FASE 2. ATRIBUTOS CUANTITATIVOS

El proceso que se sigue para la obtención de los parámetros cuantitativos requiere del desarrollo de cinco partes, que se integran para realizar la evaluación geomorfológica; es a partir de esta fase cuando se obtienen valores paramétricos de análisis por variable y en conjunto.

Esto último significa que el análisis por variable genera información particular de cada elemento considerado en el proceso de estudio y su valor representa siempre un estado que califica sus características y tendencias.

Al referir valores paramétricos en conjunto, se establece una relación lineal por medio de la cual se observa el conjunto de variables y comportamiento con respecto al grupo que pertenecen.

Esta parte es importante, porque define desde el principio a un sistema que se encuentra integrado y las relaciones que desarrollan entre los elementos que lo conforman; por ejemplo, a nivel individual una variable de manera aislada podría presentar un comportamiento determinado, el cual puede acusar una situación particular.



De acuerdo con esto, las variables cuantitativas seleccionadas para desarrollar esta fase son las siguientes:

- a. Clasificación del sustrato geológico.
- b. Pendientes.
- c. Densidad de la disección.
- d. Ordenes de drenaje.
- e. Longitud de cauces.
- f. Procesos de remoción en masa.

Es importante aclarar, que de acuerdo con los criterios estadísticos y con el manejo operativo de las variables de estudio, en cada uno de los parámetros que se utilizan en el proceso metodológico, el valor que se asigna a cada atributo varía de la unidad a un número de mayor jerarquía.

En este sentido, los atributos estudiados que reflejen un valor cercano o igual a la unidad, reflejan condiciones de estabilidad o menor energía y viceversa.

A continuación, se enumeran y explican las características de cada uno de los pasos que conforman la evaluación cuantitativa de los sistemas de laderas; así como los criterios de su interpretación.

a. Clasificación de resistencia del sustrato geológico a la erosión

Este índice clasifica las unidades litológicas en función de la resistencia que éstas tienen a procesos de intemperismo y erosión, de acuerdo con las condiciones generales que cada una de las rocas guarda en función de su textura, dureza y grado de fracturamiento.



De acuerdo con las características distintivas de cada grupo de rocas encontrado, es asignado un valor numérico que representa y clasifica los atributos del sustrato.

Para obtener este valor numérico, se utiliza la propuesta de los Índices Litológicos desarrollada por la FAO (1976), en la cual se establece una escala de resistencia general para los diferentes tipos de rocas; sin embargo, la utilización de ésta no se realiza de manera directa, es decir, que se ha modificado en la forma de su utilización.

La primera modificación refiere a la unificación de variables, en la cual se suman en una sola clase el grupo de rocas clasificado por “edad”, a las cuales se les ha denominado con el nombre de “especiales”.

La segunda transformación al método propuesto, se refiere a la inversión de los valores establecidos en la escala original, de tal manera, que el valor más cercano a cero corresponde a la clase más resistente, y el más próximo a la unidad es el de menor resistencia a la erosión.

Por último y con el propósito de homologar los resultados en el proceso metodológico, se considera manejar clases en números enteros que agrupan las características de resistencia; de tal manera, que el índice se representa de la manera siguiente:



ÍNDICES LITOLÓGICOS DE RESISTENCIA A LA EROSIÓN			
CLASE DE ROCA	TIPO DE ROCA	ÍNDICE FAO	ÍNDICE
Duras	Rocas básicas	0.1 – 0.2	1
	Rocas ácidas	0.1 – 0.5	2
	Rocas metamórficas	0.2 – 0.4	3
	Areniscas consolidadas	0.4 – 0.5	4
Blandas	Calizas friables	0.3 – 0.4	5
	Dolomitas	0.3 – 0.5	6
	Esquistos blandos muy friables	0.7 – 0.8	7
	Yesos, margas y arcillas	0.8 – 0.9	8
Especiales	Depósitos fluviales	0.4 – 0.8	5
	Glaciares consolidados	0.4 – 0.8	6
	Depósitos coluviales no estabilizados	0.7 – 0.9	7
	Depósitos torrenciales no consolidados	0.7 – 0.9	8

Cuadro 2.1 Índices utilizados para la determinación de resistencia a la erosión, modificado de FAO, 1976.

b. Pendientes

Se realiza una clasificación del territorio por medio de la caracterización de pendientes en seis rangos, considerados como los que representan desde el punto de vista geomorfológico la distribución natural de las formas del relieve.

El criterio seleccionado para la elaboración de rangos posee la cualidad no solo de definir la distribución espacial de la pendiente y su rompimiento, sino que éste además permite correlacionar las características del territorio desde el punto de vista morfológico y morfométrico, con procesos fluviales observados de manera cualitativa y cuantitativa; así como con procesos de remoción en masa.

De esta manera, los rangos de pendiente que se seleccionaron son los que se presentan a continuación.



ATRIBUTOS DE PENDIENTE	
PENDIENTE EN GRADOS	RANGO
0 – 3	2
3 - 6	
6 – 15	4
15 – 30	
30 – 45	6
Mayor a 45	

Cuadro 2.2 Clasificación de la pendiente en rangos.

c. Densidad de la disección

La densidad de la disección se obtiene mediante la utilización general de los criterios establecidos por Lugo (1988); sin embargo, para fines de la investigación se realizan modificaciones de acuerdo con el objeto de estudio y la escala de trabajo.

De esta manera, los resultados obtenidos de las mediciones de los *talwegs* se realizan en una la malla de referencia que reduce su tamaño para obtener resultados en superficies de 1.0 Km²; superficies que quedan representadas en los polígonos obtenidos de manera directa por el caneavá inicial de trabajo.

Por su parte, a las isolíneas obtenidas en el procedimiento se les asigna un color en función de su valor, siguiendo el criterio donde los de menor jerarquía se reconocen por tener colores fríos, mientras que los de mayor valor se representan con colores cálidos.

Por último y para especificar los resultados obtenidos en este parámetro, se siguen los criterios definidos por Strahler (1984), clasificando las unidades geomorfológicas de la manera siguiente:



VALORES DE DENSIDAD DE LA DISECCIÓN	
VALORES DE DENSIDAD	CLASIFICACIÓN
0 – 4	1
4 – 5	2
5 – n ⁺¹	3

Cuadro 2.3 Clasificación del tipo de densidad de disección.

El dato que se identifica como “5 - n⁺¹” representa una clasificación alta, en la cual se representa el valor límite que refiere al criterio como el de mayor jerarquía.

d. Órdenes de drenaje

El valor de los ordenes de drenaje de los sistemas fluviales se realiza con los criterios de clasificación de la Relación de Bifurcación establecidos por Horton (en Strahler, 1984).

De esta manera, la ecuación utilizada para este propósito es:

Donde:

$$R_b = N_u / N_u + 1$$

R_b = Relación de Bifurcación

N_u = Número de segmentos

RELACIÓN DE BIFURCACIÓN	
VALOR	TIPO
3 - 5	Normal 1
Superior a 5	Intensa 5

Cuadro 2.4 Clasificación de los rangos para la obtención de bifurcación.



e. Longitud de cauces

La última parte que corresponde a los elementos cuantitativos del relieve se determina por medio de la longitud de cauces para determinar el crecimiento de los mismos; para ello se utiliza la fórmula:

Donde:

$$L_u = L_u/N_u$$

L_u = Longitud media de todos los segmentos de cauce de orden u.

N_u = Número de segmentos

LONGITUD DE CAUCES	
VALOR	TIPO
0.18	Bajo 1
0.37	Medio 3
5.30	Alto 5

Cuadro 2.5 Clasificación de los rangos correspondientes a longitud de cauces.

FASE 3. ÍNDICE DE DESARROLLO GEOMORFOLÓGICO (IDG)

Esta parte de la metodología representa la primera de dos etapas de integración de las fases que se desarrollaron hasta este momento. Es por ello, que para su desarrollo se utilizan los resultados generados en la etapa de clasificación de los atributos cuantitativos y se interpreta con los obtenidos en la primera parte del procedimiento.

El proceso de integración, como se definió en la sección de introducción de la metodología, genera el primer mapa terminal denominado como Índice de desarrollo geomorfológico.



La elaboración del mapa se lleva a cabo por medio de la sobreposición de los polígonos temáticos obtenidos en la cartografía generada en cada una de las etapas anteriores, de tal manera, que se conforman nuevas unidades territoriales.

De acuerdo con lo anterior, los resultados obtenidos se ordenan en el cuadro que aparece a continuación; y con ellos, se obtiene un valor particular obtenido por la suma de cada una de las variables consideradas.

UNIDADES GEOMORF.	VARIABLES					
	LITOLOGÍA	PENDIENTE	DENSIDAD DISECCIÓN	ORDEN DE DRENAJE	LONGITUD CAUCES	VALOR TOTAL
<i>n</i>						

Cuadro 2.6 Matriz de integración de los componentes del índice IDG.

El valor asignado a cada nueva unidad la distingue espacialmente de las otras que componen al sistema de ladera en estudio y como se estableció, el resultado de manera inmediata define las condiciones morfodinámicas de cada unidad que se representa.

Así, y una vez obtenido el valor en cada unidad geomórfica, con los datos del cuadro se obtiene el valor de la media, y con éste último se realiza una nueva clasificación de los resultados agrupándose en once clases específicas (ver cuadro 2.7).

RANGOS DE DESARROLLO GEOMORFOLÓGICO		
VALORES	RANGO	TIPO
25.1 – 27.0	1	Muy intenso
23.1 – 25.0	2	Intenso
21.1 – 23.0	3	Muy alto
19.1 – 21.0	4	Alto
17.1 – 19.0	5	Medio alto

Cuadro 2.7.1 Clasificación de los rangos para la clasificación de las unidades geomórficas.



RANGOS DE DESARROLLO GEOMORFOLÓGICO		
VALORES	RANGO	TIPO
15.1 – 17.0	6	Medio
13.1 – 15.0	7	Medio bajo
11.1 – 13.0	8	Bajo
9.1 – 11.0	9	Muy bajo
7.1 – 9.0	10	Incipiente
5.0 – 7.0	11	Poco desarrollado

Cuadro 2.7.2 Clasificación de los rangos para la clasificación de las unidades geomórficas.

Con la determinación de las clases de susceptibilidad geomorfológico, se establece la base para la carta geomorfológico, en la cual los resultados obtenidos se interpretan de la manera siguiente:

CLASES DE DESARROLLO GEOMORFOLÓGICO	
Muy intenso	Establece condiciones morfodinámicas, en las cuales los procesos de erosión tienden a mostrar niveles energéticos altos en todas las variables. La manifestación del proceso es areal y lineal. Las unidades geomórficas presentan rasgos de erosión entre 90.1 y 100%.
Intenso	Identifica condiciones de desarrollo energético alto en la mayor parte de las variables que la conforman y posee expresión lineal fuerte; asimismo es evidente la presencia de erosión areal. Las unidades geomórficas presentan rasgos de erosión entre 81.1 y 90%.
Muy alto	Establece condiciones de desarrollo energético alto en la mayor parte de las variables que la conforman y posee expresión lineal fuerte. Las unidades geomórficas presentan rasgos de erosión entre 72.1 y 81%.
Alto	Establece condiciones morfodinámicas en las cuales los procesos de erosión tienden a mostrar niveles energéticos altos en algunas variables. Las unidades geomórficas presentan rasgos de erosión entre 63.1 y 72%.
Medio alto	Se definen con precisión rasgos de erosión y un aumento significativo de la distribución espacial de los mismos. Las unidades geomórficas presentan rasgos de erosión entre 56.1 y 63%.

Cuadro 2.8.1 Caracterización de los rangos de desarrollo geomorfológico.



CLASES DE DESARROLLO GEOMORFOLÓGICO	
Medio	Identifica modelado en el relieve en el cual se desarrollan procesos de erosión a través de pocas variables. Las unidades geomórficas presentan rasgos de erosión entre 45.1 y 56%.
Medio bajo	El desarrollo de geoformas erosivas tiende a aumentar en cuanto a la ocupación territorial y la energía de modelado se concentra. Las unidades geomórficas presentan rasgos de erosión entre 34.1 y 45%.
Bajo	Determina condiciones de poca energía en las geoformas y una densidad pobre de las mismas. Las unidades geomórficas presentan rasgos de erosión entre 27.1 y 34%.
Muy bajo	Se establecen condiciones de energía bajas, los rasgos lineales son evidentes pero poco frecuentes. Las unidades geomórficas presentan rasgos de erosión entre 18.1 y 27%.
Incipiente	Manifiesta el desarrollo de geoformas de manera incipiente, los rasgos lineales son someros. Las unidades geomórficas presentan rasgos de erosión entre 10 y 18%.
Poco desarrollado	Representa porciones territoriales en las cuales el desarrollo de geoformas es inapreciable. Las unidades geomórficas presentan rasgos de erosión entre 0 y 9%.

Cuadro 2.8.2 Caracterización de los rangos de desarrollo geomorfológico.

De acuerdo con los resultados encontrados en el proceso de aplicación de la metodología, se puede modificar la leyenda del mismo y ajustarse a las condiciones físico-geográficas dominantes.

Asimismo, se puede integrar en la misma leyenda, información general o específica representativa de las unidades geomórficas; y este orden en el mapa puede ser interpretado como el comportamiento general de la unidad y al mismo tiempo, el que indica la o el grupo de variables que determinan la características distintivas de la misma; y este proceso que selecciona a las variables problema, en el momento de toma de decisiones define las acciones prioritarias o prerrogativas.



Por último, los resultados obtenidos en el proceso de clasificación geomorfológica de este índice, se vuelven a clasificar otorgando a cada unidad un número que la distingue de las demás de la forma siguiente:

DESARROLLO GEOMORFOLÓGICO			
UNIDAD GEOM.	VALOR TOTAL	TIPO	RANGO
<i>n</i>			

Cuadro 2.9 Clasificación final del IDG.

FASE 4. LEVANTAMIENTO DE SUELOS

Esta fase representa un proceso que no requiere de información generada en las fases de análisis cualitativo o cuantitativo; sin embargo, se consideró pertinente programar su desarrollo al inicio de la propia investigación.

Los resultados que se generaron en este período metodológico, conforman a la que se ha denominado como la segunda parte de la metodología general y que constituye una vez culminada la sección seis que refiere al uso de suelo, el sustento para obtener el segundo producto terminal de la metodología general de evaluación morfoedáfica.

De acuerdo con lo anterior y para este propósito, se llevó a cabo un levantamiento de suelos de cuarto orden bajo la perspectiva de la *Soil Taxonomy*, en el cual se siguen los lineamientos establecidos por el Manual de Procedimientos y Especificaciones de la Subdirección de Docencia e Investigación del Instituto Agustín Codazzi de Colombia (1986); asimismo, se siguieron las observaciones realizadas por Siebe *et.al.* (1996) para el desarrollo del trabajo de campo.

La clasificación del suelo bajo los criterios establecidos, proporciona información acerca de la vocación natural que las unidades edáficas poseen y el estado evolutivo



que guardan. En este sentido, es importante establecer que no es el nombre del suelo el objetivo primario del estudio del suelo, sino el determinar cuál es el grado de desarrollo que éste posee, entendido éste como una categoría que refleja la presencia de procesos de formación y degradación.

Esta afirmación se sustenta en la idea de que los indicadores utilizados en el estudio de suelos, de acuerdo con Jasso (2002, basado en Birkeland, 1984; Pedraza, 1996; Thomas, 2001 y García 2001) se relacionan con periodos de estabilidad, tipo, intensidad y duración de los factores ambientales y procesos que predominan durante la pedogénesis; y a su vez, con la formación del paisaje generado a través de la interrelación entre los subsistemas de naturaleza geológica, geomorfológica, climática, edáfica y biótica; de tal forma que el relieve, suelo y vegetación son los indicadores ecológicos que relacionan los cambios entre materia y energía.

Dichos cambios siempre alteran en mayor o menor grado la morfodinámica y evolución, llegando en ocasiones a destruirlos de forma parcial o total (García, 2001).

Esta premisa ha sido abordada en el estudio de paleosuelos por Solleiro (*et. al.*, 2000) quien resalta un apoyo valioso para reconocer periodos de estabilidad e inestabilidad del paisaje; dicho reconocimiento se basa en el estudio cualitativo y cuantitativo de los tipos de suelos y los horizontes que se formaron, de los procesos que tuvieron lugar, así como el grado de evolución que alcanzaron.

De acuerdo con lo anterior, a continuación en el cuadro 2.10 se presentan los criterios de calificación utilizados en la metodología para representar los diferentes tipos de suelos encontrados.



CRITERIOS DE CLASIFICACIÓN	
Bioedafogenéticos	Refieren a suelos <i>in situ</i> que se encuentran en equilibrio, definido éste por medio del balance de materia y energía que éste posee.
Cataedafogenéticos	Se clasifican bajo este criterio las unidades edáficas <i>in situ</i> que presentan cambios que no muestran estabilidad por la pérdida de nutrientes.
Antropizados	Se definen en esta clase todos aquellos suelos <i>in situ</i> que reciben diferentes tipos de presión, manifestada por modificaciones en su estructura a través elementos contaminantes o procesos erosivos.
De levantamiento tectónico lento	Refiere a todos aquellos suelos que se han formado a través de procesos de acumulación de materiales provenientes de procesos gravitacionales generados por ascensos de origen tectónico.
Por subsidencia	Se agrupan suelos desarrollados en zonas con pendientes suaves por transporte de materiales debido a hundimientos del terreno.
Por remoción	Refiere a todos aquellos suelos que se han formado a través de procesos de acumulación de materiales provenientes de procesos relacionados con la estabilidad de vertientes.

Cuadro 2.10 Criterios de clasificación de las unidades de suelo.

Los resultados del levantamiento son clasificados en los tres primeros grupos y clases diferentes según su estado; ello debido a que las clases pertenecientes a: Levantamiento tectónico lento y subsidencia no fueron encontrados en la zona de estudio. No obstante a esta observación, se considera pertinente mantener en vigencia las clases referidas, debido a que éstas representan un factor importante en el desarrollo morfológico de una ladera cuando éstas se presentan, y por tanto, el propio desarrollo del suelo.

Una vez aclarado el criterio de clasificación de los suelos, se obtiene la carta edafológica que será base para la siguiente fase de trabajo; de tal forma que la clasificación del levantamiento de suelos y el valor numérico que lo identifica, de acuerdo con su clase, como se puede observar en el siguiente cuadro.



LEVANTAMIENTO DE SUELOS	
CLASIFICACIÓN (CS)	CLASE
Bioedafogenéticos (Estables)	9
Cataedafogenéticos (Agotados)	5
Antropizados (Alterados)	1

Cuadro 2.11 Clasificación del tipo de suelo de acuerdo con sus características.

De esta manera, se obtienen unidades edáficas, las cuales como en el caso anterior, se etiquetan y ordenan de acuerdo con los criterios de clasificación descritos. La distribución de la información edáfica recae en un cuadro de integración y en un mapa.

LEVANTAMIENTO DE SUELOS		
UNIDAD EDÁFICA	CRITERIO DE CLASIFICACIÓN (Cs)	CLASE
<i>n</i>		

Cuadro 2.12 Integración de las unidades de suelo de acuerdo con un estado de equilibrio.

FASE 5. USO DE SUELO

Para la obtención del índice de uso de suelo se definen dos etapas aplicadas en las unidades cartográficas emanadas de la clasificación de suelos; la primera basada en el método propuesto por la SEDUE en el Manual de Ordenamiento Ecológico de 1988.

La segunda parte corresponde a la aplicación de valores y atributos numéricos basados en la energía utilizada en el sistema, en la identificación de factores limitantes para el desarrollo de actividades, y en las técnicas de producción y mecanización del suelo, si éstas existen.



1. Índice del Manual de Ordenamiento Ecológico

Para obtener el índice de uso de suelo se requiere de la confección de una carta de cobertura de suelo elaborada por medio de la fotointerpretación de pares fotográficos, de imágenes de satélite y de la verificación en trabajo de campo. Con la cartografía elaborada se procede a utilizar la fórmula:

Donde:

$$IUS = 10 - AZUNA (100) / AT$$

IUS= Índice de uso de suelo.

AZUNA= Áreas de uso de suelo no adecuadas que no corresponden con la vocación natural del suelo.

AT= Superficie total de la unidad edáfica.

Los resultados obtenidos se clasifican de acuerdo con la propia metodología referida en rangos de 20%, que definen de forma sucesiva la ocupación en inadecuada, mala, regular, buena y óptima, siendo esta última la que posee un valor superior al 80% de ocupación en la unidad.

La clasificación de los resultados aparece en la matriz denominada como Primera Clasificación de Uso de Suelo (Us) bajo el concepto "Clase"; y esta no se reporta en los porcentajes descritos, sino por un atributo que presenta una secuencia numérica que parte del "0" que representa el nivel ideal al "4" que manifiesta lo inconveniente, como se observa en el cuadro 2.13.

2. Aplicación de valores y atributos numéricos

De acuerdo con la clasificación anterior, se realiza una segunda categorización de los rangos obtenidos en función del tipo de energía empleada en el sistema.

Este proceso de reclasificación de cada unidad se basa en otorgar un valor entero que representa a cada uno de los tipos de ocupación conservando así una estructura jerárquica de los mismos; a estos valores se les agrega un decimal que representa



una constante matemática que define el tipo de energía que se emplea en la unidad edáfica.

Esta asignación se fundamenta en los tipos de insumos que se requieren para el funcionamiento de la unidad y encuentran su jerarquía en la distribución de ésta. Es necesario aclarar que al definir los insumos para el funcionamiento de la unidad, éstos se especifican por medio de los resultados obtenidos en la carta edáfica, es decir, de acuerdo con la vocación natural del suelo.

De esta manera, la asignación de valores se realiza de la siguiente manera: al encontrar el decimal 0.1, se refiere a condiciones en las cuales el desarrollo de la unidad responde de forma única a elementos de orden natural como la fotosíntesis; el valor de 0.3 considera una proporción en la cual existe una combinación de insumos sin importar el dominio de alguno de ellos y por último, el atributo 0.6 refiere la dominancia de energía antropogénica. De esta manera, se utiliza la siguiente matriz en la cual se combinan los resultados de las variables desarrolladas durante esta fase metodológica.

PRIMERA CLASIFICACIÓN DE USO DE SUELO (US)			
CLASE	TIPO DE ENERGÍA EMPLEADA		
	Natural	Natural y antrópica	Antrópica
Inadecuado	4.1	4.3	4.6
Malo	3.1	3.3	3.6
Regular	2.1	2.3	2.6
Bueno	1.1	1.3	1.6
Óptimo	0.1	0.3	0.6

Cuadro 2.13 Clasificación de las unidades de suelo de acuerdo con un estado de equilibrio.

Para culminar el proceso de clasificación del uso de suelo, a los resultados obtenidos hasta este momento; se suma una constante matemática que identifica la presencia



de factores limitantes de utilización de cada una de las unidades; así como otra que califica a las técnicas de producción y mecanización del suelo; en el entendido de que sean adecuadas o no en función de las características de vocación edáfica.

FACTORES LIMITANTES (FL)	
TIPO DE LIMITANTE	VALOR AGREGADO
Sin limitantes	0.0
De 1 a 2 factores limitantes	0.2
Más de 3 factores limitantes	0.4

Cuadro 2.14 Valor agregado del o los limitantes del suelo.

TÉCNICAS DE PRODUCCIÓN Y MECANIZACIÓN DEL SUELO (TPM)	
TIPOS	VALOR AGREGADO
Adecuadas	0.0
Inadecuadas	0.4

Cuadro 2.15 Valor agregado de las técnicas empleadas en los suelos.

Con los resultados obtenidos se llena el cuadro siguiente, en el cual se registran los valores obtenidos en cada unidad de suelo identificada.

VARIABLES DE USO DE SUELO				
TIPO DE SUELO	Us	FL	TPM	S+
<i>n</i>				

Cuadro 2.16 Integración de variables de uso de suelo.

La representación final de este índice se registra de la siguiente forma, considerando la suma como el valor total del índice.



CLASIFICACIÓN DE USO DE SUELO (CUS)		
UNIDAD DE SUELO	CLASE	VALOR DEL ÍNDICE
<i>n</i>		

Cuadro 2.17 Asignación del valor de suelo.

FASE 6. RELACIÓN DE EQUILIBRIO EDÁFICO

Este índice es uno de las más importantes en el proceso de evaluación morfoedáfica y sus productos conforman a lo que se le ha denominado como la segunda fase terminal de la metodología.

La representación cartográfica heredada de este procedimiento y los valores que la sustentan se obtienen a través de la división de los valores obtenidos en la Clasificación de Suelos y el Índice de Uso de Suelo. De acuerdo con esto, esta relación se expresa de la manera siguiente:

$$REE = Cs / CUs$$

Donde:
 REE= Relación de Equilibrio Edáfico
 Cs= Clasificación de Suelos
 CUs= Clasificación de Uso de Suelo

Los resultados de este índice se obtienen de manera directa, expresándose en la última columna del cuadro.

RELACIÓN DE EQUILIBRIO EDÁFICO			
UNIDAD DE SUELO	Cs	Us	REE
<i>n</i>			

Cuadro 2.18 Integración de variables para la obtención del índice REE.



Es importante destacar, que en el diseño de esta parte de la metodología se busca que los resultados obtenidos de este índice tengan un comportamiento tal, que el resultado de la división se encuentre entre los valores 0.0 y 90.0.

El propósito de este comportamiento se centra en encontrar en la unidad, la relación más ideal entre el suelo, sus características, sus propiedades y la vocación con referencia a la utilización que a éste se le proporciona; mientras que el valor mínimo identifica una disparidad entre ambas variables e identifica espacialmente problemas específicos.

El cuadro siguiente muestra la escala de valores considerados para clasificar la REE en once rangos específicos, que aparecen en la clasificación morfoedáfica.

RANGOS DE RELACIÓN DE EQUILIBRIO EDÁFICO	
VALORES	TIPO
0.1 - 8.2	Polarizada
8.3 - 16.3	Incipiente
16.4 - 24.5	Muy baja
24.6 - 32.7	Baja
32.8 - 40.9	Medio baja
41.0 - 49.1	Media
49.2 - 57.3	Medio alta
57.4 - 65.5	Alta
65.6 - 73.3	Muy alta
73.4 - 81.9	Estrecho
82.0 - 90.0	Muy estrecha

Cuadro 2.19 Correspondencia paramétrica con los rangos de REE.



FASE 7. ESTABILIDAD MORFOEDÁFICA Y CARTOGRAFÍA

Este período de trabajo corresponde a un proceso de integración que considera los resultados emanados en las fases de Desarrollo Geomorfológico y la Relación de Equilibrio Edáfico.

En el proceso de composición de esta etapa de trabajo, se realiza una matriz de integración en la cual se suman, desde el punto de vista matemático y cartográfico, los valores obtenidos en cada uno de los productos terminales señalados, obteniendo así una caracterización particular del espacio en el cual se definen las Unidades Morfoedáficas.

Una vez realizada la sobreposición de polígonos geomorfológicos y de los atributos del suelo se procede a elaborar una clasificación numérica de estas unidades, las cuales poseen atributos específicos que se concentran en una matriz paramétrica de integración, como la que se presenta a continuación.

INTEGRACIÓN DE VARIABLES GEOMORFOLÓGICAS Y DEL SUELO				
UNIDAD MORFOEDÁFICA	IDG	REE	VALOR MORFOEDÁFICO (IDG + REE)	TIPO DE ESTABILIDAD
<i>n</i>				

Cuadro 2.20 Integración de variables IDG y REE.

Como puede observarse hasta este momento, existe una columna final que refiere al tipo de estabilidad morfoedáfica, ésta se obtiene a través de los valores de estabilidad morfoedáfica referida con la suma IDG+REE.

Para obtener este último parámetro es necesario contar con todos los valores de cada una de las Unidades Morfoedáficas encontradas, de tal manera, que se puedan conocer los valores sumatorios extremos; es decir, se requiere conocer cuál es el



valor más alto y cuál el más bajo, para con ello realizar un procedimiento de carácter estadístico.

Con la información completa y conociendo los valores de estabilidad morfoedáfica y con los criterios obtenidos a través de cada fase y del trabajo de campo que fundamenta la propuesta; se establece un procedimiento de clasificación de los resultados a través de la media ponderada, para obtener rangos que califican las condiciones estabilidad en el paisaje estudiado.

De esta manera, se determinan los siete rangos de relación morfoedáfica que se presentan en el cuadro 2.21.

CLASIFICACIÓN DEL TIPO DE ESTABILIDAD MORFOEDÁFICA	
ESTABILIDAD	CARACTERÍSTICAS DE LA UNIDAD
Poca o nula	Amplia distribución y desarrollo de geoformas erosivas que cubren más del 80% de la unidad; además de encontrar suelos alterados y/o con desarrollo deficiente y más de dos limitantes para su aprovechamiento.
Baja	Las geoformas erosivas cubren una superficie entre el 60 y 80% de la unidad; suelos alterados y/o con desarrollo deficiente y con limitantes para su aprovechamiento.
Baja a media	Las geoformas erosivas cubren una superficie entre el 40 y 60% de la unidad; con suelos agotados y susceptibles a procesos erosivos. La unidad presenta restricciones para su aprovechamiento.
Media	Las geoformas erosivas cubren una superficie entre el 20 y 40% de la unidad; con suelos frágiles susceptibles a procesos erosivos. La unidad presenta restricciones para su aprovechamiento.
Media a alta	Suelos con fragilidad media o baja y geoformas que cubren del 0 al 20 % de la unidad; pocas restricciones para desarrollo de actividades.
Alta	Suelos estables y condiciones óptimas para el desarrollo de actividades de acuerdo con su vocación y pocas o inapreciables geoformas.
Muy Alta	Suelos estables y condiciones óptimas para el desarrollo de actividades de acuerdo con su vocación y pocas, inapreciables o inexistentes geoformas.

Cuadro 2.21 Caracterización de los tipos de estabilidad morfoedáfica. Ejemplificación de un tipo de leyenda para la cartografía final.



Con base en lo anterior, la leyenda final de la cartografía morfoedáfica exhibe, de manera concentrada, todos los elementos de análisis seleccionados en la metodología, de tal forma, que cada clase observada en un mapa distingue de manera puntual las propiedades cualitativas y cuantitativas de cada una de ellas; el cuadro siguiente representa una aproximación de una forma de estructuración de leyenda, en el cual se exhibe un ejemplo de un par de unidades hipotéticas y contrarias en cuanto a sus atributos.

LEYENDA MORFOEDÁFICA	
UNIDAD MORFOEAFICA	PROPIEDADES
1	Ladera convexa intermedia, localizada entre 2.400 y 2,800 metros, constituida por flujos andesíticos con estabilidad morfoedáfica muy alta; es decir, que presenta un índice de desarrollo geomorfológico bajo y condiciones de equilibrio edáfico altas.
2	Ladera cóncava baja, localizada entre 2.400 y 2,000 metros constituida por depósitos pumíticos poco consolidados con nula estabilidad morfoedáfica; es decir, que presenta un índice de desarrollo geomorfológico muy alto y condiciones de equilibrio edáfico bajas.

Cuadro 2.22 Ejemplificación de una leyenda de un estudio de caso supuesto.

MODELO DE REPRESENTACIÓN E INTERPRETACIÓN MORFOEDÁFICA

El modelo de representación e interpretación morfoedáfica posee diferentes enfoques. En este sentido, se distinguen tres líneas de orientación:

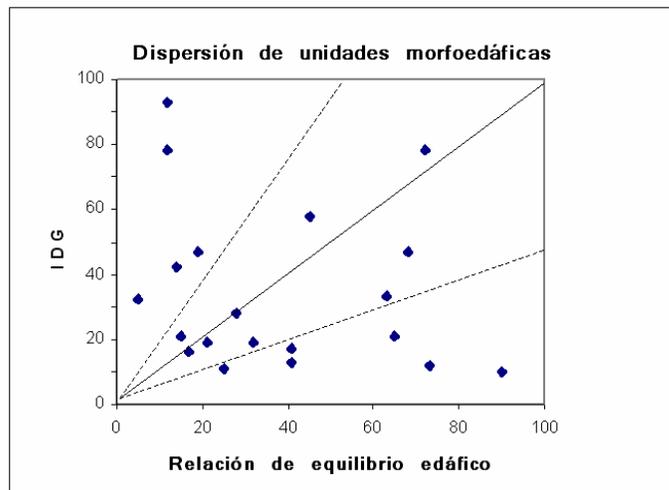
- a. Relación lineal entre desarrollo geomorfológico y relación de equilibrio edáfico.
- b. Relación entre la geometría de las laderas.
- c. Relación de rupturas de pendiente con perfiles geomorfológicos.



a. Relación lineal entre desarrollo geomorfológico y relación de equilibrio edáfico

En este enfoque cada una de las unidades morfoedáficas es exhibida con cada uno de los valores que la conforman, de tal forma que los valores obtenidos de la relación de desarrollo geomorfológico y la de equilibrio edáfico, se ordenan en un sistema de coordenadas (x, y) para ser representados en un cuadrante vectorial.

La ubicación de cada punto dentro del gráfico de dispersión muestra la distribución de las medidas dentro del paisaje y el balance encontrado en cada uno de los puntos, asimismo se interpreta en el sistema, cuál es la variable más importante, así como su propio estado de equilibrio o degradación (ver gráfica 2.1)



Gráfica 2.1 Relación de equilibrio en un sistema de laderas.

Se considera como vectorial, debido a que cada uno de los puntos representa una resultante entre las condiciones del suelo y la geofoma por cada una de las unidades morfoedáficas; observando que cada unidad y su distancia con el punto de origen representa una condición de equilibrio.



Al graficar los resultados de las fases se logra observar si se sigue la línea desde el punto de origen hasta el siguiente extremo, como las muestras se clasifican de manera automática, indicando que tan lejos o cerca del punto de equilibrio y además cuál es la variable en el sistema que posee el mayor peso en el funcionamiento del mismo. Por ejemplo, en la gráfica anterior que ha sido construida con valores hipotéticos, se advierte que el mayor número de las muestras se concentran en la parte que corresponde al equilibrio edáfico, es decir, que ese sistema posee, de manera, general un dominio de desarrollo de suelos sobre el de geoformas.

Por otra parte, un elemento de interpretación se encuentra también en la concentración de las muestras del sistema con referencia al origen del gráfico, ya que a mayor distancia de cada una de éstas, se representa una distancia que refiere las condiciones de intensidad de los procesos que dominan en cada unidad muestreada, de tal forma, que al dividirse la gráfica en tres sectores, como se representa en la siguiente gráfica, una vez más los puntos en las gráficas se clasifican, indicando que lo más cercano al valor cero representa menores condiciones de energía y viceversa con el valor máximo.

Los gráficos anteriores muestran un diagrama con rasgos particulares que muestran las razones de equilibrio, dominancia del proceso, energía y condiciones generales del estado que guarda un sistema de laderas; todo ello permite el conocimiento sistémico del comportamiento unitario y global de la ladera que se encuentra en estudio y con ello, se relacionan políticas, toma de decisiones y acciones acerca de la utilización y manejo del espacio; asimismo, con éste se pueden plantear las tendencias de un escenario en el tiempo.

b. Relación entre la geometría de las laderas

Uno de los elementos de interpretación de resultados en la metodología se circunscribe a la comparación de resultados obtenidos en diferentes unidades



morfoedáficas, desde enfoques diversos, tales como la comparación entre unidades con idéntica geometría; y entre unidades con geometría diferente.

En este apartado, se relacionan y comparan resultados entre el proceso de evolución de suelo, el tipo de geometría predominante y la distribución espacial de las unidades morfoedáficas. Los criterios de interpretación se basan en los postulados establecidos por Ortiz 1990, quien por una parte, enfatiza la zonificación de procesos en laderas de acuerdo con la clasificación de los declives del relieve, como se observa en la figura 2.1; y por otra, establece que los componentes geométricos de las laderas son definidos por: el gradiente que corresponde a la diferencia de alturas en una distancia horizontal; la longitud de la ladera, medida en la misma dirección de su inclinación y; la amplitud horizontal, que es la medida lineal registrada en el sentido perpendicular a la longitud de pendiente, es decir, paralela a las curvas de nivel.

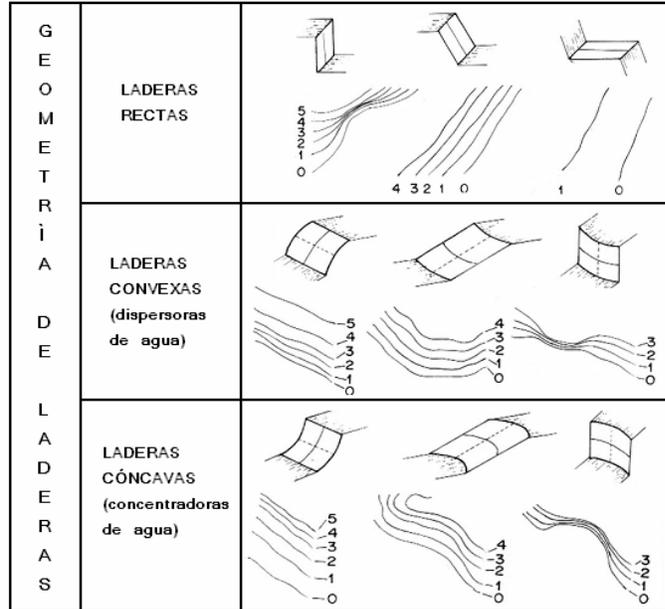


Figura 2.2 Clasificación de la geometría de laderas (modificado de Pedraza, 1996).



c. Relación de rupturas de pendiente con perfiles geomorfológicos

Por otra parte, la interpretación de resultados se fundamenta en la ecuación de Criastofolletti y Tavares, establecida en 1977, y citada en Ortiz (1990), la cual consiste en reconocer el número de rompientes de un perfil geomorfológico; dicha ecuación es:

$$R_p = n \times 100 / L$$

	Donde:
$R_p =$	Índice de ruptura de pendientes
$n =$	Número de rompientes de pendiente
$L =$	longitud del perfil

Esta ecuación es definida por Ortiz (1990) como de vital importancia para reconocer mecanismos morfogenéticos de tipo tectónico, litológico y erosivo.

Desde esta perspectiva, dicho autor define que:

- En los perfiles de tipo tectónico en la medida que se incrementan las deformaciones por desplazamientos habrá proporcionalmente un número mayor de dislocaciones o escarpes tectónicos.
- En los perfiles litológicos, en la medida en que se alternen rocas suaves y competentes, habrá erosión diferencial que se expresará en terrazas estructurales o escarpes litológicos y;
- En los perfiles erosivos a mayor intensidad del corte erosivo de la disección fluvial, más frecuentes y de mayor amplitud serán los saltos de cabecera, expresados la mayor parte de las veces en la morfología de circos denudatorios y escarpes erosivos, y en los valles por fases de incisión, formando terrazas, rápidos o saltos.

La figura 2.3 muestra un ejemplo de los perfiles geomorfológicos, a los cuales Ortiz hace referencia y a su vez, propone una metodología de confección e interpretación.

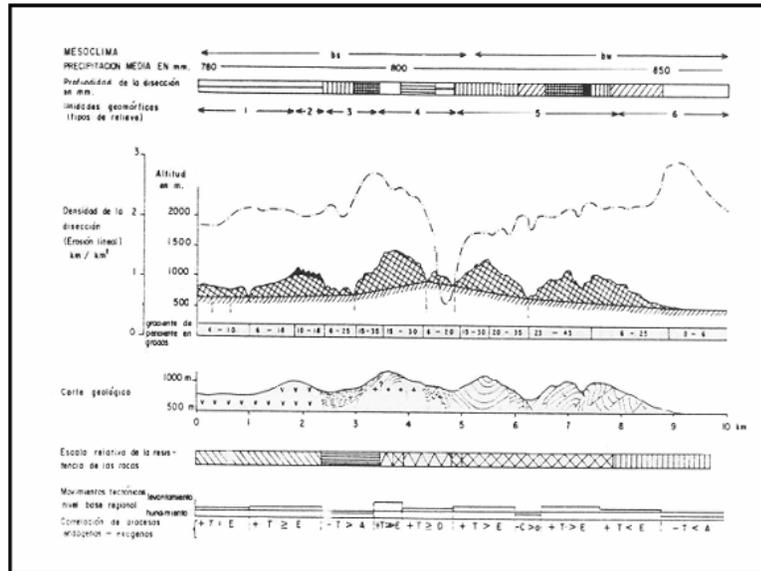


Figura 2.3 Perfil geológico-geomorfológico en el cual se incluyen elementos de relación analítica (tomado de Ortiz, 1990).

VALIDEZ Y CONFIABILIDAD

Para conocer las características y estabilidad del instrumento de medición, se determinó llevar a cabo la aplicación de la propuesta metodológica en un sistema de ladera hipotético.

Se define por validez el grado de calificación o resultado del instrumento que se emplea para conocer si éste mide de forma cierta lo que se pretende medir; y por confiabilidad, a la estabilidad de los resultados o calificaciones obtenidas del propio instrumento de medición. Es por ello, que se plantea en la primera parte del método que es lo que se quiere medir de forma precisa y cuáles son las formas bajo las cuales se pueden presentar.

Al establecer niveles de validez y confiabilidad del instrumento de medición en el desarrollo de la propuesta, se busca obtener consistencia de los instrumentos



empleados. Es por ello, que se define como sistema de ladera hipotético a aquel que presenta condiciones previamente establecidas para que al aplicar el instrumento, se advierta el comportamiento estable y extremo de cada variable en proceso de medición.

Así y conforme con las ideas de Pick y López (1991), es que se desarrolla la aplicación del modelo metodológico en el sistema hipotético de ladera, aplicando el concepto de la validez que consiste, de manera operativa, en el análisis del contenido de cada ítem para obtener el grado de representatividad, lo cual se logra por medio del método de repetición de la prueba en momentos diferentes.

Por lo que respecta a la confiabilidad, se aplican en este ejercicio los criterios de confiabilidad *Test-Request*, en la cual se comprueba la confiabilidad de los instrumentos empleados.

En el proceso de aplicación de la metodología se definió la utilización de atributos "límite", es decir: estos son los que representan índices numéricos que reflejan siempre los valores más altos y más bajos posibles encontrados durante un proceso de evaluación; este ejercicio se localiza en el Anexo 3.

Es así que este procedimiento se llevó a cabo con el propósito de encontrar la eficacia y confianza del instrumento metodológico empleado; así como, para determinar el comportamiento particular de cada atributo y cada variable desde un punto de vista individual y de conjunto.



CAPÍTULO III

EVALUACIÓN MORFOEDÁFICA EN LOS SISTEMAS DE LADERAS

El presente capítulo presenta los resultados de la aplicación de la metodología en los sistemas de ladera puestos a disposición para el estudio, así que a partir de este momento aparecen las referencias, cuadros, mapas y gráficos de cada una de las laderas muestra. Los resultados que en este apartado se presentan corresponden a El Gavilán, mientras que los referentes a Bosencheve y Nevado de Toluca se encuentran concentrados en el anexo número 4.

Debido a la cantidad de información que se ha generado en el proceso de aplicación de la metodología, en las partes de este capítulo, que corresponden a la evaluación geomorfológica y al levantamiento de suelos; se muestran sólo algunos fragmentos de esta fase de trabajo; sin embargo, las secuencias completas de cada una de ellas se encuentran en el anexo número cinco.



EVALUACIÓN MORFOEDÁFICA EN EL SISTEMA EL GAVILÁN

Fase 1. Clasificación geomorfológica

Para el desarrollo de la fase se he realizado una caracterización de las laderas de acuerdo con los elementos planteados en la metodología, de tal manera, que a continuación se presenta un cuadro en el cual se ha concentrado la información básica que ha sido utilizada para la clasificación del sistema.

En este sentido, se aclara que la leyenda geomorfológica presenta elementos de geometría, altitud, geología y material constituyente.



ATRIBUTOS GEOMORFOLÓGICOS DE EL GAVILÁN		
ELEMENTOS CUALITATIVOS	VARIABLES	CARACTERÍSTICAS
Geoformas	Origen	De composición andesítica, la estructura volcánica del Terciario se encuentra conformada por un sistema de bloques basculados y parcialmente destruidos; ésta se asocia con un sistema de complejos orientados en dirección E–W, que sobrepasan los 3000 msnm. Presenta el desarrollo de un sistema de piedemonte extenso en la porción sur, formando una rampa acumulativa que es ocupada por actividades de carácter agrícola. El origen de la estructura se encuentra asociado al emplazamiento del megacomplejo sobre un sistema regional de fracturas que sobre el cual diferentes eventos volcánicos conformaron al edificio; dicho sistema se relaciona, de manera primaria, con el sistema tectónico de tensión que conforma al graben de Acambay; y en segundo orden, se le relaciona con estructuras de la Sierra de Monte Bajo y el campo monogenético Polotitlan–Jilotepec.
	Particularidad	La mayor parte de las laderas en estudio se encuentran conformadas por depósitos andesíticos del Terciario, formados por coladas lávicas y por la depositación de materiales volcanoclásticos producto de los colapsos de las calderas; dichos materiales conforman un sistema que en general tiende a presentar resistencia a la erodabilidad.
Geología	Erodabilidad	De acuerdo con lo anterior, si bien se desarrolla un sistema amplio de corrientes fluviales, el carácter de éstas tiende a un origen estructural y no erosivo, aunque se reconoce en la estructura un relieve suavizado.
	Resistencia a la erosión	La dureza del material presenta resistencia general a la erosión; sin embargo, el emplazamiento sobre patrones estructurales regionales y la presencia a un sistema semiortogonal de lineamientos provocan el desarrollo de procesos de distribución y profundización en los valles fluviales.

Cuadro 3.1.1 Caracterización geomorfológica del Gavilán.



ATRIBUTOS GEOMORFOLÓGICOS DE EL GAVILÁN		
ELEMENTOS CUALITATIVOS	VARIABLES	CARACTERÍSTICAS
	Procesos detectados	El megacomplejo presenta control estructural influenciado por un sistema transcurrete lateral izquierdo, que se presupone como responsable del desmembramiento de la estructura, proceso observado a través del sistema de drenaje. Por la morfología de un parteaguas suavizado y el desarrollo de fondos planos en algunos valles, además de la ausencia de sismicidad local, se interpreta que los procesos tectónicos de basculamiento, ascenso y descenso de bloques se encuentran en este momento en estado de inactividad y/o recesión.
Geometría	Atributos geométricos	La geometría de las laderas se relaciona con un sistema de bloques dispuestos hacia el W y al S sobre los cuales la morfología presenta un dominio de laderas rectas y convexas, así como las de tipo cóncavo dentro de la caldera. Se presenta una geometría en la cual predominan pendientes que oscilan entre las medias y las fuertes de 15° a 45°, sin embargo, de manera cualitativa no se advierten procesos asociados a remoción en masa o un sistema fluvial asociado de manera directa con la pendiente.
	Rasgos (puntuales, lineales, areales).	Los rasgos dominantes se manifiestan a través de lineamientos que clasifican a diferentes unidades de bloque con un sistema de basculamiento dirigido en diferentes direcciones. Como se estableció, la unidad volcánica se encuentra desmembrada de manera parcial, sobre la cual se emplazan algunas calderas abiertas en dirección al Este.

Cuadro 3.1.2 Caracterización geomorfológica de El Gavilán.



ATRIBUTOS GEOMORFOLÓGICOS DE EL GAVILÁN		
ELEMENTOS CUALITATIVOS	VARIABLES	CARACTERÍSTICAS
Consolidación del Sustrato	Condiciones de intemperismo (actual-futuro)	De acuerdo con los rangos de altitud de la estructura, orientación y condiciones locales del clima, el intemperismo registrado solo afecta de manera parcial al sustrato expuesto, por lo que este factor no se considera como fundamental en el proceso de modelado de las vertientes.
Caracterización Climática	Dinámica y evaluación de las geoformas	De acuerdo con las condiciones climáticas la temperatura templada y el régimen de precipitación, no se advierte algún tipo de proceso dominante sobre el desarrollo de las geoformas en la estructura.
Caracterización Climática	Distribución de procesos	La información de este apartado se registra como inapreciable.
	Desarrollo de suelo	Los suelos registran un proceso evolutivo incipiente en cuanto al desarrollo de horizontes con materia orgánica y procesos asociados con la formación de arcillas; por lo que de manera general, son poco profundos y presentan alta densidad de pedregosidad y afloramiento del sustrato en las porciones altas de las laderas.
Sistema de Drenaje	Red fluvial	El sistema refleja el desarrollo y control estructural de valles fluviales de primer, segundo y tercer orden, la mayoría de éstos presentan valles profundos que rebasan los 100 metros de profundidad y forma geométrica en "V"; sin embargo, la mayor parte de éstos presentan transición morfológica del fondo hacia lo plano.
	Elementos de control	Los elementos de control fluvial pertenecen a un sistema ortogonal de fracturas, en el cual los afluentes forman ángulos rectos con referencia a los cauces principales.
	Anomalías	La longitud de cauces de primer orden es homogénea y su distribución sigue patrones geométricos simétricos y una configuración general pinada.

Cuadro 3.1.3 Caracterización geomorfológica de El Gavilán.



De acuerdo con lo anterior, el sistema de laderas se clasifica de la siguiente manera y se observa en el mapa 3.1, que se presenta a continuación:

Clasificación geomorfológica

1. Laderas convexas altas, entre 2,800 y 3,400 metros constituidas por depósitos andesíticos del Terciario con desarrollo fluvial moderado.
2. Laderas convexas intermedias, entre 2,400 y 2,800 constituidas por depósitos andesíticos del Terciario con desarrollo fluvial moderado.
3. Laderas cóncavas intermedias, entre 2,400 y 2,800 constituidas por depósitos andesíticos del Terciario con fuerte desarrollo fluvial.
4. Laderas cóncavas bajas, entre 2,000 y 2,400 constituidas por depósitos andesíticos del Terciario con desarrollo fluvial moderado.
5. Laderas rectas intermedias, entre 2,400 y 2,800 constituidas por depósitos andesíticos del Terciario con fuerte desarrollo fluvial.
6. Laderas rectas bajas, entre 2,000 y 2,400 constituidas por depósitos andesíticos del Terciario con desarrollo fluvial moderado.
7. Laderas mixtas altas, entre 2,800 y 3,400 constituidas por depósitos andesíticos del Terciario con fuerte desarrollo fluvial.
8. Laderas mixtas intermedias, entre 2,400 y 2,800 constituidas por depósitos andesíticos del Terciario con desarrollo fluvial moderado.
9. Laderas mixtas bajas, entre 2,000 y 2,400 constituidas por depósitos andesíticos del Terciario con desarrollo fluvial moderado.



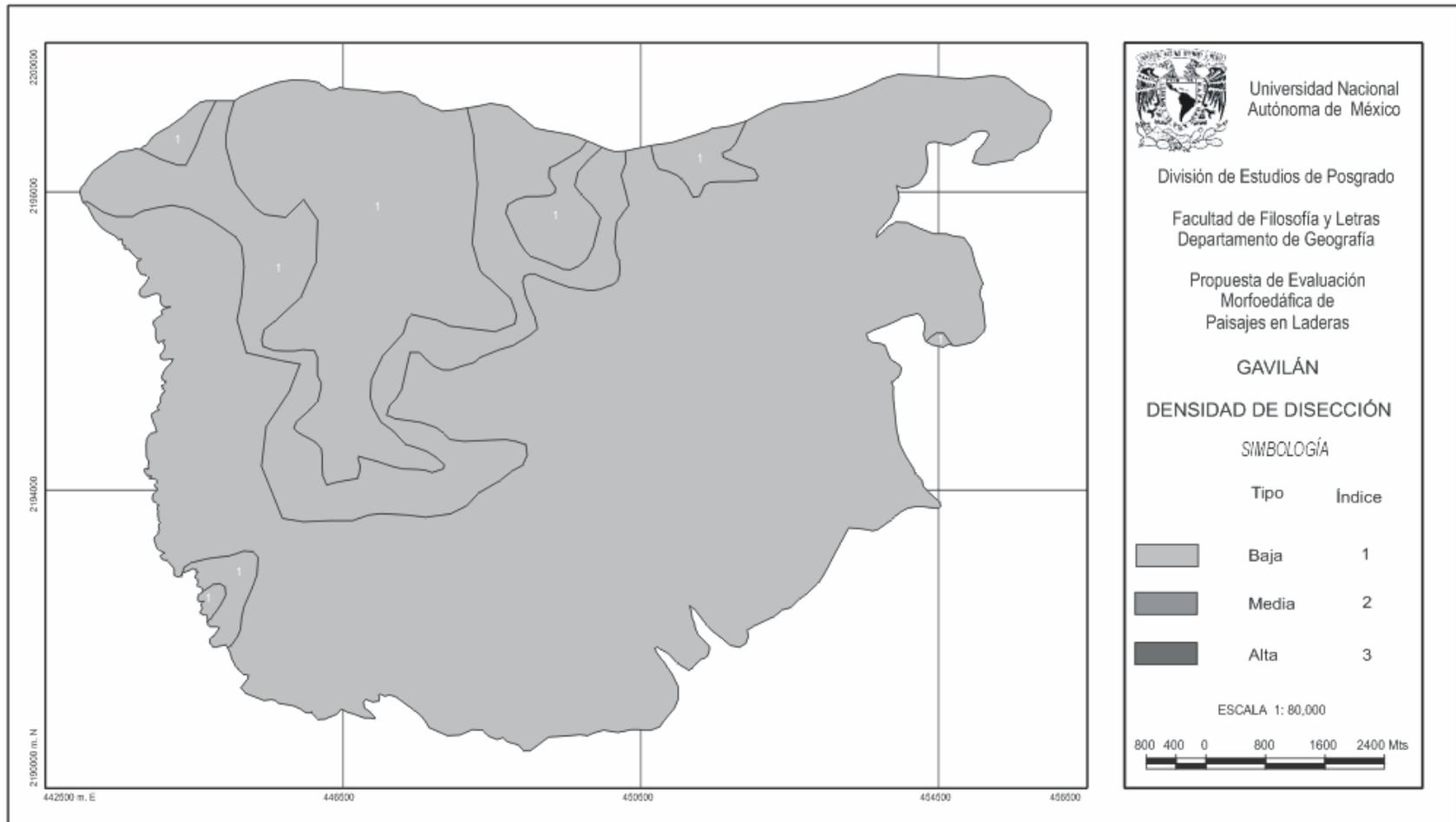
Fase 2. Atributos cuantitativos

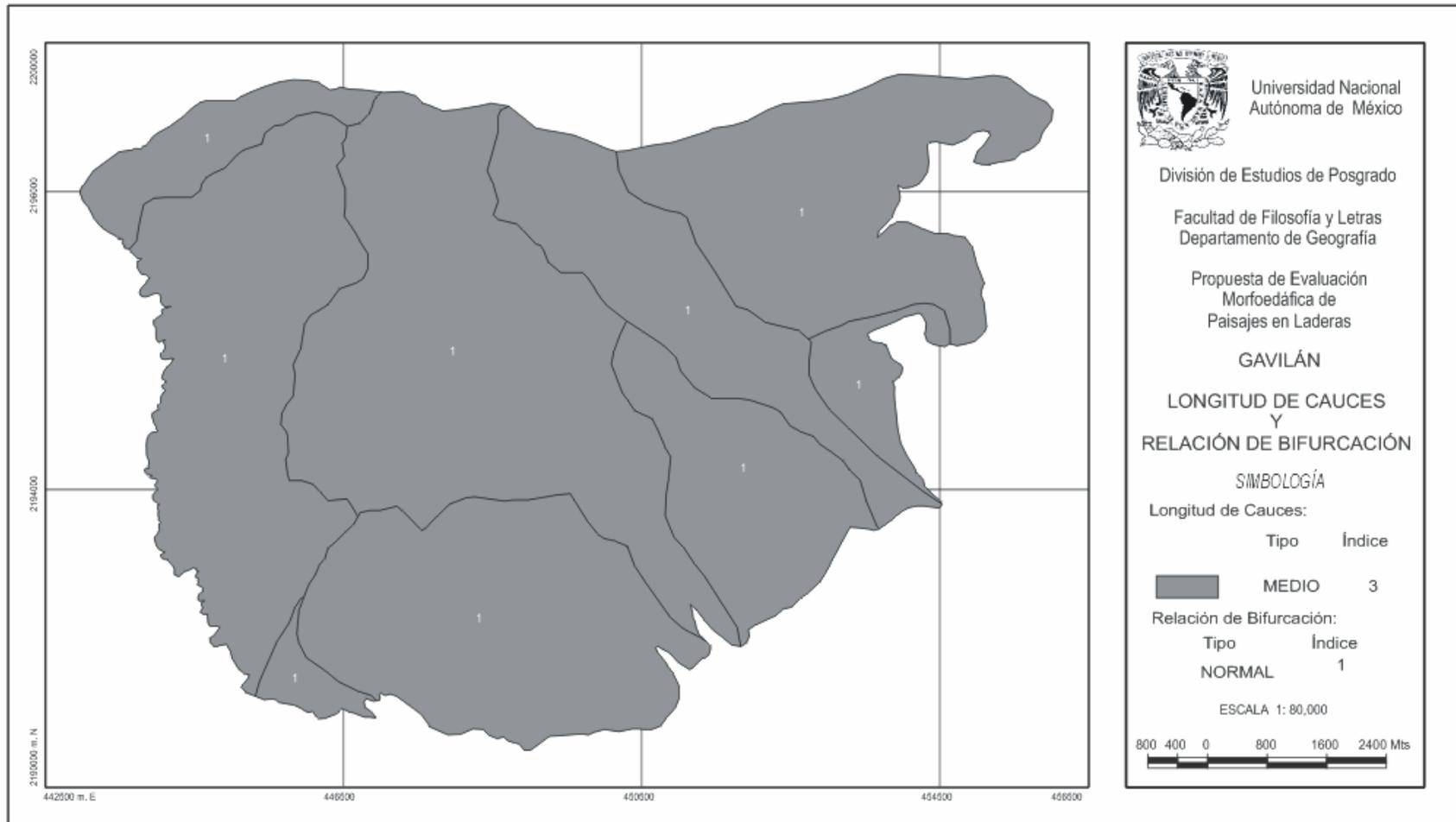
Como se definió en el segundo capítulo de este trabajo, una vez caracterizada la geomorfología de las laderas y señaladas las fronteras de las unidades de análisis, cada una de éstas ha sido sometida a un proceso de medición paramétrica y de clasificación, de tal manera, que a continuación se presentan las cartas que conformaron a cada uno de los índices de la fase cuantitativa; mientras que en la fase 3, se exhibe un extracto del listado de las unidades geomorfológicas con los valores obtenidos en el proceso de medición y la suma de las mismas, que constituyen en valor del Índice de desarrollo geomorfológico.

Los datos completos de la serie de unidades se encuentran localizados en el Anexo 5; se presenta una imagen del sector sur occidental del complejo volcánico.



Figura 3.1 Complejo volcánico denominado El Gavilán localizado en las proximidades de Jilotepec, Estado de México.







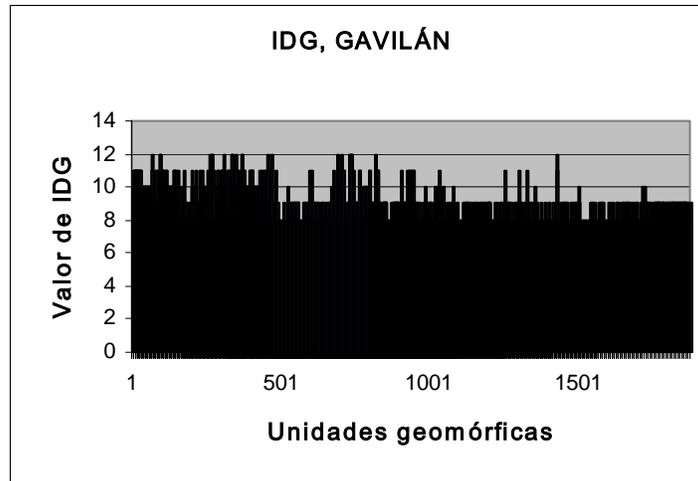
Fase 3. Índice de desarrollo geomorfológico (IDG)

Con la información obtenida en la fase anterior, se realizó un proceso de generalización por medio de la cual las unidades geomorfológicas que presentaron un valor común han sido agrupadas para conformar así un mapa con unidades territoriales, que representan el Índice de desarrollo geomorfológico homogéneo. A continuación, se presenta una muestra de diez unidades seleccionadas al azar con los parámetros y valores que les corresponden; considerando que la serie de datos completa se encuentra en el anexo número 3.

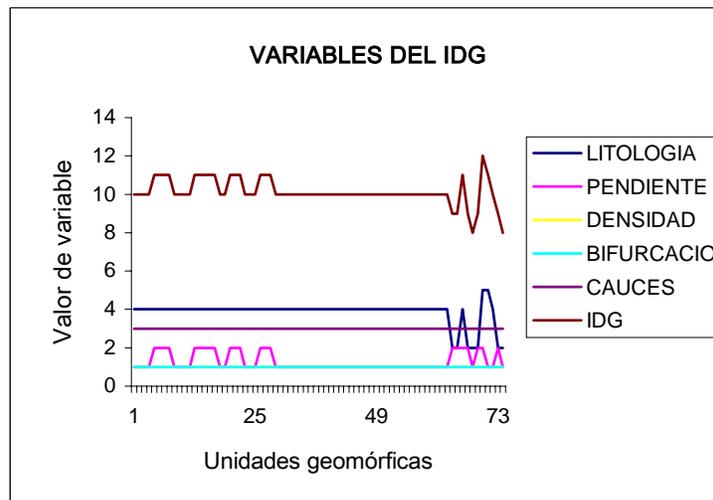
PARÁMETROS Y VALORES ENCONTRADOS PARA LA OBTENCIÓN DEL ÍNDICE DE DESARROLLO GEOMORFOLÓGICO DE EL GAVILÁN						
UNIDAD GEOMORFOLÓGICA	LITOLOGÍA	PENDIENTE	DENSIDAD DISECCIÓN	ORDENES DRENAJE	LONGITUD DE CAUCES	TOTAL
1	4	1	1	1	3	10
81	2	1	1	1	3	8
94	2	2	1	1	3	9
235	5	1	1	1	3	11
270	5	2	1	1	3	11
607	2	1	1	1	3	8
787	4	1	1	1	3	10
822	5	2	1	1	3	12
1585	2	2	1	1	3	9
1877	2	1	1	1	3	8

Cuadro 3.2 Extracto de matriz para conformar el IDG de El Gavilán.

La gráfica 3.1 muestra el concentrado de las unidades geomórficas del sector estudiado, en el cual se advierte el comportamiento del grupo ante los valores del índice; mientras que la gráfica 3.2 muestra el comportamiento de un grupo de unidades seleccionadas con el solo propósito de mostrar las variaciones encontradas en unidades aparentemente homogéneas.



Gráfica 3.1 Variables del IDG de El Gavilán.



Gráfica 3.2 Selección de variables del IDG de El Gavilán



Con la determinación de los valores de desarrollo geomorfológico se establecen los rangos para definir el IDG que identifica a la unidad geomorfológico, de acuerdo con el cuadro 3.4 que aparece a continuación y como se observó en el mapa 3.2

RANGOS DE DESARROLLO GEOMORFOLÓGICO		
VALORES	RANGO	TIPO
25.1 – 27.0	1	Muy intenso
23.1 – 25.0	2	Intenso
21.1 – 23.0	3	Muy alto
19.1 – 21.0	4	Alto
17.1 – 19.0	5	Medio alto
15.1 – 17.0	6	Medio
13.1 – 15.0	7	Medio bajo
11.1 – 13.0	8	Bajo
9.1 – 11.0	9	Muy bajo
7.1 – 9.0	10	Incipiente
5.0 – 7.0	11	Poco desarrollado

Cuadro 3.3 Rangos que establecen el IDG.

Los resultados obtenidos del Índice de desarrollo geomorfológico se procesaron estadísticamente, obteniéndose así el comportamiento general de la ladera en estudio. Los resultados de este procedimiento son los siguientes:

MEDIA DEL IDG, EL GAVILÁN

Sumatoria de rangos: 16,273

Número de unidades 1369

<p>M= 8.67</p> <p>Incipiente</p>



La imagen 3.2 muestra un sector de la unidad de estudio que presenta las mayores condiciones de degradación



Figura 3.2 Sector oriental del Gavilán que presenta procesos de erosión acelerada.

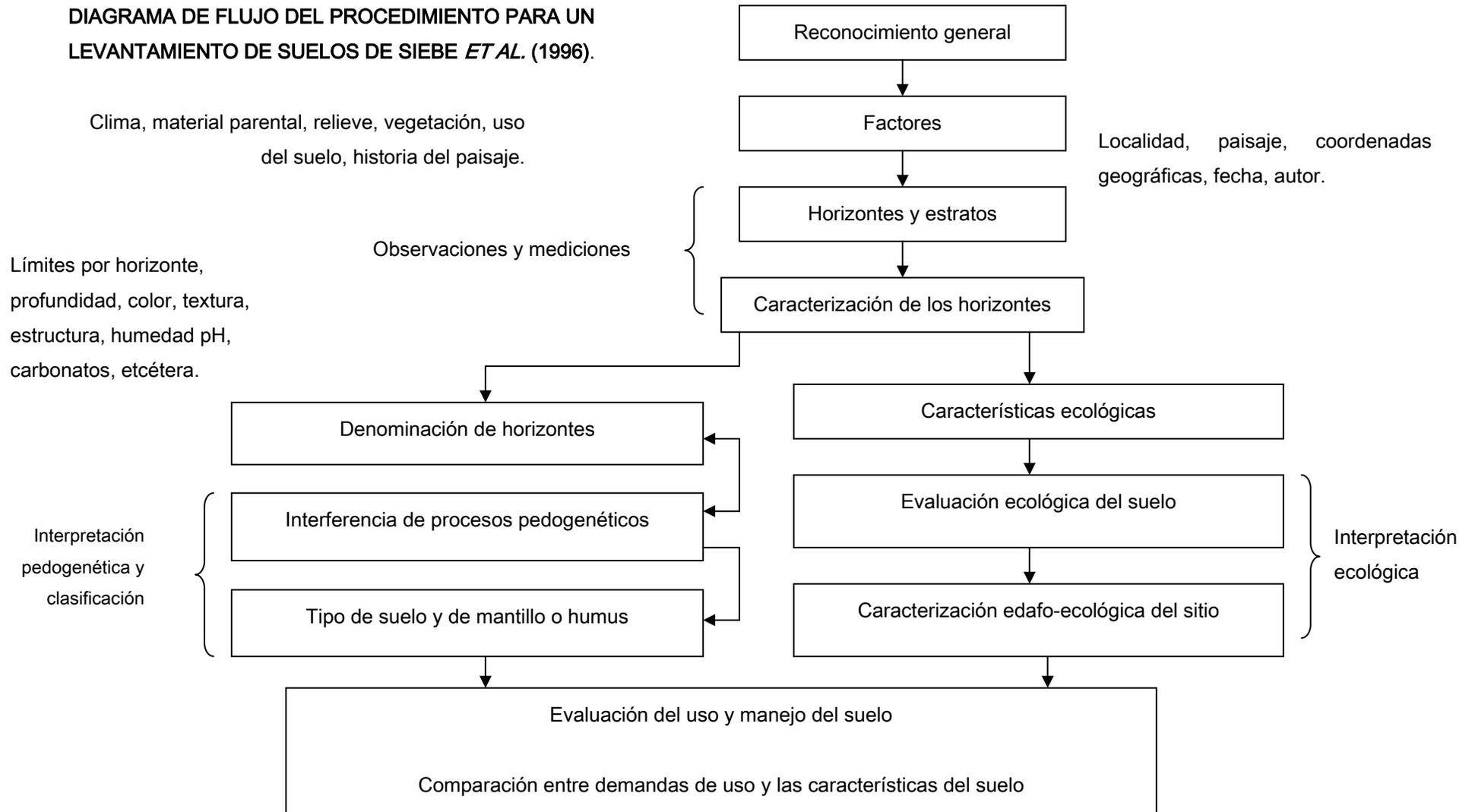
Fase 4. Levantamiento de suelos

Como se estableció durante la metodología y el capítulo primero, el levantamiento de suelos se ha desarrollado bajo criterios de evaluación desde una perspectiva holística, capaz de interpretar características fisiográficas del territorio, por ello antes de representar parte de los resultados encontrados en este rubro, se presenta a continuación el modelo utilizado para la descripción y análisis utilizado en campo.

Asimismo, sólo se presentará en cada caso de estudio un par de descripciones morfológicas y resultados de laboratorio de perfiles escogidos de forma aleatoria, considerando que el Anexo 6 posee la información de las laderas en su totalidad.



DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCEDIMIENTO PARA UN LEVANTAMIENTO DE SUELOS DE SIEBE *ET AL.* (1996).





Descripción morfológica del Perfil 1

Descripción general

Perfil profundo, con un clima templado húmedo con temperatura aproximada de 15°C, en una pendiente de 15°, con una vegetación de gramíneas subperennifolias, con material parental de brechas y tobas volcánicas, en el cual se presentaron 4 horizontes (ver figura 3.3).



Figura 3.2 Perfil edáfico número 1; El Gavilán.

Descripción del perfil

0-5 cm: materia orgánica.

5-45 cm: Café fuerte (7.5YR 5/6) en seco y café oscuro (7.5YR 3/3) en húmedo, migajón limoso, sin estructura, no adherente y no plástico, friable en húmedo, ligeramente duro en seco, muy pocos microporos tubulares, raíces



medias abundantes, pH 5.91 con agua y 4.74 con cloruro de potasio (muestra #652).

45-90 cm: *Reddish Brown* (5YR 4/4) en seco y *Yellowish red* (5YR 4/6) en húmedo, migajon, sin estructura, ligeramente adherente y no plástico, friable en húmedo y blando en seco, muy pocos poros muy finos tubulares, raíces gruesas comunes, pH 5.8 en agua y 3.75 en cloruro de potasio (muestra # 653).

90-más cm: *Reddish Brown* (5YR 4/4) en seco y *Dark Reddish Brown* (5YR 3/4) en húmedo, arcilla limosa, estructura columnar, débilmente desarrollada y adherente muy plástico, firme en húmedo y ligeramente duro en seco, muy pocos poros muy finos tubulares, raíces muy gruesas comunes, pH 5.60 en agua y 3.59 en cloruro de potasio (muestra # 654).

Descripción morfológica del Perfil 4

Descripción del perfil

0-11 cm: (10YR 4/1) en seco y *black* (2.5y 2.5/1) en húmedo, migajón arcilloso, estructura granular, débilmente desarrollada, ligeramente adherente, ligeramente plástica, firme en húmedo, duro en seco, muy pocos microporos intersticiales, raíces delgadas abundantes, pH 6.50 con agua y 5.31 con cloruro de potasio (muestra # 665).

11-29cm: gris oscuro (5Y 4/19 en seco y *black* (7.5YR 2.5/1) en húmedo, migajón arcilloso, estructura poliédrica moderadamente desarrollada, ligeramente adherente y plástico, firme en húmedo y ligeramente duro en seco, muy pocos microporos intersticiales, rices delgadas abundantes pH 7.68 en agua y 6.46 en cloruro de potasio, (muestra # 666).



29-55cm: *Dark Gray* (2.5Y 4/1) en seco y *black* (10YR 2/1) en húmedo, migajón arcilloso-arenoso, estructura poliédrica moderadamente desarrollada, adherente y plástica, firme en húmedo y ligeramente duro en seco, muy pocos microporos intersticiales, raíces muy raras, pH en agua 7.13 y pH de 6.07 en cloruro de potasio (muestra # 667).

55-66 cm: *Grayish Brown* (10YR 5/2) en seco y *Dark Gray Brown* (2.5Y 4/2) en húmedo, migajón, estructura granular, débilmente desarrollada y ligeramente adherente y plástica, muy pocos microporos intersticiales, raíces muy raras, pH de 7.84 en agua y 6.26 en cloruro de potasio (muestra # 668).

Con la fase de levantamiento de suelos generó el siguiente cuadro en el cual, las 23 unidades fueron clasificadas de acuerdo con los criterios de suelos bioedáficos, cataedáficos o antropodédáficos, conformando para la zona de estudio dos tipos generales de suelo.

LEVANTAMIENTO DE SUELOS	
CRITERIO DE CLASIFICACIÓN (Cs)	CLASE
Bioedafogenéticos	9
Cataedáficos	5
Antropizados	1

Cuadro 3.4 Clasificación de suelos.

A continuación, se presenta el mapa edáfico general obtenido en El Gavilán.



Fase 5. Uso de suelo y Fase 6. Relación de equilibrio edáfico

De acuerdo con los criterios establecidos se generó el mapa de uso de suelo, en el cual se encontraron, de acuerdo con las categorías de clasificación, sólo tres de las cinco clases previstas; de acuerdo con la dominancia se establece que en El Gavilán la utilización del suelo se caracteriza de la manera siguiente:

1. Regular.
2. Bueno.
3. Inadecuado.

Para culminar con el estudio del suelo y la utilización que se desarrolla sobre éste, con los valores de la caracterización de suelo y el uso que se le da al mismo, se integró la información en el mapa de REE.



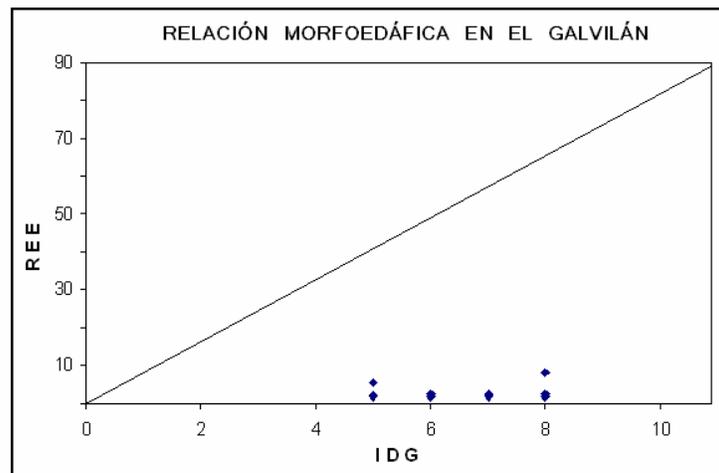
Fase 7. Estabilidad morfoedáfica y cartografía

De acuerdo con los resultados obtenidos en el estudio del Índice de desarrollo geomorfológico y de la Relación de equilibrio edáfico, se obtuvieron, a través del proceso de sobreposición de los mapas, las unidades morfoedáficas y la leyenda del mapa correspondiente.

Con referencia a ésta, se establecen tres elementos básicos de representación: el primero de ellos identifica el tipo de ladera y la morfología general de la misma, delimitada en un área e identificada con una numeración progresiva y jerárquica; por su parte, el Índice de desarrollo geomorfológico se encuentra representado por áreas e tonalidades de gris, que de acuerdo con el valor del índice, aumentan de forma progresiva la intensidad del tono; y por último, la Relación de equilibrio edáfico representa también superficies; sin embargo, éstas se identifican por medio de achurados.



Con los valores obtenidos en cada una de las variables del componente morfoedáfico, se obtuvo la gráfica 3.3, en la cual se aprecia el comportamiento de las unidades morfoedáficas, a través del patrón de distribución en el sistema vectorial que permite, a su vez, observar el conjunto del sistema de laderas.



Gráfica 3.3 Relación morfoedáfica en el sistema de El Gavilán.

La gráfica muestra la distribución espacial del comportamiento de las unidades morfoedáficas; como logra apreciarse la mayor parte de las unidades se concentran entre los valores de 6 y 8, en el IDG, y entre 0 y 10, en REE, lo que implica por una parte que el desarrollo de geoformas en el sistema de laderas si bien es somero, existe una tendencia hacia el desarrollo de las mismas, y por otra parte, muestra que la relación entre el suelo y su uso es débil, por lo que la suma de las variables demarca en estado de estabilidad, pero una propensión moderada hacia la reexistencia.



CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se aborda el análisis y discusión de los resultados de la investigación. A continuación aparecen subtítulos los puntos medulares de la propuesta y se discuten al mismo tiempo algunas consideraciones acerca de la evaluación morfoedáfica.

APROXIMACIÓN AL MARCO CONCEPTUAL DE REFERENCIA, GEOMORFOLOGÍA, GEOGRAFÍA DEL SUELO Y MORFOEDAFOGÉNESIS

Como se estableció en el origen de la investigación, la definición de conceptos desde la perspectiva teórica y operacional ha sido importante dentro de la misma.

De acuerdo con esto, la Geomorfología se conceptualizó como una ciencia integradora en el estudio del paisaje, esta disciplina ha contribuido a caracterizar el espacio a través del estudio morfológico, morfométrico, litológico y sedimentológico, aportando con ello, elementos de análisis morfogenético, morfodinámico y morfocronológico.

Se considera que la valoración geomorfológica cumple con una orientación fisiográfica por medio de la cual se analiza, describe y califica el sistema de relaciones que ligan a las formas del relieve con los elementos que constituyen la superficie terrestre, y de manera importante, las explica desde la perspectiva de la configuración y distribución de las mismas en el territorio.

La aplicación de la Geomorfología en la metodología, generó resultados importantes como los que a continuación se enuncian. A través de la determinación del origen se han podido caracterizar elementos morfológicos, sedimentológicos y paramétricos de las coladas lávicas y de los depósitos volcanoclásticos, así como de los sistemas de laderas, la geometría y algunas particularidades, tales como la longitud y extensión de las mismas; con respecto a la edad, ésta



ha aportado una visión del estado evolutivo de cada una de las unidades territoriales. Por su parte, la dinámica indica la intensidad de cada uno de los procesos registrados en la metodología.

La configuración espacial responde a preguntas de la razón de distribución y los mecanismos que relacionan a las formas del relieve.

Por otra parte, considerar la sustitución del pensamiento edafológico tradicional de la Agronomía por la concepción fisiográfica de la Geografía del Suelo ha resultado de cardinal importancia y por ello favorable en la investigación porque no se ha limitado a una visión orientada a la descripción física de los elementos formadores del suelo situados con fines agrícolas o para la producción de diferentes especies o productos comerciales; si no que el suelo ha sido entendido desde una razón holístico-espacial compleja, en la cual, la naturaleza de este establece un vínculo sistémico como parte de la esfera del paisaje que cumple una función de interfase con el desarrollo de procesos geomorfológicos de tipología endógena y erosivo acumulativa.

El sustento de los conceptos de Geomorfología y de Geografía del Suelo, desde las perspectivas mencionadas, aportan elementos fundamentales para que la significación de la Morfoedafogénesis tenga una base sólida desde una concepción basada en dos ciencias integradoras del paisaje y de la ciencia geográfica.

Esto tiene como significado que la dinámica de este concepto involucra no sólo la concepción de las técnicas y procedimientos de cada una de las disciplinas, si no que la integración sistémica de éstas representa una idea clara de dinámica y de evolución del paisaje. Este cambio es manifestado en diferentes tiempos y con intensidades heterogéneas, por lo que el concepto morfoedáfico adquiere una característica dinámica y aplicada, de tal forma, que vierte elementos teóricos, conceptuales y operacionales como se buscó a lo largo de la propuesta metodológica; de hecho, la aplicación de la metodología y los resultados obtenidos dentro de la misma ratifican esta posición dinámica e integradora en el estudio de los paisajes.



Los conceptos utilizados en la investigación de Geomorfología, Geografía del Suelo y Morfoedafogénesis encuentran una vinculación con el estudio de las diferentes unidades climáticas, de paisajes, de comunidades vegetales y socioeconómicas; todo ello con representación cartográfica y orientados hacia la determinación de grados hemerobia, evaluación de características de utilización de suelo, capacidad agrológica o agronómica, ordenamiento del territorio, evaluación de tierras, y con diferentes funciones relacionadas con los servicios ambientales, tales como los de regulación, los de transporte, los de producción y los de información entre otros.

En conclusión, el manejo conceptual aporta elementos que permiten conocer del paisaje el origen, la edad, la dinámica, los procesos evolutivos, las etapas de desarrollo, los estadios y la mecánica de distribución espacial; es por ello, que la utilización de estos conceptos genera contribuciones y ventajas para el entendimiento del territorio, para calificarlo de manera cualitativa y cuantitativa, y por último, para la toma de decisiones.

Con referencia al diagrama de flujo del concepto de morfoedafogénesis y la clasificación del mismo en las cuatro etapas referidas en el primer capítulo de la investigación destacan:

- La definición conceptual y operacional en la primera etapa de la investigación permitió una caracterización estructural bajo un principio de orden.
- El análisis de los procesos a través del análisis del tiempo en el estudio del desarrollo de la geoforma o del suelo resulta de relevancia, debido a que las variables de esta investigación no tienen un carácter isócrono, de tal manera, que cada una de ellas posee un punto de origen disímil y un proceso evolutivo por medio de fases de desarrollo matizadas por sistemas y tiempos de presión energética diferente; combinación que resulta en la generación de regularidades espaciales, temporales y de constitución del paisaje actual.

En otro orden de ideas, dinámica, evolución y espacio se definen como elementos que forman parte de los atributos básicos de la propuesta metodológica, los cuales coadyuvan al proceso



de comprensión y reflexión del territorio, y conducen a la definición y calificación del estado que guarda el paisaje.

El concepto morfoedafogénético propuesto ha sido planteado con una tendencia ecética como perspectiva de un eje medular en la relación geomórfica y edáfica orientada hacia la comprensión y análisis de un modelo de realidad concreta del territorio.

Esta definición involucra la observación de un momento social, económico y político en cada territorio; esto es importante porque la organización social determina, en cierta forma, el éxito de la aplicación de la metodología, así como la economía, la orientación de los mercados, la tenencia de la tierra, la política municipal y partidaria, entre otros factores.

Por otra parte, y con referencia al sector terminal del diagrama de flujo del concepto morfoedáfico, la metodología ha permitido establecer nociones acerca de la potencialidad de un territorio, así como la generación de escenarios y acceder a la prevención y corrección de problemas.

El concepto teórico y operacional de la morfoedafogénesis engloba elementos de orden natural, de carácter social, económico y político en diferentes escalas, esto involucra entonces una visión holística del territorio, que conduce hacia la toma de decisiones razonadamente inteligentes acerca de la utilización del mismo.

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

El principio de esta investigación ha versado sobre los planteamientos, políticas y obras que tienen que ver con el estudio del medio ambiente, el paisaje y la morfoedafogénesis.

La propuesta de evaluación morfoedáfica se responsabiliza por asumir una conceptualización y uso de variables que rompen, por una parte, con algunos paradigmas establecidos, y por otra, refuerzan ideas precedentes.



Considerando las ideas anteriores, la propuesta de evaluación morfoedáfica ha iniciado en el punto de integración entre el estudio del suelo y del relieve como una simbiosis que permite entender las características y propiedades de la estructura vertical y horizontal del mismo.

LA HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

El planteamiento hipotético en la cual se ha fundamentado se ha cumplido, obteniéndose en la parte final del trabajo una leyenda que corresponde a la integración de variables geomorfológicas y del suelo representadas en un solo mapa.

La hipótesis ha sido confirmada y alcanzó diferentes formas de expresión, esto en el entendido de que los resultados obtenidos representan condiciones actuales y proyectan tendencias en el futuro; como consecuencia se obtiene la capacidad de definir las características del espacio en función de la ecética, de la capacidad para identificar, valorar y jerarquizar el estado que guarda una unidad o un conjunto de éstas, y por consiguiente, de la demanda que éste posee en función de las necesidades de la sociedad.

Por lo que refiere a la validación de este trabajo se estableció una hipótesis nula, con este supuesto, al aplicarse los criterios de evaluación se han generado dos vertientes: la primera concierne a una respuesta uniforme de las variables, en la cual no se han presentado diferencias en el momento de la aplicación; independientemente de que la conformación de cada sistema de ladera estudiado posee atributos particulares desiguales.

Sin embargo, el instrumento mostró suficiente capacidad de adaptación en cada uno de los sistemas de laderas; por lo tanto, esta condición genera la opción y posibilidad uso y desarrollo en cualquier otro espacio que así lo requiera.

Por otra parte y de acuerdo con el tipo de investigación, el planteamiento metodológico ha permitido estudiar y medir cada una de las variables para entender cómo se relacionan los



elementos entre sí en la fase exploratoria, esta etapa ha sido importante, debido a que se logra establecer una serie de relaciones de manera directa e indirecta entre la Geomorfología y la Geografía de Suelo, las cuales si bien ya contaban con referencias teóricas en la literatura, en el sentido práctico no existían elementos escritos formales que establecieran que tipo de relación existe entre ellas y cuál es su lugar en un sistema jerárquico.

IMPORTANCIA DEL LUGAR DE LA INVESTIGACIÓN EN EL CAMPO DE LAS CIENCIAS GEOGRÁFICAS

El lugar de la morfoedafogénesis en el campo de las ciencias se encuentra dentro de la Geografía del Paisaje; la visión geográfica sustentada en el análisis fisiográfico y de la regionalización se circunscribe a un análisis estructural del espacio, el cual se constituye en diferentes momentos y con diversas manifestaciones de energía, lo que sugiere un orden jerárquico en los elementos que configuran al territorio, es decir la geología, la geoforma y el clima.

El análisis geográfico permite entender el proceso de evolución del paisaje a través de la fisiografía debido a que se suman las características que diferencian al espacio y a la vez, generan regularidades; así como las modificaciones de carácter histórico que este posee debido a la presencia de la sociedad y estructuran la configuración espacial.

Ello implica que no solo se podrán entender los elementos, características y constitución del espacio, sino que involucra también los tiempos y procesos del pasado que han conformado a los paisajes del presente; con lo cual es posible la concepción de escenarios tendenciales en momentos diferentes de tiempo y espacio.

Por otra parte y con el manejo de la escala, la Geografía permite el desarrollo de la regionalización y por tanto la generación de límites espaciales que pueden explicar transferencias de materia, energía e información tanto en una escala vertical como en la dinámica horizontal.



Es por ello que la suma del análisis vertical-funcional con la del estructural-espacial genera un complemento de carácter cuantitativo y cualitativo del paisaje, el cual y de acuerdo con las condiciones la propuesta de evaluación morfoedáfica cumple con el axioma de integración de la metodología originado desde la perspectiva geográfica.

ALCANCE DE LOS OBJETIVOS

Los objetivos planteados en la investigación se centraron en proponer, desarrollar y validar un método de evaluación morfoedáfica, el cual se presentó de manera secuencial, ordenada y con la idea de un concepto didáctico-operativo con el propósito de que éste pudiese ser claro y de fácil aplicación para todos aquellos interesados en el método.

La parte operativa de los objetivos se centró en elaborar un sistema de evaluación a partir de siete etapas de investigación las cuales concentraron dos fases terminales preliminares y una final, éstas se desarrollaron en el tercer apartado obteniendo así las muestras de estabilidad del instrumento de medición; y aunque fue necesaria la corrección e implantación de ajustes al método original; la metodología no sufrió modificaciones importantes en su columna vertebral, lo cual propició que su validación y aplicación se realizara sin problemas, de tal manera que los objetivos trazados fueron cubiertos de manera sistémica y satisfactoria de manera teórica y aplicada en los sistemas de laderas localizados en la franja correspondiente al paralelo 19° de Latitud Norte.

EL DESARROLLO METODOLÓGICO

Por lo que concierne al instrumento de evaluación se establecen algunos elementos importantes para su estudio. El primero de ellos tiene que ver con cada una de las fases que propone la metodología y la segunda con los resultados que esta tiene. Por lo que corresponde a las fases de trabajo se establecen las siguientes ideas.



Es importante definir que al conceptualizar la fase operativa de la metodología, aparece una valoración con atributos cualitativos seguida de los de carácter cuantitativo, dicha secuencia se estableció para contar con una visión completa acerca de los procesos que se desarrollan, donde la descripción adjetiva es la introductoria a los estudios numéricos.

De esta manera, la fase inicial que establece el proceso de clasificación geomorfológica fue desarrollada y concebida desde el punto de vista por medio del cual el relieve se clasifica de una forma natural, es por ello que los elementos que conforman esta matriz se desarrollan de manera secuencial y jerárquica.

Se consideró de relevancia realizar la caracterización geológica en el entendido de que ésta se relaciona con condiciones de erodabilidad, el grado de resistencia a la erosión y el desarrollo de algún tipo de proceso detectado de manera particular, lo que se considera como información agregada al estudio de estas unidades geomorfológicas. Por otra parte, la consolidación del sustrato y la caracterización climática, clasifican condiciones del intemperismo, así como parte de la dinámica y evolución de las geoformas.

El cuadro 4.1 refiere a los elementos de análisis geomorfológico cualitativos considerados como elementales en durante el estudio.

ELEMENTOS CUALITATIVOS DEL RELIEVE
<ul style="list-style-type: none">– Determinación de atributos y configuraciones que permiten situar a las formas con el contexto regional al que pertenecen.– Fundamentan el análisis y descripción cualitativa y cuantitativa del sistema de relaciones que explican y correlacionan a las formas del terreno.– Identifican las acciones individuales de modelado y las formas de energía que se asocian con la erosión, transporte y sedimentación, los cuales a su vez, generan formas simples;– Definen la actividad en conjunto de dichos procesos, los cuales heredan un grupo geoformas que corresponden a la articulación de acciones elementales presentes de manera continua en el tiempo y espacio, conformando así a las unidades geomorfológicas compuestas.

Cuadro 4.1 Características de los elementos cualitativos del relieve.



En resumen, se ha buscado es clasificación geomorfológica diferenciada con un orden lógico por medio del cual la codificación de las unidades de estudio sea sencilla, pero que al mismo tiempo aporte información básica sobre la esencia de las características cualitativas de la misma.

Por lo que refiere a la segunda fase en la evolución cuantitativa, se consideró un proceso de estructuración ordenado de manera secuencial y correlativa de cada una de las variables que se han considerado para el estudio. Resulta importante definir y confirmar que las variables no solamente representan datos aislados, la suma e integración de ellas acceden a un análisis holístico de las condiciones del territorio; de ahí que al cuantificar algunos elementos particulares como el sustrato, la pendiente, la densidad de la disección, la relación de bifurcación y la longitud de cauces, refieren de forma paramétrica condiciones de desarrollo, intensidad de procesos y estado evolutivo de la geofoma. El cuadro 4.2 presenta una síntesis de los elementos descritos desde la perspectiva referida.

ELEMENTOS CUANTITATIVOS DEL RELIEVE
<ul style="list-style-type: none">- Determinan condiciones generales de resistencia a la erosión por disposición del sustrato a procesos de meteorización y por actividad humana.- Interpretan procesos de lavado, deslizamientos y, en general, todos los relacionados en el trinomio: humedad, tiempo y movimiento en masa, así como procesos de erosión lineal incisiva.- Relacionan procesos de destrucción y formación del suelo en diferentes grados; determinación de procesos acumulativos relacionados con la agregación de elementos formadores del suelo.- Clasifican de procesos de caída libre, colapsos, así como de desagregación del sustrato.- Clasifican geoméricamente a partir de las inflexiones, número y secuencia de las mismas como un proceso de articulación caracterizada por rupturas y cambios.- Analizan del número y longitud los segmentos del sistema fluvial para determinar grados de energía y obtención de contrastes entre unidades territoriales, localización y desarrollo.- Determinan secuencias, cambios en la inclinación para verificar tendencias del relieve y variaciones de la energía de posición.- Identifican el carácter de los cambios y las rupturas, geometría y tendencias generales de la tipología del segmento.

Cuadro 4.2 Características de los elementos cuantitativos del relieve.



Una parte importante de esta fase fue la construcción de la misma a partir de un sistema de comparación de variables; es así que en cada una de las unidades de estudio se obtienen características distintivas acerca de la resistencia de los procesos de intemperismo y erosión. Asimismo la información de la pendiente interviene en el proceso de clasificación de los suelos, así como en la caracterización de procesos de desarrollo fluvial y definición de áreas con remoción en masa.

Los valores de densidad de la disección han permitido conocer el desarrollo superficial de algunos de los procesos y por supuesto la tendencia de desarrollo en los sistemas de drenaje. Por lo que refiere a los parámetros de órdenes de drenaje y longitud de cauces, éstos detallaron información del crecimiento alométrico de las cuencas en las laderas en estudio.

En el proceso de construcción de la cartografía y obtención de información referente a la densidad de la disección, se consideró pertinente reducir la malla base en el estudio a un kilómetro cuadrado, obteniendo como resultado un acercamiento al proceso de una manera menos generalizada, como se ha realizado en la dirección de algunas investigaciones, como se observa en los trabajos de Martínez (2003), Martínez (2004) y Carbajal (2004), entre otros.

Para obtener el Índice de desarrollo geomorfológico e integrar las variables cualitativas y cuantitativas, ha resultado necesario realizar modificaciones que si bien no distorsionan la idea original de la metodología planteada, representan correcciones y adecuaciones al sistema original de evaluación morfoedáfica propuesto.

Es así que se planteó en la leyenda una clasificación de densidad de geoformas, sin embargo, este punto de acuerdo con la escala no ha sido posible aplicarlo, ello debido a que las evidencias de carácter erosivo encontradas en campo no representan una superficie mínima de representación cartográfica.

Relacionado con la fase número cuatro, la cartografía se basó en la obtención de unidades territoriales, en las cuales quedan representadas asociaciones que determinan entidades edáficas con una sola clase de suelo; sucesiones que por su parte tratan de unidades



complejas conformadas por más de una clase, las cuales establecen pautas en la distribución del paisaje y, por áreas misceláneas definidas por condiciones de desarrollo erosivo, por afloramientos o procesos relacionados con paleosuelos.

De acuerdo con lo anterior, el trabajo de suelos fue concebido a través de la *Soil Taxonomy* debido a que este sistema coadyuva en la descripción y análisis de los horizontes diagnóstico, los regímenes de humedad y los de temperatura, que condujeron a la correlación entre los elementos que conforman al suelo; sin embargo, es importante aclarar que la evaluación morfoedáfica propuesta logra ajustarse con el sistema de la FAO.

Por último, en la parte que corresponde al estudio del suelo, es importante destacar que si bien en la metodología el desarrollo de los procesos para la evaluación del mismo son claros, el proceso de aplicación de criterios para asignar un valor que califica el “grado de desarrollo” se convirtió en uno de los problemas más importantes para resolver; no obstante, fueron los trabajos de Siebe *et. al.* (1996) y los de Solleiro (2002) los que constituyeron una base para el proceso de interpretación.

Por lo que refiere a la fase número cinco, en la cual se desarrolla la clasificación del uso del suelo, existen algunos puntos que se deben destacar debido a que la idea original ha tenido que pasar por un principio de exclusión, el cual se explica en el siguiente apartado.

Se consideró determinar el tipo de energía empleada en el sistema, así como la caracterización y calificación de los factores limitantes y las técnicas de producción y/o mecanización del suelo; al aplicarlo; sin embargo, se generaron conflictos en la interpretación de cartografía y durante el desarrollo del trabajo de campo.

Las complicaciones se presentaron en el proceso de asignación de valores para la clasificación de energía utilizada en el sistema, ello debido a que resultó difícil definir con precisión cuáles son los límites de cada una de los tipos de energía, por lo que sólo se ha logrado realizar una valoración genérica de la misma. Sin embargo y antes de desechar la valoración de este punto en la metodología, se ha considerado conservarlo debido a que puede alcanzar su máxima



utilidad cuando este criterio se aplica en escalas de trabajo grandes y cuando se obtienen información confiable de entrada de energía.

Por ejemplo, para la asignación de valores energéticos en un sistema, el Instituto de la Investigación Científica perteneciente a la Academia de Ciencias y Artes de Eslovenia define que las variables para determinar las entradas de energía deben ser por lo menos: factores astronómicos, tiempo y declinación solar; horas de trabajo y depreciación de la maquinaria, laboreo manual, uso de fertilizantes y pesticidas (Pirnat, 1998).

Entre los problemas de asignación de calificaciones por las técnicas y sistemas de manejo del suelo, se encuentran los patrones de carácter social-cosmogónico y económico-utilitario.

En otro orden de ideas y con referencia a la fase de investigación que aborda la Relación de equilibrio edáfico (REE), se considera este punto como un aporte original de correlación entre las actividades desarrolladas y la capacidad de acogida de la superficie.

Este parámetro ofrece la valoración de las condiciones que guarda un espacio en función de la vocación la vocación del suelo, el tipo de cobertura y uso de la misma; motivo por el cual resulta posible estimar la capacidad de accesibilidad antrópica, evaluación de condiciones actuales, grado de desarrollo y potencialidad del territorio.

Así, la Relación de equilibrio edáfico genera escenarios tendenciales a través de la expresión cartográfica e identifica áreas y problemas particulares cuando existe pobre o nula concordancia entre el elemento suelo y uso del territorio; por lo que este nuevo concepto involucra políticas, obras y acciones bajo el concepto de un esquema de planeación.

Por último, el proceso de integración de resultados permitió la construcción de una leyenda "única" en la cual se pueden catalogan diferentes clases o niveles de estabilidad dentro de la misma, caracterizando los valores geomorfológicos y edáficos cualitativos y cuantitativos del territorio.



LA SELECCIÓN DE LA MUESTRA

La metodología propuesta se ha diseñado para una zona geográfica determinada, en la cual existen una serie de variables que se consideran como estables, sin embargo, se considera que la propuesta podría ser aplicada en otros sistemas de laderas si se realiza un ajuste en la selección de variables de acuerdo con las condiciones físico-geográficas dominantes y la escala de análisis y trabajo.

MODELO DE REPRESENTACIÓN E INTERPRETACIÓN MORFOEDÁFICA

Con referencia a los resultados, se establece que éstos han sido representativos como se planteó al inicio de la investigación, de tal manera que se siguieron los cuatro enfoques de interpretación:

- a. Relación lineal entre desarrollo geomorfológico y relación de equilibrio edáfico
- b. Relación entre sistemas
- c. Relación entre la geometría de las laderas
- d. Relación de rupturas de pendiente con perfiles geomorfológicos

a. Relación lineal entre desarrollo geomorfológico y relación de equilibrio edáfico

La primera forma de interpretación refiere a una relación considerada como lógica entre los valores obtenidos de Índice de desarrollo geomórfico y la Relación de equilibrio edáfico.

Como logra apreciarse, en cada una de ellas se observan el comportamiento de los rangos del IDG en cada una de las unidades geomórficas, marcando con ello, las tendencias de estabilidad o desarrollo de procesos de acuerdo con las variables estudiadas.

El comportamiento por unidades definido en los gráficos manifiesta la particularidad de mostrar los extremos o las anomalías dentro de cada sistema y, encuentra al mismo tiempo un elemento

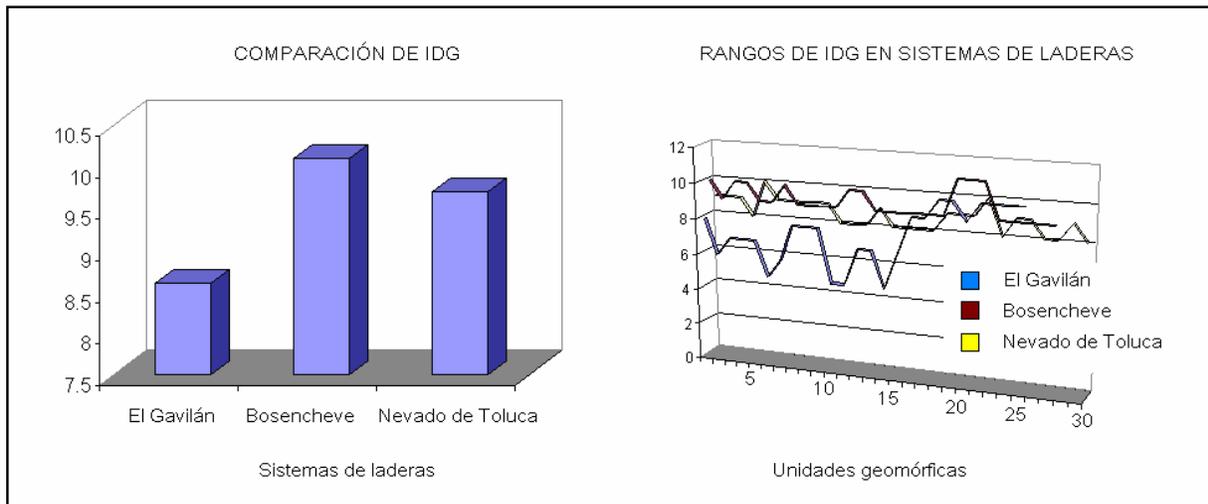


representativo del análisis por medio de la obtención de parámetros generales, como es el caso de la media ponderada con la cual se obtiene el comportamiento general del sistema desde el punto de vista geomorfológico, como se observó en los resultados del IDG de cada sistema.

Este proceso permite exhibir la conducta de cada sistema y diferenciarlo de los otros, como observarse en el cuadro 4.3 y en la gráfica 4.1 y 4.2, aunque existen dos clases idénticas en cuanto al comportamiento general, sin embargo, éstas logran diferenciarse y presentar la tendencia de desarrollo particular por las características de sus atributos.

MEDIA Y CLASIFICACIÓN DE LOS IDG		
EL GAVILÁN	BOSENCHVE	NEVADO DE TOLUCA
M= 8.67	M= 10.1	Mp= 9.7
Poco desarrollado	Muy bajo	Muy bajo

Cuadro 4.3 Comparación de media ponderada y clasificación de los IDG



Gráfica 4.1 Comparación de resultados del IDG en los sectores muestra.

Gráfica 4.2 Contraste de resultados del IDG en sectores muestra por variable.



La gráfica muestra las líneas de comportamiento de los sistemas de laderas, en ellos se aprecia que si bien en Bosencheve y Nevado de Toluca las clases de índice son las mismas, el comportamiento interno de las variables registra valores característicos distintivos.

El resultado del análisis del suelo, en general, ha permitido la realización de una valoración fisiográfica, en la cual, la generalidad de la información se inclina hacia suelos con características bioedáficas.

Por último en este apartado, resulta necesario definir una serie de precisiones con referencia al desempeño de la cartografía como herramienta, producto y material de análisis.

Los resultados obtenidos al aplicar el instrumento de medición sobre material cartográfico 1:50,000 arrojaron elementos indicadores satisfactorios desde la perspectiva geomorfológica y del suelo, al mismo tiempo que los objetivos de la investigación se han cubierto, sin embargo, se considera que la mayor capacidad de análisis puede ser lograda al aplicarse en escala de trabajo más grande una vez que se desarrollen ajustes paramétricos con el propósito de obtener más detalle al modelo de evaluación.

De manera particular, el análisis geomorfológico ha generado una serie de cartas morfográficas caracterizadas por valores paramétricos precisos, considerando los elementos de elaboración e interpretación, mientras que el levantamiento de 4° orden de los suelos ha sido el más apropiado y su utilidad máxima se ha logrado a través de la interpretación de los perfiles.

Asimismo la cartografía que genera el análisis morfoedáfico es detallada y muestra la diferenciación y atributos específicos de cada una de las unidades territoriales, esto significa una aproximación a la concepción de la estructura del paisaje.

Los mapas representan las formas diferentes de conexión presentes y futuras dentro de un marco espacial y temporal que influyen al interior y exterior de las unidades morfoedáficas analizadas; asimismo expresan grados de fraccionalidad, dispersión, funcionalidad y tendencias



de desarrollo a través de las regularidades expresadas en rangos de heterogeneidad temporo-espacial.

La cartografía morfoedáfica se relaciona con la detección de condiciones de hemerobia y políticas tales como la conservación, preservación y explotación entre otras; y por consiguiente se relaciona con las diferentes áreas de la planeación territorial basada en las necesidades y prioridades sociales y económicas.

b. Relaciones entre sistemas

Una de las formas de interpretación de los resultados se basó en el análisis de los tipos de relación que existen entre un sistema y otro; para ello se considera pertinente establecer que el criterio de interpretación y comparación se basa en una de las características fundamentales de los geosistemas, los cuales han sido definidas por Bolós (1992).

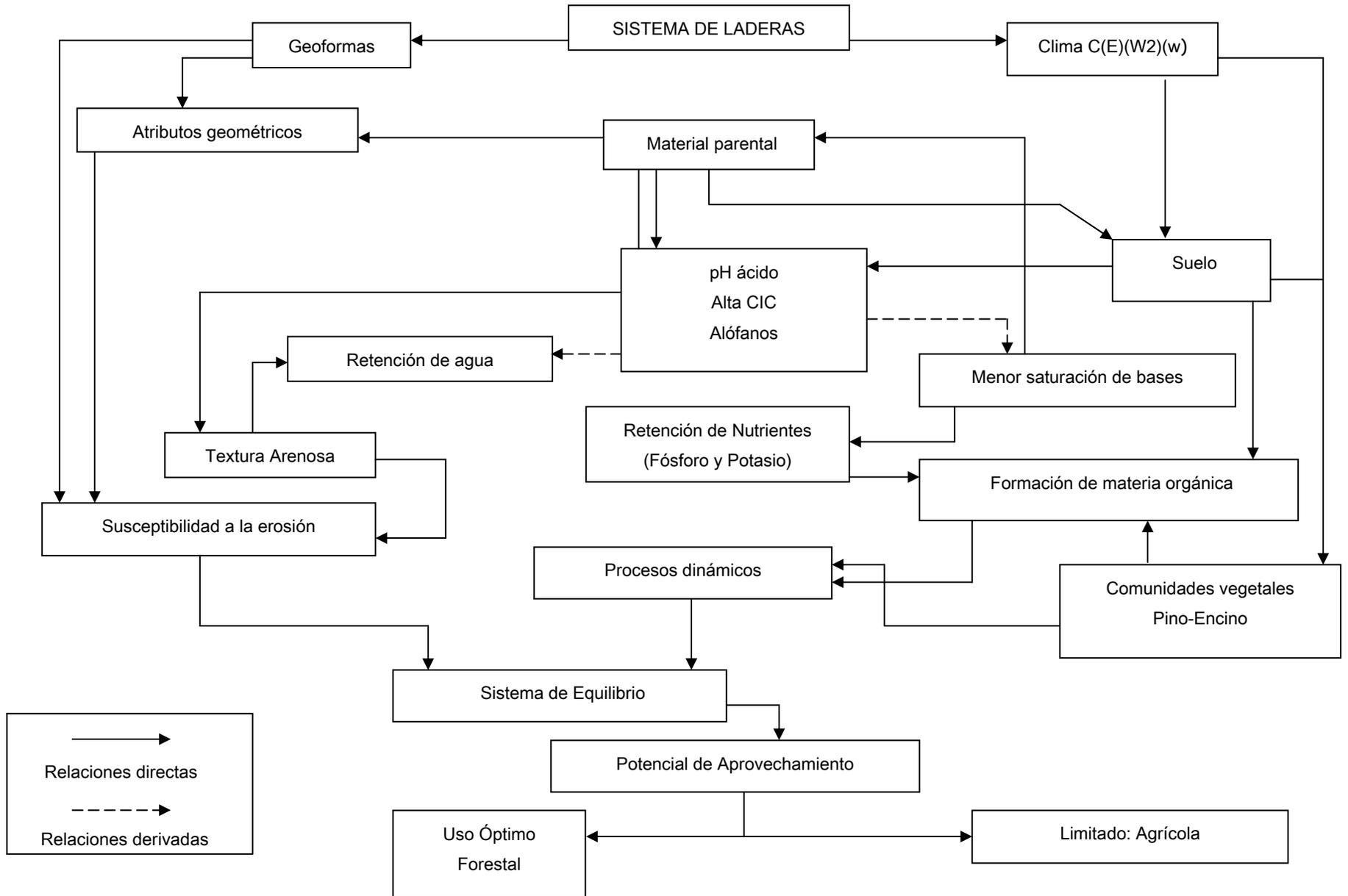
Para explicar esto se ha construido un cuadro por medio del cual se presenta una síntesis de las interacciones que se tomaron en cuenta para el análisis de las unidades morfoedáficas; en éste se advierte un orden jerárquico de interrelación considerado desde el punto establecido de las relaciones entre los geosistemas definido líneas arriba. La representación descrita ha sido construida con el propósito de ejemplificar los resultados obtenidos en la ladera Norte del Nevado de Toluca.

Como parte del proceso de interpretación se elaboró un mapa conceptual, en el cual se ejemplifica los tipos de relaciones que se producen en el sistema, los cuales pueden observarse en la página siguiente, y por último, se construyó un cuadro que representan a un grupo de variables con una relación directa denominada como estado inicial y una resultante de dicha relación; en este se enfatizan las relaciones que ocurren en el suelo encontrado en la zona de estudio.



RELACIONES ENTRE VARIABLES EN EL PROCESO MORFOGÉNICO Y PEDOGENÉTICO			
RELACIÓN ENTRE VARIABLES		PROCESOS PRODUCTO DE LA RELACIÓN A-B	
A	B	PROCESO GENERAL	SUB-PROCESO
Clima	Sustrato geológico	La pedogénesis avanza en profundidad sobre el material subyacente.	Formación del suelo a partir de una roca madre.
Sustrato geológico	Topografía	Vulcanismo y tectonismo.	Modelado de la geometría de las geoformas.
Topografía	Pendiente	Erosión-transporte-acumulación.	Pendientes fuertes, favorables a la morfogénesis, y desfavorables a la pedogénesis.
Historia geomorfológica	Condiciones lito-climáticas, drenaje y uso del suelo	Flujos de materia y de energía, introducida en el sistema.	Interacciones entre procesos que determinan el equilibrio del paisaje.
Suelo	Densidad y abundancia de vegetación	Incremento del contenido en materia orgánica y disponibilidad de nutrientes.	Modificación de la cobertura vegetal, por oscilaciones climáticas o acciones antrópicas.
Precipitación y cambios de temperatura	Propiedades físicas y químicas del suelo	Ablación generalizada en la superficie.	Procesos localizados de erosión hídrica. Desplazamiento de elementos solubles, por circulación del agua en el suelo.

Cuadro 4.4 Variables y procesos que propician el origen y desarrollo de la morfogénesis y la pedogénesis (Espinosa y Vilchis, 2006).





INTERPRETACIÓN DE RELACIONES		
VARIABLES	CONDICIÓN	
	INICIAL	RESULTANTE
Depósitos de ceniza	Presencia de (Al, Fe-alófono y complejos de Al/Fe-humus)	Contenidos altos de alófono y carbono orgánico.
	Presencia de Alófonos y Carbono Orgánico	Densidad aparente baja, con alta friabilidad y estabilidad de agregados, en su conjunto se desarrolla el proceso de andosolización.
	Depósitos de capas sucesivas	Perfiles poligenéticos y suelos policíclicos.
Material parental	No contiene feldspatos potásicos ómicas	El sodio, calcio y magnesio puede ser absorbido por las plantas, por los bajos niveles de potasio.
Clima	Semifrío húmedo	Presencia de los suelos más ácidos (pH).
Vegetación	Pino-Encino	Mayor contenido de materia orgánica y carbono orgánico.
Altitud	> 2500 msnm	Aumenta de manera irregular la acidez del suelo y la cantidad de materia orgánica.
Pendiente	A mayor pendiente	Las pérdidas de material son superiores a las ganancias y el suelo pierde espesor.
	A menor pendiente	Hay un aumento de espesor (mayor al suelo tipo) y el horizonte A se mantiene, aún con la presencia de escorrentía.
	A menor porcentaje de arcillas	Mayor fricción en el suelo.
Desarrollo del suelo	Bajo una cubierta vegetal bien desarrollada y consolidada	Presentan una alta calidad ambiental y funcionan como sistemas en equilibrio, activos y estables.

Cuadros 4.5.1 Criterios de interpretación y condiciones de la relación de variables morfoedáficas elaborado con base en criterios de INEGI 2004, NOM-021-RECNAT-2000, Shoji, 1985).



INTERPRETACIÓN DE RELACIONES		
VARIABLES	CONDICIÓN	
	INICIAL	RESULTANTE
pH	Valores < 5.0 Fuertemente ácido	Produce menor actividad microbiana y poco desarrollo de vegetación por la poca disponibilidad de micronutrientes del suelo.
	Valores entre 5.1 y 6.5 Moderadamente ácido	Produce mayor actividad microbiana y desarrollo de vegetación, mayor disponibilidad de micronutrientes del suelo. Más satisfactorios para la mayoría de las plantas por la asimilación de nutrientes y la actividad de microorganismos. Adecuada asimilación de hierro, manganeso, cobre, zinc, fósforo y boro.
Textura	A menor porcentaje de arcillas	Movimiento interno de aire y de agua con menor restricción.
Materia Orgánica	A mayor residuos de plantas y animales	Mejora la fertilidad y estructura del suelo, y evita los procesos erosión.
Capacidad de Intercambio Catiónico	A mayor porcentaje de Materia Orgánica y menor fracción de arcillas	Valores altos de capacidad de intercambio.
Porcentaje de saturación de bases	A mayor acidez del suelo	Disminuye el contenido de bases (calcio, sodio, magnesio y potasio).
	A mayor precipitación	pH y saturación de bases disminuyen.

Cuadros 4.5.2 Criterios de interpretación y condiciones de la relación de variables morfoedáficas elaborado con base en criterios de INEGI 2004, NOM-021-RECNAT-2000, Shoji, 1985).



De acuerdo con la información vertida en los cuadros y el mapa conceptual, se establece que el sistema presenta geoformas con pendientes que oscilan entre los 30° y 45° en las partes altas del volcán, sobre las cuales se desarrollan suelos denominados como andosoles alofánicos a partir de la intemperización de depósitos de cenizas volcánica rica en minerales de aluminio en un clima semi-frío subhúmedo.

Uno de los atributos físicos de los suelos se encuentra representado por una textura de tipo arenoso, donde el porcentaje del material constituyente rebasa el 48%.

De acuerdo con las características climáticas y meteorológicas determinadas por la intensidad y frecuencia de precipitación, las reacciones químicas propician un indicador de acidez promediado en un valor de 5, el cual permite desarrollar una alta capacidad de intercambio catiónico y una baja saturación de bases.

Estas condiciones favorecen la retención de agua y nutrientes para el desarrollo de materia orgánica, y en un orden superior, el medio apropiado para la colonización de comunidades vegetales caracterizadas por especies de pinos y encinos; ello representa para este sector baja susceptibilidad a la erosión, condiciones propicias para el desarrollo de materia orgánica; y condiciones genéricas que le permiten al sistema establecerse con características homeostáticas estables y una tendencia potencial de aprovechamiento.

c. Relación entre la geometría de las laderas

Como se estableció en la metodología, una de las formas de interpretación de resultados se circunscribe a la comparación de datos particulares entre las unidades morfoedáficas, considerando como eje de la comparación la geometría de las laderas.

En este orden de ideas se presentan a continuación dos cuadros con valores representativos que conformaron al Índice de desarrollo geomorfológico de seis unidades morfoedáficas y seis que corresponden al horizonte superior de las mismas con el objeto de compararlas; y por último, un cuadro que conjunta los parámetros obtenidos por tipo de geometría de ladera.



PARÁMETROS QUE COMPONEN AL IDG EN SEIS UNIDADES ESPECIALES DE MUESTREO, EJEMPLO: NEVADO DE TOLUCA							
UNIDAD MORFO EDÁFICA	ALTITUD EN METROS SNM	GEOMETRÍA	CONSOLIDACIÓN DEL SUSTRATO	PENDIENTE	DENSIDAD DE LA DISECCIÓN	RELACIÓN DE BIFURCACIÓN	IDG
1	3054	Cóncava	Deleznable	16	4	1.0	9
2	3187	Convexa	Deleznable	> 45	3	0.0	13
3	3650	Cóncava	Deleznable	16	3	0.0	9
4	3576	Convexa	Duro	29	3	0.0	11
5	3167	Convexa	Deleznable	16	3	0.0	8.5
6	3153	Cóncava	Medio	14	4	0.0	9.5

Cuadro 4.6 Principales atributos paramétricos de seis unidades morfoedáficas del sistema de laderas del Nevado de Toluca.

De acuerdo con la información concentrada en el último cuadro se advierten diferentes características representativas de las unidades morfoedáficas estudiadas; sobresalen entre otras la tendencia hacia condiciones de sustratos poco consolidados en las de tipo cóncavo, mientras que las del otro tipo representan mayor resistencia a los procesos de modelado, como se plantea en los modelos teóricos de geometría de vertientes.

Por su parte, las laderas convexas presentan los valores de pendiente más pronunciados, situación que se refleja en la presencia de horizontes superiores poco desarrollados; no obstante a esta condición, sobre estas laderas el desarrollo de materia orgánica es aunque incipiente de mayor importancia que en el caso de las laderas cóncavas.



PARÁMETROS EDÁFICOS COMPONEN AL SUELO EN SEIS UNIDADES ESPECIALES DE MUESTREO, EJEMPLO: NEVADO DE TOLUCA																	
UNIDAD ME	PROF. EN CM.	TEXTURA	DENSIDAD		PORCENTA JE POROSO	COLOR		PH		ALÓFANOS	MATERIA ORGÁNICA		CIC	Ca	Mg	Na	K
			REAL	APARENTE		SECO	HÚMEDO	AGUA	KCL		C. ORG.	% MO					
1	38	Arena franca	2.5	1.18	52.6	2.5Y4/3	10YR 2/2	5.8	5.3	Alto	1.2	2.1	14.5	6.7	0.0	0.69	0.27
2	18	Franco arenoso	2.1	0.78	63.0	2.5Y4/2	10YR 2/1	5.2	4.5	Muy alto	7.3	12.6	22.8	7.8	1.0	0.07	0.02
3	40	Arena franca	2.2	0.98	56.2	5Y 3/1	10YR 2/1	6.04	5.13	Muy alto	4.1	7.1	19.0	9.6	0.3	0.18	0.02
4	23	Arena franca	2.2	1.10	50.4	2.5Y 3/2	10YR 2/1	5.3	4.6	Muy alto	3.7	6.5	14.6	5.76	1.2	0.50	0.08
5	41	Franco arenoso	2.0	0.85	57.7	2.5Y 4/2	10YR 2/1	5.4	4.6	Muy alto	5.5	9.5	24.9	7.5	1.8	0.44	0.13
6	10	Arenosa	2.5	1.3	45.6	2.5y 6/3	10yr3/2	6.1	5.1	Muy alto	0.6	1.1	7.7	2.8	0.0	0.61	0.45

Cuadro 4.7 Parámetros del primer horizonte en seis unidades morfoedáficas.

PARÁMETROS DEL PRIMER HORIZONTE EN SEIS UNIDADES MORFOEDÁFICAS, EJEMPLO: NEVADO DE TOLUCA														
GEOMETRÍA	CONSOLIDACIÓN DEL SUSTRATO			PENDIENTE	Rb	PROFUNDIDAD	TEXTURA	DENSIDAD		PH	ALÓFANOS	MO		CIC
	DELEZ	DURA	MEDIO					R	A			c	%	
Cóncava	2	0	1	16	1.0	38	Af	2.5	1.18	5.3	A	1.2	2.1	14.5
				16	0.0	40	Af	2.2	0.98	5.1	Ma	4.1	7.1	19.0
				14	0.0	10	A	2.5	1.3	5.1	Ma	0.6	1.1	7.7
Convexa	1	2	0	45	0.0	18	Fa	2.1	0.85	4.5	Ma	7.3	12.6	22.8
				29	0.0	23	A	2.2	0.78	4.6	Ma	3.7	6.5	14.6
				16	0.0	41	fa	2.0	1.10	4.6	Ma	5.5	9.5	24.9

Cuadro 4.8. Parámetros del primer horizonte en seis unidades morfoedáficas.



Las unidades de suelo en las laderas presentan en conjunto la presencia de materiales no cristalinos como Al, Fe-alófono, así como complejos de Al/Fe-humus en donde la acumulación de carbono orgánico y sustancias húmicas en profundidad y en condiciones subácidas, permiten entre otras cosas alta retención de agua y fijación de fósforo, densidad aparente baja, alta friabilidad y alta estabilidad de agregados.

Asimismo, los valores de densidad aparente indican buena capacidad para el desarrollo de microorganismos y raíces, particularmente en las de tipo cóncavo; y de manera general, los bajos niveles de potasio, permiten que el sodio, calcio y magnesio pueda ser absorbido por las plantas.

La clasificación del suelo se encuentra descrita con base en la composición mineralógica en andosol alofánico y andosol no-alofánico; donde el primero presenta valores de pH entre 5 y 7, y está dominado por alófono, y el segundo corresponde a valores de pH de 5 ó menos y está dominado por Al-humus-silicatos y rico en materia orgánica.

De manera particular los suelos presentan características específicas, como las que se enuncian a continuación.

El espesor de los horizontes muestreados representan poco grado de desarrollo pedológico, en el cual se advierte diferentes etapas de desarrollo de horizontes; de tal manera, que las laderas cóncavas presentan el mayor promedio de desarrollo con 29 centímetros mientras que las otras alcanzan los 27 en promedio.

El color del suelo se relaciona con el origen aeróbico del mismo y representa porcentajes pobres de materia orgánica que oscilan alrededor de un 3% en laderas cóncavas y de 9.5% en las convexas, así como de carbono orgánico en la misma correspondencia con valores de 1.9 y 5.5.

Asimismo, se reconoce que la textura es una de las propiedades más importantes para conocer la susceptibilidad del suelo a diferentes procesos de desarrollo, evolución y



erosión; en este sentido los parámetros texturales representan una fuerte tendencia hacia las arenas francas, indicando entre otras cosas, condiciones de hidrofobia en los suelos al presentarte éstos descubiertos durante la ocurrencia de procesos como el efecto de *splash* al estar desprovistos de cobertura vegetal.

Durante el proceso pluvial y fluvial, las muestras texturales indican inclinación al desarrollo erosivo hídrico; sin embargo, al mismo tiempo poseen capacidad para infiltrar agua en el suelo; situación que relaciona de manera colateral con la permeabilidad, el aireamiento, el movimiento interno del agua dentro de los perfiles y el volumen del espacio poroso.

De acuerdo con los datos referidos, se establece que el espacio poroso en las unidades de laderas tiende a ser muy alto con valores promedio de 51.4% en las laderas cóncavas y de 57.1 en las convexas.

Por lo que refiere a la densidad real y aparente, se obtienen promedios de 2.4 y 2.1 en laderas cóncavas y convexas de manera respectiva para el primer caso; y de 1.15 y 0.91 para el segundo; lo que representa pocas condiciones para la estructuración del suelo y el dominio mineral de los horizontes.

Por lo que respecta a los valores de pH se observa que las laderas de geometría cóncava presentan valores de 5.16 mientras que las convexas de 4.56, mientras que la Capacidad de intercambio catiónico es menor en el primer tipo de ladera con 13.7 y mayor en el segundo con 20.7.

Por otra parte, y con referencia al grupo de los alófanos, éstos representan en general valores muy altos que se relacionan con la retención de iones fosfatos en el proceso de nutrición de fósforo; asimismo, retienen altas cantidades de agua y promueve la saturación de bases.

Por último, y con referencia a los elementos presentes en el suelo y los efectos que éstos generan, se establece que el calcio se ha encontrado en proporciones de 6.3 y 7.0 en los



grupos cóncavos y convexos respectivamente; la importancia de este elemento radica en que éste es absorbido por las plantas en su forma catiónica y es parte constituyente de las sales en la solución del suelo, además de formar sales con los ácidos orgánicos e inorgánicos del interior de las células, regulando la presión osmótica de la misma.

Los valores bajos de este elemento, así como su ausencia, representan una menor capacidad de síntesis de proteínas en la plantas, menor desarrollo radical, clorosis marcada en hojas principalmente jóvenes, poco crecimiento de los tallos y hojas, produciéndose además la muerte de los meristemas, por lo que la planta se muestra menos crecida y desarrollada (Porta *et al.*, 2003).

Otro elemento que ha encontrado valores bajos en las laderas de estudio es el magnesio, el cual es representado con valores de 0.1 en las laderas cóncavas y de 1.3 en las convexas. De acuerdo con el último autor, resulta importante definir que éste elemento en el suelo contribuye a la absorción y transporte de las funciones bioquímicas; en la clorofílica y pH celular; además activa las enzimas y realiza la transferencia energética; en el caso de una deficiencia de magnesio los efectos serían morfológicos, anatómicos, celulares y metabólicos.

Por su parte, el sodio encontró valores bajos en las laderas cóncavas y convexas comprendidos entre 0.49 y 0.33; se considera que este elemento es esencial debido a que se comporta como un nutriente mineral estimulador del crecimiento de las plantas; por lo que la deficiencia de éste provoca los mismos efectos que la ausencia de magnesio y; por último, en la misma secuencia de laderas el potasio registra valores de 0.24 y 0.07; la importancia de este elemento radica en que interviene en la síntesis de azúcar y almidón, el traslado de azúcares, síntesis de proteínas y en la estimulación enzimática (Porta *et al.*, 2003).

De acuerdo con este autor, las deficiencias de potasio ocasionan los siguientes trastornos: disminución de la fotosíntesis, disminución del traslado de los azúcares a la raíz, acumulación de compuestos orgánicos que contienen nitrógeno, inhibe la



síntesis de proteínas, inicia los procesos de muerte celular y de tejidos, es decir la necrosis de los tejidos vivos, promueve la susceptibilidad al ataque de los hongos pues disminuye la presión osmótica de las células, favoreciendo la entrada de los patógenos.

d. Relación de rupturas de pendiente con perfiles geomorfológicos

Por último, los resultados se sometieron a una interpretación en el marco del perfil geomorfológico basado en una primera instancia en la ecuación de Criastofletti y Tavares (1977; *cfr.* Ortiz, 1990).

La representación gráfica del mismo permite la interpretación fisiográfica del sistema de laderas; debido a que éste exhibe valores de las variables que conforman el paisaje. En éste, como se observa a continuación, se representa la geometría del relieve, el sustrato, tipo de suelo, clima y uso del mismo.

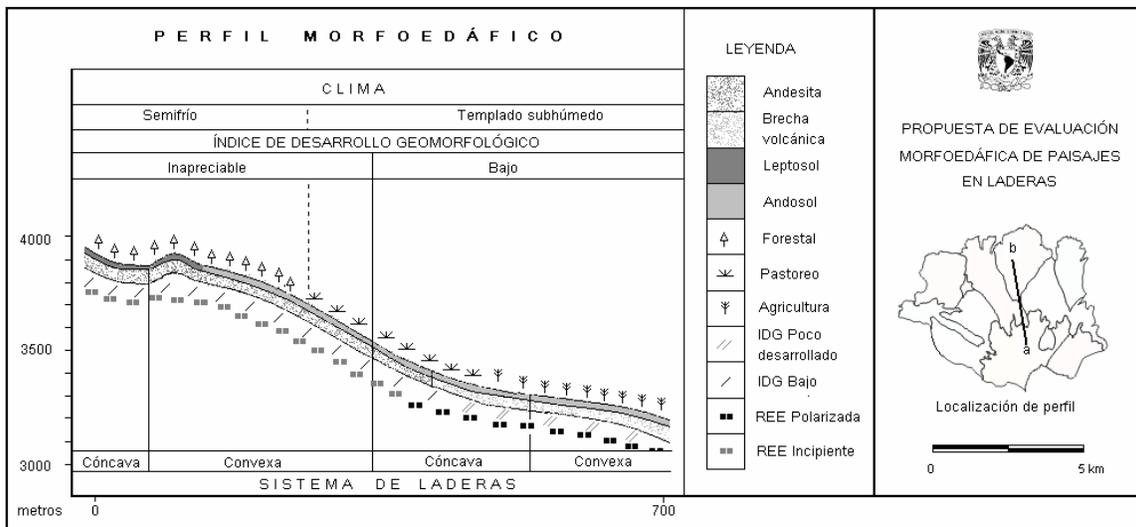


Figura 4.1 Perfil morfoedáfico ideal de un sector del Nevado de Toluca.

De acuerdo con las ideas anteriores, a continuación se establece lo siguiente:



- Al aplicar la fórmula del Índice de rompimiento de pendiente; al sustituir los valores y realizar las operaciones correspondientes se obtiene que $R_p = 15 \times 100 / 700$; se obtiene que el perfil posee un valor de 2.14. Si bien este valor es bajo, representa una secuencia de rompimientos que favorecen el desarrollo no lineal de procesos genéticos de suelo y de geoformas a lo largo del transecto.
- La mayor parte de rupturas se presentan en las laderas convexas, implicando con ello la potencialidad de desarrollo de geoformas erosivas a través de la dinámica fluvial que desarrolla saltos y erosión diferencial al encontrarse con un sustrato rocoso más débil.
- Es por ello, que la alternancia de rocas se considera como un factor determinante en el proceso de degradación superficial de las mismas en combinación con las variables climáticas.
- Existe una correspondencia entre el tipo de geometría de ladera; encontrándose que en las de tipo cóncavo se desarrollan los suelos de tipo catodafogénicos y los antropizados en las partes más bajas relacionados con actividades inadecuadas, tales como la agricultura y pastoreo.

APORTES DE LA INVESTIGACIÓN

Por último, se enfatizan algunos de los aportes significativos en la presente investigación.

En primer plano se considera la construcción de un concepto y método original que considera como base los elementos teóricos y metodológicos de dos disciplinas, los cuales al integrarse generan un nuevo paradigma en el campo de las ciencias del paisaje.



Este nuevo paradigma cimienta sus bases en un proceso de autopoiesis caracterizado por el establecimiento de fronteras nuevas en campo de investigación y aplicación; el cual se encuadra en los planteamientos teóricos y metodológicos de la Geografía del Paisaje.

El proceso de construcción referido se basa en una estructura cognitiva que se generó a través de un proceso de reflexión interdisciplinaria que abarcó el estudio de métodos, estructura, componentes y alcances de la Geomorfología y la Geografía del suelo; todo ello con el propósito de alcanzar propuestas y soluciones en el estudio del paisaje y de la Geografía.

Al establecer la correspondencia entre las disciplinas que conforman a la Morfoedafogénesis cabe resaltar la construcción de la matriz que enlaza las variables de estudio geomorfológico y edáfico. Los productos de la correlación encontrados además de mostrarse de forma explícita, fueron analizados desde una perspectiva de integración multivariable basada en conceptos de estadística que ha confirmado el proceso de integración disciplinaria.

Por otra parte, resalta la visualización diacrónica de las variables de la investigación y la perspectiva ecética de la misma; así como la generación de índices como el de desarrollo geomorfológico y la Relación de equilibrio edáfica.

Por lo que refiere al método empleado, se establece que ha logrado medir los parámetros deseados. El instrumento expuso capacidad de adaptación en cada uno de los sistemas de muestreo; por lo que abre la posibilidad uso y desarrollo en cualquier otro espacio que cumpla condiciones semejantes a las estudiadas.

En todos los casos, el modelo de representación e interpretación morfoedáfica ha generado un abanico de interpretación en el cual sobresale la relación lineal entre desarrollo geomorfológico y relación de equilibrio edáfico; la relación entre la geometría de las laderas y por último la relación de rupturas de pendiente con perfiles geomorfológicos.



Por último, se destaca la disertación acerca de la aplicación de la morfoedafogénesis desde diferentes posiciones teóricas y en la solución de problemas específicos del territorio.



GLOSARIO

Alófono. Refiere a materiales altamente desordenados, aluminosilicatos y paracristalinos. Se presentan en ellos los enlaces entre Si-O-Al.

Cataedafogenético. Se clasifican bajo este criterio las unidades edáficas *in situ* que presentan cambios que no muestran estabilidad por la pérdida de nutrientes.

Diagnosís. Denominada como diagnóstico de potencialidad al confrontar determinadas funciones con las características de capacidad que presentan las distintas unidades ambientales para acogerlas. Estas unidades vienen definidas a su vez por la evaluación de diversos datos estructurales del paisaje.

Ecético. Término proveniente de la escuela española de Geografía del suelo que refiere a la capacidad de acogida o vocación de uso de suelo que posee un territorio de acuerdo con las características fisiográficas y físico químicas de éste.

Epigeósfera. Se define como esfera de los paisajes; en su totalidad y en sus conjuntos estructurados a diferentes escalas se adapta al modelo geosistema. Presenta características específicas que permiten distinguirlas de las diferentes esferas de la Tierra.

Hemerobia. Término utilizado en ciencias ambientales para determinar el grado de naturalidad o degradación de un paisaje. La aplicación describe grados de afectación antropogénica y tecnogénica.

Heurística. Método para describir hechos valiéndose de hipótesis o principios que, aún no siendo verdaderos, estimulan la investigación. Se considera como la capacidad de un sistema para realizar innovaciones positivas a breve plazo; en el hombre representa la su capacidad de inventiva y resolución de problemas inesperados a partir de relativamente pocos datos previos en la memoria.



Estructura horizontal. En un geosistema está constituida por un mosaico de geofacies, cada una de las cuales presenta una secuencia de geohorizontes determinada. Presenta variaciones de los estados en relación con determinadas entradas de energía. La disminución o la entrada de otras energías conducen a la formación de facies, mientras que la desaparición de estas entradas conduce a la homogeneización de todo el sistema.

Estructura vertical. Esta formada por diversas esferas geográficas o geosferas. Estas consisten en esferas de tierra que se disponen de manera circular, aproximadamente simétrica a su centro, estando formadas principalmente por sustancias que se encuentran en el mismo estado físico; estas pueden ser de tipo simple, funcional y compleja.

Prognosis. Permite adelantar desde un primer análisis del paisaje posibles comportamientos del mismo y por tanto, dirigir dichos estudios dinámicos y empezar a pautar la síntesis o prevención de impactos en la zona.

Síntesis. Se define en ciencia del Paisaje como prevención de impactos, sean naturales o antrópicos.

Suelos de remoción. Refiere a todos aquellos suelos que se han formado a través de procesos de acumulación de materiales provenientes de procesos relacionados con la estabilidad de vertientes.

Suelos de subsidencia. Se agrupan suelos desarrollados en zonas con pendientes suaves por transporte de materiales debido a hundimientos del terreno.

Suelos tectónicos de levantamiento tectónico lento. Refiere a todos aquellos suelos que se han formado a través de procesos de acumulación de materiales provenientes de procesos gravitacionales generados por ascensos de origen tectónico.

Tixotropía. La reotropía o tixotropía es la propiedad de cambiar a una consistencia más fluida (sol) bajo acción de una fuerza, de forma que al desaparecer ésta, el sistema vuelve progresivamente a un estado más rígido o menos fluido (semisólido o gel). Es un proceso isoterma, reversible, que no implica cambio de composición ni de volumen y mediante el cual tras un período de reposo, el material se hace firme, para reblandecerse o licuarse cuando se remodela.



BIBLIOGRAFÍA DE REFERENCIA

- Arcía G. 1994. Geografía del medioambiente. Una alternativa del ordenamiento ecológico Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, México. 289p.
- Bak P., C. Tang, and K. Wiesenfeld. 1988. Self-organized criticality. *Physical review* 38: 364-374.
- Baron J. ed. 2002. The background of environmental change. In: *Rocky Mountain Futures. An ecological perspective*. Island press. London.
- Bautista F., Delgado C. Díaz S., Castillo M. y Estrada H. 2004. Distribución y desarrollo de suelos en zonas de karst tropical. Artículo en extenso en: III Seminario Latinoamericano de Geografía Física. Instituto de Geografía, UNAM. Universidad de Guadalajara e Instituto Nacional de Ecología. Jalisco, México.
- Barrera N. 1989. El balance morfogénesis-pedogénesis de una cuenca lacustre del Eje Neovolcánico Transmexicano: la Región Natural de Pátzcuaro, Michoacán. En: *La morfoedafología en la ordenación de los paisajes rurales: Conceptos y primeras aplicaciones en México*. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos, Xalapa, Veracruz.
- Barrera N. y Winkler A. 2001. "Perspectivas locales en la conservación de las tierras en Latinoamérica: evidencias en Brasil y México" In: *proceedings of the International Symposium of Land Degradation and Desertification*. IGU, Commission on Land Degradation and Desertification. Institute of Geography, Institute of Ecology, Institute of Anthropology. Nacional, Autonomus University of Mexico. Mexico City, Patzcuaro, Michoacan.
- Bertrand, G. 1968. Paysage et Géographie physique globale. Esquisse méthodologique. *Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest* t.39, n. 3, pp. 249-272.
- Bertrand, G. 1979. Le géosisthème ou Systhème territorial naturel. *Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest*. Toulouse, 1979, n. 49, p.168.
- Birkeland P.W. (1999) "Soil and geomorphology". 3rd edition. Oxford University Press, New York–Oxford.
- Bocco G. 1996. Regionalización ecológica: Una herramienta para el ordenamiento del territorio y la sostenibilidad de desarrollo. Centro de Ecología UNAM. México.
- Bolós M. 1981. Problemática actual de los estudios del paisaje, Universidad de Barcelona, Barcelona.



- Bolós M. 1991. Manual de ciencia del Paisaje, ed. Masson Barcelona.
- Bollo M. y Mateo J. 2004. La Geografía Física en la planificación ambiental: el ejemplo del territorio de ciudad de La Habana. Artículo en extenso en: III Seminario Latinoamericano de Geografía Física. Instituto de Geografía, UNAM. Universidad de Guadalajara e Instituto Nacional de Ecología. Jalisco, México.
- Briones G. 1995. Métodos y técnicas de investigación para las ciencias sociales. Ed. Trillas. México D.F.
- Burrough A. 1981. Fractal dimension of landscape and other environmental data. Nature 294: 241-243.
- Cabrera J. 1995. Un análisis integral de Balance Morfogénesis Pedogénesis para la determinación de la estabilidad geodinámica de los paisajes. En: Memorias del Encuentro de Geógrafos de América Latina. La Habana Cuba.
- Campos A. 1989. Los medios penestables: Procesos morfodinámicos en una unidad morfoedafológica, Municipio de Cosautlán, Veracruz. En: La morfoedafología en la ordenación de los paisajes rurales: Conceptos y primeras aplicaciones en México. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos, Xalapa, Veracruz.
- Canacher A. 2001 a. "The role of Geomorphology in catchment management" In: proceedings of the International Symposium of Land Degradation and Desertification. IGU, Commission on Land Degradation and Desertification. Institute of Geography, Institute of Ecology, Institute of Anthropology. Nacional, Autonomus University of Mexico. Mexico City, Patzcuaro, Michoacan.
- Canacher A. 2001 b. The role of Geomorphology in integrated catchment management. In: Selected Topics in Geomorphology. Institute of Geography, National, Autonomous University of Mexico. Mexico City.
- Carbajal J. 2004. Geomorfología kárstica de la Carta Quechultenango, E14C39. Tesis de Licenciatura en Geografía. FG. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca. 140p.
- Cieszewska. A. 2004. Application of landscape structure models in planning, Poland case studies. En: Especificidades socioespaciales en el ordenamiento territorial. Universidad Autónoma del Estado de México. México, 48-65p
- Cotler H. 2003. El uso de la información edáfica en los estudios ambientales. En: Gaceta ecológica No. 68. Instituto Nacional de Ecología. SEMARNAT, México. pp 33-42.



- Cram S., Cotler H., Carmona E., Sommer I. y Rivas H. 2004. Evaluación del paisaje urbano en la Ciudad de México y el papel que desempeña el suelo. Artículo en extenso en: III Seminario Latinoamericano de Geografía Física. Instituto de Geografía, UNAM. Universidad de Guadalajara e Instituto Nacional de Ecología. Jalisco, México.
- Cristofolletti A. y Tavares A. 1977. Analise de vertentes: caracterizacáo de correlacáo de atributos do sistema en noticia geomorfológica. Departamento de Geografía de la Universidade Católica de Campinas. Vol 17. No. 34. pp 65-93.
- Davidson, D. 1992. The Evaluation of Land Resources. Second ed. London, United Kingdom: Longman Scientific and Technical, Longman Group.
- De Groot R. 1994. Environmental Functions and The Economic Value of Ecosystems in Investing in Natural Capital (Ann M. Janssen *et.al.*, Coods.) Island Press, Washington, pp. 151 – 158.
- Densmore A.L., Anderson R.S., McAdoo B.G. y Ellis M.A. (1997) "Hillslope evolution by bedrock landslides" Science 275, pp. 369-372.
- Dent D. and A. Young. 1981. Soil Survey and Land Evaluation. First ed. Norwich, Uk.: George Allen & Unwin LTD. 278.
- D'Luna A. 1995. Evaluación del paisaje para el ordenamiento territorial en el área de conservación "La Esperanza", Guanajuato. Tesis para optar por el grado de Maestro en Geografía. Facultad de Filosofía y Letras, División de Estudios de Posgrado. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Drew D. 1986. Procesos interactivos Hommem-meio Ambiente. Diffel S.A. Sao Paulo.
- Espinosa L, Rodríguez B., Franco R, Franco S. y Lexema P. 2003. Los servicios ambientales, una propuesta integral de desarrollo. En: Foro de Investigación. Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, México.
- Espinosa L. 2005. Morfoedafogénesis: un concepto renovado en el estudio del paisaje. En: Ciencia Ergo sum. Ciencias de la Tierra y la Atmósfera. Vol. 12-2. Julio-Octubre 2005. pp 162-166.
- Espinosa L. y Vilchis I. 2006. Evaluación morfoedáfica en escala grande. Caso de estudio en el volcán Nevado de Toluca. En: Ciencia Ergo sum. Ciencias de la Tierra y la Atmósfera. (En revisión).



- ESRI. 1996. "Avenue, Customization and Application Development for ArcView GIS. Using Avenue". Editorial ESRI. United States of America.
- European-Landscape-Convention. 2002. European Landscape Convention and its Explanatory Report. <http://www.nature.coe.int/english/main/landscape/conv.htm> Council of Europe's Committee.
- FAO, 1985. Directivas: Evaluación de tierras para la agricultura en Secano. Ed. FAO. Roma, Italia. 224 p.
- Faculty of Geography and Regional Studies of the Warsaw University (FGRSWU), 1994. Landscape research and its applications in environmental management.
- Faculty of Geography and Regional Studies of the Warsaw University (FGRSWU), 1998. Landscape transformation in Europe: practical and theoretical aspects. Polish Association for Landscape Ecology, IALE.
- Farshad A. and Barrera N. (2001). The historical anthropogenic land degradation as related to agricultural systems, case studies of Iran and Mexico. In: proceedings of the International Symposium of Land Degradation and Desertification. IGU, Commission on Land Degradation and Desertification. Institute of Geography, Institute of Ecology, Institute of Anthropology. Nacional, Autonomus University of Mexico. Mexico City, Patzcuaro, Michoacan.
- Farshad, A., 2003. Soil (Land) scape study in the framework of Landscape Ecology. Lecture notes for soils specialization modules. Enschede, The Netherlands: International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation (ITC). 35
- FB-IDEE. 1996. Manual de Cuentas Patrimoniales. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Oficina Regional para América Latina y el Caribe / Fundación Bariloche / Instituto de Economía Energética. México, 1996. 234 pp.
- Feldman S.B., Zelazny L.W. y Baker J.C. (1991) "High-elevation forest soils of the southern Appalachians: I. Distribution of parent materials and soil-landscape relationships" *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 55, pp. 1629-1637.
- Forman T. and. Godron R. 1986. Landscape ecology. J. Willey and Sons. London.
- Fuentes E., Marín B., Krasilnikov P., y García N. 2004. La distribución de los suelos en el transecto del Eje Neovolcánico hasta los valles de Veracruz. Artículo en extenso en: III Seminario Latinoamericano de Geografía Física. Instituto de Geografía, UNAM. Universidad de Guadalajara e Instituto Nacional de Ecología. Jalisco, México.



- Furian S. 1995. Morfogénesis e Pedogénesis em meio tropical umido: uma contribucao para o estudo de procesos atuais de vertentes. En: Memorias del Encuentro de Geógrafos de América Latina. La Habana Cuba.
- Franco R., Espinosa L., Pineda N. y Reyes A. 2005. Cartografía geomorfológica automatizada para el análisis territorial. En: 4º Coloquio Geográfico Sobre América Latina. Universidad Autónoma del Estado de México.
- García A. 2001. evolution of disturbed oak woodlands: the case of Mexico City's western forest reserve. In: The Geographical Journal. Vol. 167 No. 1 March pp 72-82.
- García A. y Muñoz J. 2002. El paisaje en el ámbito de la Geografía. En: Temas selectos de Geografía de México, III. Métodos y técnicas para el estudio del territorio. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Garrido A. 2004. Developing a GIS-oriented method for landscape evaluation within the framework of Geopark launched by UNESCO. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation. Enschede. The Netherlands.
- Gaucher G. 1967. Les conditions de pédogénèse dans la partie septentrionale du littoral sénégalais. Pédologie XVII. En: La morfoedafología en la ordenación de los paisajes rurales: conceptos y primeras aplicaciones en México. INIREB-ORSTOM, Instituto de Ecología A.C. Xalapa, Veracruz.
- Gaucher 1972. Les sols dans le paysage et leur aménagement. Méthodologie, cartographie et travaux de service d'étude des sols, Institut National de la Recherche Agronomique, Montpellier.
- Geissert D. 1987. Introducción. En: La morfoedafología en la ordenación de los paisajes rurales: Conceptos y primeras aplicaciones en México. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos, Xalapa, Veracruz.
- Geissert D. 1991. Les tepetates de Xalapa, Veracruz, Mexique. Une induration pédologique dans des sols d'origine volcanique. Effets sur le paysage et chronologie du phénomène. Cahiers ORSTOM, Série Pédologie, vol. XXVI, No 3, 242-249.
- Geissert D. 1992. Los tepetates de Xalapa, Veracruz, México: relación con el relieve modelado actual y esquema cronológico. Revista Terra, vol. 10, No especial, 221-225.



- Geissert D., Dubroeuq D. 1995. Influencia de la geomorfología en la evolución de suelos de dunas costeras en Veracruz, México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía UNAM, No Especial 3*, pp. 37-52.
- Gobierno del Estado de México. 1996. Atlas ecológico de la cuenca alta del río Lerma. Estado de México.
- Geissert D. y Ramírez M. 2004. Variación espacial de la susceptibilidad a la degradación del suelo en laderas montañosas. Artículo en extenso en: III Seminario Latinoamericano de Geografía Física. Instituto de Geografía, UNAM. Universidad de Guadalajara e Instituto Nacional de Ecología. Jalisco, México.
- Gómez S. y Edneida R. 1989. Características pedogenéticas do Brejo do Serra dos Cavalos-Carvaru-PE-Brasil. En: *Memorias del Encuentro de Geógrafos de América Latina*. Montevideo Uruguay.
- Graham R.C., Herbert B.E. y Ervin J.O. (1988) "Mineralogy and incipient pedogenesis of Entisol in anorthosite terrane of the San Gabriel Mountains, California" *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 52, pp. 738-746.
- Graham R.C. y Buol S.W. (1990) "Soil-geomorphic relations on the Blue Ridge Front: II. Soil characteristics and pedogenesis" *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 54, pp. 1367-1377.
- Gutiérrez R. 1989. Morfoedafología del Totonacapan con énfasis en los aspectos geomorfológicos. En: *La morfoedafología en la ordenación de los paisajes rurales: Conceptos y primeras aplicaciones en México*. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos, Xalapa, Veracruz.
- Gvozdietskiy N. 1979. Problemas principales del la Geografía Física. (En ruso). Ed. Escuela Superior de Moscú. 222 p.
- Hasse G, 1978. Zur Ableitung und Kennzeichnung von Naurpotentialen. *Peterm Geogr. Mití, Gontha*, vol 122. Num. 2 pp. 125-133.
- Homann P.S., Solins P., Chappell H.N. y Strangenberg A.G. (1995) "Soil organic carbon in a mountainous, forested region: relation to site characteristics" *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 59, pp. 1468-1475.
- Hunckler R.V. y Schaetzi R.J. (1997) "Spodosol development as affected by geomorphic aspect, Borada County, Michigan" *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 61, pp. 1105-1115.
- Huizing, H., A. Farshad, and Kd. Bie. 1995. Land Evaluation (Land Use System Evaluation). Lecture notes for the LELUP Module. Enschede, The Netherlands: International Institute for Aerospace and Earth Sciences. 82.



- IALE. Faculty of Geography of Warsaw University; Polish Association for Landscape Ecology. 2004. Landscape ecology as a discipline combining investigations on natural environment. In: Landscape research and its applications in environmental management. Warsawa.
- Instituto Nacional de Geografía, Estadística e Informática (INEGI) 1998. Carta Topográfica y Geológica Nevado de Toluca, E14A47, México.
- Instituto Nacional de Geografía, Estadística e Informática (INEGI) 1998. Carta Topográfica y Geológica Tepeji del Río, E14A18, México.
- Instituto Nacional de Geografía, Estadística e Informática (INEGI) 1998. Carta Topográfica y Geológica Villa de Allende, E14A36, México.
- Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática 2004. Información Nacional sobre perfiles de suelo. Versión 1.2. México.
- Isachenko A. and J. Masey. 1973. Principles of Landscape Science and physical-geographic Regionalization. Melbourne, Australia.: Melbourne University Press.
- Isachenko A. 1976. "Investigaciones del paisaje y optimización del medio Geográfico" en: Documentos del Instituto de Geografía de Siberia y Lejano Oriente. Siberia, Unión Soviética. (en ruso).
- Jasso C., Sedov S., Solleiro E. y Gama J. 2002. El desarrollo de los paleosuelos como índice de la estabilidad del paisaje. Un ejemplo del centro de México. En: Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. No. 47 pp. 20-35.
- Jiménez L. 2001. Desarrollo sostenible y Economía Ecológica. Integración medio ambiente - desarrollo y economía - ecología, Síntesis Economía, Madrid, 365 pp.
- Juárez A. y Gallegos A. 2004. El papel del suelo en la estabilidad de la vertiente de las Sierras Las Vigas-El Tecuán. Artículo en extenso en: III Seminario Latinoamericano de Geografía Física. Instituto de Geografía, UNAM. Universidad de Guadalajara e Instituto Nacional de Ecología. Jalisco, México.
- Kerlinger F. 1997. Investigación de comportamiento. Tercera edición. Mc Graw Hill Interamericana de México S.A. de C.V. México D.F.
- Killian J. 1972. Les inventaires morphopédologiques. Conception. Application au développement agricole. L'Agronomie tropicale Vol. XXVII p 930-938. France.



- Killian J. (1973) Etude du milieu physique en vue de son aménagement conceptions de travail. Méthodes cartographiques. L'Agronomie Tropicale Vol. XXIX. 153 pp.
- King Ch. 1984. Geografía Física, ed. Oikos Tau. Barcelona.
- Krasilnikov P., García N. y Torres C. 2004. Procesos edáficos y geomorfológicos en la formación del mosaico de suelos en las laderas de la Sierra Sur de Oaxaca. Artículo en extenso en: III Seminario Latinoamericano de Geografía Física. Instituto de Geografía, UNAM. Universidad de Guadalajara e Instituto Nacional de Ecología. Jalisco, México.
- Krummer J., R. Gardner, G. Sugihara, R. O'Neill and P. Coleman. 1987. Landscape patterns in a disturbed environment. Oikos 48: 321-324.
- Lugo J. 1988. Elementos de Geomorfología Aplicada. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Mackinnon, J.a.K., G. Child, and J. Thorsel. 1986. Managing Protected Areas in the Tropics. Cambridge, UK.: International Union for Conservation of Nature and Natural Resources and the United Nations Environmental Program. 295.
- Malucelli F., Terribile F. y Colombo C. 1999. Mineralogy, micromorphology and chemical analysis of andosols on the Island of Sao Miguel (Azores). Geoderma, Elsevier, The Netherlands. Pp 73-98.
- Marsh M. 1991. Landscape planning: environmental applications. ed. J. Willey, New York.
- Martínez M. y Robles J. 2002. Levantamiento de suelos a nivel general del municipio de Zinacantepec, con el fin de obtener las unidades Tipo de Utilización de la Tierra TUT. Tesis de Licenciatura en Geografía. FG. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca. 125p.
- Martínez G. 2003. Carta geomorfológica E14A18. Caracterización geomorfológica de la carta Chilpancingo Tesis de Licenciatura en Geografía. FG. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca. 140p.
- Martínez E. 2004. Caracterización geomorfológica de la carta Chilpancingo E14-C28. Tesis de Licenciatura en Geografía. FG. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca. 140p.
- Mateo J. 1984. Apuntes de Geografía de los Paisajes, Universidad de La Habana, La Habana.



- Mateo J. 1985. *Geoecología de los Paisajes*. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela.
- Mateo J. y Ortiz M. 2001 a. "La degradación de los paisajes como concepción teórico-metodológica" In: *proceedings of the International Symposium of Land Degradation and Desertification*. IGU, Commission on Land Degradation and Desertification. Institute of Geography, Institute of Ecology, Institute of Anthropology. Nacional, Autonomus University of Mexico. Mexico City, Patzcuaro, Michoacan.
- Mateo J. y Ortiz M. 2001 b. "La degradación de los paisajes como concepción teórico-metodológica" En: *Serie Varia Nueva Época*, No. 1. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- McKnight T. 1980. *Physical Geography and landscape appreciation*, ed. Willey. New York.
- Mackinnon K., G. Child and Thorsel, 1986. Cambridge UK: International Union for Conservation of nature and Natural Resources and the United Nations Environmental Program. 295
- Mandelbrot B. 1983. *The fractal geometry of nature*. W. H. Freeman. New York.
- Mayer L. 1992. Some comments on equilibrium concepts and geomorphic systems. In: *Geomorphology* 5. Elsevier Science Publishers B. V., Amsterdam. 277-295.
- Mician L. The function of the regional geography and landscape ecology in regional or sustainable development. In: *Landscape transformation in Europe: practical and theoretical aspects*. Polish Association for Landscape Ecology, IALE. Faculty of Geography and Regional Studies of the Warsaw University (FGRSWU), 1998.
- Milne T. 1988. Measuring the fractal geometry of landscapes. *Applications in mathematics and computation* 27: 67-69.
- Milne T., A. Johnson, H. Keitt, C. Hatfield, J. David and P. Hraber. 1996. Detection of critical densities associates with pinon-juniper woodland ecotones. *Ecology* 77: 805-821.
- Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica, MIDEPLAN (1998) Informe Final del Documento sobre Servicios Ambientales. Propuesta de Gobierno para el Proceso de Concertación. Foro de la Concertación Sistema Integral de Redistribución por Servicios Ambientales, MIDEPLAN, Gobierno de la República de Costa Rica.



- Mireles P. 2001. Levantamiento de suelos de la subcuenca del río Mayorazgo, Estado de México. Tesis para optar por el Grado de Maestro en Ciencias (Edafología). Facultad de Ciencias, División de Estudios de Posgrado, Universidad Nacional Autónoma de México. México, Distrito Federal.
- Moss M. 1994. Theory and methodology of landscape ecological researches. In: Landscape research and its applications in environmental management. Faculty of Geography of Warsaw University; Polish Association for Landscape Ecology. Warsaw. IALE. 1994.
- Mooser F., Montiel A. Y Zúñiga A. 1996. Nuevo mapa geológico de las cuencas de México, Toluca y Puebla. Estratigrafía, tectónica regional y aspectos geotérmicos. Comisión Federal de Electricidad. México.
- Munasinghe, Mohan. (1993) Environmental Economics and Sustainable Development. World Bank Environmental Papers, Number 3.
- Naveh Z. and Lieberman A. 1984. Landscape ecology: theory and application. ed. Springer, New York.
- Novaes M. 1987. Unidades geomorfológicas e Análisis Ambiental. En: Memorias del Encuentro de Geógrafos de América Latina. Brasil.
- NOM-021-RECNAT-2000. SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales) 2002. Norma Oficial Mexicana, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Diario Oficial de la Federación, 31 de diciembre de 2002. Segunda Sección, pp.1-75.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. FAO. 1981. A framework for land evaluation-FAO Soils bulletin 32, Second printing, (Electronic Document) ed 1981, Rome. Food and Agriculture Organization of the United Nations- Land and Water Development Division.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. FAO. Land Evaluation for Development. 1983. Rome. Food and Agriculture Organization of the United Nations-Land and Water Development Division. 36.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. FAO. 1985. "Directivas: Evaluación de tierras para la agricultura en Secano" Ed. FAO, Roma.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. FAO. 1990. "Claves para la taxonomía de suelos" Ortiz A. tr. Centro de edafología, Colegio de Posgraduados e Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Jilotepec, Morelos.



Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. FAO and F.a.A.O.o.t.U. Nations, Guideline for land-use planning. Electronic Document ed. 1993, Rome: FAO Soil resources, management and Conservation Service.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. FAO. (1997). Zonificación agro-ecológica" Guía general. Boletín de Suelos de la FAO. No. 73, Roma.

Ortiz M. 1990. Perfiles geomorfológicos complejos. En: Serie Varia, T. 1, Núm. 12. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.

Otáhel J. Land cover and eco-stabilizing network research for environmental planning. In: Landscape transformation in Europe: practical and theoretical aspects. Polish Association for Landscape Ecology, IALE. Faculty of Geography and Regional Studies of the Warsaw University (FGRSWU), 1998.

Overpeck R., and R. Goldberg. 1990. The fractal shape of riparian forest patches. Landscape Ecology 4: 249-258.

Palacio G. 1995. Ensayo metodológico para el estudio de los riesgos naturales. Tesis para optar por el grado de Maestro en Geografía. Facultad de Filosofía y Letras, División de Estudios de Posgrado. Universidad Nacional Autónoma de México.

Palmer W. 1992. The coexistence of species in fractal landscapes structure. Landscape Ecology 9: 25-36.

Pedraza J. 1996. Geomorfología. Principios, métodos y aplicaciones. Editorial Rueda, Alarcón. Madrid.

Phillips A. 2002. Management Guidelines for IUCN Category v Protected Areas Protected Landscapes/Seascapes, ed. A. Phillips. World Commission on Protected Areas (WCPA) -IUCNN- The World Conservation Union, 140.

Pick S. y López A. 1995. Como investigar en ciencias sociales. Ed. Trillas. México D.F.

Pirnat J. 1998. A comparison agricultural and forest ecosystems in a landscape through energetic imputes. In: Landscape transformation in Europe: practical and theoretical aspects. Polish Association for Landscape Ecology, IALE. Faculty of Geography and Regional Studies of the Warsaw University



(FGRSWU), 1998.

Peña O. y Sanguin A. 1984. El mundo de los geógrafos. Ed. Oikos Tau S.A. Barcelona.

Ploeg D. and L. Vlijm. 1978. Ecological Evaluation, Nature Conservation and Land Use Planning with particular reference to methods used in the Netherlands. Biological Conservation. Vol. 14. England: Applied Sciences Publisher Ltd.

Plotnick E., H. Gardner and R. O'Neill. 1993. Lacunarity indices as measures of landscape texture. Landscape Ecology 8: 201-211.

Porta J., y López R. 2001. Edafología para la agricultura y el medioambiente. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España.

Puzachenko Y. 1989. Ecosistemas en estado crítico. (En ruso). Editorial 34. Nauka, Moscú.

Quadri de la Torre G. 1998. Ordenamiento ecológico del territorio. Llave para una gestión integral del medio ambiente. Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. México.

Richling A. 1994. Landscape ecology as a discipline combining investigations on natural environment. In: Landscape research and its applications in environmental management. Faculty of Geography of Warsaw University; Polish Association for Landscape Ecology. Warsaw. IALE.

Rivas J. 1994. Landscape interpretation through a questionnaire. In: Landscape research and its applications in environmental management. Faculty of Geography of Warsaw University; Polish Association for Landscape Ecology. Warsaw. IALE..

Rossignol J. 1987a. La Morfoedafología: Un método de estudio del medio biofísico para la ordenación. En: La morfoedafología en la ordenación de los paisajes rurales: Conceptos y primeras aplicaciones en México. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos, Xalapa, Veracruz.

Rossignol J. 1987b. Los estudios morfoedafológicos en el área Xalapa-Coatepec, Veracruz. En: La morfoedafología en la ordenación de los paisajes rurales: Conceptos y primeras aplicaciones en México. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos, Xalapa, Veracruz.

Rossignol J., Geissert D., y Campos A., 1989. La cartografía morfoedafológica. Un ejemplo: el mapa a la escala 1:50,000 de la región de Coatepec. Revista Terra, Vol. 7, No. 2, pp. 93-99.



- Rossiter, D.G. and A.R.V. Wambeke. 1977. Automated Land Evaluation System ALES version 4.65 User's Manual, ed S.T.S.N.T.-r.6. Itaca, New York, USA: Cornell University, Department of Soil, Crop & Atmospheric Sciences, 280.
- Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. 1988. Manual de ordenamiento ecológico del territorio. Subsecretaría de Ecología. México.
- Segalen P. 1967. Les sols et la géomorphologie du Cameroun. Cahies ORSTOM, PÉDOLOGE Vol. 2 pp 137 – 188. En: La morfoedafología en la ordenación de los paisajes rurales: conceptos y primeras aplicaciones en México. INIREB-ORSTOM, Instituto de Ecología A.C. Xalapa, Veracruz.
- Servicio de Conservación de Suelos, Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América. 1994. "Manual de Conservación de Suelos". Ed. UTHEA.
- Seymour S. 1989. Soil. Morphology, genesis and classification. John Wiley & Sons. New York.
- Shoji, S., and Fujiwara, T. 1984. Active aluminum and iron in the humus horizons of Andosols from northeastern Japan: their forms, properties, and significance in clay weathering. Soil Sci. 137. En Dahlgren, R.A; Saigusa M; Ugolini F.C. (2004). The Nature, properties and management of volcanic soils. Article in press, Advances in Agronomy, Vol. 82. University of California.
- Shoji, S. 1985. Genesis and properties of non-allophanic Andisols in Japan. Applied Clay Sci. 1, 83–88. En Dahlgren, R.A; Saigusa M; Ugolini F.C. (2004). The Nature, properties and management of volcanic soils. Article in press, Advances in Agronomy, Vol. 82. University of California.
- Shoji, S. 1993. Volcanic Ash Soils—Genesis, Properties and Utilization, p. 288. Elsevier, Amsterdam, the Netherlands. En Dahlgren, R.A; Saigusa M; Ugolini F.C. (2004). The Nature, properties and management of volcanic soils. Article in press, Advances in Agronomy, Vol. 82. University of California.
- Siebe C., Jahn R. Y Stahr K. 1996. Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo. Publicación especial 4. Sociedad Mexicana de la Ciencia de Suelo A.C. Chapingo, México.
- Soil Survey Staff. 1974. Keys to Soil Taxonomy. Unites States Department of Agriculture. USA ed.
- Stepaniuk M. Hidro-ecological analysis of landscape of the valley Mire of Narew. In: Landscape transformation in Europe: practical and theoretical aspects. Polish Association for Landscape Ecology, IALE. Faculty of Geography and Regional Studies of the Warsaw University (FGRSWU), 1998.



- Strahler A. 1984. Geografía Física ed. Omega, Madrid.
- Strahler A. N. And Strahler A. H. 1999. Elements Of Physical Geography, ed.. J. Willey. USA.
- Tamayo M. 1996. Diccionario de la Investigación Científica. Ed. Limusa, México D.F.
- Thomas F. 2001. Landscape sensivity in time and space an introduction. Catena 42 pp. 83-98.
- Tricart J. 1981. La Tierra planeta viviente. Akal editores, Madrid España.
- Tricart J. y Kiewiet C. Ecogeography and rural management: a contribution to the International Geosphere Biosphera. ed. Longman Scientific and Technical, 1972.
- Tricart y Killian 1982. La ecogeografía y la ordenación del medio natural. Ed. Anagrama, Barcelona, España.
- Tricart J., and Kiewiet de Jonge. 1992. Ecogeography and rural management; A contribution to the International Geosphere-Biosphere Programme. Longman Scientific & Technical, Burnt Hill, England.
- Troll C. 1950. Die geographische Landschaft und ihre Erforschung. Studium generale 3. Arbeiten aus dem Geogr. Inst. Der Universität Bonn 1.5.
- Valerian S. and Semenov Y. Stationed based research of landscape transformation. In: Landscape transformation in Europe: practical and theoretical aspects. Polish Association for Landscape Ecology, IALE. Faculty of Geography and Regional Studies of the Warsaw University (FGRSWU), 1998.
- Vela G. 2004. Caracterización morfogénica y clasificación de suelos en el Parque Nacional "El Tepeyac", D.F. México. Artículo en extenso en: III Seminario Latinoamericano de Geografía Física. Instituto de Geografía, UNAM. Universidad de Guadalajara e Instituto Nacional de Ecología. Jalisco, México.
- Vitte A. 1997. Aplicaciones de Micro morfología de solos nos estudios de morfogenese de vertientes. En: Memorias del Encuentro de Geógrafos de América Latina. Buenos Aires, Argentina.
- Weber, Jean – Louis. 1993. Tener en cuenta(s) la naturaleza (bases para una contabilidad de los recursos humanos), en Hacia una ciencia de los recursos naturales (José Manuel Naredo y Fernando Parra, comp.). Siglo Veintiuno de España Editores, S.A. Madrid, 1993, 339 pp.
- Wiens A. 1995. Landscape mosaics and ecological theory. In: Hansson, L. Fahrig and G. Merrian eds. Mosaic



- landse and ecological processes pp. 1-26. Chapman Hall, London UK.
- Wilding P., Smeck N. y Hall G. 1983. Pedogenesis and Soil taxonomy. II. The soil orders. Elsevier Science Publishers B.V. Netherlands.
- Wolski P., Kistowsky A., Cheszewska A. and Kaliszck A. 2000. Landscape structure and spatial planning, relations and conflicts. (w:) Fragmentation and land use planning: analysis and beyond, Conference Papers 3rd International Workshop and Sustainable Land Use Planning. Wageningen, ISOMUL, Poland.
- Zee V. and I. Zonneveld. 2001. Landscape Ecology applied in land evaluation. Some worldwide selected examples, ed. I.p. 81. Enshede, The Netherlands: International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences ITC.
- Zink J. 1989. Physiography and soils. Soil Survey Courses Subjet Matter: K6 1988-1989. Aerospace Survey and Earth Sciences. Enschede. 156 pp.
- Zink J. Soil survey courses. Physiography and soils lecture notes. Vol. Sol. 41. ITC The Netherlands. 153.
- Zonnelveld A. 1995. Land ecology. An introduction to landscape ecology as a base for land evaluation, land management and conservation. Amsterdam, The Netherlands. SPB. Publisher.
- Zonnelveld I. 1979. Land evaluation and landscape science. Aerospace Survey and Earth Sciences. Enschede. 143 pp.
- Zorrilla S. 1989. Introducción a la metodología de la investigación. Casos aplicados a la administración. Ed. Aguilar León y Cal. México D.F.
- Villota, H, 1997. Una nueva aproximación a la clasificación fisiográfica del terreno. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. CIAF. Colombia.
- Villota H.. 1999 a. Análisis integral de los atributos del paisaje en la zonificación ecológica. En: prospectiva geográfica. Ordenamiento territorial. Revista del Programa de Estudios de Posgrado en Geografía. No. 4. Primer y segundo semestre de 1999. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Instituto Agustín Codazzi. Colombia.



Villota H. 1999 b. Los 10 mandamientos para la regionalización del país. En: prospectiva geográfica. Ordenamiento territorial. Revista del Programa de Estudios de Posgrado en Geografía. No. 4. Primer y segundo semestre de 1999. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Instituto Agustín Codazzi. Colombia.



ANEXO 1

PARTE 1

- **RELACIONES ENTRE ELEMENTOS DE GEOMORFOLOGÍA Y GEOGRAFÍA DEL SUELO**

PARTE 2

- **ANÁLISIS CLUSTER**



PARTE 1

- **RELACIONES ENTRE ELEMENTOS DE GEOMORFOLOGÍA Y GEOGRAFÍA DEL SUELO**



RELACIONES ENTRE ELEMENTOS DE GEOMORFOLOGÍA Y GEOGRAFÍA DEL SUELO

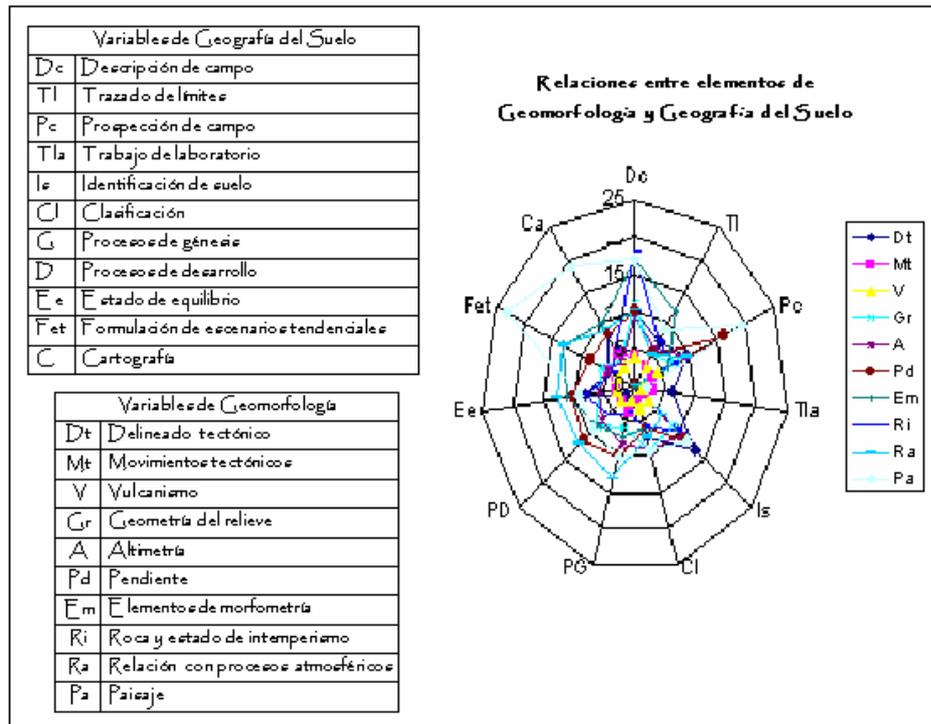


Figura 1.1 Relaciones entre elementos de Geomorfología y Geografía del Suelo.

DELINEADO TECTÓNICO

Delineado tectónico-Descripción de campo

- Correlación entre etapas, ritmo de desarrollo.
- Comprensión de procesos de formación y desarrollo.
- Inferencia de procesos de erosión y acumulación.
- Interpretación de paisaje.
- Interpretación y reconstrucción de paisajes.
- Identificación y clasificación.
- Caracterización de pendientes.
- Inducción de procesos de génesis y desarrollo.
- Evolución de los suelos.
- Desmembramiento del suelo.



Delineado tectónico -Trazado de límites

Clasificación lineal entre unidades de relieve y su manifestación en los ejes x, y, z.
Inferencia de procesos de erosión, erosión-acumulación, acumulación-erosión, acumulación.
Interpretación del paisaje.
Indicadores de cambios de pendiente.
Inferencia de procesos para la identificación.
Inferencia de procesos de clasificación.
Define procesos pedogenéticos.

Delineado tectónico -Prospección de campo

Generación de criterios y selección de sitios de muestreo.
Determinación de evolución y desmembramiento en escalas medias.
Inferencia de procesos de erosión, erosión-acumulación, acumulación-erosión, acumulación.
Interpretación del paisaje.
Indicadores de cambios de pendiente.
Inferencia de procesos para la identificación del suelo (unidad).
Inferencia de procesos de clasificación.
Inducción de procesos de génesis y desarrollo.

Delineado tectónico -Trabajo de laboratorio

Determinación de ambientes de depósito.
Determinación de etapas de desarrollo y evolución.
Estabilidad de componentes.
Características cuantitativas físicas y químicas.
Confirmación de resultados obtenidos en trabajo en campo.

Delineado tectónico -Identificación de suelo

Determinación de secuencias cronológicas y estratigráficas.
Profundidad del suelo.
Estabilidad de componentes
Inferencia de procesos de erosión, erosión-acumulación, acumulación-erosión, acumulación.
Interpretación del paisaje.
Reconstrucción de paisajes y ambientes.
Determinación de formas y energía de transporte.



Establecimiento de etapas de desarrollo y evolución.
Determinación de secuencias lógicas de origen.
Clasificación de suelos.

Delineado tectónico -Clasificación

Interpretación de procesos, límites y distribución espacial.
Tipo y secuencias de horizontes de diagnóstico.
Vocación para su uso.

Delineado tectónico -Procesos de génesis

Definición de tipo de horizontes y acomodo.
Identificación de minerales.

Delineado tectónico -Procesos de desarrollo

Alteración de pendiente.
Relación con procesos de estabilidad y erosión.

Delineado tectónico -Estado de equilibrio

Estado de distribución en función de evidencias de modelado por actividad tectónica, inactividad o movimientos indiferenciados.
Condiciones de uso.
Inferencia de procesos de erosión, erosión-acumulación, acumulación-erosión, acumulación.
Interpretación del paisaje.
Establecimiento de relaciones con la biota.
Factibilidad de riesgo.

Delineado tectónico -Formulación de escenarios tendenciales

Inferencia de cambios en el régimen de humedad.
Determinación de estado actual para planeación y uso.
Diagnóstico o potencialidad del recurso como capacidad de acogida de las unidades.
Interpretación del paisaje.



Delineado tectónico -Cartografía

Identificación de cambios en el continuo.
Determinación de escenarios alternativos.
Cartografía de procesos y ritmos.
Clasificación espacial del suelo en escalas medias y pequeñas.
Representación espacial de características cualitativas y cuantitativas físicas y químicas.

MOVIMIENTOS TECTÓNICOS

Movimientos tectónicos-Descripción de campo

Explicación de las fuerzas que le dan origen.
Explicación de etapas, ritmos e intensidad de procesos de formación.
Estabilidad de componentes.
Inferencia de procesos de erosión, erosión-acumulación, acumulación-erosión, acumulación.
Caracterización de procesos endógenos que modifican el desarrollo del suelo.
Interpretación del paisaje.
Reconstrucción de paisajes y ambientes.
Indicadores de cambios de pendiente.
Inferencia de procesos para la identificación.
Inferencia de procesos de clasificación.
Entendimiento de procesos pedogenéticos.
Distribución espacial de las unidades de suelo.

Movimientos tectónicos-Trazado de límites

Indicadores de cambios de pendiente.
Inferencia de procesos para la identificación.
Inferencia de procesos de clasificación.
Inducción de procesos de génesis y desarrollo.
Inferencia del régimen de humedad.
Determinación de génesis y desarrollo de procesos pedogenéticos.



Movimientos tectónicos-Prospección de campo

Inferencia de ambientes pretéritos de depósito, transporte y acumulación.
Planeación de muestreo.
Detalla el proceso de configuración y delimitación cartográfica.

Movimientos tectónicos-Trabajo de laboratorio

Identificación de paleoambientes.
Inducción a los métodos de estudio y análisis de ambiente.
Indicadores de cambios de pendiente.
Inducción de procesos de génesis y desarrollo.
Inferencia de procesos para la identificación.
Inferencia de procesos de clasificación.

Movimientos tectónicos-Identificación de suelo

Clasificación de elementos texturales, ambientes de depósito y erosión.
Clasificación de procesos pedogenéticos.
Inducción de procesos de génesis y desarrollo.
Inferencia de procesos de erosión, erosión-acumulación, acumulación-erosión, acumulación.
Interpretación del paisaje.

Movimientos tectónicos-Clasificación

Inducción de procesos de génesis y desarrollo.
Inferencia de procesos de erosión, erosión-acumulación, acumulación-erosión, acumulación.
Interpretación del paisaje.

Movimientos tectónicos-Génesis

Relaciona procesos de disección y desarrollo.
Determina cambios de ambientes y por tanto de cualidades y características.
Clasificación de geoformas y desarrollo.
Determina cambios de ambientes y por tanto de cualidades y características.
Estado de equilibrio.
Estado de distribución en función de evidencias de modelado por actividad tectónica, inactividad o movimientos indiferenciados.



Condiciones de uso.

Profundidad del suelo.

Estabilidad de componentes.

Inferencia de procesos de erosión, erosión-acumulación, acumulación-erosión, acumulación.

Caracterización de procesos endógenos que modifican el desarrollo del suelo.

Movimientos tectónicos-Formulación de escenarios tendenciales

Detección de problemas, diagnóstico, síntesis y pronóstico.

Definición de unidades suelo y clasificación para su uso.

Movimientos tectónicos-Cartografía

Cada evento se relaciona con un estado particular de desarrollo y por tanto distribución espacial.

Identificación de cambios en el continuo.

Determinación de escenarios alternativos.

Cartografía de procesos y ritmos.

Clasificación espacial del suelo en escalas medias y pequeñas.

VULCANISMO

Vulcanismo-Descripción de campo

Definición de límites espaciales.

Renueva cualidades sin afectar características.

Profundidad del suelo.

Estabilidad de componentes.

Inferencia de procesos de erosión, erosión-acumulación, acumulación-erosión, acumulación.

Caracterización de procesos endógenos que modifican el desarrollo del suelo.

Criterios para la selección y determinación de sitios de muestreo.

Interpretación del paisaje.

Reconstrucción de paisajes y ambientes.

Inferencia de procesos para la identificación.

Inferencia de procesos de clasificación.

Inducción de procesos de génesis y desarrollo.

Establecimiento de relaciones con la biota.



Sepulta suelos y/o genera condiciones de suelo en momento cero.

Vulcanismo-Trazado de límites

Delimitación por materiales de expulsión y depositación.

Sustenta cartografía actualizada para la fijación de elementos biogeoquímicos como fósforo, hierro, aluminio y azufre y acidez.

Determina el origen de los suelos ando.

Vulcanismo Prospección de campo

Selección de sitios de muestreo.

Determina la relación del suelo con su vocación y uso.

Determina características físicas, químicas y morfológicas distintivas.

Profundidad del suelo.

Estabilidad de suelo.

Inferencia de procesos de erosión, erosión-acumulación, acumulación-erosión, acumulación.

Interpretación del paisaje

Reconstrucción de paisajes y ambientes.

Indicadores de cambios de pendiente.

Inferencia de procesos para la identificación.

Inferencia de procesos de clasificación.

Inducción de procesos de génesis y desarrollo.

Vulcanismo -Trabajo de laboratorio

Selecciona procedimientos especiales de preparación y análisis de muestras.

Vulcanismo-Identificación de suelo

Profundidad de suelo y atributos conforme a su posición en una geoforma.

Procesos de erosión, transporte, remoción y sedimentación.

Determina características físicas, químicas y morfológicas.

Inferencia de procesos de erosión, erosión-acumulación, acumulación-erosión, acumulación.

Reconstrucción de paisajes y ambientes.

Determinación de formas y energía de transporte

Movimiento de agua.

Establecimiento de relaciones con la biota.



Vulcanismo-Clasificación

Propiedades del suelo.

Condiciones de uso.

Crecimiento de cobertura vegetal.

Clasificación del paisaje.

Las características físicas, químicas y morfológicas que determinan algunas particularidades como densidad real, aparente, textura, fósforo.

Vulcanismo-Génesis

Explica la presencia de arcillas alofaníticas y complejos orgánico minerales y pH.

Vulcanismo-Desarrollo

Evolución, velocidad de evolución, procesos pedogenéticos, estructura y productividad.

Vulcanismo-Estado de equilibrio

Determinación de procesos erosivos de erosión pluvial y erosión fluvial en diferentes fases.

Exhiben fragilidad.

Prognosis como detección de cambios en el corto plazo; referidos éstos cambios de clasificación y energía de funcionamiento del sistema.

Diagnosis o potencialidad del recurso como capacidad de acogida de las unidades.

Sintéresis como capacidad de respuesta ante la ocurrencia de cambios y la prevención de impactos.

Clasificación de procesos de remoción en masa entre otros.

Vulcanismo-Formulación de escenarios tendenciales

Caracteriza procesos de erosión lineal y areal, transporte y depósito.

Manifestación potencial de degradación.

Relación entre fragilidad con uso y utilización.

Prognosis como detección de cambios en el corto plazo; referidos estos cambios de clasificación y energía de funcionamiento del sistema.

Establecimiento de relaciones con la biota.

Diagnosis o potencialidad del recurso como capacidad de acogida de las unidades.



Sintéresis como capacidad de respuesta ante la ocurrencia de cambios y la prevención de impactos.

Clasificación de procesos de remoción en masa.

Estabilidad de componentes.

Inferencia de procesos de erosión, erosión-acumulación, acumulación-erosión, acumulación.

Interpretación del paisaje.

Indicadores de cambios de pendiente.

Vulcanismo-Cartografía

Cartografía de cualidades (de renovación anual).

Relación con procesos de depósito, cementación y acidificación al ser relacionados con el clima.

Identificación de cambios en el continuo.

Determinación de escenarios alternativos.

Cartografía de procesos y ritmos.

Clasificación espacial del suelo en escalas medias y pequeñas.

GEOMETRÍA DEL RELIEVE

Geometría del relieve-Descripción de campo

Determina profundidad.

Estabilidad de componentes.

Infiere procesos de erosión y acumulación en diferentes fases.

Inferencia de procesos como tectonismo y vulcanismo.

Criterio y selección de muestreo.

Interpretación del paisaje actual y paleoambientes.

Establece relaciones con la biota.

Clasificación de unidades edáficas.

Correlación entre etapas, ritmo de desarrollo y velocidades relacionados con procesos de formación.

Determinación de etapas de desarrollo del suelo.

Régimen de humedad.



Geometría del relieve-Trazado de límites

Indicador de cambios de pendiente y procesos.
Infiere procesos relacionados con tectonismo y vulcanismo.
Aproximación de la profundidad del suelo.
Determina criterios para la selección de sitios de muestreo.
Delimita procesos pedológicos, la forma influye en el desarrollo del proceso.

Geometría del relieve-Prospección de campo

Infiere elementos de análisis para la identificación del suelo.
Genera criterios para la clasificación.
Interpretación del paisaje.
Determinación de procesos relacionados con erosión, transporte y depositación.
Con fotografías aéreas, los cambios en el delineado permiten la selección de puntos de selección de nucleación y perfiles.
Correlación entre etapas, ritmo de desarrollo y velocidades relacionados con procesos de formación.
Determinación de etapas de desarrollo del suelo.
Régimen de humedad.

Geometría del relieve-Identificación de suelo

Realización de preclasificación.
Evolución, madurez, determinación pasada y actual de procesos de formación.
Correlación entre etapas, ritmo de desarrollo y velocidades relacionados con procesos de formación.
Determinación de etapas de desarrollo del suelo.
Régimen de humedad.

Geometría del relieve-Clasificación

Determinación de características de humedad y profundidad.
Correlación entre etapas, ritmo de desarrollo y velocidades relacionados con procesos de formación.
Determinación de etapas de desarrollo del suelo.
Régimen de humedad.



Propiedades del suelo.
Condiciones de uso.
Crecimiento de cobertura vegetal.
Clasificación del paisaje.

Geometría del relieve-Génesis

Indicador para entender los procesos de génesis y reconstrucción de paleoambientes; y de ambientes presentes.
Correlación entre etapas, ritmo de desarrollo y velocidades relacionados con procesos de formación.
Determinación de etapas de desarrollo del suelo.
Régimen de humedad.
Propiedades morfológicas, físicas y químicas del suelo.

Geometría del relieve-Desarrollo

Clasificación de procesos erosivos.
Determina el movimiento de las partículas.
Estabilidad de materiales que permiten los procesos pedogenéticos y movimiento del agua.
Propiedades del suelo.
Correlación entre etapas, ritmo de desarrollo y velocidades relacionados con procesos de formación.
Régimen de humedad.

Geometría del relieve-Estado de equilibrio

Estabilidad de los componentes.
Clasificación de procesos de modelado de vertientes.
Caracterización y análisis del paisaje.
Clasificación en función de la forma geométrica, de las dimensiones de la misma y la distribución de pendientes.
Correlación entre etapas, ritmo de desarrollo y velocidades relacionados.

Geometría del relieve-Formulación de escenarios tendenciales

Determinación de estabilidad y uso adecuado.
Prospección de uso y evolución.



Establecimiento de diagnóstico, pronóstico y síntesis.

Geometría del relieve-Cartografía

Coincidencia entre la clasificación del relieve con la distribución espacial del suelo.

Explicación de procesos presentes, pasados y tendencias.

Interpretación del paisaje.

Pronóstico como detección de cambios en el corto plazo y energía de funcionamiento del sistema.

Diagnóstico o potencialidad del recurso como capacidad de acogida de las unidades.

Síntesis como capacidad de respuesta ante la ocurrencia de cambios y la prevención de impactos.

ALTIMETRÍA

Altimetría-Descripción de campo

Definición de formas y energía de transporte.

Inferencia de clasificación.

Principio de explicación de procesos de génesis y desarrollo.

Determinación de condiciones de temperatura y humedad.

Distribución y predominio de procesos pedogenéticos.

Comportamiento, dominio y tránsito de los procesos de intemperismo físico, químico y biológico.

Correlación entre etapas, ritmo de desarrollo y velocidades relacionados con procesos de formación.

Determinación de etapas de desarrollo del suelo.

Régimen de humedad.

Régimen de temperatura.

Altimetría-Trazado de límites

Define comportamiento vertical y distribución del suelo.

Define tipos de intemperismo.

Interpretación de paisaje.

Inferencia de procesos como remoción en masa.



Clasificación por pisos altitudinales y condiciones climáticas.

Altimetría-Prospección de campo

Cambio de procesos de acuerdo con el cambio de clima o variables del mismo.

Evolución por intemperismo.

Inferencia a la identificación y clasificación.

Correlación entre etapas, ritmo de desarrollo y velocidades relacionados con procesos de formación.

Determinación de etapas de desarrollo del suelo.

Determinación de pedogénesis.

Régimen de humedad.

Régimen de temperatura.

Altimetría-Identificación de suelo

Profundidad de suelo.

Procesos de erosión, transporte y depósito.

Interpretación del paisaje.

Explicación de formas de transporte.

Induce a la génesis y desarrollo.

Distribución altitudinal.

Comportamiento, dominio y tránsito de los procesos de intemperismo físico, químico y biológico.

Establecimiento de relación con la biota.

Correlación entre etapas, ritmo de desarrollo y velocidades relacionados con procesos de formación.

Determinación de etapas de desarrollo del suelo.

Régimen de humedad.

Régimen de temperatura.

Altimetría-Clasificación

Régimen de temperatura y humedad.

Correlación entre etapas, ritmo de desarrollo y velocidades relacionados con procesos de formación.

Determinación de etapas de desarrollo del suelo.



Régimen de humedad.

Altimetría-Génesis

Clasificación de intemperismo.

Cambio de procesos de acuerdo con el cambio de clima.

Determina procesos de erosión, acumulación.

Profundidad de suelo.

Correlación entre etapas, ritmo de desarrollo y velocidades relacionados con procesos de formación.

Determinación de etapas de desarrollo del suelo.

Régimen de humedad.

Régimen de temperatura.

Altimetría-Desarrollo

Predominio de procesos de intemperismo.

Formación de nuevos minerales y estructura del suelo.

Cambio de procesos de acuerdo con el cambio de clima o variables del mismo.

Correlación entre etapas, ritmo de desarrollo y velocidades relacionados con procesos de formación.

Determinación de etapas de desarrollo del suelo.

Régimen de humedad.

Altimetría-Estado de equilibrio

Para uso y planeación de acuerdo con la vocación.

Aplicación de diagnóstico, pronóstico y síntesis.

Correlación entre etapas, ritmo de desarrollo y velocidades relacionados con procesos de formación.

Altimetría-Formulación de escenarios tendenciales

Balance de temperatura y humedad.

Actividad de microorganismos, organismos y plantas.

Aplicación de diagnóstico, pronóstico y síntesis.



Altimetría-Cartografía

Distribución espacial.

Representación de procesos de erosión.

Reconstrucción de relieve y suelos.

Interpretación del paisaje

Prognosis como detección de cambios en el corto plazo; referidos estos cambios de clasificación y energía de funcionamiento del sistema.

Diagnosic o potencialidad del recurso como capacidad de acogida de las unidades.

Sintéresis como capacidad de respuesta antela ocurrencia de cambios y la prevención de impactos.

PENDIENTE

Pendiente-Descripción de campo

Clasificación espacial que se relaciona con la geometría del relieve y la intensidad de pendiente.

Identificación de procesos de modelado erosivo y acumulativo.

Definición de zonas de transporte.

Interpretación del paisaje y procesos.

Correlación entre etapas, ritmo de desarrollo y velocidades relacionados con procesos de formación.

Determinación de etapas de desarrollo del suelo.

Régimen de humedad.

Pendiente-Trazado de límites

Estabilidad de componentes que conforman al suelo.

Determinación de procesos tectónicos, volcánicos y erosivo-acumulativos.

Determinación y clasificación de procesos relacionados con remoción en masa.

Caracterización de límites de acuerdo con la escala.

Pendiente-Prospección de campo

Inferencia a la clasificación e identificación.

Interpretación de paisajes pretéritos y actual.



Se relaciona con la profundidad.

Manifiesta problemas o condiciones de estabilidad de componentes, movimiento de partículas.

Coadyuva para la clasificación y obtención de génesis y desarrollo.

Infiere la diagnosis.

Correlación entre etapas, ritmo de desarrollo y velocidades relacionados con procesos de formación.

Determinación de etapas de desarrollo del suelo.

Régimen de humedad.

Selección de sitios de muestreo.

Pendiente-Identificación de suelo

Caracterización de acuerdo con la escala.

Correlación entre etapas, ritmo de desarrollo y velocidades relacionados con procesos de formación.

Determinación de etapas de desarrollo del suelo.

Régimen de humedad.

Pendiente-Clasificación

Correlación entre etapas, ritmo de desarrollo y velocidades relacionados con procesos de formación.

Determinación de etapas de desarrollo del suelo.

Régimen de humedad.

Condición de uso.

Desarrollo de plantas.

Interpretación del paisaje.

Pendiente-Génesis

Caracterización de acuerdo con la escala.

Profundidad del suelo.

Estabilidad de componentes.

Determinación de formas y energía de transporte.

Indicadores de cambios de pendiente.

Movimiento de partículas.

Correlación entre etapas, ritmo de desarrollo y velocidades relacionados con procesos de formación.



Determinación de etapas de desarrollo del suelo.
Régimen de humedad.
Identificación de procesos de depositación.

Pendiente-Desarrollo

Caracterización de acuerdo con la escala.
Profundidad del suelo.
Estabilidad de componentes
Determinación de formas y energía de transporte.
Indicadores de cambios de pendiente.
Movimiento de partículas.
Correlación entre etapas, ritmo de desarrollo y velocidades relacionados con procesos de formación.
Determinación de etapas de desarrollo del suelo.
Régimen de humedad.
Identificación de procesos de depositación.

Pendiente-Estado de equilibrio

Fuerzas que ejercen las partículas vs. la gravedad y la energía de la lluvia, precipitación, viento y antrópica.
Estabilidad de componentes.
Inferencia de procesos de erosión, erosión-acumulación, acumulación-erosión, acumulación.
Interpretación del paisaje.
Determinación de formas y energía de transporte
Prognosis como detección de cambios en el corto plazo; referidos estos cambios de clasificación y energía de funcionamiento del sistema.
Inducción de procesos de génesis y desarrollo.
Establecimiento de relaciones con la biota.
Síntesis como capacidad de respuesta ante la ocurrencia de cambios y la prevención de impactos.
Correlación entre etapas, ritmo de desarrollo y velocidades relacionados con procesos de formación.



Pendiente-Formulación de escenarios tendenciales

Prognosis como detección de cambios en el corto plazo; referidos estos cambios de clasificación y energía de funcionamiento del sistema.

Inducción de procesos de génesis y desarrollo.

Establecimiento de relaciones con la biota.

Diagnos o potencialidad del recurso como capacidad de acogida de las unidades.

Sintéresis como capacidad de respuesta antela ocurrencia de cambios y la prevención de impactos.

Clasificación de procesos de remoción en masa.

Inferencia de procesos de erosión, erosión-acumulación, acumulación-erosión, acumulación.

Interpretación del paisaje.

Determinación de formas y energía de transporte.

Pendiente-Cartografía

Cartografía de procesos.

Cartografía de escenarios alternativos y tendenciales.

Detección de problemas y cambios en la estructura horizontal y vertical

Caracterización espacial del continuo.

Interpretación del paisaje.

Prognosis como detección de cambios en el corto plazo; referidos estos cambios de clasificación y energía de funcionamiento del sistema.

Diagnos o potencialidad del recurso como capacidad de acogida de las unidades.

Sintéresis como capacidad de respuesta antela ocurrencia de cambios y la prevención de impactos.

ELEMENTOS CUANTITATIVOS DEL RELIEVE

Elementos cuantitativos del relieve-Descripción de campo

Identificación de procesos tipo Glay.

Complementa el apoyo de la geometría del relieve.

Considera al suelo como una unidad de energía.

Clasificación de las corrientes con el continuo de agua.

Inferencia de procesos de erosión, erosión-acumulación, acumulación-erosión, acumulación.

Caracterización de procesos endógenos que modifican el desarrollo del suelo.



Criterios para la selección y determinación de sitios de muestreo.

Interpretación del paisaje.

Reconstrucción de paisajes y ambientes.

Determinación de formas y energía de transporte.

Indicadores de cambios de pendiente.

Inferencia de procesos para la identificación.

Inferencia de procesos de clasificación.

Clasificación de procesos de remoción en masa.

Correlación entre etapas, ritmo de desarrollo y velocidades relacionados con procesos de formación.

Determinación de etapas de desarrollo del suelo.

Régimen de humedad.

Elementos cuantitativos del relieve-Trazado de límites

Determinación de áreas con procesos particulares.

Cambio de procesos

Delimitación de unidades de suelo.

Profundidad del suelo.

Criterios para la selección y determinación de sitios de muestreo.

Determinación de formas y energía de transporte.

Inferencia de procesos de erosión, erosión-acumulación, acumulación-erosión, acumulación.

Reconstrucción de paisajes y ambientes.

Indicadores de cambios de pendiente.

Propiedades del suelo.

Elementos cuantitativos del relieve-Prospección de campo

Definición de límites y zonas de muestreo.

Correlación entre etapas, ritmo de desarrollo y velocidades relacionados con procesos de formación.

Determinación de etapas de desarrollo del suelo.

Régimen de humedad.

Estabilidad de componentes.

Inferencia de procesos de erosión, erosión-acumulación, acumulación-erosión, acumulación.

Caracterización de procesos endógenos que modifican el desarrollo del suelo.

Criterios para la selección y determinación de sitios de muestreo.

Determinación de formas y energía de transporte.



Indicadores de cambios de pendiente.

Prognosis como detección de cambios en el corto plazo; referidos estos cambios de clasificación y energía de funcionamiento del sistema.

Establecimiento de relaciones con la biota.

Diagnosis o potencialidad del recurso como capacidad de acogida de las unidades.

Sintéresis como capacidad de respuesta ante la ocurrencia de cambios y la prevención de impactos.

Elementos cuantitativos del relieve-Identificación de suelo

Delimitación de suelos tipo Glay.

Determinación de dirección y velocidad del movimiento del agua dentro del perfil.

Relación de procesos de depósito con suelos presentes o paleosuelos.

Correlación entre etapas.

Determinación de etapas de desarrollo del suelo.

Régimen de humedad.

Inferencia de procesos de erosión, erosión-acumulación, acumulación-erosión, acumulación.

Interpretación del paisaje.

Inferencia de procesos para la identificación.

Inferencia de procesos de clasificación.

Elementos cuantitativos del relieve-Clasificación

Determinación de presencia de materiales ajenos.

Explicación del origen de materiales ajenos.

Características morfológicas, físicas y químicas.

Propiedades del suelo.

Condiciones de uso.

Crecimiento de cobertura vegetal.

Clasificación del paisaje.

Correlación entre etapas, ritmo de desarrollo y velocidades relacionados con procesos de formación.

Determinación de etapas de desarrollo del suelo.

Régimen de humedad.



Elementos cuantitativos del relieve-Génesis

Determinación de depósitos y movimiento; sitios o presencia de agua.
Manifestación del régimen de humedad.
Clasificación de depósitos, estabilidad y procesos.
Propiedades del suelo.
Correlación entre etapas, ritmo de desarrollo y velocidades relacionados con procesos de formación.
Determinación de etapas de desarrollo del suelo.
Régimen de humedad.

Elementos cuantitativos del relieve-Desarrollo

Arrastre, movimiento y depósito de materiales.
Frecuencia, intensidad y estado de equilibrio.
Estabilidad de materiales y agua.
Inferencia de procesos de erosión, erosión-acumulación, acumulación-erosión, acumulación.
Movimiento de partículas.
Correlación entre etapas, ritmo de desarrollo y velocidades relacionados con procesos de formación.
Determinación de etapas de desarrollo del suelo.
Régimen de humedad.

Elementos cuantitativos del relieve-Estado de equilibrio

Manifestación de procesos extraordinarios como avenidas que rompen el equilibrio.
Frecuencia, intensidad y estado de equilibrio.
Correlación entre etapas, ritmo de desarrollo y velocidades relacionados con procesos de formación.
Estabilidad de componentes.
Inferencia de procesos de erosión, erosión-acumulación, acumulación-erosión, acumulación.
Interpretación del paisaje.
Movimiento de partículas.
Prognosis como detección de cambios en el corto plazo; referidos estos cambios de clasificación y energía de funcionamiento del sistema.
Síntesis como capacidad de respuesta ante la ocurrencia de cambios y la prevención de impactos.
Clasificación de procesos de remoción en masa.



Elementos cuantitativos del relieve-Formulación de escenarios tendenciales

El grado de desarrollo, movimiento del agua para la determinación del uso.
Permite proponer el uso potencial.
Estabilidad de componentes.
Inferencia de procesos de erosión, erosión-acumulación, acumulación-erosión, acumulación.
Caracterización de procesos endógenos que modifican el desarrollo del suelo.
Movimiento de partículas.
Movimiento de agua.
Clasificación de procesos de remoción en masa.
Prognosis como detección de cambios en el corto plazo; referidos estos cambios de clasificación y energía de funcionamiento del sistema.
Diagnosis o potencialidad del recurso como capacidad de acogida de las unidades.
Sintéresis como capacidad de respuesta antela ocurrencia de cambios y la prevención de impactos.
Correlación entre etapas.

Elementos cuantitativos del relieve-Cartografía

Correlación con unidades de suelo.
Problemas y cambios.
Caracterización de procesos.
Cartografía de cualidades.
Reconstrucción de ambientes.
Prognosis como detección de cambios en el corto plazo; referidos éstos cambios de clasificación y energía de funcionamiento del sistema.
Diagnosis o potencialidad del recurso como capacidad de acogida de las unidades.
Sintéresis como capacidad de respuesta antela ocurrencia de cambios y la prevención de impactos.



TIPO DE ROCAS Y ESTADO DE INTEMPERISMO

Rocas y estado de intemperismo- Descripción de campo

Materia prima y caracterización de procesos que se involucran en del origen, desarrollo, composición química, física y morfológica, así como estructura del suelo.

Profundidad del suelo.

Estabilidad de componentes.

Inferencia de procesos de erosión, erosión-acumulación, acumulación-erosión, acumulación.

Criterios para la selección y determinación de sitios de muestreo.

Inferencia de procesos para la identificación.

Inferencia de procesos de clasificación.

Movimiento de partículas.

Movimiento de agua.

Inducción de procesos de génesis de arcillas y desarrollo.

Determinación de complejos órgano-minerales.

Rocas y estado de intemperismo- Trazado de límites

Evolución del "primer piso" en la clasificación del suelo.

Determinación de mega, meso y microunidades de suelo.

Prepara cartografía.

Profundidad del suelo.

Inferencia de procesos de erosión, erosión-acumulación, acumulación-erosión, acumulación.

Criterios para la selección y determinación de sitios de muestreo.

Rocas y estado de intemperismo- Prospección de campo

Delimitación del, primer piso de clasificación.

Profundidad del suelo.

Inferencia de procesos de erosión, erosión-acumulación, acumulación-erosión, acumulación.

Criterios para la selección y determinación de sitios de muestreo.

Inferencia de procesos para la identificación.

Inferencia de procesos de clasificación.

Inducción de procesos de génesis y desarrollo.



Rocas y estado de intemperismo- Identificación de suelo

Edad de suelo y distribución vertical y horizontal de pedregosidad.

Profundidad del suelo.

Inferencia de procesos de erosión, erosión-acumulación, acumulación-erosión, acumulación.

Criterios para la selección y determinación de sitios de muestreo.

Inferencia de procesos para la identificación.

Inferencia de procesos de clasificación.

Inducción de procesos de génesis y desarrollo.

Rocas y estado de intemperismo- Clasificación

Grado de desarrollo.

Propiedades del suelo.

Condiciones de uso.

Vocación del suelo.

Crecimiento de cobertura vegetal.

Clasificación del paisaje.

Rocas y estado de intemperismo- Génesis

Estabilidad de componentes

Interpretación del paisaje

Correlación entre etapas, ritmo de desarrollo y velocidades relacionados con procesos de formación.

Rocas y estado de intemperismo- Desarrollo

Grado y ritmo de evolución.

Correlación entre etapas, ritmo de desarrollo y velocidades relacionados con procesos de formación.

Propiedades del suelo.

Condiciones de uso.

Crecimiento de cobertura vegetal.

Clasificación del paisaje.



Rocas y estado de intemperismo- Estado de equilibrio

Correlación entre intemperismo y erosión.
Equilibrio de suelo y desarrollo
Profundidad del suelo.
Estabilidad de componentes
Inferencia de procesos de erosión, erosión-acumulación, acumulación-erosión, acumulación.
Interpretación del paisaje
Establecimiento de relaciones con la biota.

Rocas y estado de intemperismo- Formulación de escenarios tendenciales

Estado de equilibrio.
Profundidad del suelo.
Estabilidad de componentes.
Inferencia de procesos de erosión, erosión-acumulación, acumulación-erosión, acumulación.
Clasificación de procesos de remoción en masa.

Rocas y estado de intemperismo- Cartografía

Cartografía de elementos limitantes de desarrollo para propuestas de uso.
Clasificación natural del suelo.
Interpretación del paisaje.
Identificación de problemas y cambios en el paisaje.
Cartografía de cualidades.

RELACIÓN CON PROCESOS ATMOSFÉRICOS

Relación con procesos atmosféricos-Descripción de campo

Determinación de pisos altitudinales en función de la distribución de temperatura y precipitación.
Estabilidad de componentes.
Inferencia de procesos de erosión, erosión-acumulación, acumulación-erosión, acumulación.
Interpretación del paisaje.
Propiedades del suelo.
Interpretación del paisaje.



Determinación de formas y energía de transporte.
Inferencia de procesos para la identificación.
Inferencia de procesos de clasificación.
Inducción de procesos de génesis y desarrollo.
Establecimiento de relaciones con la biota.

Relación con procesos atmosféricos-Trazado de límites

Clasificación de suelos con la integración de variables como tipo de roca y geoforma.
Establecimiento de relaciones con la biota.
Inferencia de procesos de erosión, erosión-acumulación, acumulación-erosión, acumulación.
Preparación de cartografía.

Relación con procesos atmosféricos-Prospección de campo

Clasificación y delimitación de suelos con la integración de variables como tipo de roca, y geoforma.
Profundidad del suelo.
Estabilidad de componentes.
Inferencia de procesos de erosión, erosión-acumulación, acumulación-erosión, acumulación.
Caracterización de procesos que modifican el desarrollo del suelo.
Interpretación del paisaje.
Inferencia de procesos para la identificación.
Inferencia de procesos de clasificación.
Inducción de procesos de génesis y desarrollo.

Relación con procesos atmosféricos-Identificación de suelo

Procesos de precipitación, eluviación, iluviación, lavado y formación de horizontes entre otros.
Inducción de procesos de génesis y desarrollo.
Inferencia de procesos de erosión, erosión-acumulación, acumulación-erosión, acumulación.
Interpretación del paisaje.
Vocación del suelo.



Relación con procesos atmosféricos-Clasificación

Evolución en función de temperatura y precipitación.
Crecimiento y desarrollo de organismos microscópicos.
Propiedades del suelo.
Condiciones de uso.
Crecimiento de cobertura vegetal.

Relación con procesos atmosféricos-Génesis

Determinación de ambiente de formación y procesos asociados.
Correlación entre etapas, ritmo de desarrollo y velocidades relacionados con procesos de formación.
Determinación de etapas de desarrollo del suelo.
Régimen de humedad.
Profundidad del suelo.
Estabilidad de componentes.
Inferencia de procesos de erosión, erosión-acumulación, acumulación-erosión, acumulación.
Interpretación del paisaje.
Reconstrucción de paisajes y ambientes.
Movimiento de partículas.
Movimiento de agua.

Relación con procesos atmosféricos-Desarrollo

Formación y procesos asociados de acuerdo con el ambiente.
Correlación entre etapas, desarrollo y velocidades relacionados con procesos de formación.
Determinación de etapas de desarrollo del suelo.
Régimen de humedad.
Profundidad del suelo.
Estabilidad de componentes.
Inferencia de procesos de erosión, erosión-acumulación, acumulación-erosión, acumulación.
Interpretación del paisaje.
Reconstrucción de paisajes y ambientes.
Movimiento de partículas.
Movimiento de agua.



Relación con procesos atmosféricos-Estado de equilibrio

Propiedades del suelo.

Vocación del suelo.

Prognosis como detección de cambios en el corto plazo; referidos estos cambios de clasificación y energía de funcionamiento del sistema.

Establecimiento de relaciones con la biota.

Diagnosic o potencialidad del recurso como capacidad de acogida de las unidades.

Sintéresis como capacidad de respuesta antela ocurrencia de cambios y la prevención de impactos.

Clasificación de procesos de remoción en masa.

Inferencia de procesos de erosión, erosión-acumulación, acumulación-erosión, acumulación.

Desarrollo y caracterización de procesos como erosión, expansión, contracción, solifluxión y gilgays entre otros

Relación con procesos atmosféricos-Formulación de escenarios tendenciales

Determinación de uso, planeación, detección de problemas y corrección de los mismos.

Prognosis como detección de cambios en el corto plazo; referidos estos cambios de clasificación y energía de funcionamiento del sistema.

Establecimiento de relaciones con la biota.

Diagnosic o potencialidad del recurso como capacidad de acogida de las unidades.

Sintéresis como capacidad de respuesta antela ocurrencia de cambios y la prevención de impactos.

Clasificación de procesos de remoción en masa.

Inferencia de procesos de erosión, erosión-acumulación, acumulación-erosión, acumulación.

Interpretación del paisaje.

Relación con procesos atmosféricos-Cartografía

Correlación entre las unidades climáticas y las pedológicas.

Mayor correlación en la utilización de escalas grandes.

Prognosis como detección de cambios en el corto plazo; referidos estos cambios de clasificación y energía de funcionamiento del sistema.

Diagnosic o potencialidad del recurso como capacidad de acogida de las unidades.

Sintéresis como capacidad de respuesta antela ocurrencia de cambios y la prevención de impactos.



Clasificación de procesos de remoción en masa.

Inferencia de procesos de erosión, erosión-acumulación, acumulación-erosión, acumulación.

Interpretación del paisaje.

PAISAJE

Paisaje-Descripción de campo

Clasificación del ambiente que domina *in situ* y alrededor.

Clasificación de tipo de funcionalidad de paisaje: emisor, transporte y receptor.

Estabilidad de componentes.

Inferencia de procesos de erosión, erosión-acumulación, acumulación-erosión, acumulación.

Interpretación del paisaje.

Reconstrucción de paisajes y ambientes.

Inferencia de procesos para la identificación.

Inferencia de procesos de clasificación.

Prognosis como detección de cambios en el corto plazo; referidos estos cambios de clasificación y energía de funcionamiento del sistema.

Inducción de procesos de génesis y desarrollo.

Establecimiento de relaciones con la biota.

Diagnóstico o potencialidad del recurso como capacidad de acogida de las unidades.

Sintéresis como capacidad de respuesta ante la ocurrencia de cambios y la prevención de impactos.

Paisaje-Trazado de límites

Integración y suma de variables que constituyen la estructura vertical y horizontal.

Inferencia de procesos de erosión, erosión-acumulación, acumulación-erosión, acumulación.

Caracterización de procesos endógenos que modifican el desarrollo del suelo.

Indicadores de cambios de pendiente.

Inferencia de procesos para la identificación.

Inferencia de procesos de clasificación.

Inducción de procesos de génesis y desarrollo.

Clasificación de tipo de funcionalidad de paisaje: emisor, transporte y receptor.



Paisaje-Prospección de campo

Preparación de trabajo, selección de sitios de muestreo.
Clasificación de tipo de funcionalidad de paisaje: emisor, transporte y receptor.
Estabilidad de componentes
Inferencia de procesos de erosión, erosión-acumulación, acumulación-erosión, acumulación.
Criterios para la selección y determinación de sitios de muestreo.
Interpretación del paisaje.
Reconstrucción de paisajes y ambientes.
Inferencia de procesos para la identificación.
Inferencia de procesos de clasificación.
Prognosis como detección de cambios en el corto plazo; referidos estos cambios de clasificación y energía de funcionamiento del sistema.
Inducción de procesos de génesis y desarrollo.
Establecimiento de relaciones con la biota.
Diagnos o potencialidad del recurso como capacidad de acogida de las unidades.
Sintéresis como capacidad de respuesta antela ocurrencia de cambios y la prevención de impactos.
Correlación entre tejidos bióticos, materia orgánica y horizontes O y A.

Paisaje-Trabajo de laboratorio

Análisis y clasificación de horizontes O y A.
Descomposición de materia orgánica.

Paisaje-Identificación de suelo

Evolución.
Estructura vertical y función de interfase.
Procesos de desarrollo e interacción con precipitación.
Inferencia de procesos de erosión, erosión-acumulación, acumulación-erosión y acumulación.
Interpretación del paisaje.
Reconstrucción de paisajes y ambientes.
Inferencia de procesos para la identificación.
Inferencia de procesos de clasificación.
Inducción de procesos de génesis y desarrollo.



Establecimiento de relaciones con la biota.

Clasificación en función de la cantidad de materia orgánica.

Paisaje-Clasificación

Propiedades del suelo.

Condiciones de uso.

Crecimiento de cobertura vegetal.

Clasificación del paisaje.

Uso del suelo.

Clasificación en función de la cantidad de materia orgánica.

Determinación de características fisicoquímicas y morfológicas.

Paisaje-Génesis

Tipo de materia orgánica y grado de descomposición.

Relación con roca.

Intemperismo.

Procesos atmosféricos.

Geoformas.

Elementos de geometría.

Tectónica.

Vulcanismo.

Procesos asociados con la erosión, transporte y sedimentación.

Paisaje-Desarrollo

Determinación de complejos orgánico-minerales.

Tipo de materia orgánica y grado de descomposición.

Relación con roca.

Intemperismo.

Procesos atmosféricos.

Geoformas.

Elementos de geometría.

Tectónica.

Vulcanismo.

Procesos asociados con la erosión, transporte y sedimentación.



Paisaje-Estado de equilibrio

Edad.
Energía.
Funciones del paisaje.
Propiedades del suelo.
Condiciones de uso.
Crecimiento de cobertura vegetal.
Clasificación del paisaje.
Cálculo de fragilidad del suelo al aumentar la cantidad de materia orgánica y la cobertura vegetal.

Paisaje-Formulación de escenarios tendenciales

Cálculo de fragilidad del suelo.
Capacidad de sostenimiento de cobertura vegetal.
Prognosis como detección de cambios en el corto plazo; referidos estos cambios de clasificación y energía de funcionamiento del sistema.
Diagnosic o potencialidad del recurso como capacidad de acogida de las unidades.
Síntesis como capacidad de respuesta ante la ocurrencia de cambios y la prevención de impactos.
Propiedades del suelo.
Condiciones de uso.
Crecimiento de cobertura vegetal.
Clasificación del paisaje.
Relación morfoedáfica.
Cartografía de elementos dominantes.
Caracterización morfológica del suelo.
Funcionalidad.
Distribución espacial de suelo.
Clasificación cualitativa.
Clasificación cuantitativa.
Generación de espacios alternativos.
Caracterización fisiográfica.
Detección de problemas.
Cartografía de calidad que aporta biogeoquímicos como C y N.



Paisaje-Cartografía

Prognosis como detección de cambios en el corto plazo; referidos estos cambios de clasificación y energía de funcionamiento del sistema.

Diagnosis o potencialidad del recurso como capacidad de acogida de las unidades.

Sintéresis como capacidad de respuesta antela ocurrencia de cambios y la prevención de impactos.

Propiedades del suelo.

Condiciones de uso.

Crecimiento de cobertura vegetal.

Clasificación del paisaje.

Relación morfoedáfica.

Cartografía de elementos dominantes.

Caracterización morfológica del suelo.

Funcionalidad.

Distribución espacial de suelo.

Clasificación cualitativa.

Clasificación cuantitativa.

Generación de espacios alternativos.

Caracterización fisiográfica.

Detección de problemas.

Cartografía de calidad que aporta biogeoquímicos como C y N.



PARTE 2

- ANÁLISIS CLUSTER



ANÁLISIS CLUSTER

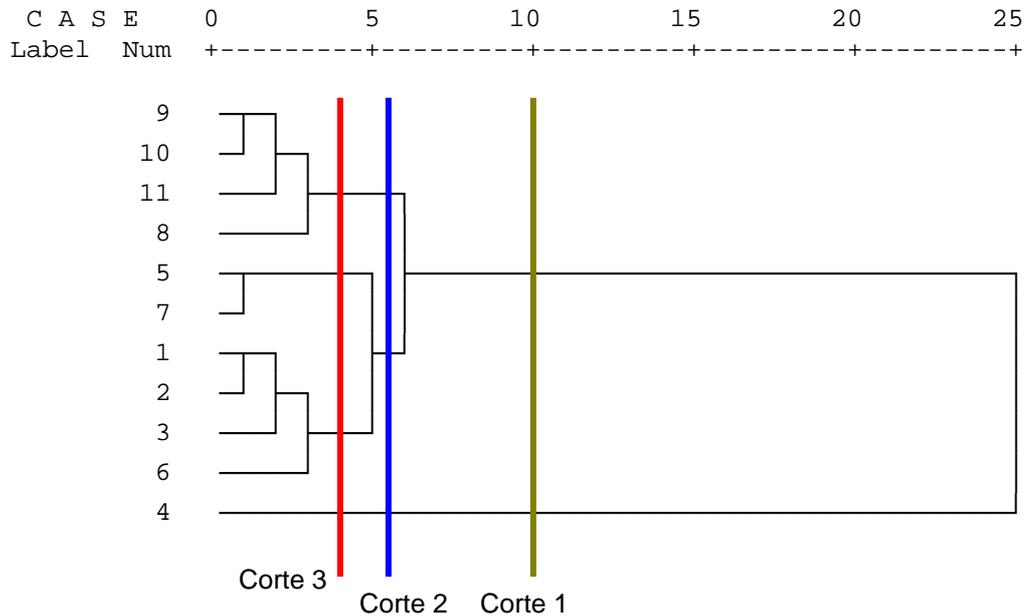
Tomando en cuenta las variables y los elementos seleccionados, se realizó el proceso de análisis cluster en el software.

Cabe señalar que este análisis estadístico multivariable tiene como objetivo realizar grupos con los datos; estos grupos o clusters se basan en los valores asignados a los casos para cada variable utilizada, los cuales durante el proceso y de acuerdo al método de distancia seleccionado, se definen los grupos quedando lo más homogéneos al interior y heterogéneos con relación a los demás grupos.

Otra finalidad de este análisis es el reducir el número de datos en la investigación. En Geografía este procedimiento puede ser útil para generar regionalizaciones, tipologías.

Como resultado del análisis se obtuvo un dendrograma. Este se emplea con frecuencia, ya que es el que se interpreta con mayor facilidad y permite al investigador definir el número de grupos a utilizar. Cabe señalar que la elección del número de grupos es decisión del investigador y cuenta mucho el conocimiento de área.

Para el caso de la matriz empleada compuesta por 11 casos y 10 variables, se realizó el proceso en el software obteniendo el dendrograma siguiente:



La forma de definir los grupos en el dendrograma es a través de realizar cortes de manera perpendicular a los ejes que marcan en que punto se unieron los elementos, en este ejemplo se realizaron 3 cortes lo que resulta en la definición de distintos grupos.

Corte 1.

Este corte representa el menor número de grupos posibles, ya que solo se forman dos grupos. Trasladando esto a la matriz, los datos se agruparían de la siguiente manera:

ETIQUETA EN SPSS		DT	MT	V	GR	A	PD	EM	RI	RA	PA
1	A	0.6	0.6	0.5	0.9	0.9	0.9	0.7	0.9	0.2	0.9
2	B	0.4	0.4	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.9	0.4	0.8
3	C	0.5	0.5	0.5	0.8	0.8	0.6	0.6	0.7	0.6	0.7
4	D	0.3	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
5	E	0.7	0.7	0.8	0.7	0.8	0.4	0.2	0.9	0.8	0.8
6	F	0.3	0.3	0.8	0.7	0.9	0.6	0.6	0.9	0.8	0.9
7	G	0.6	0.6	0.8	0.7	0.6	0.8	0.2	0.9	0.7	0.7
8	H	0.4	0.4	0.2	0.8	0.7	0.9	0.4	0.8	0.9	0.7
9	I	0.2	0.2	0.2	0.8	0.3	0.9	0.6	0.8	0.3	0.7
10	J	0.2	0.2	0.2	0.7	0.4	0.8	0.6	0.7	0.6	0.7
11	K	0.3	0.3	0.2	0.9	0.7	0.8	0.8	0.8	0.6	0.8



Se observa que el elemento D queda excluido formando un grupo, el otro grupo lo conforman los demás elementos.

Corte 2.

A través de este corte, se generan 3 grupos quedando la matriz de la siguiente manera:

ETIQUETA EN SPSS		DT	MT	V	GR	A	PD	EM	RI	RA	PA
1	A	0.6	0.6	0.5	0.9	0.9	0.9	0.7	0.9	0.2	0.9
2	B	0.4	0.4	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.9	0.4	0.8
3	C	0.5	0.5	0.5	0.8	0.8	0.6	0.6	0.7	0.6	0.7
4	D	0.3	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
5	E	0.7	0.7	0.8	0.7	0.8	0.4	0.2	0.9	0.8	0.8
6	F	0.3	0.3	0.8	0.7	0.9	0.6	0.6	0.9	0.8	0.9
7	G	0.6	0.6	0.8	0.7	0.6	0.8	0.2	0.9	0.7	0.7
8	H	0.4	0.4	0.2	0.8	0.7	0.9	0.4	0.8	0.9	0.7
9	I	0.2	0.2	0.2	0.8	0.3	0.9	0.6	0.8	0.3	0.7
10	J	0.2	0.2	0.2	0.7	0.4	0.8	0.6	0.7	0.6	0.7
11	K	0.3	0.3	0.2	0.9	0.7	0.8	0.8	0.8	0.6	0.8

Nuevamente el caso D forma un solo grupo, el otro corresponde al color anaranjado y el otro al azul.



Corte 3.

Se obtienen 4 grupos quedando de la siguiente manera:

ETIQUETA EN SPSS		DT	MT	V	GR	A	PD	EM	RI	RA	PA
1	A	0.6	0.6	0.5	0.9	0.9	0.9	0.7	0.9	0.2	0.9
2	B	0.4	0.4	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.9	0.4	0.8
3	C	0.5	0.5	0.5	0.8	0.8	0.6	0.6	0.7	0.6	0.7
4	D	0.3	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
5	E	0.7	0.7	0.8	0.7	0.8	0.4	0.2	0.9	0.8	0.8
6	F	0.3	0.3	0.8	0.7	0.9	0.6	0.6	0.9	0.8	0.9
7	G	0.6	0.6	0.8	0.7	0.6	0.8	0.2	0.9	0.7	0.7
8	H	0.4	0.4	0.2	0.8	0.7	0.9	0.4	0.8	0.9	0.7
9	I	0.2	0.2	0.2	0.8	0.3	0.9	0.6	0.8	0.3	0.7
10	J	0.2	0.2	0.2	0.7	0.4	0.8	0.6	0.7	0.6	0.7
11	K	0.3	0.3	0.2	0.9	0.7	0.8	0.8	0.8	0.6	0.8

Una vez definido el número de grupos a utilizar, se llevó a cabo la explicación del porqué se formaron los grupos, tomando como referencia los valores así como la teoría que respalda la investigación.



ANEXO 2

PARTE 1

- TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN RELACIONADOS CON GEOGRAFÍA DEL PAISAJE Y/O APLICACIONES PARTICULARES DE UTILIZACIÓN DEL TERRITORIO EN EUROPA, AMÉRICA LATINA Y MÉXICO

PARTE 2

- SISTEMAS DE EVALUACIÓN DE TIERRAS
- SISTEMA DE MODELO DE UTILIZACIÓN DE TIERRAS TUT



PARTE 1

TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN RELACIONADOS CON GEOGRAFÍA DEL PAISAJE Y/O APLICACIONES PARTICULARES DE UTILIZACIÓN DEL TERRITORIO EN EUROPA, AMÉRICA LATINA Y MÉXICO



EUROPA		
AÑO	AUTOR	IDEA O APOORTE PRINCIPAL
1992	Bertrand	Porción de espacio caracterizado por una comunicación dinámica e inestable constituida por elementos diferenciados físicos, biológicos y antrópicos que conforman al espacio geográfico indisociable.
1993	Troll	Paisaje como sector de la superficie terrestre cuya fisonomía es el producto de conjunto de sus elementos y de sus relaciones internas y externas quedando éste enmarcado por los límites naturales de otros paisajes con distinto carácter.
1998	Cevallos	Geografía del paisaje se apoya en características geocológicas del paisaje a fin de determinar los posibles impactos a futuro y explicación de actividades con carácter planificador óptimas para evitar o disminuir efectos sobre el territorio.
1999	Gómez	Establece que no han perdido validez los estudios de paisaje, por el contrario, se afianzan. Establece que: <ol style="list-style-type: none"> 1. Todo territorio es paisaje. Referencia de los trabajos de paisajes en Segovia, Ávila, Toledo y Cáceres desarrollados por la Universidad Complutense de Madrid, en 1977, y dirigidos por Martínez de Pisón; los trabajos en Gredos y Madrid desarrollados por Arenillas <i>et. al</i> y Gómez respectivamente, en 1990. 2. El paisaje como complejo de elementos físicos, bióticos y humanos. 3. Dimensión cultural del paisaje y la propia representación cultural del mismo, expresado a través de su fisonomía, valoración y gestión.
2001	Frovola	Estudio de las extensiones territoriales factores políticos, militares, culturales y geográficos. Considerada una aplicación práctica de conocimiento del territorio en Francia y Rusia.
2001	Mata	Renovación de trabajos cartográficos que representan definición, caracterización, delimitación y diagnóstico de unidades de paisaje para su ordenamiento y gestión en diferentes escalas, por lo que éstos se clasifican en diferentes y grupos y tipos.

Cuadro 1.7.1 Investigaciones, aportes y/o estudios de caso que refieren ciencia del paisaje en Europa.



EUROPA		
AÑO	AUTOR	IDEA O APORTE PRINCIPAL
2002	CEP	Convención Europea del Paisaje en Florencia, define al paisaje como cualquier parte del territorio, tal como es percibida por las poblaciones, cuyo carácter resulta de la acción de factores naturales, humanos y sus interacciones. Se indica una situación de alarma contra la tendencia de reservar y crear espacios para elites poderosas y excluyentes, tales como urbanizaciones cerradas, <i>resorts</i> turísticos que condenan a poblaciones ingentes a vivir en medios muy degradados, como es el caso de grandes ciudades tercermundistas, espacios rurales arrasados y contaminados.
2002	Muñoz	El paisaje es comparable con el ecosistema con la expresiva diferencia de que éste encuentra mayor énfasis en el soporte del medio físico; sin embargo, lo que es genuinamente geográfico es la presencia y la transformación humana del medio para hacerlo paisaje.
2003	Matteucci	Aparición y aplicación de geoquímica, geobotánica, ciencia forestal y pedología, para el conocimiento de Europa central y el hemisferio sur, debido a la aparición del concepto de “espacios vacíos”
2003	Matteucci	Configuración espacial y procesos sociales, visión antropocéntrica del estudio ambiental.
2003	Gómez	Aplicación de estudios de paisaje como los de Martínez de Pisón, 1977, en una primera clasificación de paisajes; 1981 y 1983, relación entre ciencia de paisaje y cultura; desarrollo del grupo de Barcelona y el grupo Salamanca.
2003	Zoido	Demanda creciente de paisajes de buena calidad, aunque sobreviven todos aquellos procesos que los han degradado; por lo que se requiere de estudios de situaciones y métodos particulares de evaluación y acción que minimice y elimine las acciones negativas.

Cuadro 1.7.2 Investigaciones, aportes y/o estudios de caso que refieren ciencia del paisaje en Europa.



AMERICA LATINA		
AÑO	AUTOR	IDEA O APORTE PRINCIPAL
1960	Morello	Primeros trabajos de regionalización del territorio argentino bajo la concepción de Ecología regional fundamentado en la escuela anglosajona.
1998	Matteucci	Un cambio de perspectiva en el cual se reconoce una perspectiva heterogénea del territorio y el establecimiento de un principio de integridad.
2001	Matteucci	La Ecología del paisaje contribuye a diseñar sistemas de reservas, comprender causas y consecuencias de la artificialización de paisaje natural, de la ordenación del territorio en el ámbito de la sustentabilidad, en la toma de decisiones acerca de los fragmentos del paisaje, sobre la biodiversidad, y conocimiento del grado de conectividad entre ellos para la minimización de riesgos.
2002	Muñoz	Recurso natural escaso, valioso y con demanda creciente, fácilmente despreciable y difícilmente renovable.
2003	Matteucci	Se establece que en los nuevos paradigmas deben ordenarse las actividades de los fragmentos que conforman a un territorio, considerando los aspectos de integridad funcional y servicios ecológicos.

Cuadro 1.8 Investigaciones, aportes y/o estudios de caso que refieren a la ciencia del paisaje en América Latina.



MÉXICO		
AÑO	AUTOR	IDEA O APORTE PRINCIPAL
1976	SEDESOL	Ley General de Asentamientos Humanos, a través de la generación de ecoplanes y planes de desarrollo ecológico en el ámbito estatal y municipal
1983	SEDESOL	Ley de Planeación, que establece la utilización de un instrumento para la realización de ordenamientos ecológicos desde la perspectiva ecológica y geográfica para la regulación del aprovechamiento de los recursos
1995	Villers y López	Evaluación del uso agrícola y forestal en a la cuenca del río Temascaltepec, en el Estado de México, a través del estudio de relieve, vegetación y áreas de uso.
1997	Manzo y López	Identificación de la relación de elementos ambientales desde una perspectiva integral y sistemática para con ello conocer la estructura y funcionamiento del geosistema que comprende a la cuenca del río Temascaltepec, en el Estado de México.
2000	Pérez y Carrascal	Desarrollo turístico en Cancún para descripción y clasificación de información paisajística.
2001	Mateo y Ortiz	Desarrollo teórico y metodológico para la evaluación de la degradación de paisajes.

Cuadro 1.9 Investigaciones, aportes y/o estudios de caso que refieren a la ciencia del paisaje en México.



PARTE 2

SISTEMAS DE EVALUACIÓN DE TIERRAS

SISTEMA DE MODELO DE UTILIZACIÓN DE TIERRAS TUT



SISTEMA DE CLASIFICACIÓN PARA USO Y MANEJO		
SISTEMA DE EVALUACIÓN	RESPONSABLE DE PROPUESTA	CARACTERÍSTICAS
Departamento de Suelos	Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (1901).	Presenta cartografía detallada para la evaluación y uso del suelo.
Clasificación de Suelos	Rusell (1935).	Propuesta presentada en el Tercer Congreso Internacional de Ciencia del Suelo.
Fundación del Servicio de Conservación de Suelos	Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (1935).	Cartografía edáfica de uso y manejo.
Manual de Capacidad de Tierras	Klingebiel y Montgomery (1958).	Manual de clasificación de suelo para su uso y manejo.

Cuadro 1.10 Clasificación para Uso y Manejo.

SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE ACUERDO CON SU CAPACIDAD PRODUCTIVA		
SISTEMA DE EVALUACIÓN	RESPONSABLE DE PROPUESTA	CARACTERÍSTICAS
Drenaje	Departamento del Interior de Estados Unidos (1953).	Evaluación a través del criterio de cuencas hidrográficas.
Potencial productivo	Lewis y Harding (1963). Dirección de Medioambiente y Suelos de Canadá (1969).	Evaluación de potencial productivo para el desarrollo de bosques en Estados Unidos, Canadá y Australia.
Degradación	Wischeier y Smith (1965).	Evaluación de degradación por procesos relacionados con erosión hídrica.
Degradación de la MUSLE	Williams (1971 y 1972).	Degradación del suelo por erosión hídrica.
Desarrollo natural de especies	USDA (1972).	Desarrollo de especies forestales.
Fertilidad	Buol (1975).	Capacidad de producción agrícola.

Cuadro 1.11 Capacidad Productiva.



SISTEMAS DE CLASIFICACIÓN CUALITATIVOS		
SISTEMA DE EVALUACIÓN	RESPONSABLE DE PROPUESTA	CARACTERÍSTICAS
Capacidad agrológica y/o adecuación para uso	Stamp (1953).	Clasifica la capacidad en mediocre, buena y mala de acuerdo con la profundidad del manto freático.
	Pends (1956).	Utiliza variables como textura, profundidad, pendiente y erosión en tiempos pretéritos.

Cuadro 1.12 Clasificación Cualitativa.

SISTEMAS DE CLASIFICACIÓN SEMICUANTITATIVOS		
SISTEMA DE EVALUACIÓN	RESPONSABLE DE PROPUESTA	CARACTERÍSTICAS
Clasificación de Marbut	Biers (1935).	Clasificación del suelo de carácter genética con fines utilitarios.
Libro del Año de la Agricultura	Soil Survey (1993).	Descripción cualitativa del suelo con base en el sistema del Soil Survey Manual.
Inductivo-Paramétrico		Selección de variables como aptitud, manejo y clima.

Cuadro 1.13 Clasificación Semicuantitativa.



SISTEMAS DE CLASIFICACIÓN CUANTITATIVOS		
SISTEMA DE EVALUACIÓN	RESPONSABLE DE PROPUESTA	CARACTERÍSTICAS
Paramétrico	Storie (1964).	Profundidad, textura, drenaje y pendiente.
	Mitchel (1950). Le Vee y Dregne (1951).	Elementos climáticos, riesgo de erosión y fertilidad.
	Clarke (1950). Desaunettes (1962). Amar (1964).	Textura, drenaje y profundidad de suelo.
	Bromao y (1964). Dedic (1964). Bonfils (1978).	Capacidad productiva.
<i>Soil Survey Manual</i>	<i>Soil Survey Staff</i> (1951).	Cuantificación de las características morfológicas de los suelos.
Modelación	Riquier (1972). Teaci (1975). Cline (1977).	Estadística.
	Wischmeier y Mannering (1969).	Para Erodabilidad.
	FAO (1975).	Fertilidad.
	Venci (1975).	Modelos climáticos.
	De la Rosa (1981).	Capacidad productiva conforme a características climáticas.
Polinomiales	Díaz y Gil (1984).	Evaluación productiva en función de factores limitantes.

Cuadro 1.14 Clasificación Cuantitativa.



SISTEMAS DE CLASIFICACIÓN CON BASE GEOMORFOLÓGICA		
SISTEMA DE EVALUACIÓN	RESPONSABLE DE PROPUESTA	CARACTERÍSTICAS
International Institute for Arial Survey and Earth Sciences	Verstappen y Van Zuidam (1969).	Tipología geomorfológica y paisaje.
Sheffield School	Sheffield School de Inglaterra (1960-1970).	Tipología geomorfológica y paisaje.
Commonwealt Scientific and Industrial Research Organization	CSIRO (1926).	Cartografía a escala 1:100,000 y 1:200,000.
Geomorfológico	Van Zuidam y Canalado (1979).	Cartografía a detalle.
	Wisnhoud y Van Zuidam (1979).	Estudios para cultivos específicos.

Cuadro 1.15 Clasificación con base Geomorfológico.

Una de las críticas más importantes que realiza Rossiter (1996), a los sistemas de clasificación de tierras, y en especial, los que se derivan del esquema general de la FAO, es que éstos tienden a no ser espaciales, y por tanto, a desarrollar conceptos estáticos bajo los conceptos de medio natural y socioeconómico.

Este autor afirma también que, en ocasiones, se basan en las cualidades o atributos de las tierras, pero que frecuentemente dicha variable no es considerada; así como su carácter ambiguo o muy específico determinado por la escala misma de representación; por lo que el conjunto de estos sistemas deberían de resolver: demandas de clientes; demandas de la sociedad, la aplicación del enfoque sistémico y paramétrico de medición; el aumento del nivel de confiabilidad de resultados y la predicción en cuanto al tiempo-incertidumbre.



SISTEMA DE MODELO DE UTILIZACIÓN DE TIERRAS TUT

La metodología utilizada en el Sistema de Modelo de Utilización de Tierras TUT, parte de la identificación de las cualidades de las tierras, denominado como requisitos de uso de la tierra, en donde, para cada tipo de unidad edáfica se deben establecer las mejores condiciones de su empleo, o en su caso, aquellas que no se consideran como las mejores, pero que se consideran aceptables; tal y como ocurre con la propuesta de clasificación de paisajes que deriva cuatro clases particulares, según la propuesta por D'Luna, en 1995; y estos son: optimizados, compensados, agotados y alterados, de acuerdo con la evaluación de índices abióticos, bióticos, socioeconómicos y paisajísticos. El sistema de clasificación que se utiliza para la evaluación se basa en otras categorías de aptitud y una de inaptitud, las cuales y para fines de esta investigación se relacionan con la valoración geomorfológica y edáfica con el propósito de precisar los límites de cada una de ellas.

Es importante aclarar que en este trabajo no se pretende la generación de información referente al rendimiento de las unidades edáficas desde la perspectiva agrícola, sino que su inclusión puede mostrar las potencialidades o límites de cada unidad desde con punto de vista morfoedáfico.

El sistema de Utilización de Tierras TUT se ha descrito de manera aparte de las referencias anteriores, debido a que este sistema posee como característica singular la generación específica de información acerca de la potencialidad del recurso suelo, y es el que se utilizará en la fase terminal de la metodología propuesta.

En este sentido, la evaluación de tierras antecede a la generación de estudios detallados, que incluyen el establecimiento de recomendaciones para la planificación u ordenamiento de actividades que responden a necesidades particulares, que abarcan escalas de trabajo entre 1:10,000 y 1:50:000; indicando los valores críticos de cada cualidad que permiten, a su vez, advertir problemas o aptitudes del suelo.



Asimismo, se encuentran tres coincidencias importantes desde el punto de vista de la metodología de la presente investigación y la utilizada en los sistemas TUT:

1. Se centra en considerar las fuentes de energía que rigen en el sistema;
2. Es una clasificación que se rige por no centrarse en un solo objetivo, es decir, que tiene implicaciones físico-naturales, sociales, económicas y hasta políticas; y
3. Determina resultados de clasificación paramétrica, que pueden relacionarse corresponderse a través de matrices.

Un ejemplo de las implicaciones descritas con antelación refiere a los rubros para la descripción de los tipos de utilización de tierras, como se muestra a continuación en el cuadro siguiente:

RUBROS PARA LA DESCRIPCIÓN DE UNIDADES TUT	
- Productos cultivados	- Tenencia de la tierra
- Orientación del mercado	- Infraestructura necesaria
- Densidad de capital	- Características de los cultivos
- Densidad de mano de obra	- Insumos materiales
- Conocimientos técnicos y comportamiento	- Prácticas de cultivo
- Fuentes de energía	- Ganado
- Mecanización	- Explotación forestal
- Tamaño y configuración de las explotaciones agrícolas	- Otros beneficios no agrícolas
	- Rendimientos y producción
	- Información económica

Cuadro 1.16 Descripción de Unidades TUT (Martínez y Robles, 2002).

La FAO (1985) define que una característica de la tierra es una propiedad que puede medirse o estimarse y que puede utilizarse para hacer una distinción entre unidades de



tierras de diferentes aptitudes de utilización y emplearse como un medio para describir sus cualidades intrínsecas.

Son ejemplos de características de la tierra la precipitación pluvial anual, la pendiente, la clase de escurrimiento del suelo, la profundidad efectiva, la textura de la capa superficial del suelo, la capacidad hídrica disponible del suelo, el porcentaje de pH y nitrógeno del suelo; el régimen de temperatura, la humedad disponible, el escurrimiento, el suministro de nutrientes, las condiciones de fijación y crecimiento de las raíces, posibilidades de mecanización y riesgo de erosión.

De acuerdo con la misma obra, se cita que las ventajas del uso de las cualidades de la tierra son las siguientes:

- a. Las cualidades están directamente relacionadas con los requisitos específicos de uso de la tierra; esto permite preparar modelos de simulación para explicar las relaciones entre la tierra y el uso de la misma;
- b. Las cualidades toman en cuenta las interacciones entre los factores ambientales;

De manera particular, los criterios para utilizar modelos de utilización de tierras refieren a que la propia evaluación y clasificación que se genera, no sólo responde a un proceso que califica o describe a los diferentes elementos que constituyen a una unidad edáfica y a las actividades que en ésta se desarrollan.

Es así, que se parte de la premisa que un sistema de evaluación debe responder interrogantes del medioambiente que se asocian con el desarrollo del suelo y su potencialidad; es en este sentido, los resultados obtenidos de un proceso de diagnóstico se involucran y comprometen con la toma de decisiones, fundamentadas desde el punto de vista físico-natural y socioeconómico.

Por lo que se refiere a lo físico-natural, se establece que los resultados del análisis del suelo permiten conocer de él, los atributos que lo hacen apto para sostener algún tipo de



comunidad vegetal, entendida ésta desde la perspectiva de los diferentes tipos de relaciones que se generan en una comunidad y las que éstas tienen con su medio; mientras que desde la perspectiva socioeconómica, las derivaciones permiten la toma de decisiones al considerar las condiciones, de variables históricas, de población y económicas que pueden prevalecer en un momento determinado.

Al considerar lo expuesto líneas arriba, la evaluación de la aptitud de los suelos o de las “tierras”, como se establece en los documentos de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 1985), permite determinar el estado actual que guarda una unidad edáfica o un grupo de ellas, desde la perspectiva que considere su mejora, modificación o impulso para conservar su estado a partir de la selección de opciones de uso oportuno.

Esta selección de opciones sitúa a los gestores del ambiente en un espacio que les permite valorar posibilidades, efectos y factibilidad de cambios bajo circunstancias de orden físico, social y económico.

De acuerdo con la dependencia de las Naciones Unidas, la evaluación de tierras que determina la aptitud y clasificación de las mismas, genera de forma paralela la posibilidad de comparar los productos e insumos, que se desenvuelven en un espacio determinado y valorar sus tendencias lineales de continuidad, tanto en escalas regionales como locales.

Para estos efectos, las metodologías diseñadas para la evaluación, consideran como paso inicial la valoración del uso de la tierra, a través de una descripción de la utilización y los insumos requeridos para predecir determinados productos, y expresar los resultados a través de cartografía en la cual se distingan elementos comunes de las unidades espaciales; la definición de ciertos grupos de utilización y de características de integración y exclusión.



ANEXO 3

- **VALIDEZ Y CONFIABILIDAD**



VALIDEZ Y CONFIABILIDAD

El presente anexo muestra el ejercicio realizado para definir los valores máximos y mínimos que se pueden encontrar en las fases de valoración cuantitativa. Como se estableció al inicio de la investigación, el ejercicio ha modelado condiciones extremas que permiten conocer y valorar la estabilidad de los procedimientos realizados.

Los valores se expresan en recuadros en cada una de las fases del proceso metodológico, indicando así la conducta y los demarcaciones extremas de las variables; y para fines del ejercicio, aparece un cuadro con las abreviaciones y colores que distinguen los resultados extremos encontrados en cada etapa del trabajo.

LÍMITES	
VM	vm
15	2

Así, en esta última parte de este capítulo, se presenta la aplicación del modelo metodológico el par de sistemas de laderas hipotéticos, a la cual para fines de esta investigación se le ha denominado como Alfa y Beta; siendo el primero de ellos el que registra resultados de alta estabilidad morfoedáfica representado en color verde; y el segundo; marcado con el color rojo, indica condiciones de inestabilidad en todos los atributos del mismo; distinguiéndose entre sí por el valor encontrado en cada fase de trabajo y el color distintivo que se le ha proporcionado a cada uno de los sistemas.

El único punto común y de encuentro de los sistemas hipotéticos se encuentra en la primera y segunda fase de la metodología con el propósito de generar puntos de partida afines.



SISTEMAS DE LADERAS ALFA Y BETA

Localización: Paralelo 19^o Latitud Norte.

FASE 1. CLASIFICACIÓN GEOMORFOLÓGICA

Caracterización de unidades geomórficas.

1. Sistema Montañoso de origen volcánico con laderas rectas de edad cuaternaria. Sistema de drenaje pinado con dirección general N-S que manifiesta asimetría de valles por procesos de basculamiento continuo que se evidencia por el desarrollo de valles profundos y vertientes rectas.
2. Rampa de piedemonte compuesta por depósitos de tobas poco consolidados y geometría cóncava. Sistema de drenaje subdendrítico en proceso de formación desarrollado en pendientes de 15 y hasta 30 grados; se caracteriza por presentar incipientes procesos de modelado en las vertientes.
3. Planicie fluviocumulativa con depósitos recientes y condiciones moderadas de intemperismo. Sistema anastomosado caracterizado por la formación de bancos aluviales extensos y conformados por materiales groseros dispuestos sobre su eje a.

FASE 2. ATRIBUTOS CUANTITATIVOS

a. Clasificación del sustrato geológico por medio de la:

Determinación de Clases Litológicas

Unidad I= 0.2
Unidad II= 0.7
Unidad III= 0.8



LÍMITES LITOLÓGICOS	
VM	vm
0.9	0.1

El desarrollo del análisis cuantitativo se divide en seis partes. Los valores máximos de los incisos b y c corresponden a los encontrados en la zona de muestreo, mientras que en el caso del inciso d. se consideran también los valores mínimos.

a. Pendientes

PENDIENTES	
UNIDAD	DOMINANCIA
I	6
II	5
III	1

LÍMITES DE PENDIENTES	
VM	vm
6	1

b. Densidad de la disección

VALORES DE DENSIDAD DE LA DISECCIÓN	
UNIDADES	CLASIFICACIÓN
I	4
II	5
III	8



LÍMITES DE DENSIDAD DE LA DISECCIÓN	
VM	vm
8	4

c. Órdenes de Drenaje

ORDENES DE DRENAJE	
UNIDADES	CLASIFICACIÓN
I	5
II Y III	7

LÍMITES DE ÓRDENES DE DRENAJE	
VM	vm
7	5

d. Longitud de cauces

LONGITUD DE CAUCES	
UNIDAD	
I	$15/40=0.375$
II	$11/60=0.180$
III	$43/8=5.3$

LÍMITES DE LONGITUD DE CAUCES	
VM	vm
5.3	0.18



FASE 4. ÍNDICE DE DESARROLLO GEOMORFOLÓGICO (IDG)

El proceso de integración de variables corresponde a las desarrolladas en las fases 2 y 3 con las cuales se generan unidades territoriales con atributos particulares.

Con los resultados obtenidos se realiza una sobreposición de los mapas generados obteniendo de esta manera una clasificación de Susceptibilidad Geomorfológica por cada unidad geomórfica identificada.

UNIDADES	VARIABLES					
	LITOLÓGÍA	PENDIENTE	DENS.DISEC.	ORDEN DR.	LONG.CAUC.	TOTAL
1	0.2	6.0	8.0	7.0	6.3	27.5
2	0.7	5.0	4.0	2.0	0.18	11.8
3	0.8	1.0	5.0	3.0	5.3	15.1

Resultados:

ÍNDICE DE DESARROLLO GEOMORFOLÓGICO			
UNIDAD TERRITORIAL	VALOR	TIPO	RANGO
1	27.5	Muy alta	2
2	11.8	Baja	8
3	15.1	Baja	8

LÍMITES DEL ÍNDICE DE DESARROLLO GEOMORFOLÓGICO	
VM	vm
10	2



FASE 5. LEVANTAMIENTO DE SUELOS

LEVANTAMIENTO DE SUELOS	
UNIDAD EDÁFICA	CLASE
1	3
2	1
3	6
4	9

LÍMITES DE LEVANTAMIENTO DE SUELOS	
VM	vm
9	1

FASE 6. USO DE SUELO

VARIABLES DE USO DE SUELO				
TIPO DE SUELO	US	FL	TPM	S+
Rendzina	2.3	Pendiente Pedregosidad	Adecuadas	0.2
Leptosol	4.3	Pedregosidad Profundidad pendiente	-----	0.4
Fluvisol	1.3	Inundaciones Mal uso Tenencia	Inadecuadas	0.8
Andosol	0.1	Pendiente	Adecuadas	0.0



Resultados de Índice:

ÍNDICE DE USO DE SUELO		
UNIDAD DE SUELO	CLASE	VALOR DEL ÍNDICE
Rendzina	Regular	2.5
Leptosol	Inadecuado	4.6
Fluvisol	Bueno	2.1
Andosol	Óptimo	0.1

LÍMITES DE USO DE SUELO	
VM	vm
4.6	0.7

FASE 7. RELACIÓN DE EQUILIBRIO EDÁFICO

Resultados de índice

RELACIÓN DE EQUILIBRIO EDÁFICO			
UNIDAD DE SUELO	Cs	Us	REE
Rendzina	3	2.5	1.2
Leptosol	1	4.7	0.2
Fluvisol	6	2.1	2.8
Andosol	9	0.1	90.0

LÍMITES DE RELACIÓN DE EQUILIBRIO EDÁFICO	
VM	vm
90	0.1



FASE 8. ESTABILIDAD MORFOEDÁFICA

INTEGRACIÓN DE VARIABLES GEOMORFOLÓGICAS Y EDÁFICAS				
UNIDAD MORFOEDÁFICA	SUSCEPTIBILIDAD GEOMORFOLÓGICA	RELACIÓN DE EQUILIBRIO EDÁFICO	VALOR	ESTABILIDAD
1	1	9.0	10.0	Poca o nula
2	1	0.1	1.10	Poca o nula
3	5	2.8	7.80	Baja a media
4	3	90	93.0	Media a alta
5	1	90	91.0	Baja
6	5	90	95.0	Alta
7	5	0.1	5.10	Poca o nula

LÍMITES DE ESTABILIDAD MORFOEDÁFICA	
VM	vm
95	0.1



ANEXO 4

- **EVALUACIÓN MORDOEDÁFICA EN EL SISTEMA BOSENCHAVE**

- **EVALUACIÓN MORDOEDÁFICA EN EL SISTEMA NEVADO DE TOLUCA**



EVALUACIÓN MORFOEDÁFICA EN EL SISTEMA BOSENCHVE

Fase 1. Clasificación geomorfológica

Para el desarrollo de la fase se he realizado una caracterización de las laderas de acuerdo con los elementos planteados en la metodología, de tal manera, que a continuación se presenta un cuadro en el cual se ha concentrado la información básica que ha sido utilizada para la clasificación del sistema.

ATRIBUTOS GEOMORFOLÓGICOS DE BOSENCHVE		
ELEMENTOS CUALITATIVOS	VARIABLES	CARACTERÍSTICAS
Geoformas	Origen	<p>El origen del sistema de laderas se relaciona con derrames basálticos de edad cuaternaria, que forman coladas suaves y extendidas orientadas hacia el este.</p> <p>La morfología se encuentra suavizada de manera general, debido a que la mayor parte de los flujos lávicos han sido sepultados por depósitos de cenizas, que modelan la superficie, heredando así una fisonomía que asemeja a un sistema de lomeríos bajos en que poseen diferencias altitudinales, que no sobrepasan los 120 metros en toda la unidad.</p> <p>En el sector noroccidental se encuentran algunos frentes lávicos escarpados constituidos por basaltos.</p>

Cuadro 3.5.1 Caracterización geomorfológica de Bosencheve.



ATRIBUTOS GEOMORFOLÓGICOS DE BOSENCHVE		
ELEMENTOS CUALITATIVOS	VARIABLES	CARACTERÍSTICAS
Geoformas	Particularidad	Este sistema de laderas se encuentra en el padrón de Parques Nacionales y la función básica se orienta a la recarga de acuíferos y conservación de la vida silvestre; sin embargo, el uso de suelo esta dedicado, casi en su totalidad, a actividades de tipo agrícola de temporal y algunos de los frentes basálticos aún se encuentran colonizados por bosques de coníferas moderadamente estratificados; con presencia de plagas y dosel abierto con una cobertura entre 60 y 80%; las características generales manifiestan condiciones de degradación del bosque. Asimismo, se advierte el crecimiento de la comunidad rural, la cual abarca de manera dispersa la porción sur del parque, la cual a su vez cuenta con la presencia de minas para la extracción de materiales pétreos y algunas ladrilleras en las proximidades a la carretera Toluca–Zitácuaro.
Geología	Erodabilidad	El desarrollo de pendientes suaves que no sobrepasan valores generales comprendidos entre 6 y 15 grados no se establecen como variables que se involucren en el desarrollo de geoformas erosivas; sin embargo, se presentan en sectores puntuales cárcavas y manifestaciones de erosión acelerada en zonas de uso agrícola. A pesar de existir manifestaciones erosivas ocasionadas por el “manejo” antrópico de la zona; la extensión de los mismos no poseen el tamaño suficiente para ser representados en la cartografía 1:50,000, aunque debe considerarse importante, debido a que comienza a mostrar continuidad.

Cuadro 3.5.2 Caracterización geomorfológica de Bosencheve.



ATRIBUTOS GEOMORFOLÓGICOS DE BOSENCHVE		
ELEMENTOS CUALITATIVOS	VARIABLES	CARACTERÍSTICAS
	Resistencia a la erosión	Los materiales volcanoclásticos que contornan el sistema de Bosencheve por naturaleza no poseen un elevado índice de resistencia a la erosión, no obstante a ello, la disección fluvial no representa una variable importante, debido a que su densidad es pobre al presentar un promedio de ocho cauces bien definidos en una superficie aproximada de 42 km ² , los cuales siguen una trayectoria hacia el E y S.
	Procesos detectados	Los principales procesos de modelado detectados refieren por una parte a una morfología acumulativa de materiales piroclásticos, que sepultaron coladas lávicas, y con ello, generaron un sistema tendido de laderas, y por otra, a procesos puntuales de erosión, debido a la tala de árboles, la introducción de la agricultura y de ganado a la antigua zona boscosa.
Geometría	Atributos geométricos	El dominio geométrico de las laderas posee variaciones entre laderas convexas y rectas que dominan el sistema estudiado, todo ello en un marco caracterizado por pendientes suaves; de tal forma, que la morfología fluvial encuentra poco espacio de representación. Asimismo, se encuentran en proporción menor, unidades conformadas por materiales aluviales, que se caracterizan por un relieve plano e inundable.
	Rasgos (puntuales, lineales, areales).	Los rasgos más sobresalientes de la unidad se encuentran representados por una forma general escalonada, que encuentra su nivel de base principal hacia el este, donde se encuentra la presa de Villa Victoria, y un segundo nivel de vertientes, que discurre hacia el sur. La geometría general del sistema permite que algunos de los cauces del sistema fluvial encuentren la fase de acumulación a lo largo de su recorrido, generando así fondos planos en los valles.

Cuadro 3.5.3 Caracterización geomorfológica de Bosencheve.



ATRIBUTOS GEOMORFOLÓGICOS DE BOSENCHVE		
ELEMENTOS CUALITATIVOS	VARIABLES	CARACTERÍSTICAS
Consolidación del Sustrato	Condiciones de intemperismo (actual-futuro)	La morfología de lomeríos permite que en los sectores de relieve negativo la concentración de humedad sea importante, lo cual se relaciona con el aumento de intemperismo; sin embargo, éste en general es inapreciable, debido al barbecho, siembra y cultivo de la mayor parte de la superficie.
Caracterización Climática	Dinámica y evaluación de las geoformas	Las condiciones climáticas han permitido en las zonas bajas la concentración de humedad suficiente para que se logren desarrollar hacia el sur algunas porciones territoriales, en las cuales domina el desarrollo de arcillas, sin embargo, no es esta la condición general de la mayor parte de las laderas.
	Distribución de procesos	La distribución de humedad presenta una concentración general orientada hacia el sur, de tal forma, que se establece que la orientación general del relieve influye en el patrón de comportamiento de la humedad y densidad arbórea.
	Desarrollo de suelo	El desarrollo de suelo se encuentra ligado de manera directa a las cenizas volcánicas, motivo por el cual su vocación natural se orienta al desarrollo forestal; sin embargo, su uso en actividades agrícolas limita la práctica de los cultivos. Los suelos son oscuros y en general poseen pocas cantidades de materia orgánica, además de que al descubierto poseen una tendencia hidrofóbica y su resistencia a la destrucción, a través de la erosión resulta crítica.

Cuadro 3.5.4 Caracterización geomorfológica de Bosencheve.



ATRIBUTOS GEOMORFOLÓGICOS DE BOSENCHVE		
ELEMENTOS CUALITATIVOS	VARIABLES	CARACTERÍSTICAS
Sistema de Drenaje	Red fluvial	El sistema de drenaje se encuentra representado por sistemas fluviales de primer orden y longitudinales que oscilan entre dos y cuatro kilómetros. La densidad de la red fluvial es pobre y los índices de disección vertical, así como los de densidad son bajos, por lo que las unidades de relieve se encuentran bien conservadas.
	Elementos de control	Los elementos de control de drenaje corresponden a la pendiente en primer plano y de manera probable a la topografía original que corresponde a las coladas lávicas sepultadas por piroclastos, de tal manera, que los cauces retrabajan antiguos valles fluviales.
	Anomalías y otros rasgos	No se registran anomalías o rasgos diferenciadores que indiquen la ocurrencia de procesos, tectónicos, contactos litológicos u otro, que modifique las conductas relacionadas con condiciones del sistema fluvial.

Cuadro 3.5.5 Caracterización geomorfológica de Bosencheve.



De acuerdo con lo anterior, el sistema de laderas se clasifica de la siguiente manera y se observa en el mapa que se presenta a continuación:

Clasificación geomorfológica

1. Laderas convexas medias localizadas entre los 2,800 y 3,000 metros, constituidas por depósitos de andesita alternados con sedimentos de origen residual y pobre desarrollo fluvial.
2. Laderas convexas medias localizadas entre los 2,800 y 3,000 metros, constituidas por derrames basálticos con pobre desarrollo fluvial.
3. Laderas convexas bajas localizadas entre los 2,500 y 2,700 metros, constituidas por tobas y material poco consolidado con desarrollo fluvial lineal poco desarrollado.
4. Laderas cóncavas medias localizadas entre los 2,800 y 3,000 metros, constituidas por tobas que presentan un moderado desarrollo fluvial.
5. Laderas cóncavas bajas localizadas entre los 2,500 y 2,700 metros, constituidas por tobas y material poco consolidado con desarrollo fluvial lineal poco desarrollado.
6. Laderas mixtas medias localizadas entre los 2,800 y 3,000 metros, constituidas por depósitos de tobas, presentan poco desarrollo fluvial.
7. Mesa con bordes de laderas basálticas localizada entre los 2,600 y 2,700 metros, constituidas por materiales piroclásticos y bajo desarrollo fluvial.

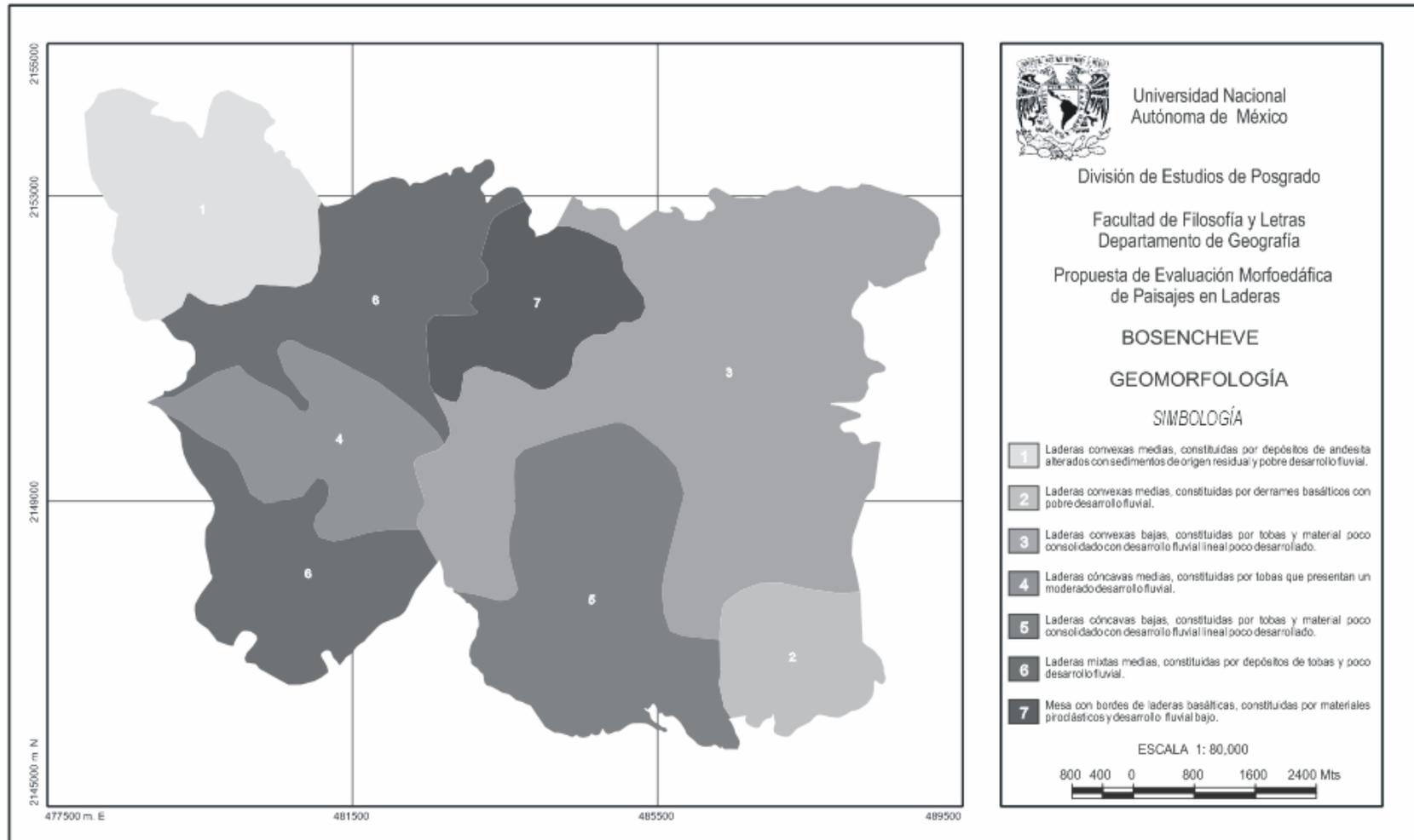




Figura 3.3 Campos agrícolas sobre un sistema mixto.

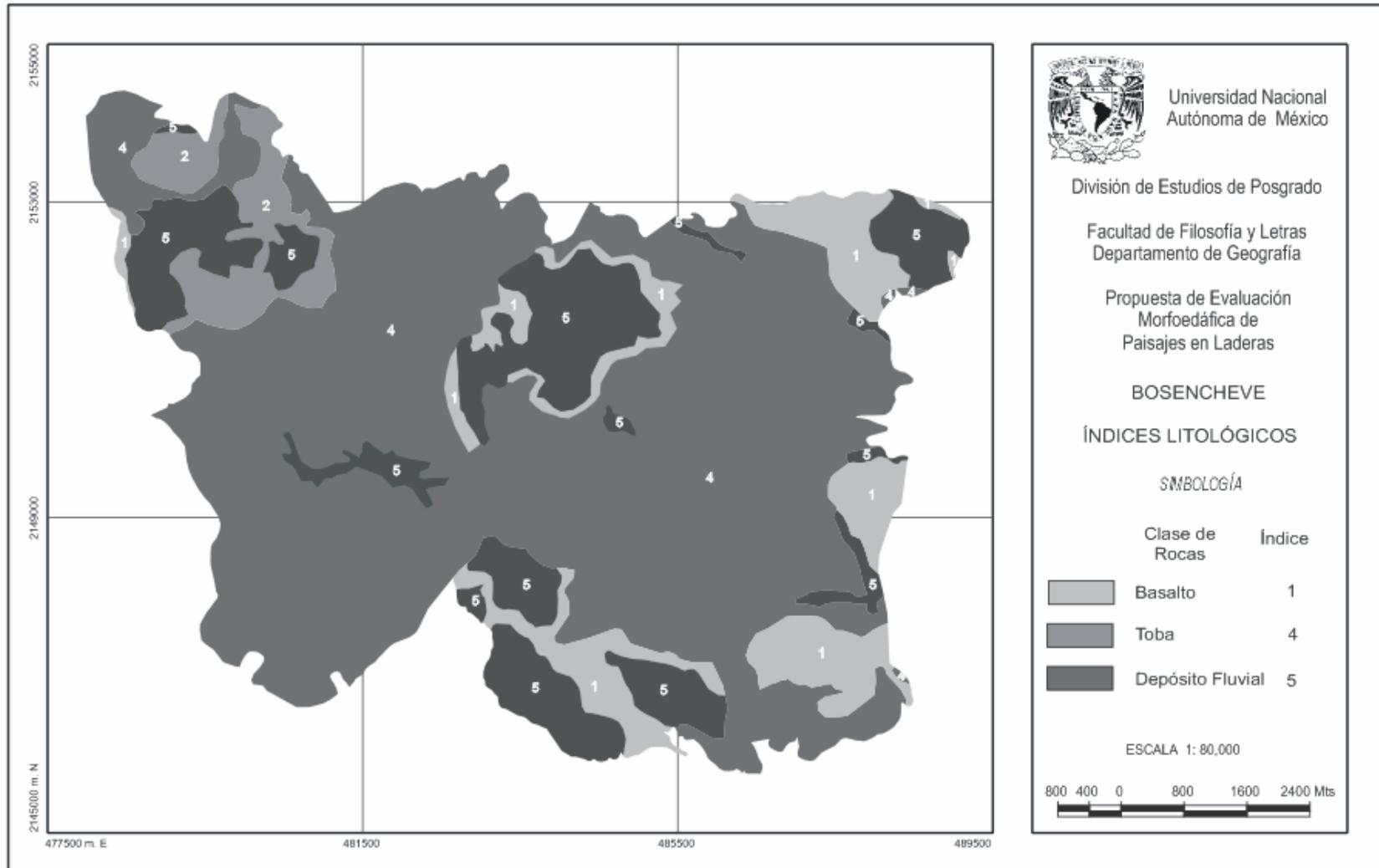


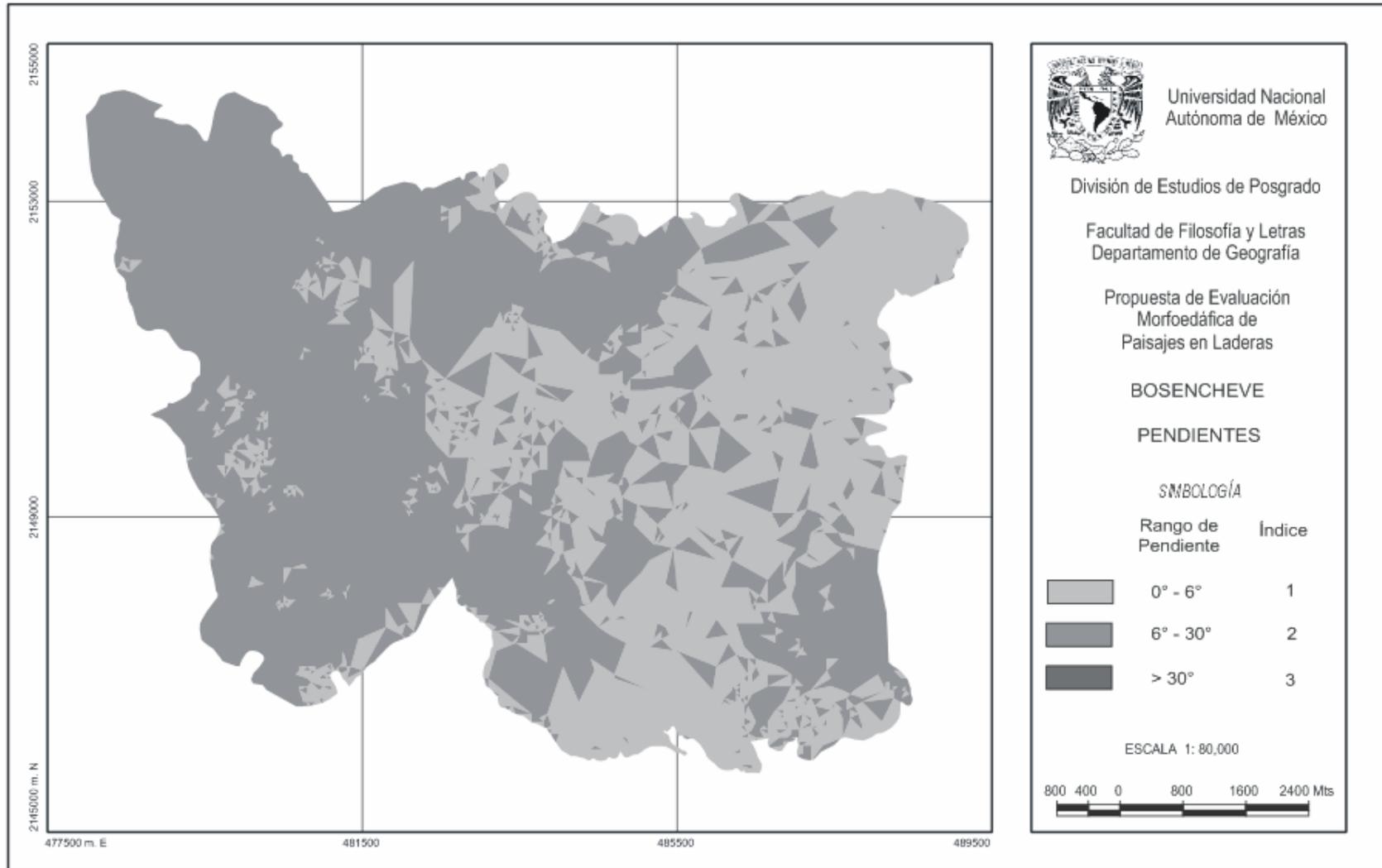
Figura 3.4 Relictos de bosque en el Parque Nacional Bosencheve.

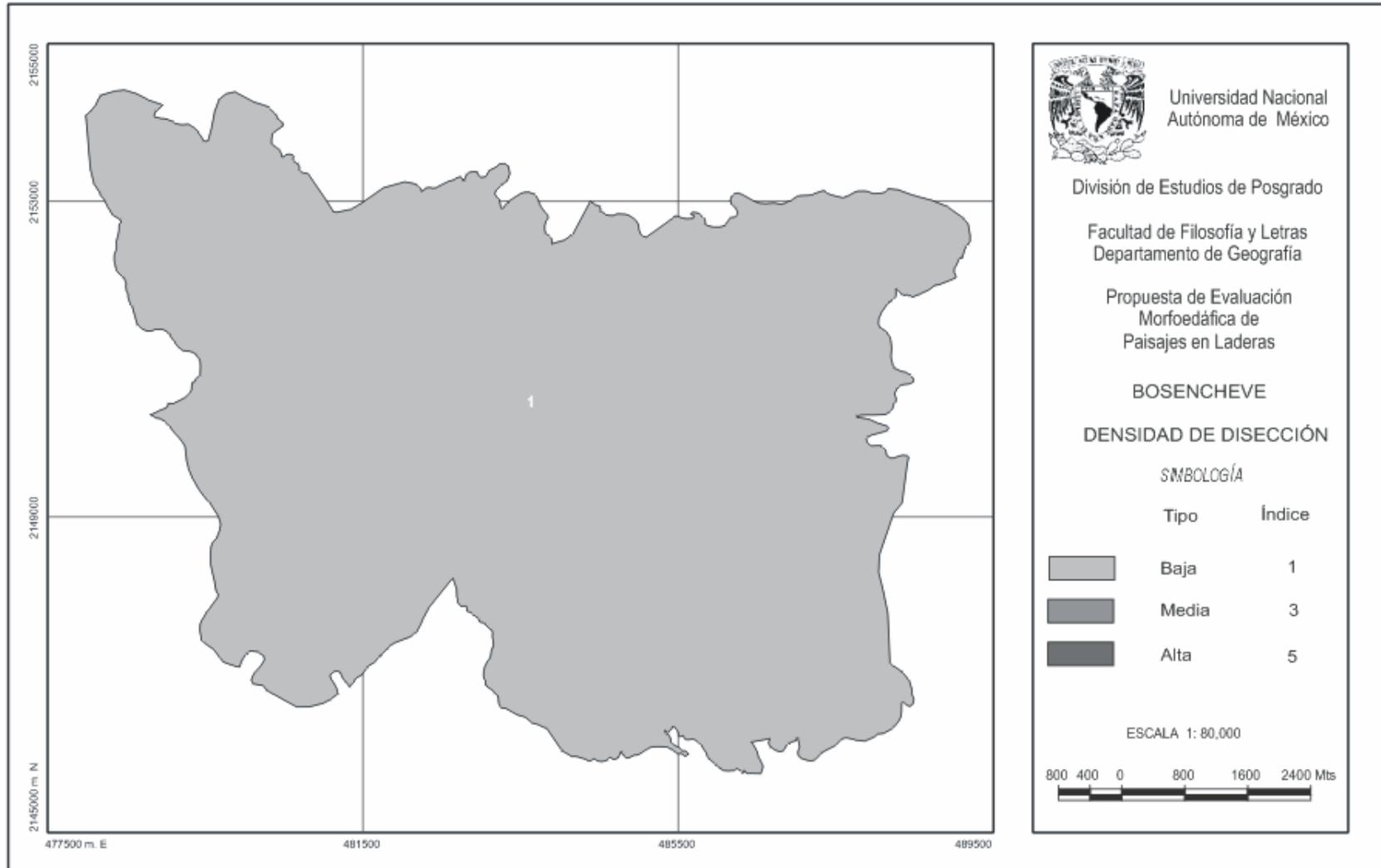


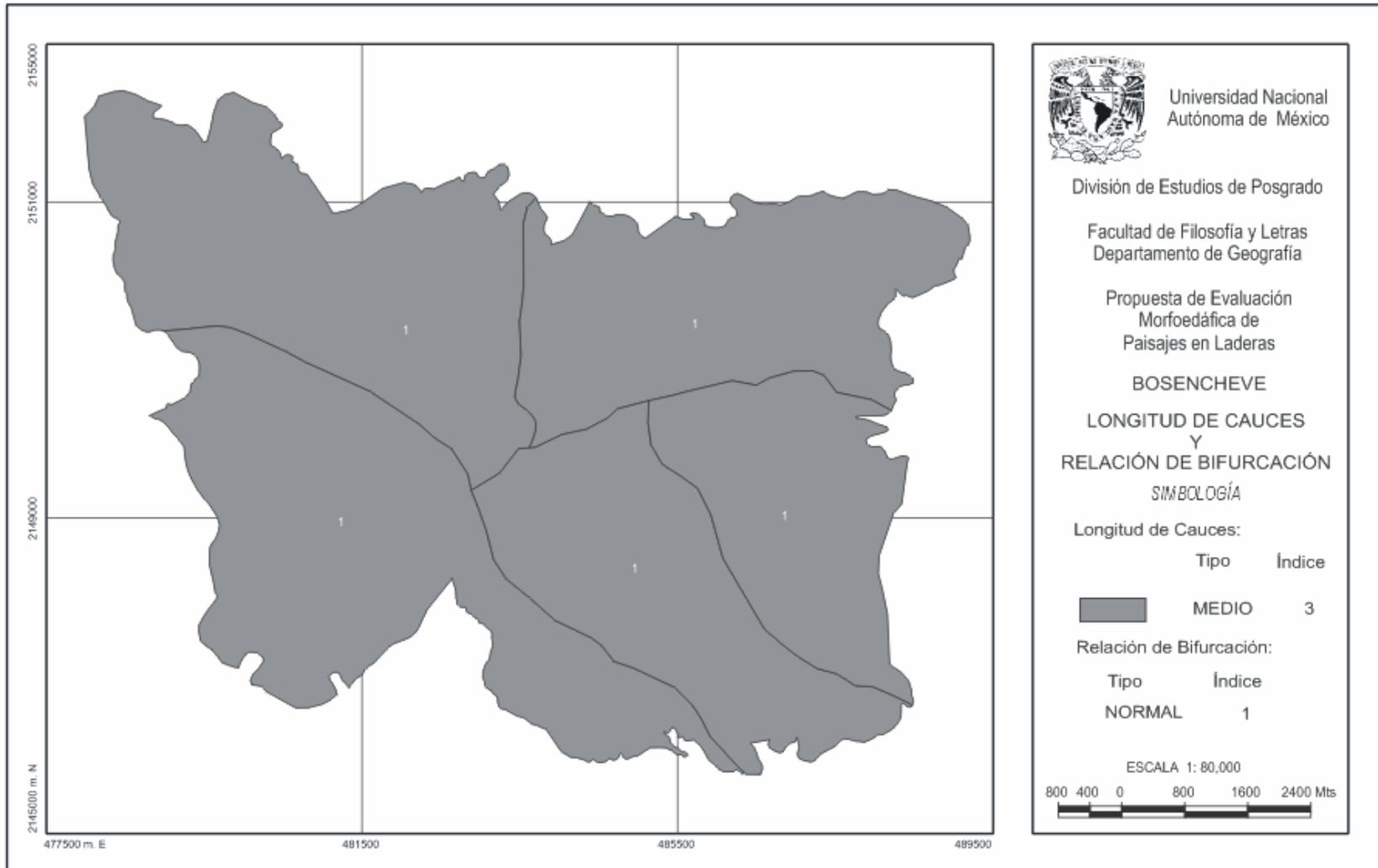
Fase 2. Atributos cuantitativos

Una vez caracterizada la geomorfología de las laderas y señaladas las fronteras de las unidades de análisis, como se realizó en el caso anterior; cada unidad geomórfica se procesó de forma paramétrica. A continuación, se presentan las cartas que conformaron a cada uno de los índices de la fase cuantitativa; mientras que en la fase 3, se exhibe un extracto del listado de las unidades geomorfológicas con los valores obtenidos en el proceso de medición y la suma de las mismas, que constituyen en valor del Índice de desarrollo geomorfológico. Los datos completos de la serie de unidades se encuentran localizados en el Anexo 5.











Fase 3. Índice de desarrollo geomorfológico (IDG)

Con la información obtenida en la fase anterior, se realizó un proceso de generalización por medio de la cual las unidades geomorfológicas que presentaron un valor común han sido agrupadas para conformar así un mapa con unidades territoriales, que representan el Índice de desarrollo geomorfológico homogéneo.

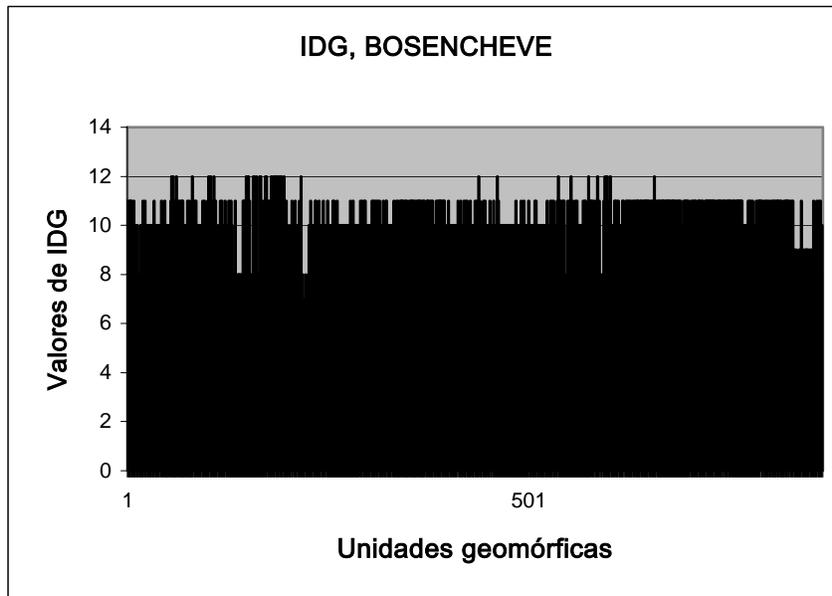
A continuación, se presentan los parámetros y valores que corresponden a cada unidad geomorfológica y la cartografía correspondiente.

PARÁMETROS Y VALORES ENCONTRADOS PARA LA OBTENCIÓN DEL ÍNDICE DE DESARROLLO GEOMORFOLÓGICO DE BOSENCHÉVE						
UNIDAD GEOM.	LITOLOGÍA	PENDIENTE	DENSIDAD DISECCIÓN	ORDENES DRENAJE	LONGITUD DE CAUCES	TOTAL
1	2	4	1	1	3	11
16	1	1	1	1	3	7
17	2	1	1	1	3	8
57	2	5	1	1	3	12
216	1	5	1	1	3	11
387	2	4	1	1	3	11
653	1	1	1	1	3	7
679	4	1	1	1	3	10
747	2	4	1	1	3	11
832	2	1	1	1	3	9
868	1	4	1	1	3	10

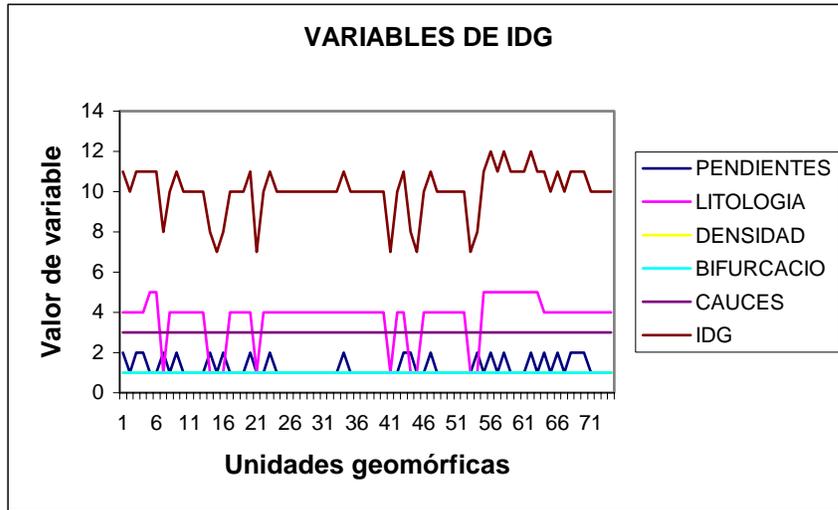
Cuadro 3.6 Extracto de matriz del IDG de Bosencheve.



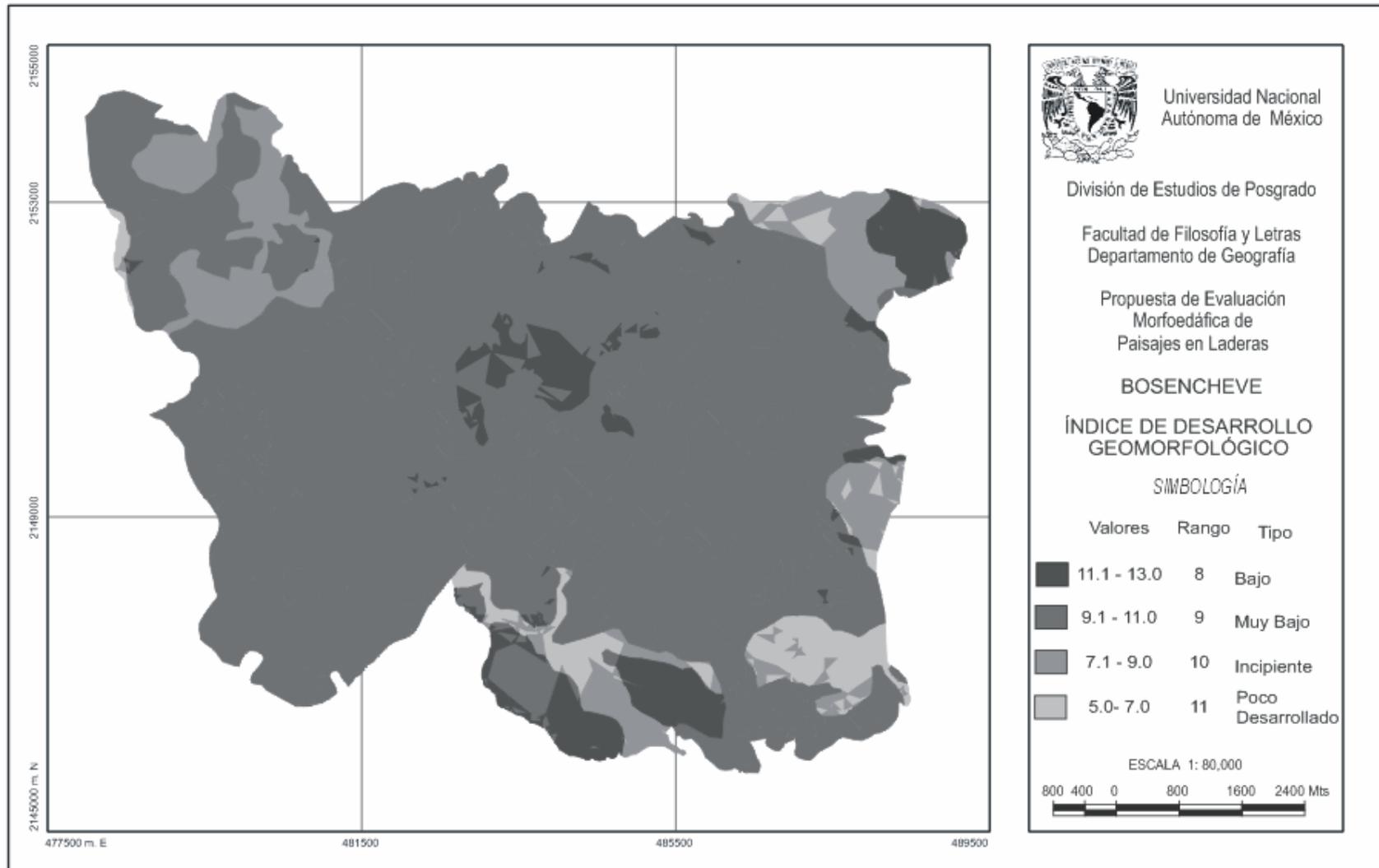
La gráfica 3.4 muestra el concentrado de las unidades geomórficas del sector estudiado, en el cual se advierte el comportamiento del grupo ante los valores del índice; mientras que la gráfica 3.2 muestra el comportamiento de un grupo de unidades seleccionadas con el propósito de mostrar las variaciones encontradas en unidades aparentemente homogéneas.



Gráfica 3.4 Variables del IDG de Bosencheve.



Gráfica 3.5 Variables del IDG de Bosencheve.





Los resultados obtenidos del Índice de desarrollo geomorfológico se procesaron estadísticamente a través de la media, obteniéndose así el comportamiento general de ladera en estudio, los resultados de este procedimiento son los siguientes:

MEDIA DEL IDG, BOSENCHAVE

Sumatoria de rangos: 8,766

Número de unidades: 868

M= 10.1

Muy bajo

Fase 4. Levantamiento de suelos

Como en el caso anterior, se presenta un par de ejemplos de la fase correspondiente, mientras que los resultados de los análisis se localizan en el anexo 6.

Descripción morfológica del Perfil 3

Perfil profundo, bien drenado, en colores café amarillento, notablemente uniforme en toda su profundidad, con estructura granular, y débilmente desarrollada, su consistencia es blanda, en los 3 primeros horizontes y el último ligeramente adhesivo y no plástico, muy pocos poros con diámetro de microporos, con una morfología tubular. La cantidad de raíces es abundante con variación de tamaño que oscila de finas a gruesas.



Descripción del perfil

0-13 cm: *Dark Yellowish* (10YR 4/4) en seco y *Strong Brown* (7.6YR 2.5/1) en húmedo, arenoso, estructura granular, débilmente desarrollada, ligeramente adherente, ligeramente plástico, friable en húmedo, blando en seco, muy pocos microporos tubulares, raíces finas abundantes, pH 4.74 con agua y 5.97 con cloruro de potasio. (Muestra # 696).

13-40 cm: Café amarillento (7.5YR 2.5/3) en seco y café muy oscuro (7.5YR 2.5/1) en húmedo, migajón arcilloso, estructura granular, débilmente desarrollada, ligeramente adherente y no plástico, friable en húmedo y blando en seco, muy pocos microporos tubulares, raíces medias abundantes, pH 6.03 en agua y 4.98 en cloruro de potasio. (Muestra # 697).

40-85cm: Café claro (7.5YR 6/4) en seco y café oscuro (7.5YR 3/4) en húmedo, franco, estructura granular, débilmente desarrollada, ligeramente adherente y no plástica, friable en húmedo y blando en seco, muy pocos microporos tubulares, raíces gruesas abundantes, pH en agua 6.32 y pH de 5.28 en cloruro de potasio (Muestra # 698).

85-150 cm: *Dark Yellowish Brown* (10YR 7/4) en seco y *Very Pale Brown* (10YR 3/6) en húmedo, arena migajosa, estructura granular, débilmente desarrollada, ligeramente adherente y no plástica, friable en húmedo y ligeramente duro en seco, frecuentes microporos tubulares, raíces gruesas pocas, pH de 6.32 en agua y 5.49 en cloruro de potasio,(muestra # 699).



Figura 3.4 Perfil 3. Parque Nacional Bosencheve.

Descripción morfológica del perfil 9

Perfil, con color según la tabla de Munsell de café oscuro grisáceo a café grisáceo, la estructura es moderadamente desarrollada, es friable, ligeramente adhesivo, ligeramente plástico, perfil con pocos poros con diámetros finos, con morfología intersticial y tubular, con raíces comunes y de tamaño finas.

Descripción del perfil

0-10 cm: Café grisáceo (2.5Y 5/32) en seco y Muy café oscuro grisáceo (2.5Y 3/2) en húmedo, franco arenoso, estructura poliédrica angular, moderadamente desarrollada, ligeramente adherente y ligeramente plástico, muy friable en húmedo, suelto en seco, frecuentes poros finos intersticiales y tubulares, raíces delgadas comunes, pH 5.92 con agua y 4.98 con cloruro de potasio. (Muestra # 700).



10-28 cm: *Ligh brownish gray* (10YR 6/2) en seco y Negro (10YR2/1) en húmedo, franco, estructura laminar, moderadamente desarrollada, ligeramente adherente y ligeramente plástico, muy friable en húmedo y suelto en seco, frecuentes poros finos tubulares, raíces finas comunes, pH 6.08 en agua y 5.20 en cloruro de potasio. (Muestra # 701).

28-45 cm: Café (10YR 4/3) en seco y Negro (10YR 2/1) en húmedo, estructura poliédrica angular, moderadamente desarrollada, ligeramente adherente y ligeramente plástico, friable en húmedo, blando en seco, muy pocos poros muy finos intersticiales, raíces finas raras, pH 6.03 con agua y 5.17 con cloruro de potasio. (Muestra # 702).

45-65 cm: *Yellowish brown* (10YR 5/4) en seco y *Very dark brown* (10YR 2/2) en húmedo, migajón arenoso, estructura laminar, moderadamente desarrollada, ligeramente adherente y ligeramente plástico, friable en húmedo y suelto en seco, frecuentes poros finos tubulares, raíces finas comunes, pH 5.65 en agua y 5.36 en cloruro de potasio. (Muestra # 703).

65- + cm: Palagonita, *Light yellowish brown* (10YR 6/4) en seco y *dark yellowish brown* (10RY 3/4) en húmedo, pH 6.19 en agua y 5.36 en cloruro de potasio, migajón arenoso. (Muestra # 704).



Figura 3.5 Perfil 9. Parque Nacional Bosencheve.

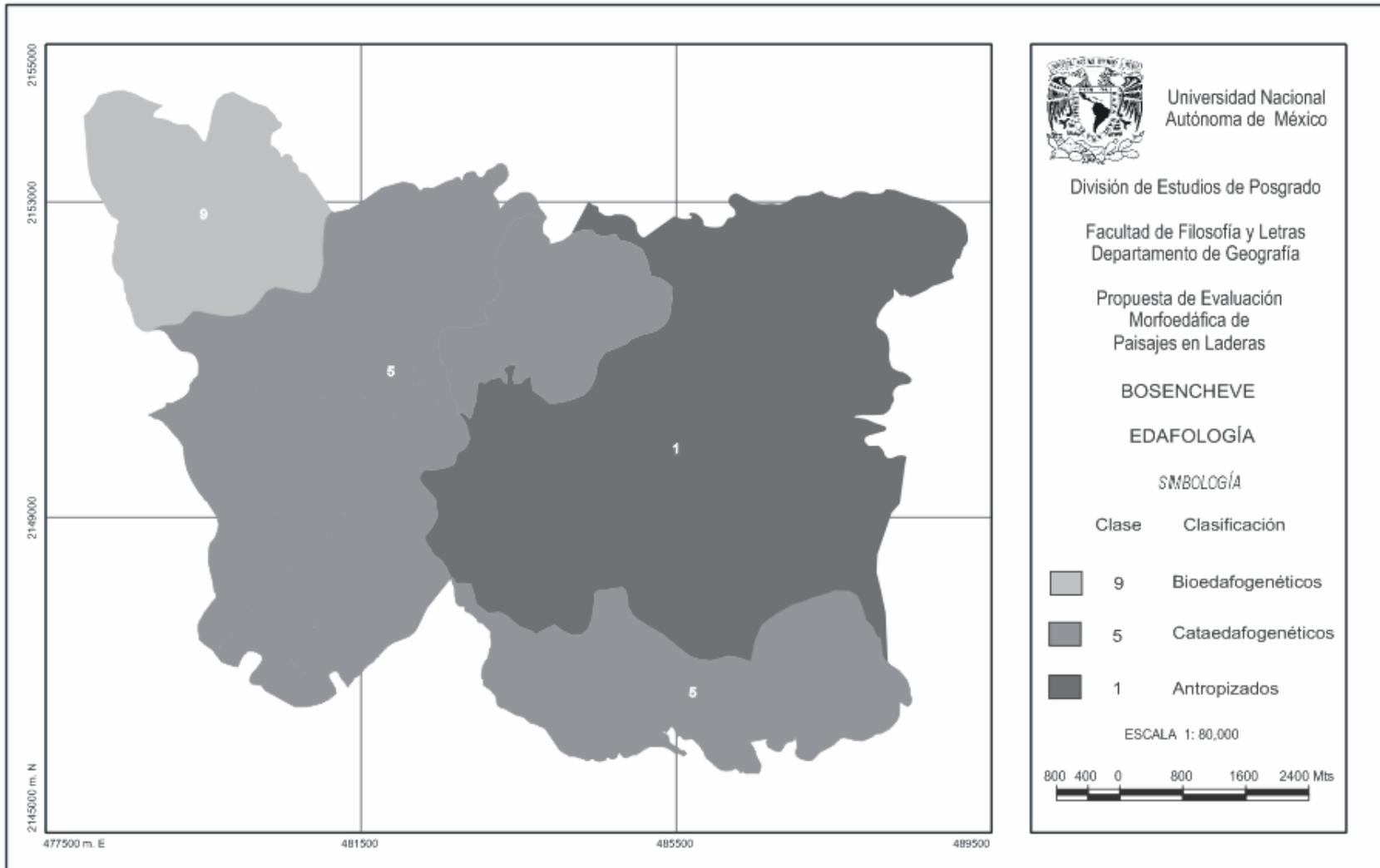
De acuerdo con el sistema de clasificación del suelo y las características del mismo, se obtuvo que si bien existen algunas diferencias en los parámetros de medición de los mismos, las condiciones generales de éstos se desarrollan de manera clara hacia un estado progresivo, en el cual los procesos dominantes muestran una tendencia hacia la estabilidad y desarrollo de horizontes.

Sin embargo, la unidad de estudio se considera heterogénea debido a las condiciones de estrés que es sometido el suelo, motivo por el cual se mantuvieron las tres clases de suelo que se muestran en el cuadro 3.7 y en el mapa correspondiente, que aparece a continuación.



LEVANTAMIENTO DE SUELOS	
CRITERIO DE CLASIFICACIÓN (Cs)	CLASE
Bioedafogenéticos	9
Cataedáficos	5
Antropizados	1

Cuadro 3.7 Clasificación de suelos.





Fase 5. Uso de suelo y Fase 6, Relación de equilibrio edáfico

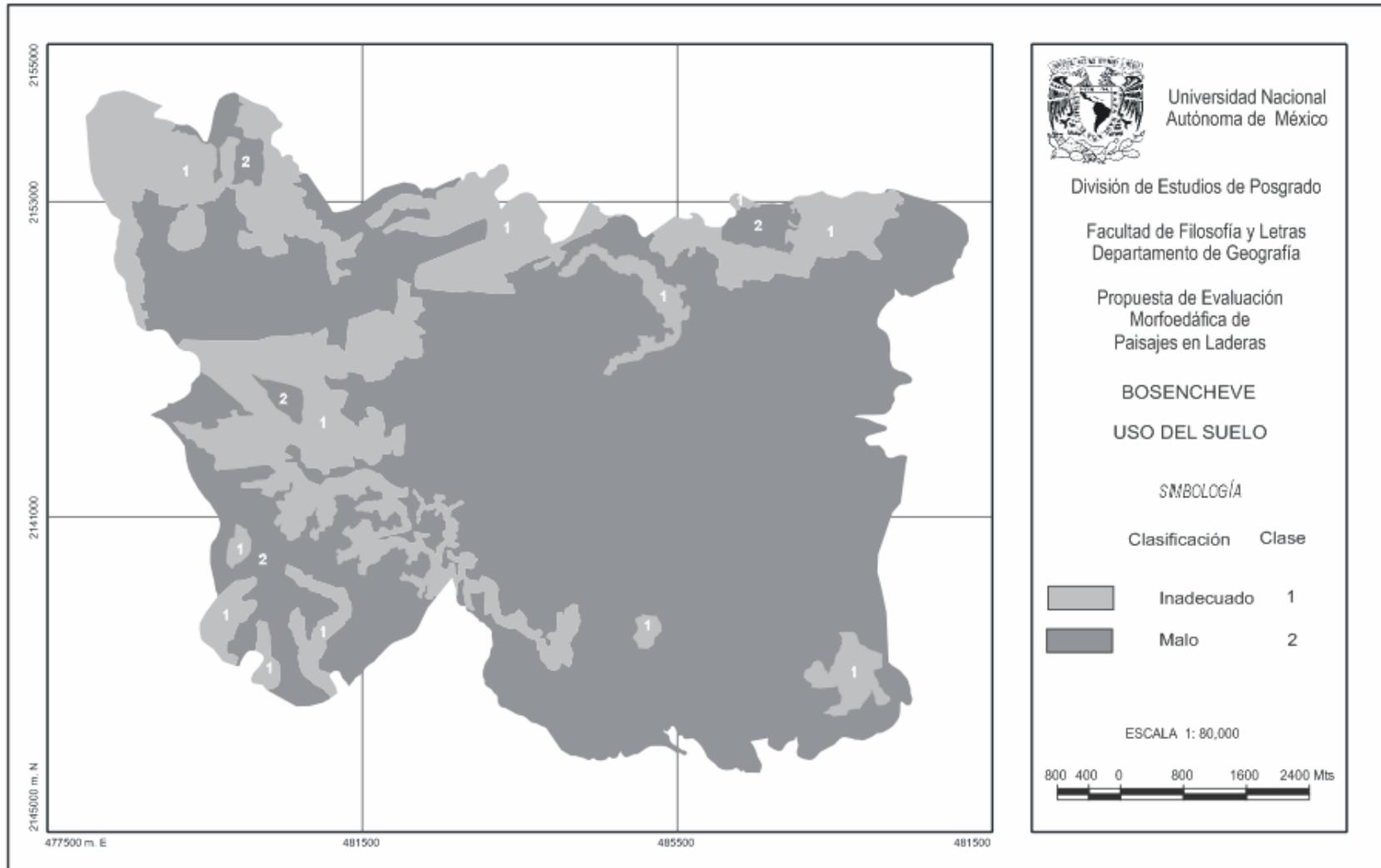
La zona de estudio decretada como Parque Nacional desde 1940, posee en cuanto al uso de suelo problemas heredados y de compleja resolución; entre ellos destacan la tenencia de la tierra, la tala de árboles, sobrepastoreo, extracción de “tierra de monte”, incendios forestales, plagas (de gusano barrenador, descortezador y muérdago) y cacería furtiva, entre otros.

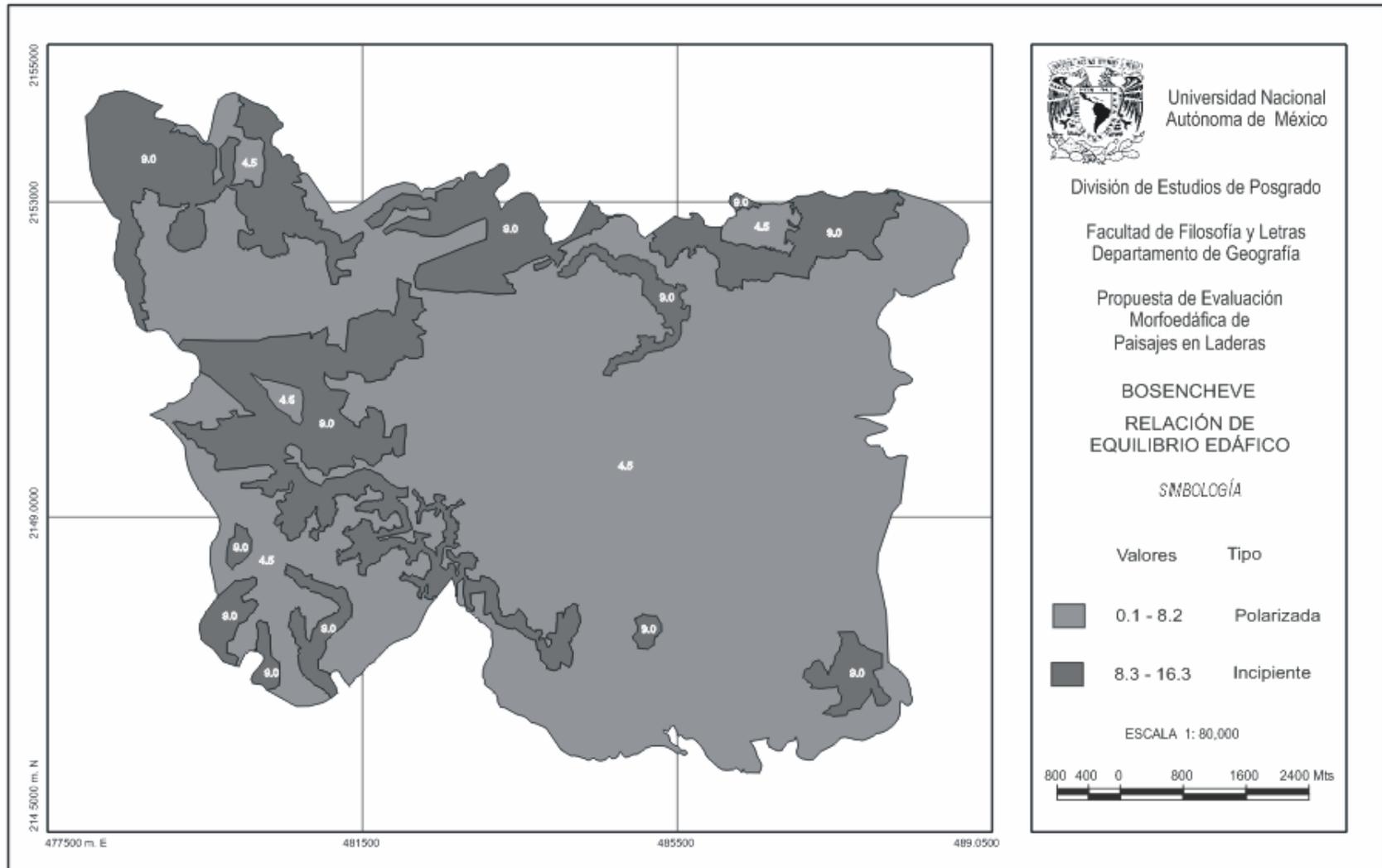
El deslinde y jurisdicción del parque, elaborado por la Secretaría de la Reforma Agraria posee el agravante de que entre los límites de México y Michoacán y localidades vecinas. De acuerdo con el antecedente citado, el parque no cumple con los propósitos del decreto de formación, de tal manera, que en casi la totalidad del mismo se desarrollan actividades agrícolas y se evidencian procesos de degradación, como se puede apreciar en la figura siguiente y el mapa subsiguiente.

De acuerdo con los valores obtenidos en las fases anteriores, se obtiene por un lado suelo con características bioedafogenéticas, y por el otro, condiciones de mal uso y manejo; lo que resulta en una relación de equilibrio edáfico incipiente y polarizado.



Figura 3.6 Zonas de desmonte y eriales en el parque.



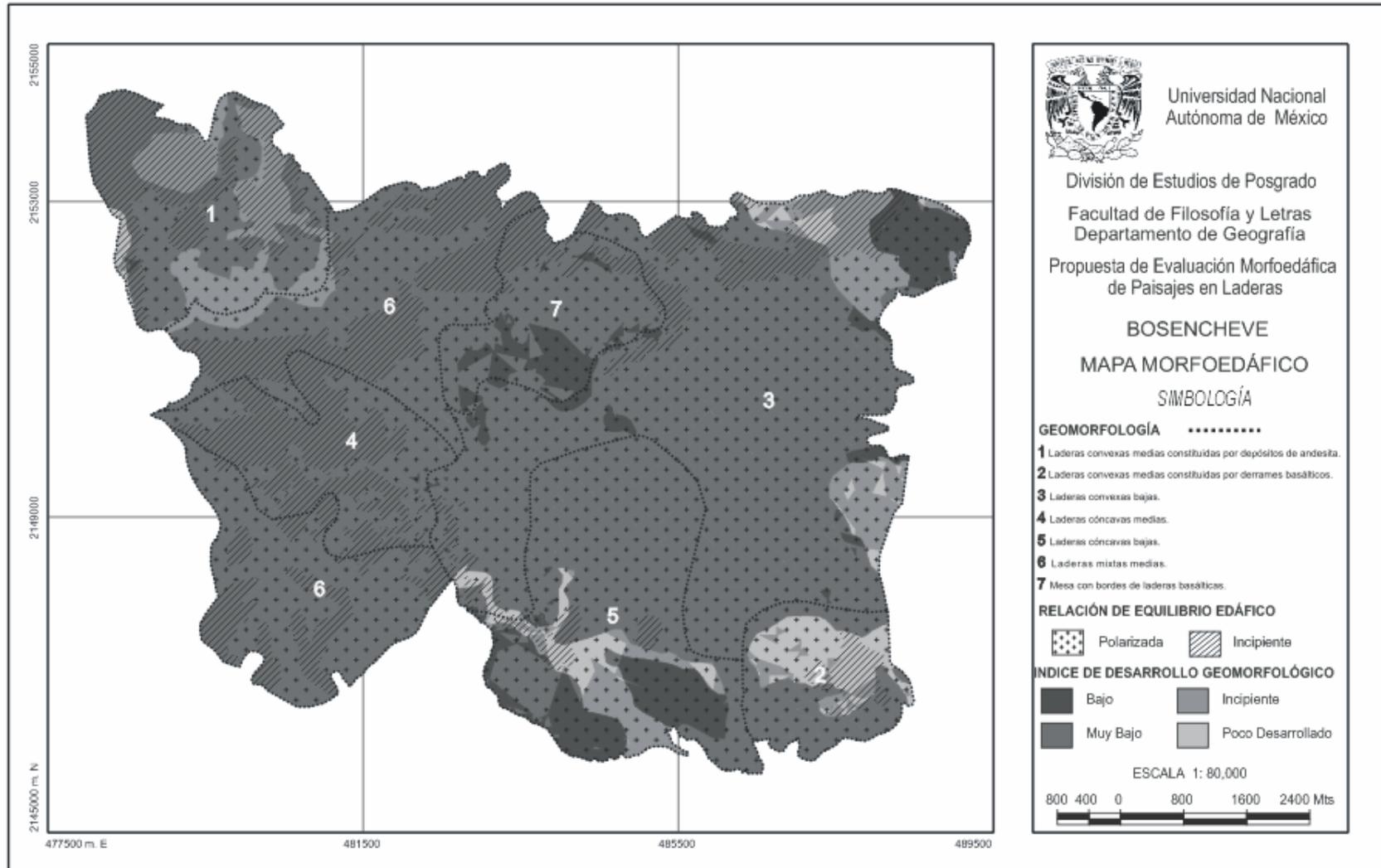




Fase 7. Estabilidad morfoedáfica y cartografía

De acuerdo con los resultados obtenidos en el estudio del Índice de desarrollo geomorfológico y la Relación de equilibrio edáfico, se obtuvieron a través del proceso de sobreposición de los mapas correspondientes las unidades morfoedáficas y la leyenda del mapa respectiva.

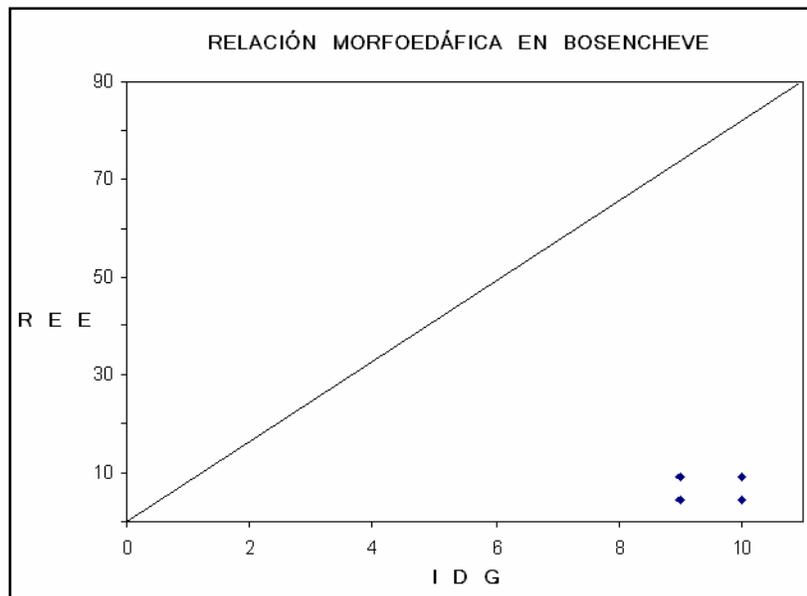
Con referencia a ésta, se establecen tres elementos básicos de representación: el primero de ellos, identifica el tipo de ladera y la morfología general de la misma, delimitada en un área e identificada con una numeración progresiva y jerárquica; por su parte, el Índice de desarrollo geomorfológico se encuentra representado por áreas e tonalidades de gris, que de acuerdo con el valor del índice, aumentan de forma progresiva la intensidad del tono; y por último, la Relación de equilibrio edáfico representa también superficies; sin embargo, éstas se identifican por medio de achurados.





Al fusionar resultados obtenidos en el índice de desarrollo geomorfológico y la relación de equilibrio edáfico, se genera un gráfico en el cual logra apreciarse un claro proceso de distribución de las unidades morfoedáficas.

La colocación de las unidades muestra separación entre los componentes morfoedáficos y condiciones estables e incipientes de desarrollo de geoformas, que se traduce en condiciones ideales de desarrollo de suelo; sin embargo, se confirma que la calidad de uso de éste es muy pobre, por lo que las condiciones de equilibrio general reportan, en este momento, condiciones de igualdad, con la salvedad de una tendencia a la rexistasia en el mediano plazo.



Gráfica 3.6 Relación morfoedáfica en el sistema de laderas de Bosencheve.



EVALUACIÓN MORFOEDÁFICA EN EL SISTEMA NEVADO DE TOLUCA

Fase 1. Clasificación geomorfológica

Para el desarrollo de la fase, se ha realizado una caracterización de las laderas de acuerdo con los elementos planteados en la metodología; a continuación, se presenta un cuadro en el cual se ha concentrado la información básica, que ha sido utilizada para la clasificación del sistema.

ATRIBUTOS GEOMORFOLÓGICOS DEL NEVADO DE TOLUCA		
ELEMENTOS CUALITATIVOS	VARIABLES	CARACTERÍSTICAS
Geoformas	Origen	Se encuentra relacionado con diferentes eventos tectovolcánicos, que datan desde hace un millón de años; sin embargo, presenta una topografía reciente que no supera los últimos 10,500 años. Localizado sobre un complejo de lineamientos locales y regionales orientados en direcciones de NE–SW y NW–SE, se emplaza sobre un sistema regional de fallas que se desarrollan en el sector central del Sistema Volcánico Transversal y un conjunto de grabens en echelon.
	Particularidad	La morfología del volcán representa una secuencia de eventos explosivos de carácter freatoplíniano, que combinados con la presencia de glaciares de alta montaña y desarrollo de una red fluvial configuran la forma actual del Nevado.

Cuadro 3.8.1 Caracterización geomorfológica del Nevado de Toluca.



ATRIBUTOS GEOMORFOLÓGICOS DEL NEVADO DE TOLUCA		
ELEMENTOS CUALITATIVOS	VARIABLES	CARACTERÍSTICAS
Geología	Erodabilidad	<p>El sistema geomorfológico que compone la parte de estudio del volcán se encuentra construido por flujos lávicos andesíticos de composición intermedia, que resulta, de manera general, resistente a la erosión.</p> <p>Por lo que corresponde al sistema inferior, éste se encuentra conformado por flujos lávicos andesíticos y depósitos de tefra de la misma constitución litológica, siendo estos últimos los que poseen una resistencia menor a la erodabilidad.</p>
Geología	Resistencia a la erosión	El sistema fluvial disecta valles poco profundos (entre 20–30 metros) los cuales son retrabajados, debido a las diferentes etapas de desarrollo geomorfológico del edificio, de tal forma que los cauces reconocen antiguos sistemas fluviales y de control estructural.
	Procesos detectados	Los procesos detectados se relacionan con el retrabajo de algunos cauces y el desarrollo de un sistema de escurrimientos con carácter radial, propio de estructuras volcánicas.
Geometría	Atributos geométricos	<p>Los atributos de las laderas varían entre lo convexo y cóncavo en los sectores que forman al edificio volcánico; de manera general es difícil establecer un dominio entre la geometría.</p> <p>La constitución general de los parteaguas del edificio presentan una morfología convexa, al mismo tiempo que los valles tienen un predominio cóncavo por la morfología heredada de los glaciares.</p>
	Rasgos (puntuales, lineales, areales).	Los elementos más destacados se constituyen por los frentes lávicos andesíticos, que clasifican el sistema de ladera, desde la perspectiva altitudinal. La morfología general destaca el desarrollo de valles glaciares sepultados por depósitos volcánicos, los cuales a su vez son reconocidos y modelados por el sistema fluvial actual.

Cuadro 3.8.2 Caracterización geomorfológica del Nevado de Toluca.



ATRIBUTOS GEOMORFOLÓGICOS DEL NEVADO DE TOLUCA		
ELEMENTOS CUALITATIVOS	VARIABLES	CARACTERÍSTICAS
Consolidación del Sustrato	Condiciones de intemperismo (actual-futuro).	Existe una clasificación de intemperismo por altitud; por encima de los 3,600 metros, es común encontrar procesos físicos relacionados con la crioturbación y por debajo de este nivel la presencia de heladas constantes ayudan en el proceso de gelifracción en la roca y palpitación en los suelos.
Caracterización Climática	Dinámica y evaluación de las geoformas	Las geoformas se clasifican con relación a los procesos y evolución referida a la historia glacial, que afectó al volcán en diferentes magnitudes, de tal forma, que se presenta una configuración semiradial del sistema fluvial.
	Distribución de procesos	Los procesos de desarrollo geomorfológico asociados con el clima se clasifican de acuerdo con los rasgos altitudinales, donde las partes superiores experimentan procesos de intemperismo asociado a bajas temperaturas y, en la parte inferior de la ladera se relacionan con el desarrollo fluvial.
	Desarrollo de suelo	Como respuesta a los rangos de temperatura, distribución de la humedad e intemperismo, los suelos en el volcán se encuentran desarrollados de manera somera y media desde la parte alta a la baja respectivamente, pero en ambos casos, con la característica de ser vulnerables a los procesos de modelado. De manera general presentan colores oscuros, incipiente cantidad de materia orgánica y grados de acidez moderada, lo que refleja de manera natural la tendencia vocacional de los mismos al desarrollo de una cobertura forestal.

Cuadro 3.18.3 Caracterización geomorfológica del Nevado de Toluca.



ATRIBUTOS GEOMORFOLÓGICOS DEL NEVADO DE TOLUCA		
ELEMENTOS CUALITATIVOS	VARIABLES	CARACTERÍSTICAS
Sistema de Drenaje	Red fluvial	El sistema refleja características radiales propias de un edificio volcánico con un subtipo paralelo que refleja condiciones de control estructural y de topografía heredada.
	Elementos de control	El control estructural refiere al sistema de lineamientos con dirección NE-SW y N-S que se encuentra sepultado por los materiales depositados en las pasadas erupciones. El sistema de valles glaciares a su vez se encuentra condicionado este mismo y por consiguiente, la red fluvial se circunscribe al patrón de comportamiento referido.
	Anomalías y otros rasgos	Los cauces que se desarrollan por debajo de los 3,200 msnm, por la longitud y características morfológicas tienden a poseer una característica de torrencialidad asociada a la isoyeta de 1,800 msnm.

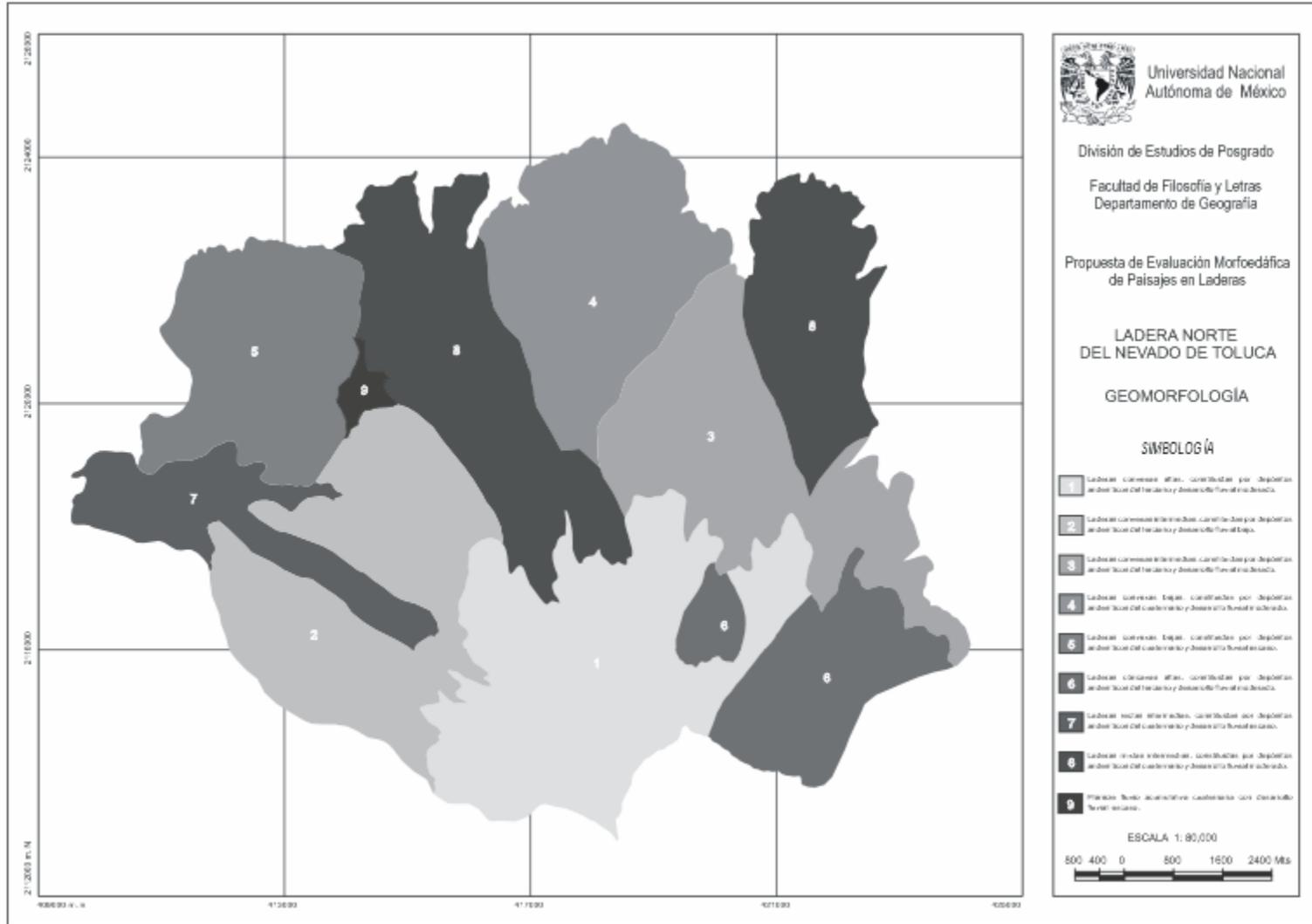
Cuadro 3.8.4 Caracterización geomorfológica del Nevado de Toluca.

La clasificación geomorfológica del volcán queda de la siguiente manera:

1. Laderas convexas altas localizadas, entre 3,600 y 4,000, metros constituidas por depósitos andesíticos del Terciario y desarrollo fluvial moderado.
2. Laderas convexas intermedias, entre 2,400 y 3,600 metros, constituidas por depósitos andesíticos del Terciario y baja densidad de disección fluvial.
3. Laderas convexas intermedias, entre 2,400 y 3,600 metros, constituidas por depósitos andesíticos del Terciario y desarrollo fluvial moderado.
4. Laderas convexas bajas, entre 2,000 y 2,400 metros, constituidas por depósitos andesíticos del Cuaternario y desarrollo fluvial moderado.
5. Laderas convexas bajas, entre 2,000 y 2,400 metros, constituidas por depósitos andesíticos del Cuaternario y con escaso desarrollo fluvial.



6. Laderas cóncavas altas localizadas, entre 3,600 y 4,000 metros, constituidas por depósitos andesíticos del Terciario y moderado desarrollo fluvial.
7. Laderas rectas intermedias, entre 2,400 y 2,800 metros, constituidos por depósitos andesíticos del Cuaternario y escaso desarrollo fluvial.
8. Laderas mixtas intermedias, entre 2,000 y 2,800 metros, constituidas por depósitos andesíticos del Cuaternario y desarrollo fluvial moderado.
9. Planicie fluvio-acumulativa cuaternaria con escaso desarrollo fluvial

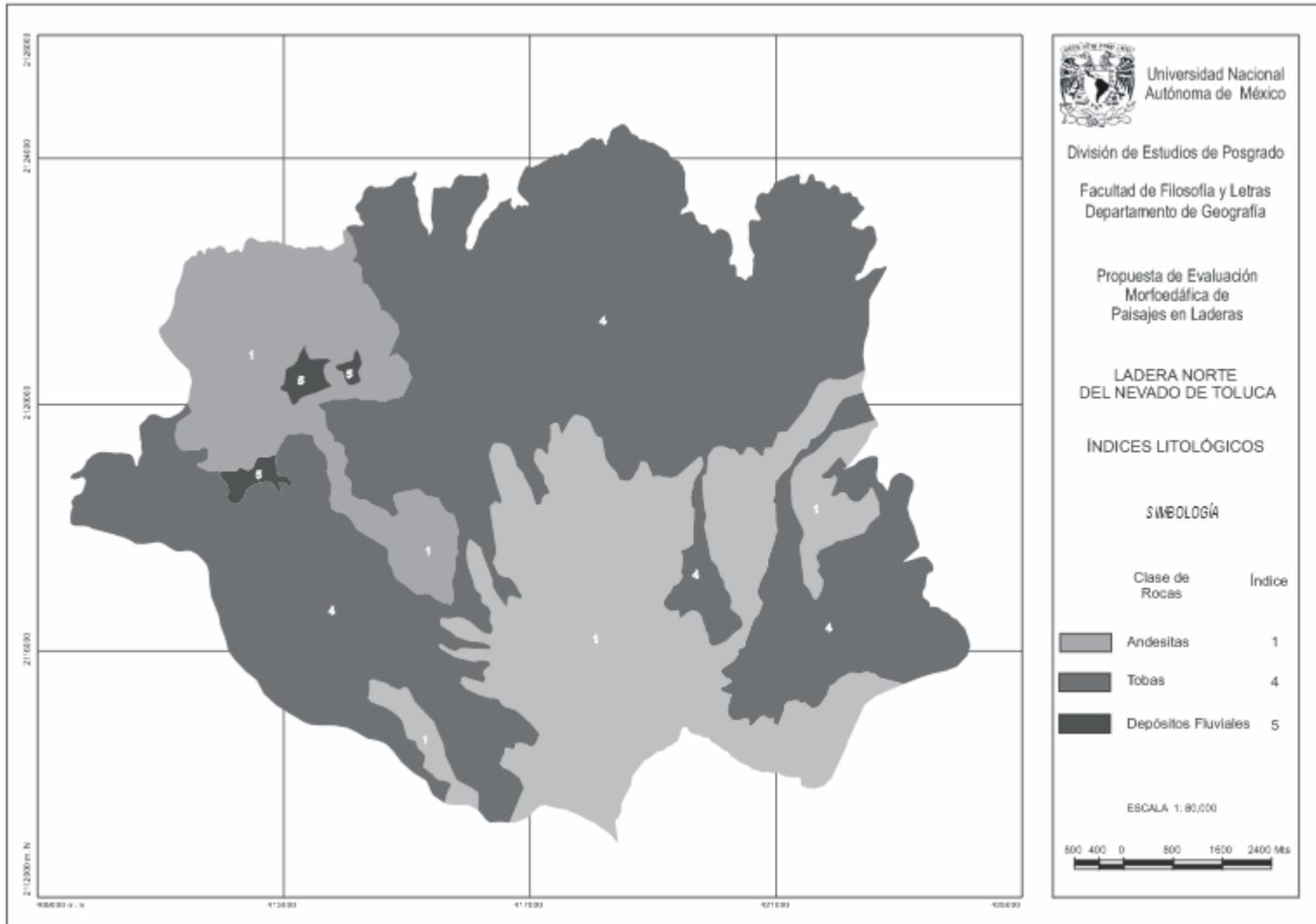


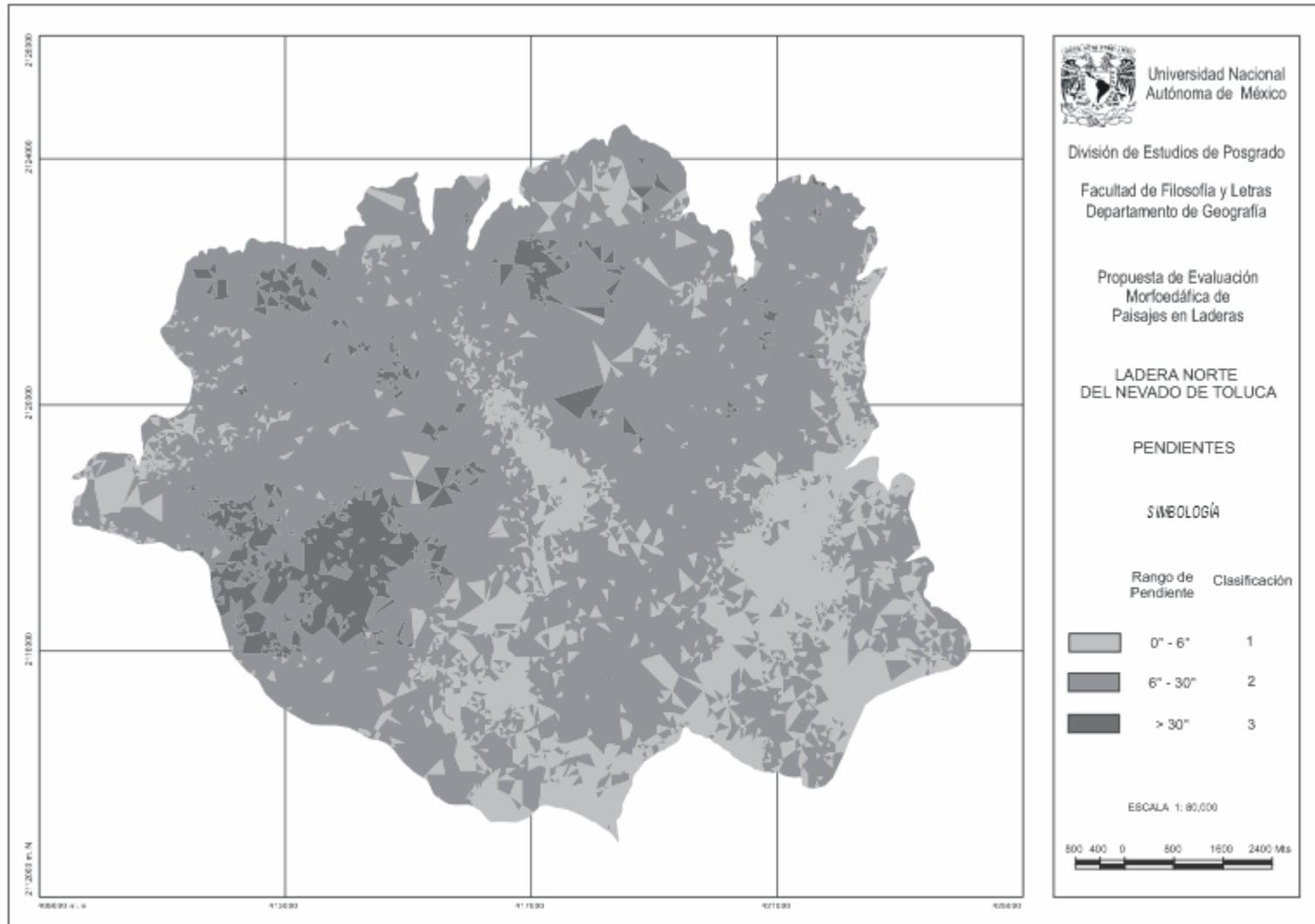


Fase 2. Atributos cuantitativos

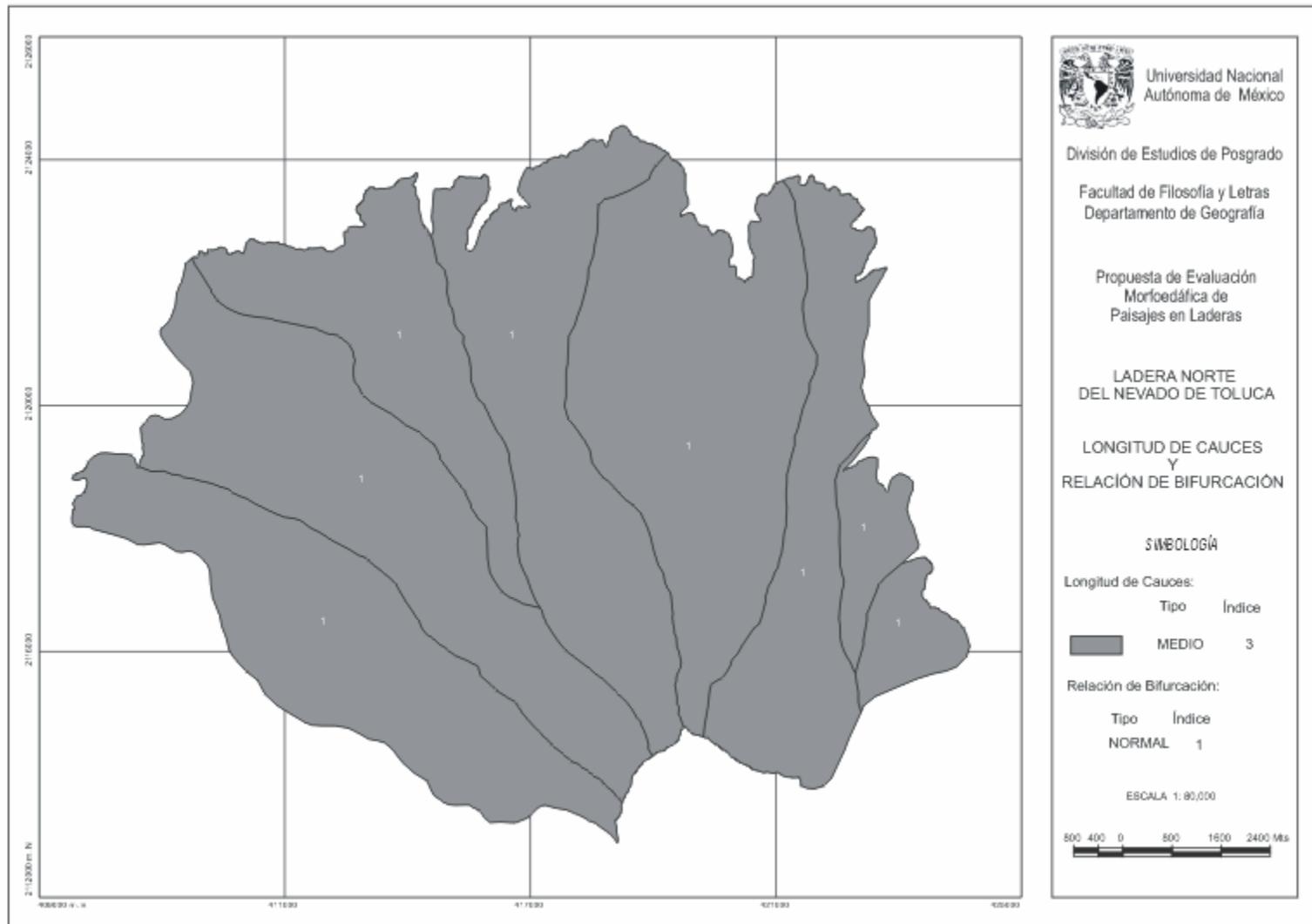
Como ocurrió en los casos antecedentes, en esta fase de trabajo se ha caracterizado de forma paramétrica el sistema de laderas. A continuación, se presentan las cartas temáticas que conformaron al índice, en el orden en el cual se fueron elaborando.

Asimismo, se indica que los datos que conforman a las unidades y la sumatoria de ellas en el Índice de desarrollo geomorfológico se localizan en el Anexo 5.











Fase 3. Índice de desarrollo geomorfológico (IDG)

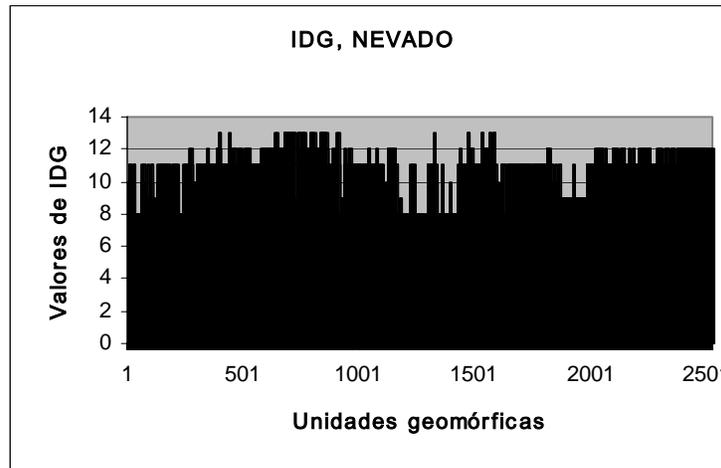
Con la información obtenida en la fase anterior, se realizó un proceso de generalización por medio de la cual las unidades geomorfológicas que presentaron un valor común han sido agrupadas para conformar así un mapa con unidades territoriales, que representan el Índice de desarrollo geomorfológico homogéneo.

A continuación, se presentan los parámetros y valores que corresponden a cada unidad geomorfológica y de manera continua la gráfica y cartografía correspondiente.

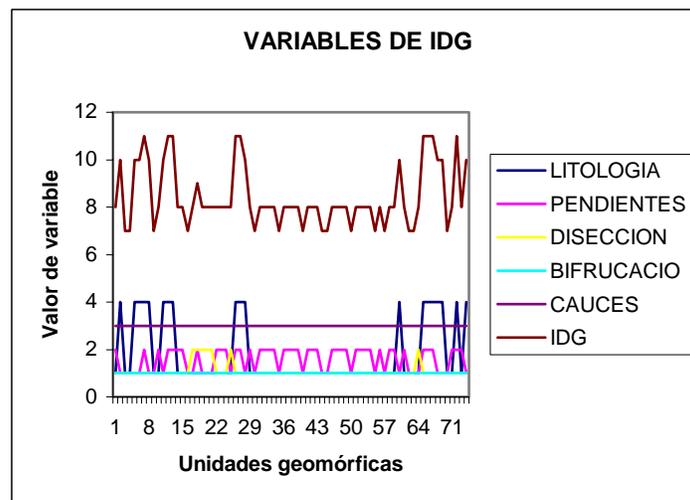
ÍNDICE DE DESARROLLO GEOMORFOLÓGICO DEL NEVADO DE TOLUCA						
UNIDAD GEOM.	LITOLOGÍA	PENDIENTE	DENSIDAD DISECCIÓN	ORDENES DRENAJE	LONGITUD DE CAUCES	VALOR
1	1	2	1	1	3	8
27	4	2	1	1	3	11
165	4	1	1	1	3	10
501	1	2	1	1	3	8
880	1	2	1	1	3	8
1653	4	1	1	1	3	10
1984	1	1	1	1	3	7
2245	4	3	1	1	3	14
2400	4	2	1	1	3	11
2530	4	2	1	1	3	11

Cuadro 3.9 Matriz para conformar el IDG del Nevado de Toluca.

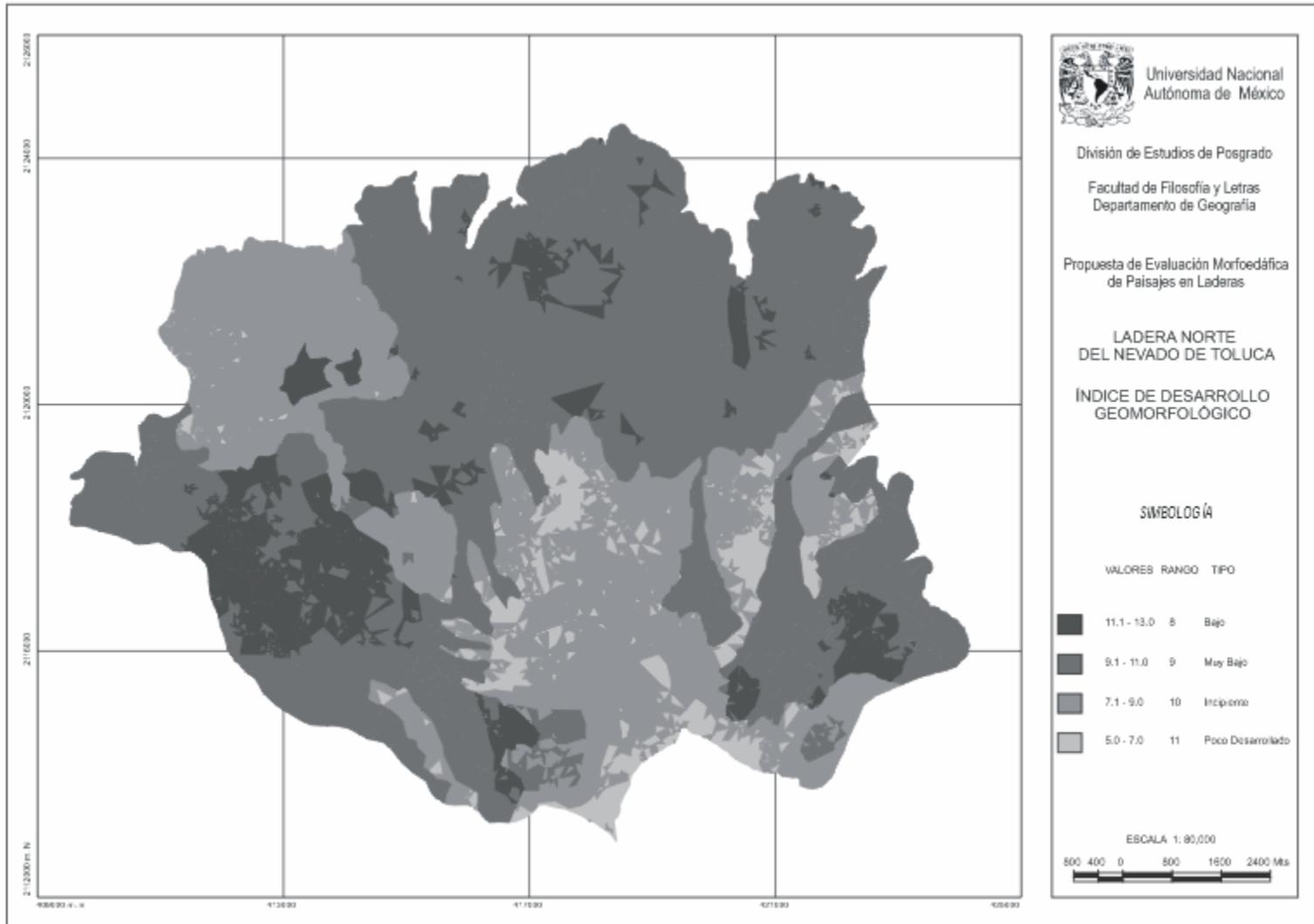
La gráfica 3.6 muestra el comportamiento de las unidades geomórficas del Nevado de Toluca, en el cual se advierten variaciones y la conducta de éstas ante los parámetros del índice; mientras que la gráfica 3.7 muestra el comportamiento de un grupo de unidades seleccionadas con el sólo propósito de mostrar las variaciones encontradas en unidades aparentemente homogéneas.



Gráfica 3.6 Variables del IDG del Nevado de Toluca.



Gráfica 3.7 Variables del IDG del Nevado de Toluca.





Los resultados obtenidos del Índice de desarrollo geomorfológico se procesaron estadísticamente a través de la media, obteniéndose así el comportamiento general de ladera en estudio, los resultados de este procedimiento son los siguientes:

MEDIA DEL IDG, NEVADO DE TOLUCA

Sumatoria de rangos: 24,541

Número de unidades: 2530

M= 9.7

Muy bajo

Fase 4. Levantamiento de suelos

De manera aleatoria se presentan resultados de dos unidades de suelo analizadas; la secuencia completa se encuentra en el anexo 6.

Descripción morfológica

0-5 cm. Textura migajón arenoso; sin estructura; color Negro (*Black*) (2.5/N) en húmedo y Gris muy oscuro (*Very dark gray*) (2.5 Y 3/1) en seco; consistencia en seco es suelto y húmedo es suelto no es adhesivo, no plástico; permeabilidad muy rápida; poros numerosos finos, intersticiales caóticos, dentro y fuera de los agregados; raíces extremadamente abundantes, finas y gruesas; límite medio horizontal. pH en H₂O 5.40, pH en KCl 4.29 (muestra N° 766).



5-25 cm. Textura arena migajón; sin estructura; color Negro (*Black*) (2.5/N) en húmedo y Gris muy oscuro (*Very dark gray*) (5YR 3/1) en seco; consistencia en seco es suelto y en húmedo es suelto no es adhesivo no plástico; permeabilidad muy rápida; poros numerosos, finos, intersticiales caóticos, dentro y fuera de los agregados; raíces abundantes, finas y gruesas; límite medio ondulado; pH en H₂O 5.62, pH en KCl 4.62 (muestra N° 767)

25-45/65 cm. Textura arena migajón; sin estructura; color Negro (*Black*) (2.5/N) en húmedo y Negro (*Black*) (5 Y 2.5/1) en seco su consistencia en seco es suelto y en húmedo es suelto, no es adhesivo no plástico, permeabilidad muy rápida, poros numerosos finos, intersticiales caótico, dentro y fuera de los agregados; raíces de finas a muy gruesas; límite medio ondulado, pH en H₂O 5.86, pH en KCl 4.72 (muestra N° 768).

45/65-125 cm. Textura migajón arenoso; sin estructura; color Negro (*Black*) (2.5/N) en húmedo y Negro (*Black*) (5Y 2.5/2) en seco su consistencia en seco es suelto y en húmedo es suelto, no es adhesivo, no plástico, permeabilidad rápida, poros numerosos finos, intersticiales caóticos, dentro y fuera de los agregados, raíces comunes; límite medio ondulado; pH en H₂O 5.90, pH en KCl 5 .03 (muestra N° 769).

125-200 cm. Textura migajón arenoso; sin estructura; color Negro (*Black*) (2.5/N) en húmedo y Negro (*Black*) (5Y 2.5/2) en seco; su consistencia en seco es suelto y en húmedo es suelto, no es adhesivo, no plástico, permeabilidad rápida, poros numerosos, finos, intersticiales caóticos, dentro y fuera de los agregados, raíces pocas; límite medio horizontal; pH en H₂O 6.20, pH en KCl 5.29; (muestra N° 770).

200-230 cm .Palagonita; (muestra N° 771)



Descripción morfológica del perfil 8

Descripción

0 – 5 Arena migajón, estructura poliédrica angular, débilmente desarrollada; Negro (*Black*) (2.5 Y 2.5/1) en húmedo y Pardo grisáceo oscuro (*Dark grayish brown*) (2.5 Y 4/2) en seco; consistencia en seco es blando y en húmedo es muy friable, no plástico y no adhesivo; poros numerosos, microporos y muy finos, intersticiales y tubulares caóticos, dentro y fuera de los agregados; permeabilidad moderada; raíces comunes, finas y delgadas; límite tenue horizontal; pH en H₂O 5.58, pH en KCl 4.48; (muestra N° 803).

5 – 83 Migajón arenoso, estructura poliédrica angular, débilmente desarrollada; Negro (*Black*) (2.5/N) en húmedo y Gris oscuro (*Dark gray*) (2.5 Y 4/1) en seco; consistencia en seco es blando y en húmedo es muy friable, no plástico y no adhesivo; poros numerosos, microporos y muy finos, intersticiales y tubulares caóticos, dentro y fuera de los agregados; permeabilidad rápida; raíces finas y delgadas; límite medio horizontal; pH en H₂O 5.75, pH en KCl 4.70; (muestra N° 804).

83 – 110. Arena migajón; estructura poliédrica angular, débilmente desarrollada, débilmente desarrollada; Negro (*Black*) (2.5 Y 2.5/1) en húmedo y Pardo grisáceo oscuro (*Dark grayish brown*) (2.5 Y 4/2) en seco; consistencia en seco es blando y en húmedo es muy friable, no plástico y no adhesivo; poros numerosos, de microporos a finos, intersticiales y tubulares caóticos, dentro y fuera de los agregados; permeabilidad rápida; raíces pocas, finas y delgadas; límite medio horizontal; pH en H₂O 6.18, pH en KCl 5.13; (muestra N° 805).

110 – 120 Palagonita; Migajón arenoso; pardo grisáceo muy oscuro (*Very dark grayish brown*) (2.5 Y 3/2) en húmedo y Pardo ligeramente olivo



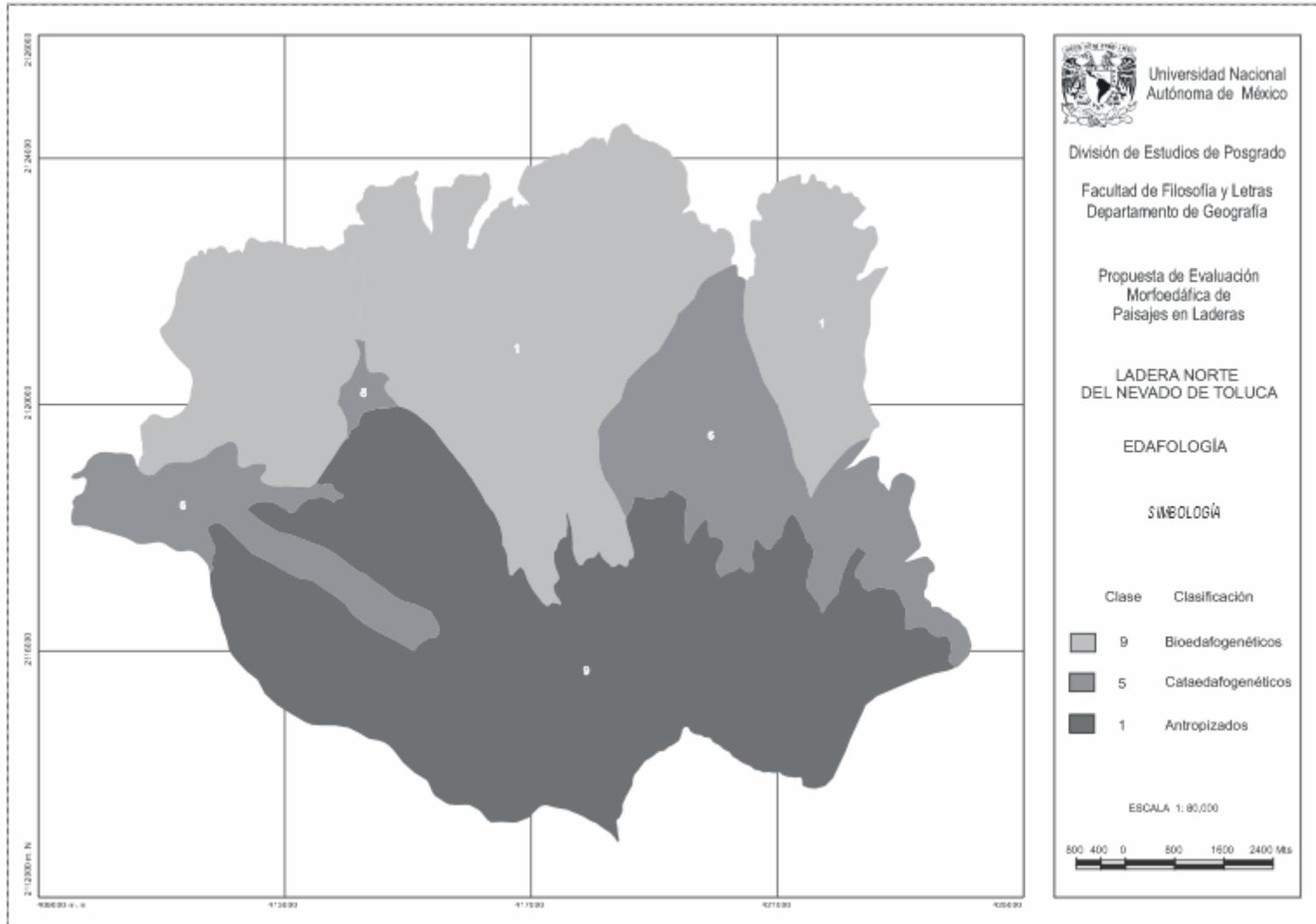
(*Light olive brown*) (2.5 Y 5/3) en seco; pH en H₂O 6.23, pH en KCl 5.28;
(muestra N° 806).

De acuerdo con el sistema de clasificación del suelo y las características del mismo, se obtuvo un número alto de unidades edáficas en el sector norte del Nevado de Toluca; en este sentido, la aparente fragmentación del espacio se debe a diferencias altitudinales y a algunos cambios en las variables de caracterización de suelos, aunque de manera general la tendencia de toda la ladera se concentra en suelos de origen volcanoclástico.

En el proceso de reclasificación se obtuvieron las siguientes clases y mapa:

LEVANTAMIENTO DE SUELOS	
CRITERIO DE CLASIFICACIÓN (Cs)	CLASE
Bioedafogénicos	9
Cataedáficos	5
Antropizados	1

Cuadro 3.10 Clasificación de suelos.

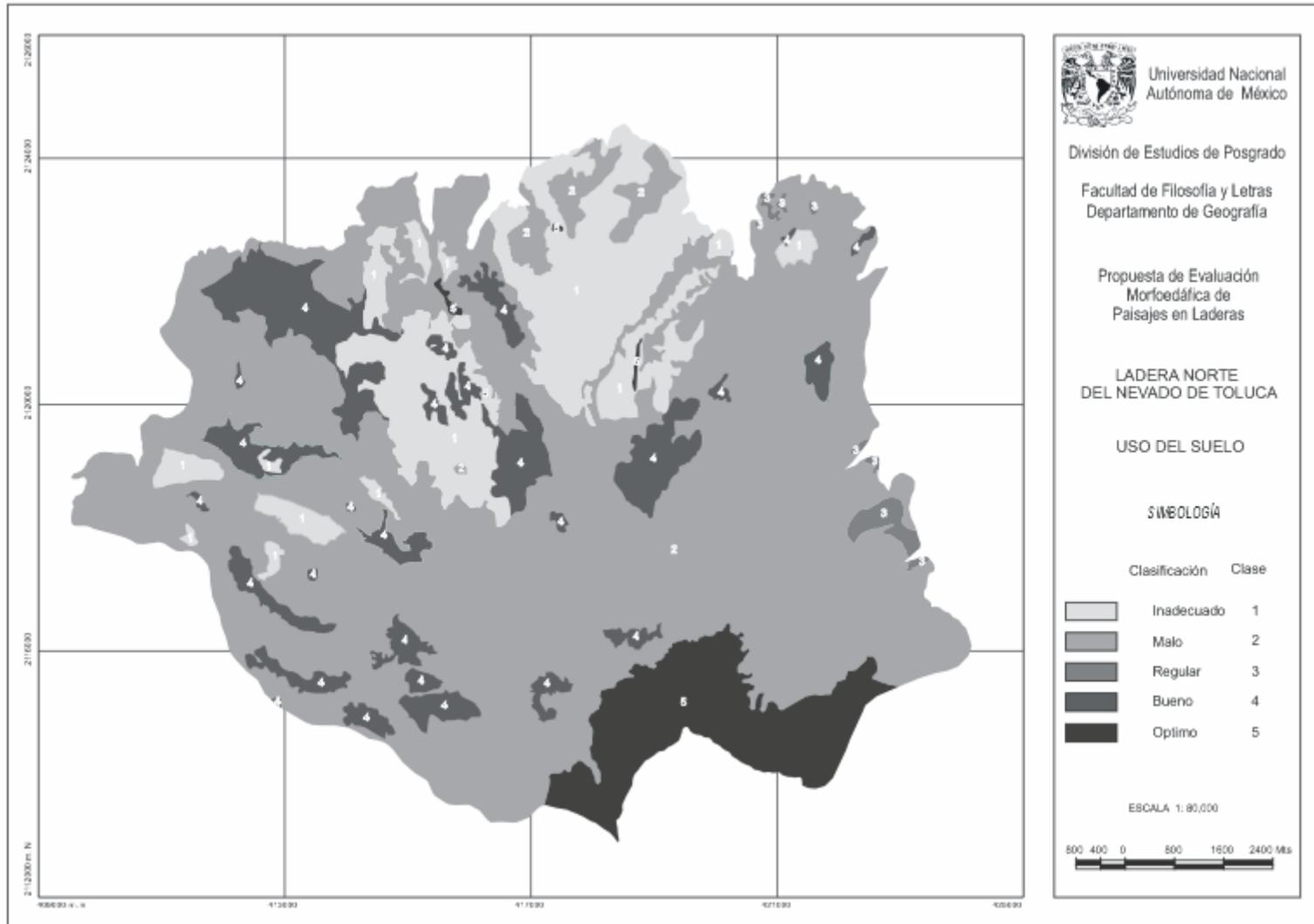


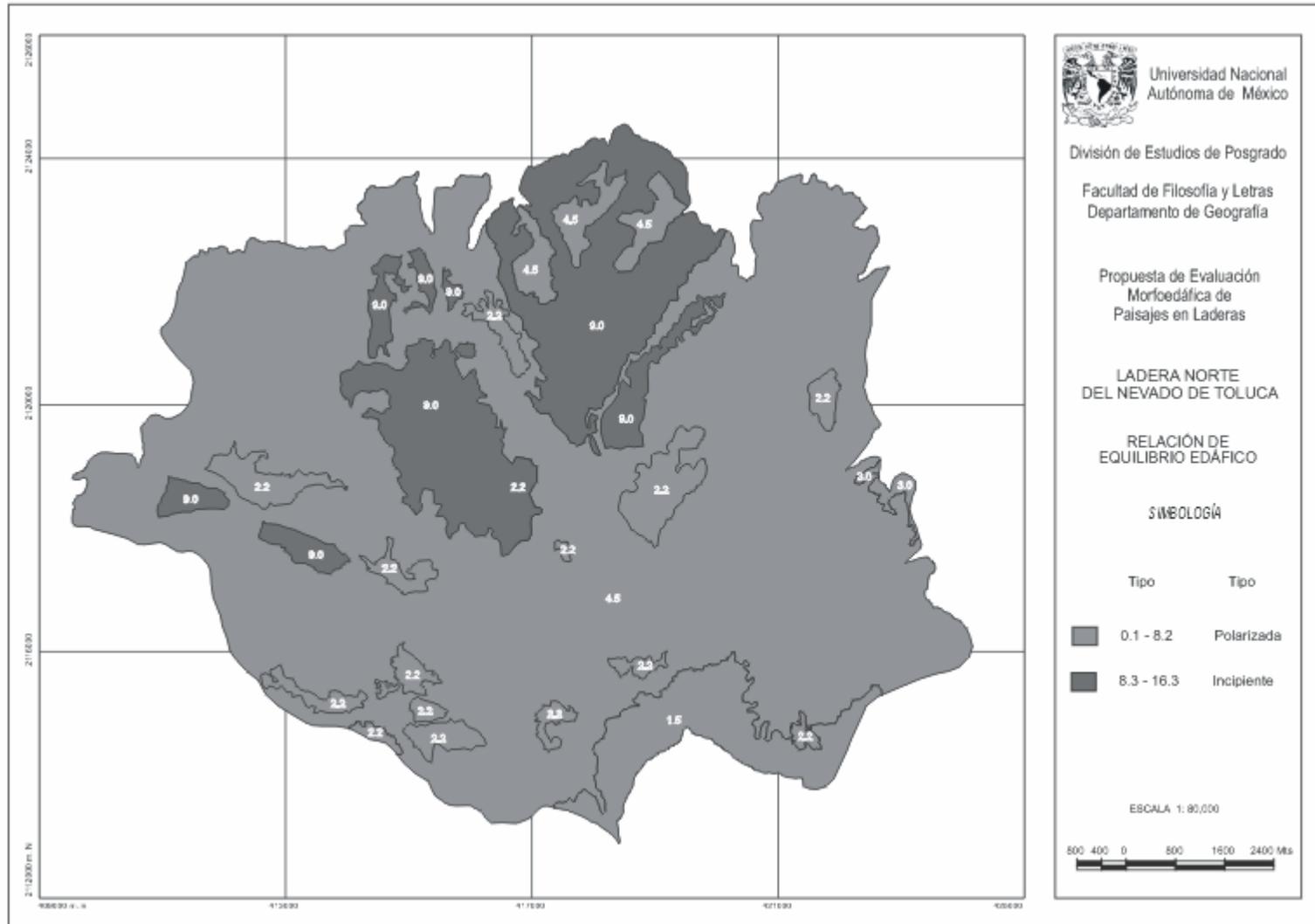


Fase 5. Uso de suelo y Fase 6; Relación de equilibrio edáfico

De acuerdo con los criterios establecidos, se generó el mapa de uso de suelo, en el cual se encontraron de acuerdo con las categorías de clasificación las cinco clases previstas; aunque existe un dominio por la clase que califica como malo.

Con los valores de la caracterización de suelo y el uso que se le da a éste, se integró la información para configurar el mapa correspondiente de la Relación de equilibrio edáfico, que se encuentra localizado después del referente a uso de suelo.



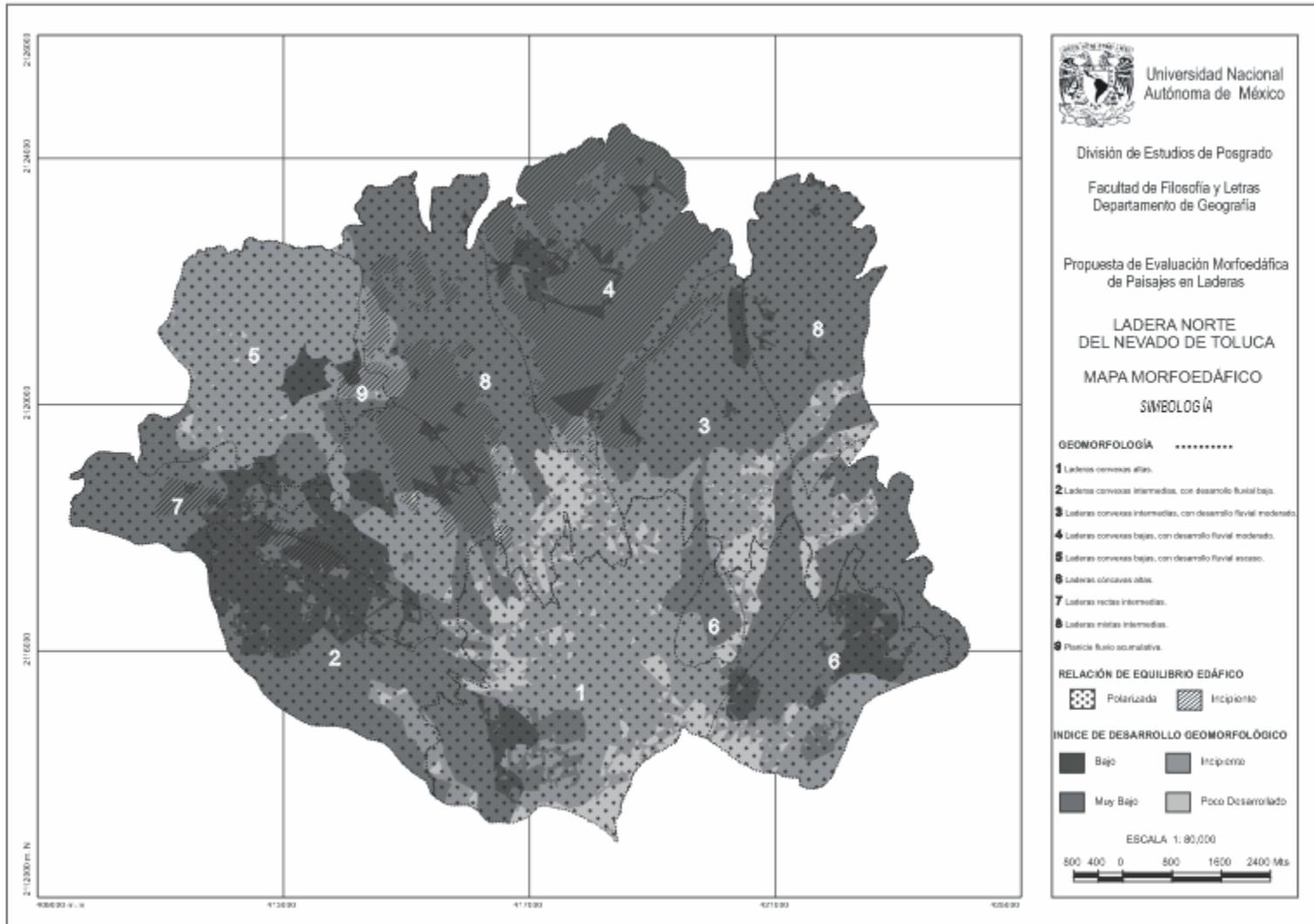




Fase 7. Estabilidad morfoedáfica y cartografía

Como en los casos anteriores, de acuerdo con los resultados obtenidos en el estudio del Índice de desarrollo geomorfológico y la Relación de equilibrio edáfico, se obtuvieron a través del proceso de sobreposición de los mapas correspondientes las unidades morfoedáficas y la leyenda del mapa correspondiente.

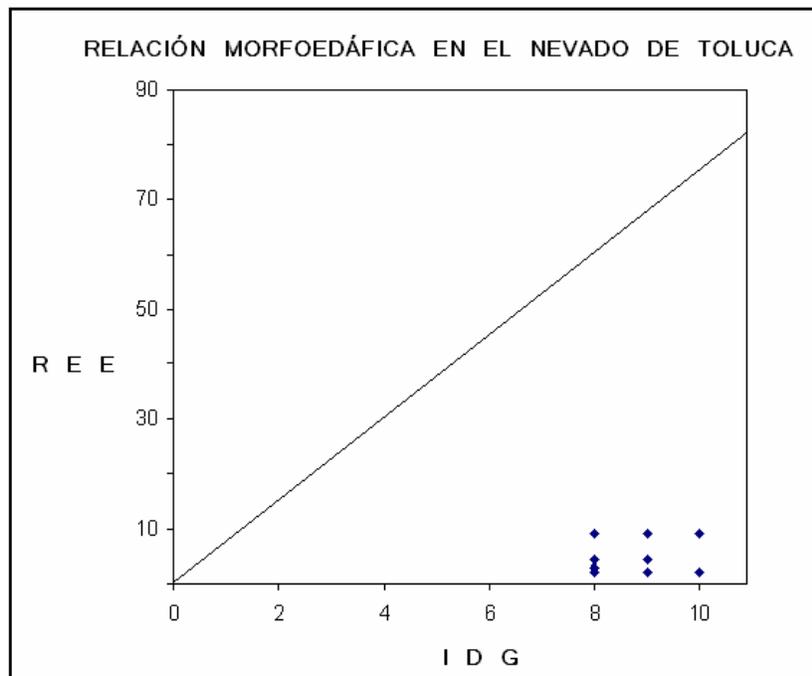
Con referencia a ésta, se establecen tres elementos básicos de representación: el primero de ellos identifica el tipo de ladera y la morfología general de la misma, delimitada en un área e identificada con una numeración progresiva y jerárquica; por su parte, el Índice de desarrollo geomorfológico se encuentra representado por áreas e tonalidades de gris, que de acuerdo con el valor del índice, aumentan de forma progresiva la intensidad del tono; y por último, la Relación de equilibrio edáfico representa también superficies; sin embargo, éstas se identifican por medio de achurados.





Por último, al integrar los resultados obtenidos en el índice de desarrollo geomorfológico y la relación de equilibrio edáfico se genera el gráfico 3.9, en el cual logra apreciarse un claro proceso de distribución de las unidades morfoedáficas; así como el mapa correspondiente.

La colocación de las unidades muestra separación entre los componentes morfoedáficos y condiciones estables e incipientes de desarrollo de geoformas, que se traduce en condiciones ideales de desarrollo de suelo; sin embargo, se confirma que la calidad de uso de éste es muy pobre por lo que las condiciones de equilibrio general reportan, en este momento, condiciones de igualdad, con la salvedad de una tendencia a la reexistencia en el mediano plazo.



Gráfica 3.8 Relación de equilibrio en un sistema de laderas.