

29/3/89



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFIA

CLASIFICACION DEL SISTEMA MORFOLOGICO EN EL OCCIDENTE DE LA SIERRA DE MONTE ALTO, POR METODOS CUANTITATIVOS



FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFIA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
LICENCIADO EN GEOGRAFIA

P R E S E N T A N :

GRACIELA GALINDO GOMEZ
JAIME MORALES

FALLA DE ORIGEN

MEXICO, D. F.

SECRETARIA DE
ASUNTOS ESCOLARES

1989



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 está 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.

I N D I C E

INTRODUCCION	1
1. MARCO TEORICO	6
2. METODOLOGIA	21
3. AREA DE ESTUDIO	27
4. ANALISIS DE ESTADISTICA BASICA	33
4.1 Análisis básico de variables	33
4.2 Análisis de correlaciones	46
5. ANALISIS ESPACIAL DE LOS COMPONENTES PRINCIPALES ..	54
5.1 Componente estructural	57
5.2 Componente erosivo	65
5.3 Componente entrópico	72
6. CONCLUSIONES	81
7. BIBLIOGRAFIA	87

INTRODUCCION

La Geomorfología como disciplina dedicada al estudio de las formas del relieve, en los últimos años ha evolucionado en sus métodos y técnicas de análisis, al grado que ha podido diferenciar diversas ramas de especialización, como la Geomorfología Fluvial, la Geomorfología de Procesos, la Geomorfología de Riesgos, entre otras. Sin embargo, todas comparten una característica en común, en que la mayoría de los estudios que se realizan en el país, dan un gran peso al reconocimiento de las formas del relieve, tipos de representación cartográfica y el análisis cualitativo de las mismas.

Este enfoque se justifica si se toman en consideración las dimensiones del territorio nacional y la gran variedad de sistemas morfoclimáticos existentes; pero se puede esperar que gran parte del conocimiento básico ya ha sido establecido, como marco teórico de referencia que recalca las variables y relaciones para abordar problemas en particular (grupos de variables). Los cuales ya pueden pasar de una fase puramente cualitativa a una expresión numérica.

El hecho de cuantificar no significa que la Geomorfología se vuelva más teórica, pero sí la torna rigurosa en cuanto al nuevo conocimiento generado, que a su vez retroalimenta con gran aceleración la consistencia teórica.

Tal desarrollo no se da homogéneamente al interior de todas las ramas de la Geomorfología, a causa de los diferentes estadios en los que se encuentra cada una de ellas,

siendo la más avanzadas aquellas cuyos conocimientos son vastos, sistematizados y organizados, como por ejemplo la Geomorfología fluvial.

Actualmente algunas ramas geomorfológicas pueden incorporarse paulatinamente a esta fase, por medio de la adopción de estudios de laboratorio, elaboración de modelos simuladores de procesos, búsqueda de expresiones matemáticas que generalicen fenómenos elementales, y sobre todo mediante el uso de técnicas estadísticas básicas y multivariadas, que han sido muy desarrolladas y aplicadas en diversos campos del conocimiento en los últimos años.

Sin duda, no es un trabajo sencillo el adentrarse en el conocimiento matemático, manejo de paquetes estadísticos, donde se debe estar conciente de los alcances y limitaciones de cada uno de ellos, sin perder de vista la relación existente entre el problema a estudiar y su adecuación a las técnicas numéricas.

Entre la gama de técnicas a experimentar están los métodos lineales y no lineales, entre los primeros destacan la regresión múltiple, la regresión multivariada, el análisis de varianza; y entre los métodos lineales compuestos la función discriminante, el análisis de componentes principales, el análisis factorial, el análisis de cúmulos y el path análisis. Y entre los no lineales, el escalamiento multidimensional.

Su utilidad es evidente si se considera que en Geomorfología muchos fenómenos requieren el tratamiento de conjun

tos de variables.

La presente investigación ejemplifica los resultados obtenidos, cuando a un problema geomorfológico se le incorpora una técnica multivariada (análisis de componentes principales).

Para ello se eligió el área del Occidente de la Sierra de Monte Alto, debido a que existen estudios preliminares que reconocen la existencia de tres zonas morfológicas: la montaña, el piedemonte y la planicie. Esto resultó de gran valor informativo, pero aún así surgió la inquietud por delimitar cada una de estas zonas con mayor precisión para analizar lo que acontece en su interior en función de sus grados de estabilidad.

Así se planteó el siguiente objetivo general:

Realizar una clasificación espacial del sistema morfológico de la zona Occidental de la Sierra de Monte Alto, considerando el comportamiento de los parámetros morfométricos y otros elementos de las formas del relieve capaces de cartografiarse en áreas homogéneas, utilizando para ello el análisis de componentes principales, como técnica multivariada aplicable a la zona de estudio. De donde emanan los siguientes objetivos de trabajo:

- a) Calcular los índices de las variables morfométricas de cada unidad estadística de datos, y así con formar la matriz de entrada, para proceder al tratamiento estadístico básico.
- b) Explicar los elementos y factores del conjunto de

variables, que son claves para mantener la dinámica de las subunidades naturales en las formas del relieve.

- c) Elaborar una serie de cartas de clasificación del sistema morfológico, derivadas de la técnica de componentes principales.

El trabajo se ha dividido en cinco capítulos descritos a continuación.

El primero, muestra las categorías teóricas sustentadoras de la solución del problema planteado, así como las dimensiones y variables que de cada una de ellas se derivan.

En el segundo, se describe el procedimiento utilizado para generar la matriz de entrada de 195 objetos por 19 variables, es decir, la transmutación de las variables cualitativas a numéricas; así como los obstáculos y técnicas intermedias para objetivizar cada variable.

En el capítulo tercero, se dan las generalidades físico-geográficas del área de estudio.

En el cuarto, se realiza un análisis de todo el conjunto de variables, para observar su comportamiento con respecto a las medidas de tendencia central, dispersión y forma; además de generar una matriz de correlaciones para seleccionar las variables que conforman el diagrama-modelo de correlaciones.

En el quinto capítulo, se aborda el tema de los componentes principales, describiendo sólo aquellos que aportan

un mayor grado de explicación; y posteriormente se representan cartográficamente en función de sus niveles de estabilidad.

1. MARCO TEORICO

Tradicionalmente en Geografía, el estudio de los parámetros que explican el desarrollo de un fenómeno, se han tratado de manera separada como si no presentaran ninguna relación entre sí, o bien se da por hecho la existencia de tal asociación sin determinar su grado de relación. Lo cual se debe a las técnicas empleadas, como las observaciones directas sobre las cartas temáticas por separado, o mediante su superposición, donde sólo un investigador muy experimentado comete menos errores, pero aún así la dificultad para relacionar más de dos variables no se puede evitar, problema muy patente si se considera que en la realidad natural, la relación causal y unidireccional entre sólo dos variables rara vez existe.

El resultado de utilizar este enfoque es una visión parcial del medio natural, porque se destaca la preponderancia de uno o dos parámetros como los responsables de todo lo que acontece. Ante esta situación la teoría de sistemas aplicada a la solución de problemas de índole geográfico brinda un mayor apoyo al considerar los parámetros interactuantes e interdependientes y además con un diferente grado de actuación en el espacio geográfico, dependiendo de la escala del problema a tratar.

La concepción del medio cambia por una visión integral ya sea cualitativa o cuantitativa, siendo la diferencia entre ellas, que la primera no determina numéricamente el grado de asociación pero sí esquematiza la dinámica de los

parámetros, mientras la segunda da el valor de la relación así como su diagrama modelo de acción, otra ventaja es la posibilidad de manejar un gran número de parámetros, o bien la necesidad de crearlos.

Esta posición ha sido más aceptada dentro del área de Geografía Física, en especial en Geomorfología donde destacan los trabajos de Sthraler (1973, 1974); Tricart (1969, 1972, 1982, 1985); Cervantes (1979, 1983); Ortiz (1985, 1987). En donde cada uno propone su manera particular de avocarse al estudio de los sistemas.

Para (Tricart, 1982, pp. 36-70; 1985, p. 26), un análisis de sistemas debe contemplar todos los elementos posibles en su forma más compleja, pero considerando que éstos se encuentran intercorrelacionados, cuyas características principales van a ser sus flujos de energía-materia, porque un dato cualquiera no puede interpretarse de manera aislada, sino ubicándolo dentro de la complejidad de la estructura del sistema, porque no hay otra manera de apreciar correctamente la significación de ese dato. Además es necesario considerar el aspecto cronológico de los elementos de la naturaleza así como su perspectiva morfodinámica, y que dependiendo de la magnitud del sistema van a variar los subsistemas que lo integran.

En tanto para (Cervantes, 1983, pp. 90-99), el análisis de los sistemas tiene como objetivo alcanzar el conocimiento funcional y operativo de las estructuras que componen la naturaleza, realizando una previa selección de los facto

res y elementos claves del sistema, que se supone constituyen las cadenas centrales que se encuentran relacionadas en el sentido causa-efecto; propone dos etapas fundamentales que son: a) el análisis sistemático de los elementos del medio natural (atmósfera, agua, litología, suelo, vegetación), b) analizar la función de cada uno de los elementos para integrar el sistema general.

Mientras para (Ortiz, 1985a, pp. 1-4), el estudio del medio natural debe considerarse como un sistema integrado por factores, elementos y variables en mutua correlación a causa de su fuerte relación funcional. Entre los factores del sistema se encuentran los de tipo endógeno (actividades tectónica y volcánica); y los de tipo exógeno (intemperismo, erosión y acumulación).

De acuerdo al concepto de sistema y la manera como se ha manejado en Geografía Física según los autores mencionados, se pueden distinguir diversos niveles de complejidad desde los sistemas planetarios hasta los microsistemas de acarcavamientos, lóbulos de soliflucción (Martínez, 1985, pp. 20-21).

El área de estudio es un sistema morfológico definido por numerosos elementos, de los cuales varios no se pueden objetivizar por técnicas cartográficas como las empleadas en este trabajo. No obstante, los aquí analizados sirven de base para realizar estudios posteriores de sistemas más complejos, de ahí que sólo se analicen cuatro elementos significativos: el estructural, el fluvial, el de geometría de

vertientes y el antrópico.

Al derivar las variables de cada uno de los elementos e interpretarlos en conjunto, se puede inferir el grado de estabilidad o inestabilidad de la zona. En el sentido de que un cambio mínimo en cualquiera de los elementos afecta en diversos grados sus relaciones con los demás; definiendo se como estables aquellas áreas donde la influencia de las variables de tipo fluvial y antrópico son poco relevantes y las estructurales más importantes. Y a la inversa, las áreas inestables es donde las variables fluviales y antrópicas son más significativas que las estructurales.

La obtención de las variables siempre deben estar sustentadas por una relación teórica, que delimite las categorías geomorfológicas de análisis que actúan en el área de estudio, pues "las variables no se obtienen por ocurrencia o imaginación, sino se desprenden de un marco teórico en el cual se insertan las categorías de análisis que nos interesa evaluar a través de esas variables que, a su vez, serán concretadas o medidas por indicadores que deberán corresponder plenamente al sistema categoría-variable-indicador" (Kunz, 1988, p. 9). Así se determinan las siguientes categorías teóricas: una cae dentro de la Geomorfología Estructural, y las otras dentro de la de Procesos de vertientes y fluvial.

1. ESTRUCTURAL

Este aspecto ha sido tratado por (Morisawa, 1976,

pp. 72-82) y Tricart (1982), donde señalan que el efecto de las condiciones geológicas en el origen y desarrollo de los procesos erosivos se manifiestan directamente por la resistencia del sustrato rocoso en su exposición al flujo de agua, aire. El sustrato rocoso intemperizado con frecuencia aparece en superficie y es demudado por el agua y el viento, en tales casos la superficie es rápidamente perturbada con la formación de rills y abarrancamientos que se expanden y profundizan rápidamente en la superficie de la vertiente.

El efecto indirecto del sustrato rocoso se manifiesta en las propiedades de la formación del suelo, porque condiciona el desarrollo de la estructura, textura, contenido de minerales y sustancias químicas, las cuales al reaccionar con las sustancias orgánicas regulan el proceso de edafogénesis.

Los suelos muestran variada resistencia a la acción de las escorrentías, los principales factores que afectan la infiltración del agua al suelo, son la textura, estructura, humedad y disposición de los horizontes del suelo, pero los más importantes para su resistencia a los procesos demudatorios son el contenido de humus y la saturación del suelo.

La cubierta vegetal protege a la superficie del suelo del impacto directo de las gotas de lluvia y de los efectos del viento, aumenta la infiltración de la lluvia en el suelo y disminuye la escorrentía superficial pendiente abajo además facilita la evolución de las propiedades físicas,

químicas y biológicas del suelo.

El sistema de raíces de la vegetación es muy importante para la cohesión de las partículas del suelo. La superficie del suelo se protege de las gotas de lluvia por la intercepción de los órganos de las plantas, hojas y tallos principalmente, pues los cuerpos de las plantas absorben la energía de las gotas de lluvia reduciendo así el peligro del rompimiento de los agregados del suelo, porque las gotas son atrapadas por el tallo de las plantas, y desde ahí lentamente se deslizan a la superficie del suelo. Esta protección junto con la baja velocidad de deslizamiento del agua superficial, por el incremento de la rugosidad del terreno y la infiltración, reducen la intensidad de la escorrentía superficial.

Los efectos forestales de la cobertura vegetal en los procesos erosivos difieren en función del tipo de comunidad vegetal y de sus condiciones de distribución espacial. Un bosque con un denso dosel tiene un efecto muy significativo contra la escorrentía superficial, en relación a esto la intensidad y desarrollo de los procesos erosivos se ven frenados pero no anulados. Los suelos con una cobertura vegetal no sufren de erosión fluvial intensa. Además las áreas con cobertura de pastizales o con buen desarrollo de césped tienen valores similares de protección.

Es así como en el aspecto estructural se distinguen tres dimensiones, con sus respectivas variables, que son:

1. Grupo litológico. Esta dimensión brinda información en cuanto a la distribución espacial de los tipos de rocas en la zona estudiada, y consecuentemente da una visión de su diferente resistencia a los procesos erosivos, lo cual está vinculado con las formas del relieve que se producen. Sus variables son:

1. Superficie de andesita. Es una roca de alta resistencia a la intemperización, debido a esto mostrará que los lugares ocupados por ella no son los más afectados por la denudación.

2. Superficie de toba, arenisca-toba y aluvión. Por ser materiales fragmentarios y erodables indicarán las áreas que pueden ser más afectadas potencialmente a causa de sus diferentes grados de compacidad y granulometría

3. Densidad de fracturamiento. Está relacionada con la red de drenaje primaria, que concentra los cuerpos de agua en sus etapas iniciales y por lo tanto las áreas que están afectadas por la erosión fluvial.

11. Grupo edafológico. Esta dimensión indica la velocidad de afectación de la parte superficial del terreno, por estar vinculada con las propiedades físico-químicas que posee cada tipo de suelo en el área de interés. Sus variables son:

1. Superficie de andosol. Por ser un suelo origi-

nado por cenizas volcánicas, de escaso espesor y encontrarse en terrenos de alta pendiente, es sumamente susceptible a los procesos erosivos, bajo las mínimas condiciones de inestabilidad.

2. Superficie de luvisol. Son suelos lavados con un espesor considerable, por ubicarse en pendientes no tan pronunciadas, su susceptibilidad natural a la erosión es menor, a menos que sea sometido a otro tipo de actividades.
3. Superficie de feozem-planosol. Son los suelos más desarrollados, en condiciones topográficas más favorables, por lo cual su pérdida estará en función de las medidas de conservación que se les dé.

111. Grupo de impacto. Esta dimensión señala el impacto del medio en función de las prácticas de conservación o permanencia de la vegetación natural sobre el terreno. Sus variables son:

1. Superficie de agricultura. Señala las partes modificadas en sus condiciones naturales, por la introducción de las actividades primarias, sin embargo, su grado de alteración no debe ser equivalente en todas las áreas, por estar en función de los tipos de cultivos y de las medidas de conservación.

2. Superficie de bosque. Indica las áreas menos perturbadas, pero con diversos grados de potencialidad a ser modificadas.

2. VERTIENTES

Una vertiente es una superficie inclinada que se extiende desde la divisoria o línea de parteaguas, hasta el fondo de un cauce. Está integrada por varios elementos, con diferentes gradientes, los cuales varían dependiendo de las condiciones climáticas (tropicales, templadas, áridas o frías), del tipo de material, del tiempo de evolución, de la cobertura vegetal, y de su posición topográfica.

Un modelo general, contempla tres elementos principales que pueden presentar diferentes grados de desarrollo, con diversos procesos que actúan en cada uno de ellos, han sido descritos por (Morisawa, 1976, pp. 64-71; Dury, 1981, pp. 108-126; Derrum, 1981, pp. 81-91), tales elementos son:

a) Una parte convexa superior que equivale a la superficie de parteaguas y a las laderas superiores de los barrancos, aunque no necesariamente deben existir las dos para que la forma regular de convexidad se mantenga, está más ampliamente desarrollada en los piedemontes, cuya extensión aumenta en dirección a la planicie. Los procesos que explican esta convexidad son la erosión pluvial, debido al impacto constante de las gotas de lluvia que disgregan al suelo para formar partículas más finas, listas para ser removidas

por la escorrentía difusa y por la escorrentía concentrada. Sin embargo, este efecto es menor cuando hay una cobertura vegetal no alterada, pero cuando ésta no existe o ha sido sustituida por campos agrícolas o de pastoreo, evoluciona a una escorrentía difusa que remueve las capas más superficiales del suelo en pequeñas laminillas hacia las partes con mayor pendiente. Siendo el punto crítico donde se comienza a manifestar la pérdida de las capas superficiales del suelo.

La reptación es un proceso que se suma al lavado, cuando la pendiente comienza a incrementarse, consiste en el movimiento lento de las capas superficiales del suelo.

b) Una sección recta que equivale a las laderas principales de barrancos, es el elemento con mayor pendiente que los demás, el proceso más importante es el abarrancamiento a causa de que se van jerarquizando los colectores principales hasta formar un abarrancamiento, que consiste en cauces ya definidos que tienden a profundizarse, afectando así a la superficie de la vertiente, esto favorece a los movimientos en masa. En adición a la reptación, que en este elemento es más intensa; el manto es muy delgado sin una gran cobertura vegetal protectora y por ser la de mayor gradiente, la velocidad de los materiales es más rápida siendo en consecuencia la sección más erosionada.

c) Una parte cóncava, corresponde a las laderas inferiores de los barrancos, tiene esta configuración porque es una forma acumulativa, de los materiales que proceden de

las secciones superiores, el espesor del manto es más amplio; puede haber movimientos gravitacionales cuando las aguas del cauce crecen lo suficiente y comienzan a desalojar materiales de esta porción.

Bajo este criterio la alteración de la vertiente va a ser patente cuando no exista una cobertura vegetal que disminuya la intensidad de los procesos o sea utilizada en labores agropecuarias, con ello la intensidad del conjunto de procesos actuantes se incrementa a tal grado que el paisaje está sujeto a modificaciones sustanciales y rápidas, que pueden ser expresadas por una gran cantidad de abarrancamientos, badlands, y una reducción de la superficie de parteaguas, y de las laderas superiores de barrancos entre otros. Su dimensión correspondiente es:

IV. Grupo de Geometría de Vertientes. Esta dimensión se fundamenta en la configuración general de una vertiente, a la cual le corresponden diferentes elementos, éstos al variar su presencia o magnitud indican diferentes grados de afectación y procesos; sus variables son:

1. Pendiente de la vertiente derecha
2. Pendiente de la vertiente izquierda

Son consideradas desde la línea de parteaguas hasta los fondos de los cauces, indican la pendiente general a ambos lados de la vertiente, así como su grado de asimetría y el gradiente

sobre el que actúan los procesos modeladores.

3. Pendiente de la ladera principal de la vertiente derecha.
4. Pendiente de la ladera principal de la vertiente izquierda

Corresponden a las partes más activas de las vertientes, sin embargo se distinguen por la intensidad y procesos que tienen lugar en cada una de ellas, pues unas se degradan con mayor rapidez que otras al estar influenciadas por las dos variables anteriores.

5. Pendiente del parteaguas. Señala las pendientes originales del terreno que no han sido sometidas a procesos de importancia, sino sólo al lavado en mantos, cuando sus valores son bajos.
6. Amplitud del parteaguas. Está relacionada con la variable anterior, pero con la diferencia de que muestra superficies estables y a la vez el área probable a ser afectada por los procesos de vertientes.

3. FLUVIAL

Las etapas evolutivas de los barrancos han sido expuestas por (Gorshkov y Yakushova, 1977, pp. 118-123), y son las siguientes:

La primera, consiste en la formación de pequeños surcos o regueros en donde se concentra la escorrentía difusa, son de escasa profundidad, no mayores a 50 cm, su perfil longitudinal sigue el modelado del terreno, con pequeños saltos.

La segunda, comienza con la formación del salto de cabecera por el desmoronamiento de las paredes de ésta, en dirección a la superficie de parteaguas. La cabecera puede variar de 2 a 15 mts de altura, mientras en el barranco la profundidad alcanza valores de 25 a 30 mts. El cauce tiene una pendiente abrupta y accidentada, debido a lo cual sigue profundizándose en toda su extensión.

La tercera, se inicia cuando el barranco alcanza su nivel de base local, así el perfil del fondo se aplana y ensancha. En la parte inferior de las paredes de los barrancos se empiezan a formar taludes detríticos inestables, que van siendo socavados por el agua, en su base, y rellenas con detritos acarreados desde las partes superiores.

La cuarta, en ésta disminuye la erosión del fondo y se suaviza el escarpe de cabecera, cesa el crecimiento del barranco en longitud. Los flancos del barranco adquieren un ángulo de reposo estable, se cubren de vegetación y el fondo se rellena con sedimentos.

Así en cada una de las etapas, la pendiente del cauce y de las vertientes se van modificando, porque no pueden ser independientes unas de otras. Las paredes de las ver-

tientes pronunciadas aportan gran cantidad de agua y derrubios, por lo que se necesita un fuerte gradiente del cauce para transportarlos y evitar que los derrubios bloqueen el valle. Mientras los valles con vertientes suaves aportan poca cantidad de derrubios de tamaño pequeño, de ahí que el cauce pueda actuar o trabajar con bajos gradientes.

Por otra parte, la amplitud del cauce no se desliga de los procesos mencionados, ya que ésta aumenta al ser más friables las márgenes, al estar el lecho más obstruido por los materiales transportados, y al tener un caudal mayor. Su dimensión es:

- V. Grupo de dinámica fluvial. La dimensión muestra diferentes aspectos del trabajo de las corrientes fluviales, en cuanto a su efecto en superficie, en profundidad y en trabajo lateral, así como sus puntos acumulativos, es decir, señala áreas con distintos grados de afectación; sus variables son:
1. Densidad de dirección. Señala la integración de la red de drenaje y en consecuencia la erosión en planta, aunque no indica la intensidad de la profundización.
 2. Profundidad de disección. Es el complemento de la variable anterior, puesto que indica el trabajo efectuado en disección vertical, zonificando las áreas que se han visto más afectadas por la pérdida de material y por lo tanto a un trabajo más intenso de desgaste.

3. Pendiente del cauce. Si sus gradientes son altos el trabajo erosivo vertical será el predominante, porque la energía de las corrientes fluviales es mayor. En cambio si los gradientes son bajos, predomina el trabajo lateral de socavación de vertientes.
4. Amplitud del cauce. Indica las áreas más estables en cuanto al trabajo fluvial, pues donde su magnitud es mayor, mayor es también la acumulación de materiales.
5. Precipitación media anual. Es el elemento que desencadena los procesos fluviales, que van a variar en intensidad dependiendo de las áreas que más precipitación anual reciban, en contraparte de los lugares donde la precipitación sea menor. Además condiciona el volumen de agua que cada colector va a transportar supeditando así su capacidad de erosión a lo largo de su trayectoria.

2. METODOLOGIA

El área de estudio comprende la porción occidental de la Sierra de Monte Alto, que tiene como coordenadas extremas $19^{\circ}30'$ a $19^{\circ}45'$ de latitud norte y $99^{\circ}27'$ a $99^{\circ}40'$ de longitud oeste (ver figura 1), que incluye cuatro fotomapas de la carta Villa del Carbón E14-A28, en escala 1: 20 000

E14-A28 A San Lorenzo Malacota

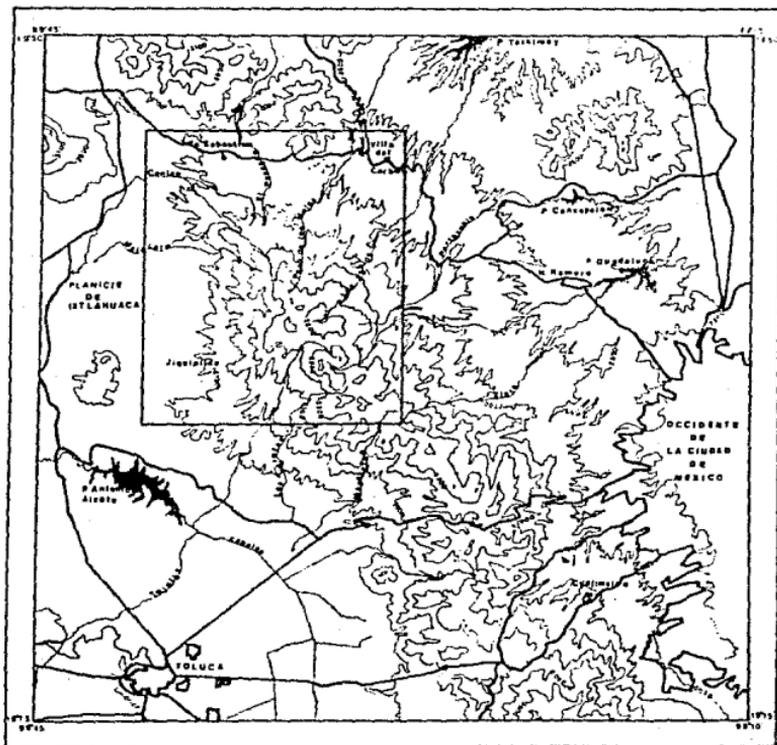
E14-A28 B Villa del Carbón

E14-A28 D Jiquipilco

E14-A28 E Los Tachos

Dentro de los problemas metodológicos destacan los siguientes; en primer lugar, la necesidad de elegir el tipo y características de las variables que ayuden a solucionar el problema planteado. En base a la información de las cartas temáticas se hizo una evaluación para seleccionar sólo a aquellas que tienen importancia en el medio natural, además de considerar algunas técnicas morfométricas.

Ello implicó la necesidad de elaborar una carta geomorfológica para cuantificar y reconocer a aquellas variables que no se pueden obtener directamente de las cartas temáticas o morfométricas, pero que dentro de la teoría geomorfológica son relevantes. Además se construyó una carta de isoyetas apoyándose en todas las estaciones termopluviométricas del área y sus alrededores (17 estaciones), para obtener la precipitación media anual, que corresponde a ca-




Area de Estudio y su posición en La Sierra de Monte Alto

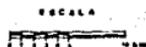


Fig. 1

da unidad estadística de datos, en el lapso de 1961 a 1985

Fue así como se llegaron a formar cinco grupos de variables que interactúan entre sí aportando cada uno su influencia específica, los grupos de variables son los siguientes:

- I. GRUPO DE VARIABLES LITOLÓGICAS
 1. Superficie de andesita en km^2 (A)
 2. Superficie de toba, arenisca-toba y aluvión en km^2 (T, AT, Al)
 3. Densidad de fracturamiento en km/km^2 (Df)
- II. GRUPO DE VARIABLES EDAFOLÓGICAS
 1. Superficie de andosol en km^2 (S And)
 2. Superficie de luvisol en km^2 (S L)
 3. Superficie de Peozem-Planosol en km^2 (S P-P)
- III. GRUPO DE VARIABLES DE IMPACTO
 1. Superficie de agricultura en km^2 (S A)
 2. Superficie de bosque en km^2 (S B)
- IV. GRUPO DE VARIABLES DE GEOMETRÍA DE VERTIENTES
 1. Pendiente de la vertiente derecha en grados (PVD)
 2. Pendiente de la vertiente izquierda en grados (PVI)
 3. Pendiente de la ladera principal de la vertiente derecha en grados (PLPVD)
 4. Pendiente de la ladera principal de la vertiente izquierda en grados (PLPVI)

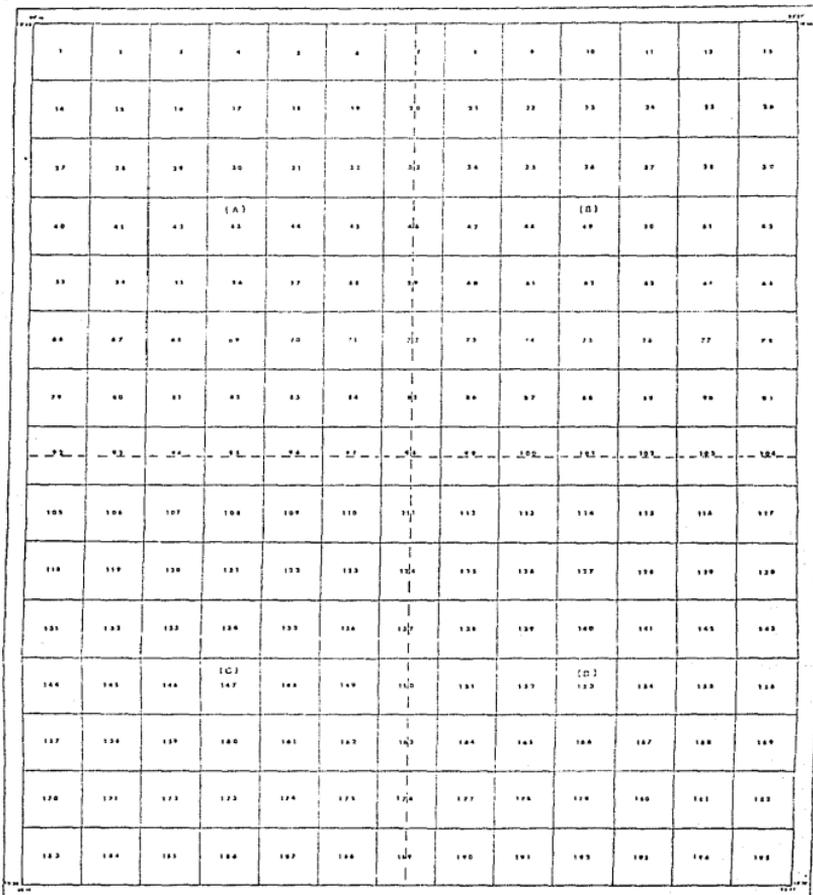
5. Pendiente del parteaguas en grados (PP)
 6. Amplitud del parteaguas en metros (AP)
- V. GRUPO DE VARIABLES DE DINAMICA FLUVIAL
1. Densidad de disección en km/km^2 (DD)
 2. Profundidad de disección en metros (PD)
 3. Pendiente del cauce en grados (PC)
 4. Amplitud del cauce en metros (AC)
 5. Precipitación media anual en milímetros (P)

En segundo lugar, otra de las dificultades que planteó la selección de variables es la escala de trabajo, siendo fundamental para los grupos IV y V, debido a la precisión que requieren.

Para subsanar esto se decidió trabajar en escala 1: 20 000, porque las curvas de nivel permiten hacer mediciones con más exactitud, además de que la red de drenaje muestra un número de barrancos y cauces que en escala 1: 50 000 no aparecen. El resto de las variables se obtienen en escala 1: 50 000, y consisten fundamentalmente en superficies.

Bajo todo este proceso la información no se deforma con el paso de una escala a otra, porque la unidad estadística de datos es la misma, es decir, un rectángulo de 1' de latitud por 1' de longitud, lo cual equivale a una superficie de 3.2 km^2 , que forman un reticulado continuo (ver figura 2). El tamaño de este rectángulo se elige porque permite representar la mayoría de las variables, a la

MAPA DE RETICULA BASE



SIMBOLOGIA

- Limite de cerros
- A San Lorenzo Matascota
- B Vista del Carbon
- C Jiquipilco
- D Los Tachos
- Unidad estadística
- 1 Número del objeto



Fig. 2

vez que considerarlas en su máximo detalle, además es la superficie mínima para representar las variables morfométricas y evita la discontinuidad espacial de la distribución de las variables.

Cada rectángulo proporciona la información de cada una de las variables mencionadas, que van a conformar una matriz de entrada de 195 objetos por 19 variables, para poder aplicarle la técnica de componentes principales. Y así llevar a cabo la descripción y el análisis de los resultados obtenidos, para llegar a obtener las cartas de clasificación del sistema morfológico, en función de los componentes principales.

Además de realizar verificaciones continuas de campo, para observar si son congruentes con los resultados obtenidos en cada fase de la investigación.

3. AREA DE ESTUDIO

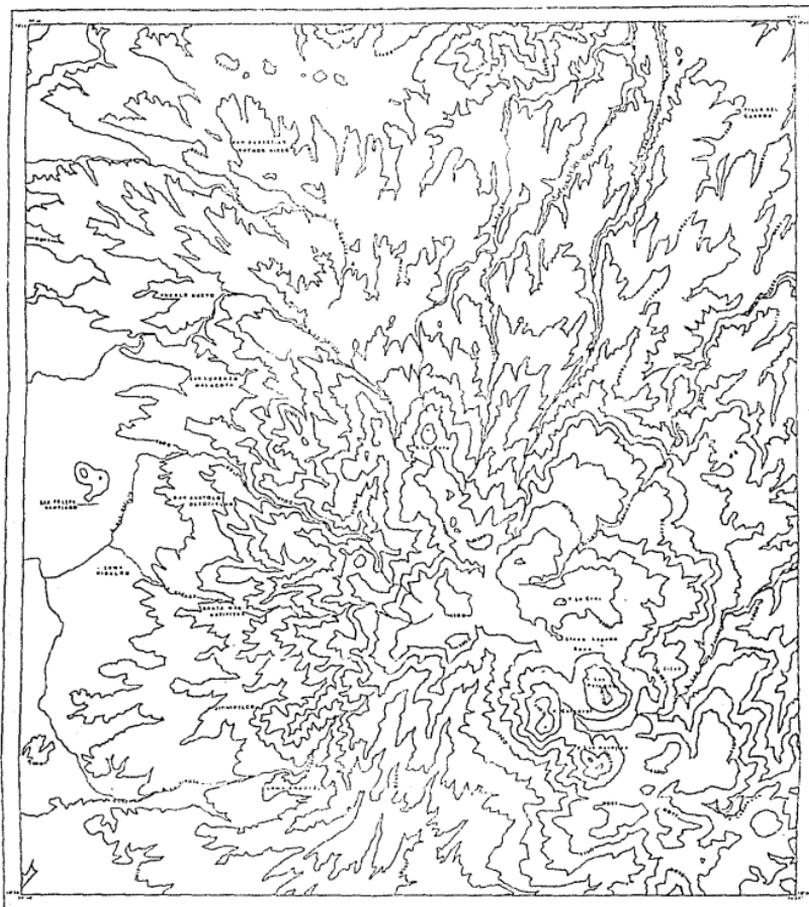
El área objeto de estudio se encuentra en la porción central de la Sierra Volcánica Transversal, más específicamente en la parte noroccidental de la Sierra de Monte Alto, que delimita dos sistemas generales de escurrimiento, al este hacia las presas Taxhimay, Concepción y Guadalupe; y al oeste hacia la depresión de Ixtlahuaca.

Dicha Sierra es el producto de un gran actividad volcánica que aconteció durante el Neógeno-Cuaternario, Mooser (1975). Y se ha visto sujeta a una gran modificación por los procesos exógenos. Estos han dado lugar a extensas acumulaciones de sedimentos, que morfológicamente se reconocen como un piedemonte, constituido por materiales de tipo proluvial, deluvial y eoluvial, que tuvieron sus orígenes durante el Plioceno-Cuaternario, mediante avances y coalescencias de abanicos proluviales, Ortíz (1985), los cuales tienen su porción frontal en contacto con la planicie lacustre-aluvial de origen cuaternario.

La superficie total del área de estudio es de 631.215 km² (ver figura 3), su desnivel neto es de 1 200 metros considerando la cota de 2 550 metros en el límite de la planicie lacustre en San Felipe Santiago, y como punto más elevado el volcán La Catedral a 3 750 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.), este desnivel se da en una distancia de 15 kilómetros.

La zona está dominada por dos tipos climáticos, García

CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA ZONA DE ESTUDIO



5000 M

Fig. 3

1973, el C(E)(w₂)(w) templado frío con lluvias en verano con un porcentaje de lluvia invernal menor a 5, se extiende desde los 2 900 metros de altitud hasta los 3 750 m, con lo cual cubre casi todo el área de material andesítico; las precipitaciones fluctúan entre 1 000 y 1 200 mm anuales, siendo el área más lluviosa. El segundo tipo de clima corresponde al C(w₂)(w), templado con lluvias en verano, con un porcentaje de precipitación invernal menor a 5, se extiende desde los 2 550 m hasta los 2 900 m, corresponde a toda el área de piedemonte, donde la precipitación oscila entre 950 y 1 000 mm anuales.

En cuanto a la distribución litológica se distinguen tres tipos de materiales, que por orden de importancia son: andesita; toba - brecha volcánica; arenisca - toba y aluvión.

El material andesítico ocupa aproximadamente la tercera parte de la superficie total de la zona, con una extensión de 223.353 km², abarcando desde el centro hasta el sur-este, pero no es una zona continua, pues presenta dos porciones aisladas, al norte en la Sierra de las Masas y en San Antonio Troje, suman 12.897 km², es decir, este material comprende una superficie total de 236.250 km².

Altitudinalmente se sitúa entre las cotas de 2 700 a 3750 msnm, el punto más elevado está en el volcán La Catedral. La presencia del material se debe a las emisiones lávicas de los nueve volcanes del área, tres de los cuales están alineados de este a oeste, evidenciando la existencia

de una falla de tensión que desarrolló los edificios volcánicos de los cerros Xitox, Las Palomas y La Catedral. Otro alineamiento con orientación noroeste-sureste comprende a los cerros de La Bufa, La Cruz, Las Palmas y Las Navajas. Y de manera aislada están los volcanes del cerro Monti, y el que se encuentra al norte de éste.

Es un terreno densamente fracturado, con una orientación básica de noreste a suroeste, sin embargo, existe una zona anómala donde las fracturas cambian de orientación a noroeste-sureste, cerca del poblado de San Bartolo Oxtotitlán. Con esta misma orientación se encuentran tres fallas paralelas que forman un escalonamiento tectónico; la primera, se extiende desde el volcán La Bufa hasta las proximidades del cerro Las Navajas con una longitud de 10.3 km; la segunda, flanquea al cerro de la Cruz y mide 4.8 km; más al noreste se encuentra la tercera con una extensión de 4 km.

En este tipo de material se ha desarrollado un suelo andosol, que se caracteriza por su textura esponjosa con fase lítica, muy susceptible a la erosión; en su mayoría sostiene una vegetación de bosque con comunidades de pino, oyamel y encino.

El segundo material comprende a la brecha volcánica y tota, no se distribuye continuamente sino en dos grandes porciones. Una se ubica en el noroeste con una superficie de 157.633 km², muestra una gran cantidad de fracturamientos orientados de noroeste a sureste y algunos de norte a

sur, en el contacto de este material con el anterior se extiende una franja de becha volcánica. Los asentamientos más relevantes son San Sebastian Buenos Aires y Pueblo Nuevo.

Mientras la segunda porción se ubica en el suroeste con una superficie de 51.792 km²; en ella el fracturamiento se alinea conforme al patrón general de la andesita. En ambas porciones se ha desarrollado un suelo de tipo andosol con fases líticas; y pequeñas porciones de luvisol; aquí la vegetación natural de bosque ha sido reemplazada por la agricultura de temporal, quedando sólo un bosque de galería en las laderas inferiores de los barrancos. El poblado más importante es Jiquipilco el Viejo.

El tercer material lo componen la arenisca - toba y el aluvión; también se distribuye en dos áreas, una localizada al noreste con una superficie de 64.740 km², su fracturamiento es muy escaso, pero el que hay conserva la orientación general. El poblado más importante es Villa del Carbón. La segunda, se sitúa al oeste, con una superficie de 120.749 km², su fracturamiento es muy escaso.

La arenisca - toba está en contacto directo con las andesitas, mientras el aluvión se restringe a las acumulaciones del fondo de los cauces.

Aquí el suelo más representativo es el luvisol, más algunas porciones del feozem, se han ocupado en su mayoría por zonas agrícolas, pero en el área de Villa del Carbón aún se conservan áreas boscosas de tipo galería. Los pobla-

dos sobresalientes son San Felipe Santiago, Santa María Nativitas y Jiquipilco.

La red de drenaje es muy densa, y en su mayoría está controlada por el fracturamiento; en las zonas elevadas conserva una configuración semiradial, a excepción de los edificios volcánicos donde es radial. Cuando estas corrientes penetran en el piedemonte se profundizan más, obteniendo como promedio 72 metros; en gran parte han sido canalizadas por acueductos para abastecer a los poblados circundantes o bien a los distritos de riego. Entre los más sobresalientes por su extensión y tipo de corrientes permanentes destacan: Arroyo Las Palomas, Río los Osos, Río Los Sabinos, Río San Jerónimo, Río Paso de las Mulas, Arroyo Verde, Arroyo Las Carretas y Arroyo San Bartolo.

4. ANALISIS DE ESTADISTICA BASICA

Esta sección tiene como objetivo analizar el comportamiento de las medidas de estadística descriptiva, de tendencia central, de dispersión y de forma para cada grupo de variables. Así como analizar la correlación existente entre pares de variables.

4.1 Análisis básico de variables

La importancia de las medidas de tendencia central (media y moda) radica en que brindan información acerca de la homogeneidad de la variable, cuando ésta se representa en una gráfica, entendida la homogeneidad como el grado de acercamiento de los objetos en torno a un valor medio general; de tal manera que si algunos objetos está muy dispersos es necesario aislarlos para analizarlos por separado, evitando que distorsionen la gráfica de distribución, puesto que si esto sucede las medidas no son representativas y llevaría a realizar una descripción errónea de su comportamiento.

Otro caso a considerar es cuando presentan una forma bimodal, es decir, la existencia de dos poblaciones que como en el caso de los suelos significan dos grupos con valores diferentes, la media se encontraría entre las dos poblaciones anulando su importancia descriptiva, cuando sucede esto es necesario considerar el valor modal, que es el valor que más se repite en cada población.

En cuanto a las medidas de dispersión se considera a

la desviación estándar, en su desplazamiento por arriba o por debajo de la media, debiendo quedar entre ambos más del 60% de los casos en estudio para que esta distribución sea confiable, y para que la variable se considere útil (Mendenhall, 1982, pp. 38-55). Además cuando el valor de ésta y de la media son iguales o parecidos, indica que la población ya tiene un cierto grado de dispersión el cual necesita ser enjuiciado para su consideración.

A su vez, esto se ve reforzado por otro tipo de medida adimensional que es el coeficiente de variación, el cual muestra valores que van del 0 al 100%; así si la mayoría de los valores se aproximan a cero significa que se trata de una variable con tendencia a la homogeneidad que no tendría caso analizarla. En caso contrario, cuando sus valores fluctúan cerca del 100% la dispersión es alta y por lo tanto por sí sola es incapaz de mostrar su influencia, pero al interaccionar con otras variables su influencia es más explícita.

En relación a las medidas de forma, se recurre al sesgo que es considerado como la concentración de objetos ya sea hacia la izquierda (positivo) o hacia la derecha (negativo), que se alejan de la curva normal de distribución, siendo cero el valor ideal, por lo tanto entre más se alejen de este valor es más sesgada; su utilidad radica en que los valores no estén tan alejados de esta cifra.

La Kurtosis, sirve para identificar el grado de apunta-

miento de la distribución, de tal manera que si es exageradamente alargada (leptocúrtica), significa que muchos valores están concentrados, y si es demasiado plana (platicúrtica) indica una gran dispersión de los objetos, siendo el valor ideal el de 0.26 que corresponde a la curva normal (mesocúrtica). Las medidas no deben alejarse demasiado de este valor para que se considere de utilidad.

Ahora bien, la consideración de los pasos anteriores es con la finalidad de brindar una descripción clara de las variables, pero no son un paso riguroso para aplicar las técnicas del análisis multivariado, para el cual las condiciones y finalidades para autores como (Sierra, 1981, p. 174; Grupo Chadule, 1980, p. 215; Johnston, 1980, pp. 127-129) son: 1) que los datos sean cuantitativos en vez de cualitativos; 2) elaborar una matriz que contenga variables medidas en intervalos; 3) cuidar la homogeneidad en la distribución interna de los datos (sin embargo, no existen criterios para determinar cuales son los valores críticos de homogeneidad o de heterogeneidad); 4) estandarizar los datos; 5) este tipo de análisis se justifica cuando se cuenta con un conjunto de intercorrelaciones significativas entre grupos de variables entre las que no quedan definidas claramente sus relaciones; 6) su finalidad es descubrir un componente que sea común a una serie de variables dispares.

Bajo estos criterios el conjunto de 19 variables analizadas cumplen con las condiciones mencionadas puesto que su coeficiente de variación se encuentra entre el 30 y el 70%

mostrando que no son completamente homogéneas ni totalmente heterogéneas. Hecho que también se comprueba al comparar los valores de la media con la desviación estándar en cada variable.

Además como lo menciona (Kunz, 1988, p. 12) las técnicas multivariadas no requieren de distribuciones normales pero de cualquier manera resulta conveniente no usar variables muy sesgadas.

El análisis de la estadística descriptiva básica metodológicamente es necesario para tener una visión general del comportamiento individual de cada variable, así como su percepción espacial en el universo de estudio. Enfocándose solamente a aquellas variables de cada grupo, que por sus medidas sean motivo de duda en su inclusión.

Para su estudio las 18 variables se concentraron en cinco grupos o dimensiones considerando su interacción recíproca, es decir, que cada grupo explica un aspecto del funcionamiento del sistema morfológico (ver cuadro 1).

En el grupo de dinámica fluvial, la mayoría de las variables tienen una distribución aceptable, siendo los casos extremos la amplitud del cauce y la pendiente del cauce, variables relacionadas con el comportamiento de las corrientes fluviales, en ellas los valores de la media y la desviación estándar se aproximan entre sí, esto se explica por la forma de la distribución ligeramente sesgada hacia la izquierda, lo cual significa que las amplitudes del cauce, que van de

CUADRO I

ESTADÍSTICA BÁSICA

GRUPO	VARIABLES	MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL		MEDIDAS DE DISPERSIÓN		MEDIDAS DE FORMA	
		\bar{x}	s	σ	C V %	S	K
I	A.	---	σ_0 0.28	---	---	---	---
		---	σ_1 2.79	---	---	---	---
	T.-A.T.A.I.	2.39	3.00	0.95	39.8	-0.639	0.238
	D.F.	0.70	0.44	0.47	67.6	0.543	0.356
II	S.And.	2.45	3.00	1.00	40.8	-0.548	0.106
	S.t.	---	σ_0 0.34	---	---	---	---
		---	σ_1 2.96	---	---	---	---
	S.F.P.	---	σ_0 0.33	---	---	---	---
	---	σ_1 2.94	---	---	---	---	
III	S.A.	---	σ_0 0.31	---	---	---	---
		---	σ_1 2.93	---	---	---	---
	S.B.	---	σ_0 0.46	---	---	---	---
		---	σ_1 2.91	---	---	---	---
IV	P.V.D.	10.53	11.43	6.17	58.6	-0.145	0.255
	P.V.I.	8.07	11.05	7.74	95.9	-0.385	0.268
	P.L.P.V.D.	13.52	16.49	7.03	52.0	-0.421	0.300
	P.L.P.V.I.	13.44	12.50	7.08	52.7	0.132	0.243
	P.P.	4.17	1.73	3.95	94.6	0.617	0.256
	A.P.	182.82	168.91	55.82	30.5	0.249	0.285
V	D.O.	3.81	3.82	1.31	34.3	-0.003	0.275
	P.D.	72.46	86.54	30.01	41.4	-0.469	0.250
	P.C.	3.65	0.72	2.81	77.0	1.042	0.300
	A.C.	28.87	24.58	20.57	71.2	0.208	0.382
	P.	1019.51	1032.81	84.07	8.2	-0.157	0.058

70 a 130 metros son escasas, encontrándose éstas en las porciones frontales del piedemonte, cuando están cerca de su nivel de base local, comenzando a obstruir su desembocadura por los constantes aportes de aluvión que hacen ampliar su cauce. Sin embargo, las características generales recaen en cauces con amplitudes que varían de 0 a 30 metros (modalmente 24.5 metros), puesto que equivalen al 81% del total de los casos, corresponden a porciones de las altas montañas y entrantes del piedemonte donde el trabajo erosivo es primordialmente en sentido vertical (ver figura 4).

Su grado de apuntamiento se considera ligeramente platicúrtico, porque tiene un valor de 0.38, lo cual se refleja en el coeficiente de variación que es del 71%, quiere decir que es una variable con valores fluctuantes y con una distribución heterogénea.

En relación a la pendiente del cauce su media y desviación estándar también tienen valores muy próximos entre sí, lo cual indica que tienen una distribución más o menos dispersa y sesgada hacia la izquierda, siendo de los sesgos más altos de todas las variables puesto que alcanza la unidad, esto se refleja en la gráfica porque el intervalo que va de 0 a 3 grados concentra el mayor número de casos, equivalente al 64.6% del total; que se encuentran en el piedemonte debido a que está constituido por material retrabajado que favorece el desarrollo de pendientes con bajo gradiente.

A su vez los valores de 9 a 13 grados son pocos y se concentran en las partes altas donde el material rocoso no

GRUPO DE DINAMICA FLUVIAL

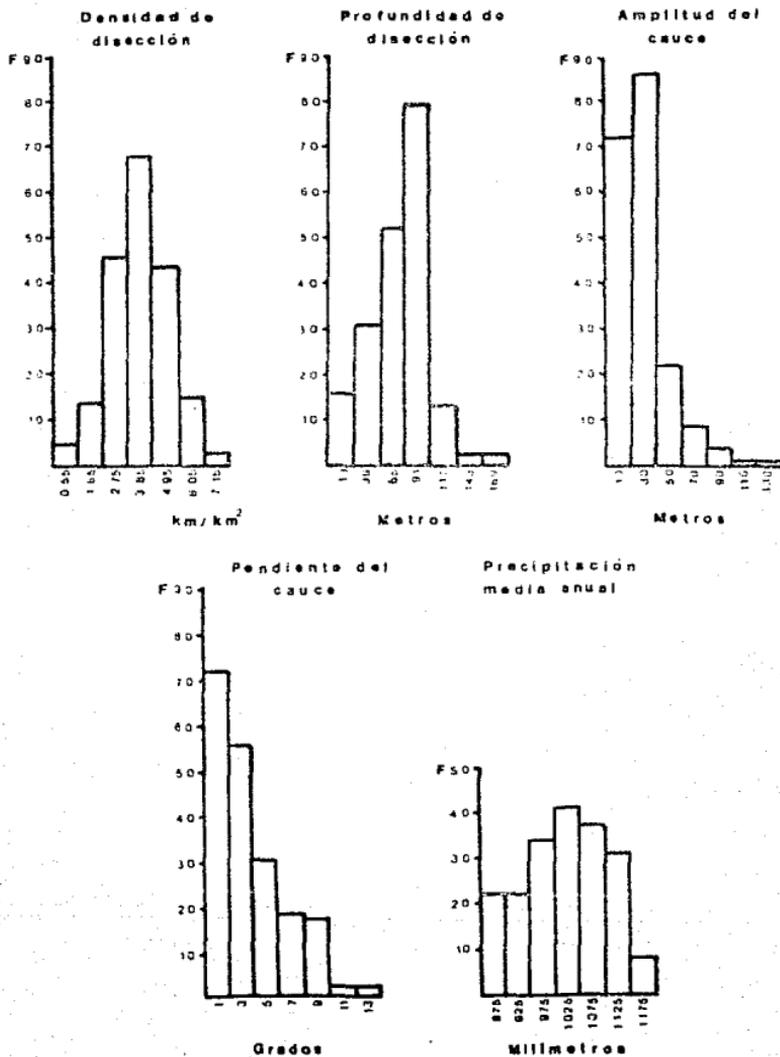


Fig 4

es fácil de erosionar (ver figura 4).

La forma de distribución es platicúrtica con un valor de 0.30, su coeficiente de variación es del 77% lo cual indica que es una variable con cierto grado de heterogeneidad.

En el grupo de variables de geometría de vertientes, destacan solamente dos variables la pendiente del parteaguas y la pendiente de la vertiente izquierda. La primera tiene una media y una desviación estándar muy próximas entre sí, con un sesgo de 0.61, que es el más alto dentro del grupo. Dichas medidas se reflejan en la configuración de la gráfica, pues tan solo el primer intervalo de la distribución, de 0 a 3 grados, concentra el 58.4% de los casos, su valor modal es de 1.7 grados, ellos se localizan en las partes frontales del piedemonte, donde se han presentado los avances más recientes sobre la planicie lacustre, por lo mismo son los parteaguas más conservados y por lo tanto evidencian la pendiente original del terreno, donde actualmente la erosión es de nula a muy débil.

En contraparte los valores más altos, que van de 13 a 21°, corresponden a las líneas de parteaguas, localizadas en el área de Los Tachos (ver figura 5). Su kurtosis es de 0.25 y su coeficiente de variación está entre los más altos de todas las variables, con 94%, por lo tanto es de las variables más altas en dispersión.

En la pendiente de la vertiente izquierda la media y la desviación estándar son muy próximas entre sí y tiene un

GRUPO DE GEOMETRIA DE VERTIENTES

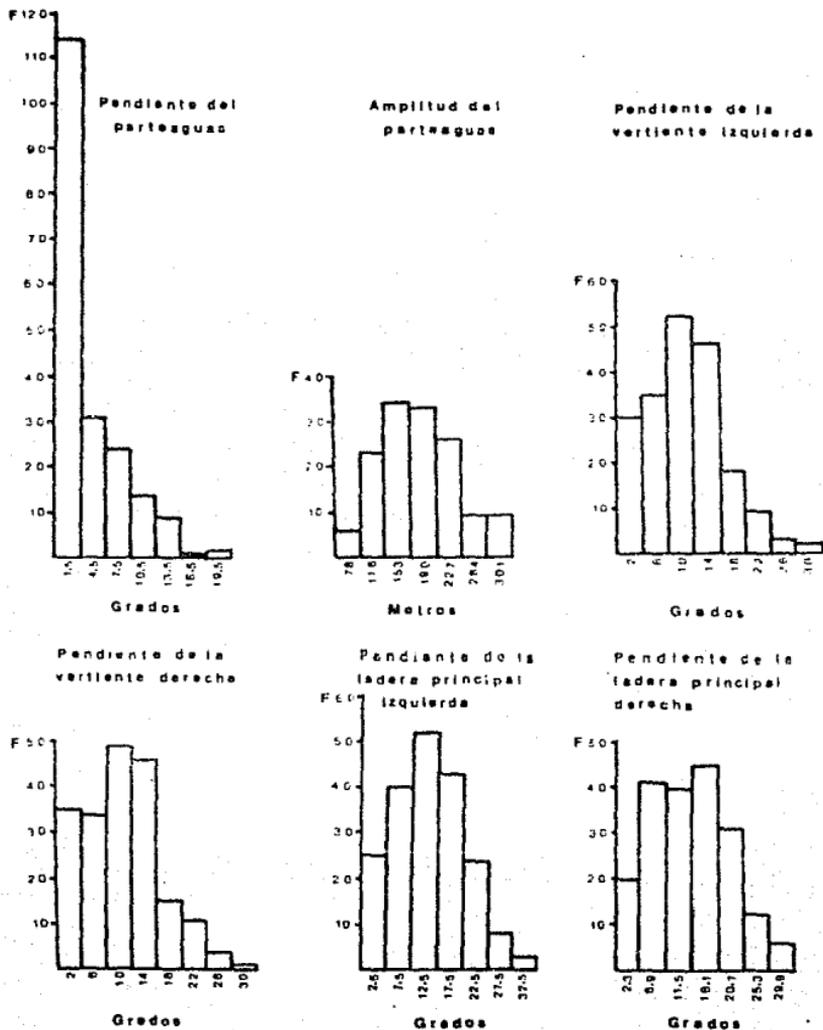


Fig 5

sesgo de -0.38 , lo cual significa que está sesgada a la derecha, esto se refleja en la distribución puesto que los valores más representativos que van de 0 a 14° abarcan el 50% de los casos, su ubicación es principalmente en la parte media y alta del piedemonte, donde la erosión potencial es de moderada a fuerte. Mientras que los valores extremos de 26 a 30° son pocos, con 2.5% del total; por ser vertientes en desarrollo, donde la erosión vertical es la más importante (ver figura 5).

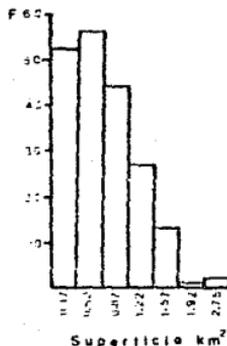
Por lo general, se pueden encontrar valores de 2 a 14° , lo cual indica que en la zona las vertientes izquierdas están desarrolladas. Su kurtosis es de 0.26 , y su coeficiente de variación es de 95% , siendo el más alto de todos los grupos de variables, lo cual habla de la heterogeneidad en el desarrollo de las vertientes.

En el grupo de variables litológicas ni la media ni la desviación estándar son representativas, especialmente para la andesita, donde se consideran dos valores modales, el más importante de 2.7 km^2 , puesto que tiene una distribución en forma de "J", lo cual refleja que no es una variable ampliamente distribuida en toda la zona, pues las áreas con 3.0 km^2 representan el 54.5% de los casos; mientras que el resto queda distribuido en pequeñas áreas (ver figura 6).

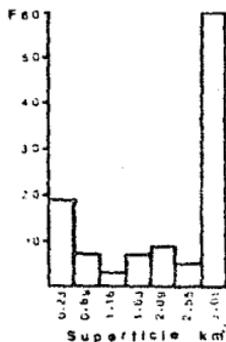
En el segundo tipo de rocas casi todas las medidas estadísticas son aceptables, pero la forma de la distribución muestra que la mayoría de los casos, con una moda de 3.0 km^2 ,

GRUPO DE LITOLOGIA Y EDAFOLOGIA

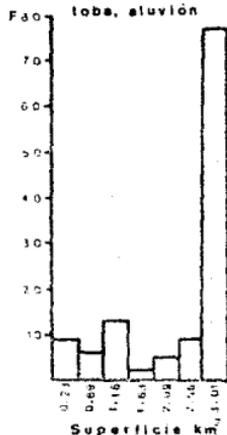
Densidad de fractura



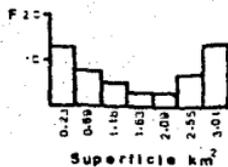
Andesita



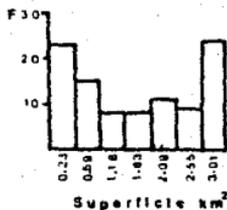
Arenisca-toba, toba, aluvión



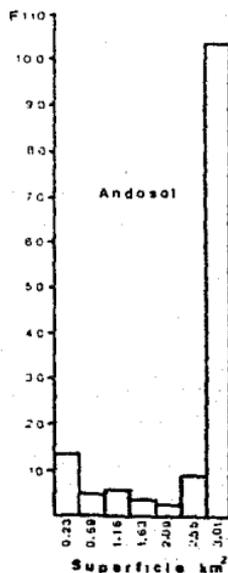
Fozzem-Planosol



Luvisol



Andosol



concentra el 63.6% de los casos, lo cual significa que es una litología abundante en la parte media y baja de la zona, este tipo de roca tiene una distribución semejante a la anterior por la superficie que abarca (ver figura 6). Su coeficiente de variación es de 39%, lo cual señala cierto grado de homogeneidad.

El grupo de variables edafológicas, se caracterizan por ser ligeramente bimodales, pero en el caso del suelo andosol esto es más notorio, pues concentra en un solo intervalo el 71.7% de los casos, es decir, superficies de 3.6 km^2 (ver figura 6).

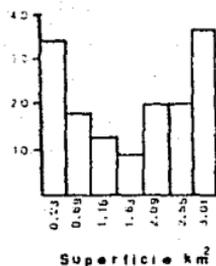
El suelo luvisol se caracteriza por tener dos modas bien diferenciadas, la primera, cubriendo superficies de 6.34 km^2 representa el 23% de los casos; mientras que el segundo valor modal es de 2.9 km^2 , al cual le corresponde el 24.4% del total de los casos. (ver figura 6).

En el grupo de variables de impacto, éstas son fuertemente bimodales, mostrando gran presencia ya sea de bosques o de agricultura; y a su vez, áreas que carecen de cualquiera de ellos. La superficie de bosques se encuentra en el 22.2% de los casos, con una cobertura completa; mientras el 36.9% de la zona tiene una cobertura de 0.2 a 0.6 km^2 , con este tipo de vegetación. Por lo tanto, es mayor la superficie sin recursos forestales (ver figura 7).

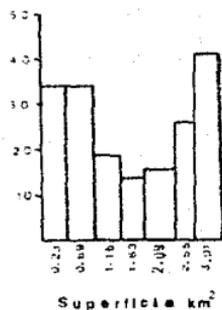
En la superficie agrícola, también su bimodalidad es fuerte, la mayor de ellas tiene un valor de 2.9 km^2 , lo cual

GRUPO DE IMPACTO

Agricultura



Bosque



FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFIA

Fig 7

significa que el 24% de la zona está completamente utilizada en la agricultura. Mientras el 50.6% de la zona tiene de 2.0 a 3.0 km², ocupados por algún tipo de agricultura. Pero los que tienen entre 0.23 y 0.69 km², corresponden al 34.6% de la superficie cultivada (ver figura 7).

4.2 Análisis de correlaciones

La finalidad de elaborar la matriz de correlaciones se refleja en tres aspectos fundamentales en el análisis de las variables. En primer lugar, muestra el grado de asociación existente entre pares de variables considerando sus valores positivos, que indican una relación directa; o bien los negativos, que evidencian una relación inversa. Se expresan en una gráfica bidimensional ya sea con una pendiente positiva o negativa, respectivamente.

En segundo lugar, sirve como medio de apoyo para hacer una interpretación global y adecuada de cada par de variables contenidas en la matriz, pues sólo de esta manera es posible detectar las anomalías que se presentan, ejemplo de esto son las variables altamente asociadas que están explicando lo mismo, o bien, aquellas que tienen un bajo coeficiente de correlación y por lo tanto no se prestan a su inclusión dentro del análisis, o que están evidenciando una acción independiente.

Otro caso se presenta cuando hay una correlación significativa, pero que teóricamente no se explica, sino que se deduce la existencia de una variable latente o externa

que influye en tal asociación. A través de estas consideraciones se realiza una depuración y validación del conjunto de variables, (Kunz, 1988, p. 15; Cortés, 1987, pp.389-411).

En tercer lugar, la facilidad para organizar el conjunto de variables en un diagrama-modelo, de acuerdo a su número de relaciones y a la significancia de su coeficiente de correlación, lo cual facilita la interpretación e identificación de aquellas variables relevantes en el funcionamiento del sistema morfológico.

En este caso se consideran 19 variables que actúan en 195 objetos, a un grado de confiabilidad de las asociaciones del 99.9%, así existe una baja probabilidad de que las correlaciones sean poco significativas, pues se alcanza casi el 100% de confiabilidad; siendo el valor mínimo aceptable de 0.296, para el coeficiente de correlación.

En el diagrama-modelo se puede observar que existen siete variables relevantes para el funcionamiento del sistema más general, que son los dos tipos de litología, los tres tipos de suelo, la superficie de bosque y la pendiente del parteaguas; las cuales se describen en función de su número de relaciones (ver cuadro 2 y figura 8).

El primer tipo litológico está constituido por materiales de diversos tamaños y orígenes, incluye cenizas y arenas de origen volcánico, así como materiales aluviales restringidos a los fondos de los ríos principales, sobre esta litología tiene lugar la formación del suelo luvisol

C U A D R O 2

M A T R I Z D E C O R R E L A C I O N

	P.D.	D.D.	P.C.	A.C.	P.	A.P.	P.P.	D.F.	P.V.I.	P.V.D.	S.F-P	S.L.	S.AND	A.	I ₁ = I ₂ A1	S.B	S.A	PLPV	PLPV1
P.D.	1.000																		
D.D.	0.442	1.000																	
P.C.	0.226	-0.145	1.000																
A.C.	-0.077	0.205	-0.397	1.000															
P.	0.158	0.066	0.287	-0.359	1.000														
A.P.	0.165	0.462	-0.331	0.232	-0.309	1.000													
P.P.	0.198	-0.176	0.568	-0.255	0.431	-0.522	1.000												
D.F.	0.298	0.128	0.184	-0.072	0.251	-0.117	0.205	1.000											
P.V.I.	0.591	0.257	0.408	-0.134	0.183	-0.049	0.377	0.282	1.000										
P.V.D.	0.568	0.317	0.387	-0.702	0.100	0.011	0.771	0.268	0.562	1.000									
S.F-P	-0.538	-0.328	-0.287	0.797	-0.573	-0.051	-0.383	-0.388	-0.474	-0.471	1.000								
S.L.	0.105	0.241	-0.338	0.098	-0.241	0.437	-0.389	-0.107	-0.090	-0.112	-0.056	1.000							
S.AND	0.287	-0.058	0.521	-0.274	0.535	-0.313	0.543	0.325	0.349	0.396	-0.610	-0.757	1.000						
A.	0.210	-0.271	0.622	-0.266	0.561	-0.587	0.659	0.283	0.390	0.370	-0.372	-0.552	0.887	1.000					
I ₁ = I ₂ A1	-0.250	0.147	-0.608	0.323	-0.573	0.458	-0.621	-0.327	-0.355	-0.379	0.478	0.607	-0.794	-0.678	1.000				
S.B.	0.200	0.004	0.452	-0.279	0.658	-0.302	0.521	0.459	0.318	0.359	-0.532	-0.352	0.613	0.568	-0.639	1.000			
S.A.	-0.131	0.028	-0.394	0.183	-0.517	0.321	-0.526	-0.444	-0.208	-0.270	0.492	0.456	-0.662	-0.578	0.656	-0.883	1.000		
PLPV	0.528	0.391	0.310	-0.304	0.408	0.144	0.171	0.204	0.471	0.448	-0.498	-0.018	0.340	0.193	-0.260	0.338	-0.223	1.000	
PLPV1	0.585	0.302	0.421	-0.135	0.120	0.073	0.371	0.228	0.839	0.561	-0.430	0.020	0.265	0.271	-0.266	0.197	-0.122	0.489	1.000

DIAGRAMA - MODELO

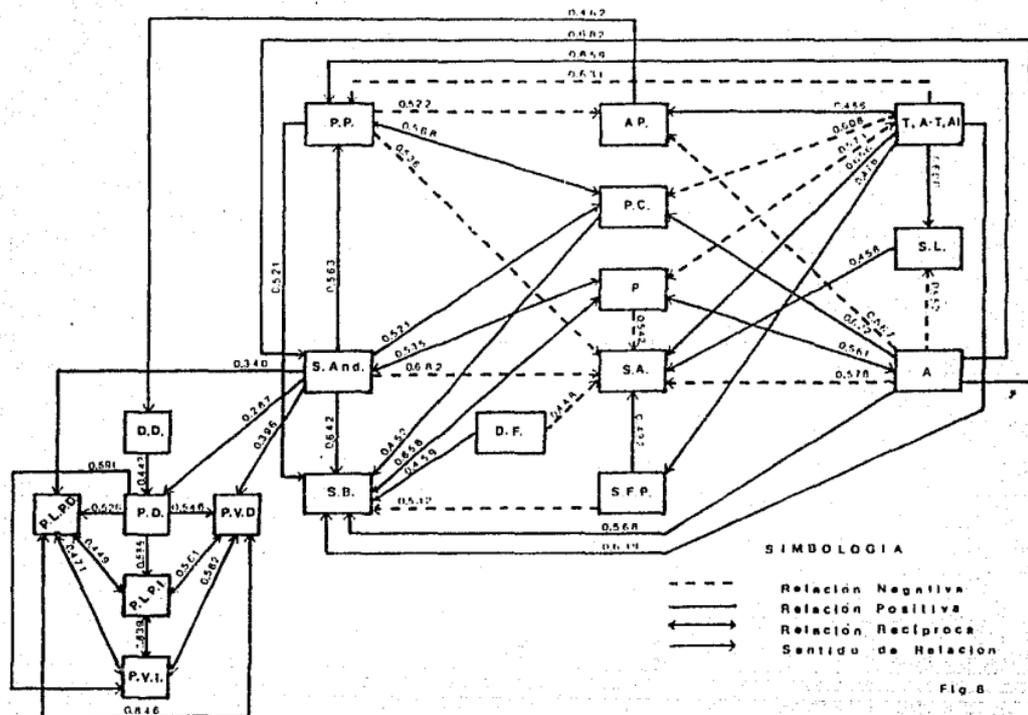


Fig. 8

lo cual se manifiesta por medio de una correlación de 0.600, debido a que éste se forma por los procesos de lavado del terreno y por la descomposición del material in situ, por ello está conformado por materiales de diverso calibre dependiendo de su posición en el área de estudio. Existen porciones donde este suelo ha desarrollado horizontes adecuados para la actividad agrícola, por eso la relación es de 0.456, aunque es un suelo con una marcada susceptibilidad a los procesos erosivos.

Este material se relaciona con la formación de los parteaguas a causa de su escasa resistencia a los procesos erosivos, especialmente de abarrancamiento, los cuales se han concentrado en la profundización más que en la ampliación de sus cauces, situación que favorece la presencia de amplios parteaguas, representados por una correlación de 0.456, en los cuales predomina el lavado por ser parteaguas con escasa pendiente. A su vez son las áreas que han presentado menos dificultad para el avance de la frontera agrícola, pues se relaciona positivamente con un valor de 0.324, a costa de una grave deforestación, señalada por una asociación de -0.302.

La andesita es una roca volcánica de tipo intermedio localizada en la zona montañosa, es un material compacto que bajo condiciones de edafogénesis da lugar a la formación del suelo andosol, lo cual se traduce en una relación de 0.682, sostiene una vegetación boscosa que no ha sido replegada por la agricultura, de ahí su relación negativa

de -0.682 con ésta. La conexión de este material con las características de los parteaguas es diferente a la del caso anterior, pues no permite el desarrollo de su amplitud, según lo muestra el valor de -0.567; sin embargo, están representados por líneas de divisorias con fuertes pendientes (0.659), y una extensa cobertura boscosa. A su vez, por las propias características de la roca, las pendientes de los cauces mantienen un fuerte gradiente, expresado por una correlación de 0.622.

La densidad de fractura tiene una relación de 0.459 con la superficie de bosque, que se puede interpretar como una relación indirecta, porque el bosque está muy asociado a las superficies de las rocas andesíticas y de suelos andosoles, que son los más fracturados. Su vínculo negativo con la agricultura (-0.448) se explica porque ésta se ubica sobre el primer tipo litológico y el suelo luvisol, que no están fracturados.

La precipitación también evidencia relaciones indirectas, pues sus valores positivos con la andesita (0.561), y el bosque (0.658) están influenciados por la variable altitud del relieve que no fue considerada, de ahí también su unión negativa con las porciones donde la precipitación no es muy alta, y corresponde a altitudes menores, donde se encuentra distribuido el primer tipo de roca (-0.573).

Las variables que constan con el subsistema de vertientes y de laderas principales de barrancos, son la amplitud del parteaguas, los suelos luvisol y andosol, con sus res-

pectivos tipos litológicos.

La amplitud del parteaguas se relaciona positivamente con la densidad de disección (0.462), porque esta variable informa sobre la superficie potencial a ser erosionada, así donde la amplitud del parteaguas es extensa, se presentan los mayores valores de densidad de disección y tiene un comportamiento inverso cuando la amplitud es escasa o nula.

Otra variable que permite el enlace con el subsistema es el suelo andosol por sus altos valores positivos con las vertientes y las laderas principales de los barrancos, esto se explica más en función de su posición topográfica y no por su menor resistencia a la erosión, pues ambos suelos presentan condiciones similares ante los procesos erosivos.

Las relaciones negativas con el suelo feozem-planosol se explican porque se localizan cerca del nivel de base local, por lo tanto disminuye el poder erosivo de las corrientes fluviales; no ha favorecido el desarrollo de la pendiente de las vertientes y laderas principales. Este suelo también se relaciona negativamente con la profundidad de disección (-0.536) lo cual significa que esta última variable depende del suelo andosol, por la superficie que comprende y su posición topográfica, ya que su susceptibilidad a la erosión depende del lugar en el que se ubique.

La relación de la densidad de disección con la profundidad de disección es recíproca (0.442), porque cuando se alcanzan profundidades considerables de los barrancos, estos favorecen el surgimiento de barrancos secundarios que

actúan sobre las vertientes, aumentando así la densidad de disección del área; y a la inversa la presencia de más barrancos proporciona un lugar donde se concentra la actividad erosiva de las corrientes, incrementándose la profundidad de disección. Además ésta es apoyada por la densidad de fractura, con la cual tiene una correlación de 0.298, en virtud de que facilita lugares donde encausar las corrientes fluviales.

La profundidad de disección se relaciona positivamente con la pendiente de la vertiente derecha (0.546) e izquierda (0.591), en función de que a mayor profundidad de los barrancos existe un incremento en su pendiente. Esta no es la única condición para el aumento de las pendientes, sino que también influye el trabajo de socavación que se lleva a cabo en las márgenes de los cauces, debilitando las bases de las vertientes, además de las características del material en el que se lleva a cabo este proceso.

La pendiente de las vertientes muestra una relación positiva con la pendiente de las laderas principales de los barrancos (ver cuadro 2), porque si se incrementa una le corresponde un aumento a la otra, lo cual indica que si aumenta la pendiente de las laderas principales, afecta al conjunto de las vertientes, siendo esta relación más estrecha con su correspondiente. Los interfluvios y laderas principales también tienen una relación directa con la cobertura vegetal boscosa.

5. ANALISIS ESPACIAL DE LOS COMPONENTES PRINCIPALES

La aplicación de la técnica de los componentes principales a las 19 variables originales del trabajo, tiene la finalidad de proporcionar nuevos grupos o familias de variables, llamados componentes. Cada componente va a representar una nueva variable con propiedades diferentes, para así reducir su número inicial, que de lo contrario sería difícil de interpretar en todas sus relaciones internas, en cambio con los componentes la interpretación se facilita porque dentro de cada uno de ellos se destacan las variables que poseen mayor peso.

Se obtuvo una matriz de variables-componentes, donde cada variable individual muestra un grado numérico determinado de asociación con cada uno de los componentes; sólo se consideran para la interpretación y ubicación en un componente donde ésta adquiere su máximo valor (ver cuadro 3).

Se obtuvieron 19 componentes que si se consideran por completo dan el 100% de la varianza explicada, sin embargo, como serían demasiadas dimensiones se dificultaría la interpretación, por tal motivo se recurre a la elección de los más significativos en función de la explicación que aportan.

Considerando sólo los tres primeros componentes se puede observar que al primero le corresponde el 39.41% de varianza, al segundo el 18.05% y al tercero el 7.66%, dando un total de varianza explicada del 65.12%, lo cual es altamente significativo para la solución del problema en cuestión si se considera que para aplicar dicha técnica a las

CUADRO 3

COMPONENTES PRINCIPALES

VARIABLES	1	2	3	h^2
P.D.	0.460	0.653	- 0.103	0.6486
D.D.	0.028	0.751	0.330	0.6736
P.C.	0.701	- 0.102	- 0.352	0.6252
A.C.	-0.398	0.117	0.178	0.2037
P.	0.688	- 0.092	0.326	0.5880
A.P.	-0.393	0.632	0.244	0.6134
P.P.	0.711	- 0.250	- 0.218	0.6155
D.F.	0.463	0.119	0.353	0.3531
P.V.I.	0.600	0.477	- 0.394	0.7427
P.V.D.	0.626	0.516	- 0.095	0.6671
S.F-P	-0.685	- 0.368	- 0.277	0.6813
S.L.	-0.491	0.553	0.074	0.5523
S. And	0.837	- 0.198	0.122	0.7546
A	0.806	- 0.345	- 0.177	0.7992
T, Ar - T, A1	-0.852	0.283	0.019	0.8063
S.B.	0.789	-0.143	0.403	0.8053
S.A.	-0.748	0.238	- 0.426	0.7976
P.L.P.V.D.	0.540	0.589	0.024	0.6390
P.L.P.V.I.	0.514	0.579	- 0.452	0.8037
EIGENVALORES:	7.498	3.430	1.456	12.3714
VARIANZA EXPLICADA	39.411	18.053	7.660	65.124

19 variables, éstas tuvieron que pasar por un grado de confiabilidad del 99.9%.

Otro criterio que se considera para incluir hasta el tercer componente, es el hecho de que los eigenvalores señalan el número de variables relevantes para cada componente, Johnston (1980, p. 141), por ejemplo, el primero alcanza un valor de 7.488 señalando la existencia de 7 variables importantes a su interior, y así sucesivamente hasta llegar al tercer componente donde su eigenvalor es de 1.455, señalando con ello la existencia de una sola variable importante y en función de la cual se debe apoyar la descripción de este componente, mientras en el resto de ellos quedan residuos menores a la unidad, indicando la ausencia de una variable completa.

También se obtiene la varianza explicada por cada variable individual en cada uno de los componentes, que al irse sumando dan la comunalidad (h^2), lo que se interpreta como el conjunto de varianza explicada que alcanza cada variable dentro de los componentes elegidos. Así sobresalen por su magnitud de comunalidad, la pendiente de la ladera principal de la vertiente izquierda, la superficie de agricultura, la superficie de andesita, la superficie de tobacarenisca-toba y aluvión, la pendiente de la vertiente izquierda, la superficie de bosque; todas ellas con valores cercanos a 0.80, es decir, casi alcanzan el 100% de su poder explicativo.

5.1 Componente estructural

En el primer componente se encuentran altamente asociadas las variables, que teóricamente se designaron como de carácter estructural, a excepción del suelo luvisol que no aparece; con valores que oscilan entre -0.748 y -0.852 , aunque también hay variables asociadas positivamente; también sobresalen las variables de geometría de vertientes con valores de 0.600 a 0.711 que correspondan a la forma de la vertiente general (distancia en grados del parteaguas al talweg).

Como variables pertenecientes a otros grupos, se representan solo una de carácter fluvial, con un peso de 0.701 (pendiente del cauce) y la precipitación con un valor de 0.688 . Debido a la predominancia de las primeras se le asigna el nombre de "Componente estructural", que muestra relaciones internas similares a las ya explicadas en el diagrama-modelo de correlaciones del capítulo anterior.

Para visualizar espacialmente con mayor claridad la importancia del componente, éste se descompone en una matriz de objetos-componentes estandarizados, donde la media adquiere un valor de 0 , y los objetos tienden a ubicarse por arriba o por debajo de ésta, en unidades de desviación estándar. Esto permite una adecuada representación cartográfica porque el número de intervalos está bien definido y no es muy amplio.

De esta manera se refleja el peso del componente en cada unidad estadística de datos, es decir, se evidencia la

importancia del conjunto de variables del componente en cada uno de los 195 objetos.

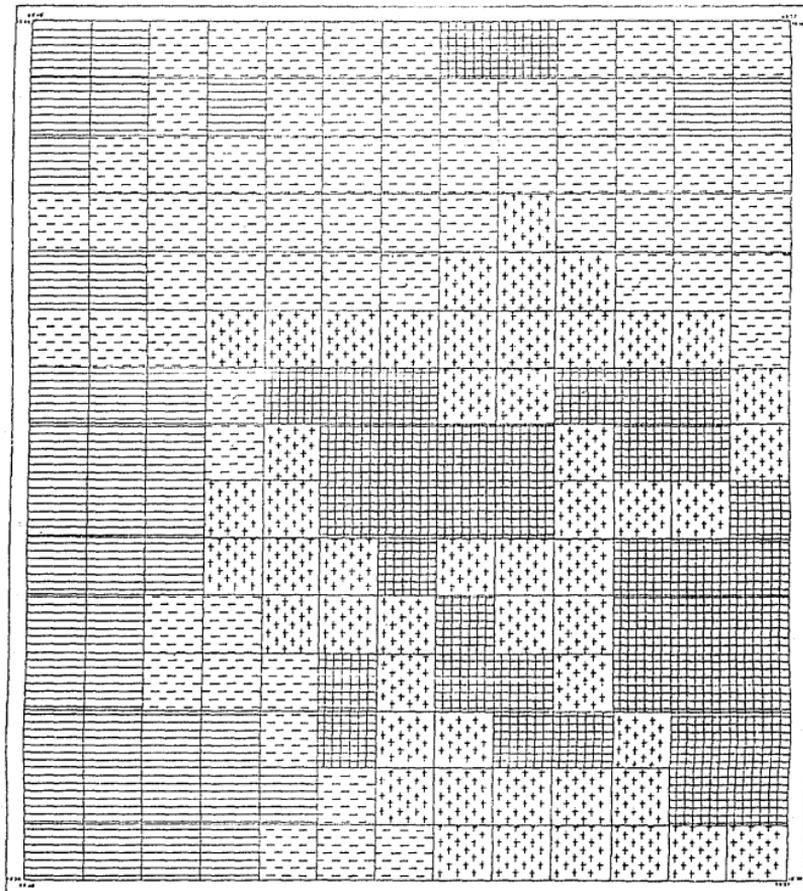
El componente estructural se divide en 4 intervalos para su representación cartográfica (ver figura 9); el primero de +1 a +2; el segundo de 0 a +1; el tercero de 0 a -1 y el cuarto de -1 a -2 desviaciones estándar. El mismo procedimiento se aplica a cada uno de los componentes seleccionados.

a) Primer intervalo

Se distribuye del centro al sureste formando una diagonal. grosso modo, pero cortada en su porción central por una superficie que corresponde a otro intervalo (de 0 a -1 desviaciones estándar). En términos generales define a las altas cumbres porque quedan incluidos la mayoría de los edificios volcánicos: La Bufa, La Piñuela, El Monti, Los Lobos, El Yoco, Los Naranjos, La Catedral y el Xitox, además incluye las mayores densidades de fracturas, con valores que fluctúan de 1.56 a 2.43 km/km², especialmente en las laderas del volcán La Bufa.

Todo este intervalo comprende gran parte del material andesítico correspondiente a los edificios volcánicos, cuya superficie aproximada es de 116.9 km², como este material ha sido expuesto a la acción de los diferentes agentes denudatorios y de intemperismo se ha desarrollado un suelo andosol que por encontrarse en condiciones de alta pendiente no

COMPONENTE ESTRUCTURAL



SIMBOLOGIA

RESISTENCIA POSITIVA

-  +1 & +2
-  0 & +1
-  0 & -1
-  -1 & -2

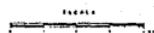


FIG. 8

es de gran espesor, no obstante, es la segunda variable más importante en el componente.

Debido a la altitud que supera los 3 000 mm, la cantidad de lluvia se establece entre los rangos de 1 050 a 1 200 mm, que es la más abundante de toda la zona, y ha favorecido el desarrollo de una amplia cobertura boscosa que cubre superficies de 2.5 a 3.2 km², especialmente en los alrededores del volcán La Bufa, lo cual induce a afirmar que la intensidad de los procesos erosivos no es muy marcada a pesar de la gran precipitación y de las fuertes pendientes de los cauces, que se deben encontrar en sus etapas primarias de evolución.

Destacan por sus valores de 4 a 9° el sector del volcán La Bufa, el sector de La Catedral y el sector de El Xitox con los mismos valores, sin embargo la explicación de tales gradientes se debe al tipo de material predominante en el que se desenvuelven los arroyos, por lo que no es un resultado directo del trabajo erosivo, pues las corrientes aún no alcanzan la capacidad para desarrollar semejante trabajo.

Por esta misma razón, la pendiente del parteaguas es fuerte, sobresaliendo dos situaciones, la primera en el sector del volcán La Bufa, con valores de 7 a 10 grados; y la segunda, corresponde al resto del área donde las pendientes oscilan entre 11 y 19 grados, hecho que se evidencia en sus relaciones positivas con el componente.

La variable de la pendiente de la vertiente derecha e

izquierda marca cierto grado de asimetría, pues los resultados para el área de La Bufa señalan que la vertiente izquierda es la más pronunciada con valores que fluctúan entre 11 y 18 grados, lo mismo sucede en el área del volcán La Catedral, donde tiene valores de 12 a 24 grados, lo cual se relaciona con la ubicación de su nivel de base en la planicie de Ixtlahuaca. En cambio en el área del volcán Xitox la situación se invierte, pues son más pronunciadas las vertientes derechas, con valores de 12 a 24°, pues sus cauces desembocan en la presa Taxhimay.

b) Segundo intervalo

Rodea al intervalo anterior y se encuentra en la porción media de éste. El sector medio comprende una superficie de 32.3 km², se caracteriza por ser un área de llanos: Agua Nueva, Laguna Seca, Doña Juana y Las Mesas, que son cortados por tres grandes fallas normales escalonadas, y orientadas de noroeste a sureste. Está constituido por los mismos tipos de material y suelo que el intervalo anterior, sin embargo, la cobertura boscosa es inferior al comprender superficies de 2.0 a 3.2 km², esta disminución se explica por la presencia de pastizales inducidos y una incipiente actividad de pastoreo. Asimismo, sus pendientes del cauce varían entre 3 y 6°, con asimetría de su vertiente derecha, pues sus valores van de 5 a 13 grados, que desembocan en la presa Taxhimay.

El sector del norte se ubica en el área de contacto litológico entre la andesita y la brecha volcánica, que morfológicamente corresponden a las porciones superiores del piedemonte y en donde destacan las localidades de: El Aguila, La Esperanza y San Isidro del Esque. Corresponden a una superficie fracturada con orientaciones de norte a sur, con una densidad de 0.8 a 1.5 km/km², sobre un tipo de suelo andosol y pequeñas porciones de luvisol.

Es un sector más definido por la variable de superficie boscosa, puesto que sus valores comprenden desde 1.6 hasta 3.0 km², lo que evidencia su relación negativa con el componente con la superficie agrícola, que comienza a avanzar en estas superficies, mostrando valores de 0.2 a 1.4 km², lo cual comienza a acelerar los procesos erosivos, impactando sobre todo las superficies de parteaguas, porque la nueva vegetación que se ha implantado no ofrece la misma protección contra el lavado en mantos, la formación de rills y el abarrancamiento, pues sus gradientes que van de 2 a 7 grados; también se relacionan con la pendiente de las vertientes, donde son muy altos los valores de la derecha pues van de 9 a 21 grados; a la vez se ven afectados por las bajas pendientes del cauce (2 a 6°) que indican un fuerte desalajo de materiales del fondo y porciones laterales de las corrientes fluviales. Situación que se ve favorecida por las intensas precipitaciones que se mueven en un rango de 1 050 a 1 150 mm.

El sector sur-sureste se localiza entre las localidades

de San Bartolomé Oxtotitlán, Santa María Nativitas y Los Tachos; se asientan sobre material andeítico y suelos andosoles lo que los diferencia del sector norte, además de ser la más impactada por el avance de la frontera agrícola, los cultivos de pastos inducidos y la práctica de pastoreo en superficies de parteaguas con gradientes de 4 a 12°. El bosque ha reducido su presencia únicamente a las vertientes como vegetación de galería, donde son más pronunciadas las vertientes izquierdas, con valores de 9 a 23°

c) Tercer intervalo

Se ubica entre las localidades de Concepción, Santa Clara de Juárez, San Sebastián Buenos Aires, Pueblo Nuevo y Llano de Zacapexco, es decir, al norte del área de estudio. Se encuentra sobre material deleznable removido de las partes superiores y compuesto por tobas, areniscas-tobas y aluviones, es el área más extensa con una superficie de 213.6 km². Sus características edafológicas son compartidas con los suelos luvisoles y andosoles, toda vez que son producto de los materiales volcánicos.

Por ser la porción media y frontal del piedemonte las pendientes de los cauces y parteaguas tienen valores de 1 a 4 grados de pendiente, lo que ha facilitado la expansión de la actividad agrícola, pero sin anular por completo la superficie de bosque pues mantiene extensiones de 1.0 a 2.4 km². En tanto la evolución de sus vertientes muestra dos

porciones diferenciadas, la de Villa del Carbón, con la vertiente derecha más pronunciada y valores de 11 a 16° y bajo la influencia de precipitaciones del orden de 1 100 a 1 150 mm. Y en la porción media la tendencia de las vertientes es la misma sólo que con valores de 9 a 12 grados, es decir, más suaves que las anteriores. Sin embargo, no ocurre lo mismo en el área de Santa Clara de Juárez donde las vertientes más fuertes son las izquierdas, con valores de 9 a 19 grados, y bajo condiciones de precipitación de 950 a 1 000 mm anuales. La lluvia es menor y las pendientes de las vertientes son las más fuertes del intervalo, esto se explica porque la cobertura vegetal natural ha sido reemplazada casi en su totalidad por la agricultura, actividad practicada desde hace varios años. Las características mencionadas para Santa Clara de Juárez son compartidas por el área de Jiquipilco y Loma Endotzi, al sur.

d) Cuarto intervalo

Se sitúa al oeste, en la porción frontal del piedemonte y en la planicie de Ixtlahuaca, donde destacan las localidades de San Lorenzo Malacota y Loma Hidalgo. Según el componente, es altamente definido por los materiales no consolidados y el suelo feozem-planosol que en su mayoría es ocupado por una práctica agrícola, que se extiende en amplias superficies de 2.0 a 3.2 km². Las pendientes de sus cauces y particaguas van de nulcs hasta 3°. Este intervalo es afectado

tado por precipitaciones de 850 a 1 000 mm, que son las más bajas del área de estudio.

El comportamiento del componente estructural señala diferentes grados de impacto, así como diferentes variables que lo controlan. El intervalo de +1 a +2 desviaciones estándar, es el más relacionado positivamente con éste, indicando que es la superficie menos alterada de toda la zona; el intervalo de 0 a +1 desviaciones estándar muestra la existencia de relaciones positivas con el componente, lo cual se interpreta como una alteración mínima. En cambio el intervalo de 0 a -1 desviaciones estándar, muestra relaciones negativas con dicho componente, por lo tanto la alteración ya es importante; pero el intervalo de -1 a -2 desviaciones estándar, agrupa las áreas más impactadas, por sus altas relaciones negativas con el componente estructural.

5.2 Componente erosivo

En este componente las variables que más destacan, son aquellas asociadas positivamente con éste, que son las que muestran mayor peso, son las que a su vez se definieron teóricamente como de dinámica fluvial: la profundidad de disección y la densidad de disección, con pesos de 0.653 y 0.751 respectivamente.

Se asocian también tres variables definidas como de

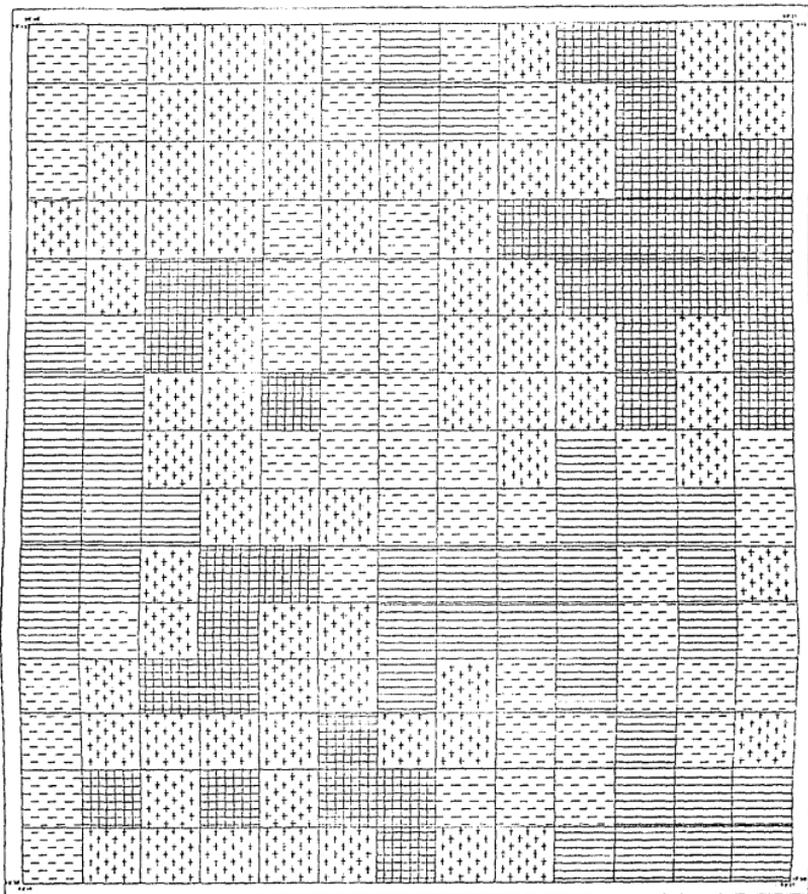
geometría de vertientes: la ladera principal de la vertiente derecha e izquierda y la amplitud del parteaguas, con valores respectivos de 0.589, 0.579 y 0.632; a su vez sólo el suelo luvisol se asocia al componente con un peso de 0.553.

Como las variables de dinámica fluvial son las más importantes, y reflejan el desguste del terreno tanto en superficie (densidad) como en profundidad, lo cual está vinculado con las características de las laderas principales de los barrancos, se le asigna el nombre de "Componente erosivo". Para su análisis se divide en los siguientes intervalos (ver figura 10).

a) Primer intervalo

Se distribuye formando una zona continua en torno al área de Villa del Carbón, en una superficie de 58.2 km², donde las localidades rurales más importantes son: San Joaquín, Llano de Zacapexco, La Esperanza, El Ocotal y Loma Alta. Predomina un suelo luvisol con alta potencialidad a ser afectado por el trabajo erosivo, a causa de la consistencia del material de acarreo que lo origina (areniscas y tobas), dicha situación ha favorecido la presencia de las más fuertes densidades de diseción de toda la zona, con valores de 4.12 a 6.30 km/km², lo cual no se relaciona con la densidad de fracturamiento porque tiene valores bajos, sino que se explica por las condiciones edafológicas y por

COMPONENTE POSITIVO



SIMBOLOGIA

INDICACIONES ESTADÍSTICAS

	+1 a +2
	0 a +1
	0 a -1
	-1 a -3

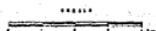


Fig-10

la intensidad de las precipitaciones, que han formado grandes abarrancamientos con profundidades de 60 a 100 metros.

A su vez, el trabajo de los cauces se ha concentrado en la afectación de las laderas principales desarrollando gradientes abruptos, de 14 a 26°, especialmente en la ladera derecha. Por lo tanto, la erosión fluvial en sus aspectos de lavado del terreno y formación de abarrancamientos secundarios, es muy notoria y relacionada con el retroceso de las amplitudes del parteaguas, que alcanza valores medios de 200 metros.

Como sectores aislados de este intervalo, resaltan el área de Pueblo Nuevo, Santa María Nativitas, Jiquipilco y Loma Endotzi, con valores en su densidad de disección superiores a 4 km/km², a pesar de que geomorfológicamente constituyen porciones frontales del piedemonte, hacia la planicie de Ixtlahuaca, a su vez su profundidad varía de 80 a 180 metros, siendo los barrancos más profundos los localizados en Santa María Nativitas y Jiquipilco el Viejo.

Dichos valores parecen no corresponder a su posición morfológica, puesto que el número de fracturas es muy bajo, así como la intensidad de la precipitación, por lo que la explicación debe recaer en otros hechos como la explotación intensiva de los terrenos por la agricultura durante muchos años, sin considerar las prácticas de conservación del suelo adecuadas, ni la reforestación.

Bajo estas condiciones y considerando la disposición

de los materiales se presenta el fenómeno de sufosión, que evoluciona hasta producir asentamientos del terreno que posteriormente dan lugar a una gran cantidad de cárcavas y terrenos de badlands, con especial énfasis en las laderas principales derechos, de menor gradiente, pues en las opuestas las pendientes oscilan entre 14 y 23°.

Por otro lado, las grandes amplitudes de los parteaguas (140 a 300 metros), son las más extensas de toda la zona, lo cual pareciera contradecir lo dicho con anterioridad. Sin embargo, dicha situación se debe a que los acarcavamientos afectan básicamente a las laderas principales de los barrancos, con una tendencia a extenderse hacia la superficie de parteaguas.

b) Segundo intervalo

En términos generales, corresponde a las porciones medias y altas del piedemonte, con dos zonas diferenciadas en cuanto a la intensidad de los procesos que las afectan.

La primera, corresponde al norte y alrededores de Villa del Carbón, se define más en función de la profundidad de disección con valores de 60 a 80 metros, y por sus densidades de disección de 3.6 a 5.3 km/km².

Pareciera incongruente que exista una alta densidad de disección y una mediana profundidad de los barrancos, pero ésta se debe a un marcado control estructural por medio de fracturamientos, de la principal red de drenaje, sin embar-

go, como las fracturas son poco numerosas (0.6 a 0.9 km/km²) significa que los cauces principales son poco numerosos y no explican los altos valores de densidad, sino que ésta se debe al gran número de barrancos secundarios, pues su acción consiste en erosionar a profundidad, con la consecuente fragmentación de la vertiente, desalojando grandes cantidades de sedimentos hacia los cauces principales.

Tales abarrancamientos secundarios se han desarrollado en las laderas principales, que muestran una marcada asimetría hacia el lado izquierdo, con altos gradientes de 14 a 19°, lo mismo sucede con los alrededores de Villa del Carbón pero con mayor intensidad, y con la diferencia de que la ladera más pronunciada es la derecha.

La segunda porción, se extiende entre las localidades de San Lorenzo Malacota, San Bartolo Oxtotitlán y al oeste de Jiquipilco, la situación es similar a la del norte, porque sus valores de profundidad no explican la elevada densidad del drenaje, debido a que la causa es diferente, pues se debe al gran número de cárcavas y badlands cuyo trabajo erosivo es muy diferente al efectuado por los barrancos secundarios, pues su acción se extiende en superficie afectando rápidamente grandes zonas como las de San Lorenzo Malacota y San Bartolo Oxtotitlán.

c) Tercer intervalo

Se localiza del centro al sureste rodeando al último

intervalo. Comprende a las laderas de los edificios volcánicos donde las cabeceras de los barrancos son más activas y la integración de los cauces más nítidas por sus mayores longitudes y pendientes. Además señalan el contacto de litología entre las andesitas y las brechas, esta última presenta un valor de densidad de disección más relevante (3.5 km/km^2).

d) Cuarto intervalo

Corresponde al sureste abarcando las áreas de los llanos de Agua Nueva, Laguna Seca y los alrededores de la presa Cañada Roa. Sus valores erosivos son los más bajos (2.5 km/km^2), porque las corrientes fluviales no alcanzan a integrarse, por lo tanto se identifican como las primeras etapas evolutivas de los barrancos, con la formación de saltos de cabecera, rápidos y el transporte de materiales angulosos.

El componente erosivo señala cuatro intervalos diferentes, con diversos grados de afectación por los procesos erosivos. El primero (+1 a +2 desviaciones estándar) es el más fuertemente erosionado por encontrarse ocupado por los principales núcleos humanos, que ejercen una fuerte presión sobre el medio natural, el ejemplo más ilustrativo lo constituye Villa del Carbón y sus alrededores. El segundo (0 a +1 desviaciones estándar), muestra un grado de erosión muy

fuerte, pero no tan marcado como en el intervalo anterior, sin embargo, es notorio que el impacto se da en torno a los principales asentamientos humanos y a lo largo de las principales vías de comunicación. El tercero (0 a -1 desviaciones estándar), señala poca afectación por corresponder a las porciones montañosas donde la influencia de la actividad humana es mínima. Y el último intervalo (-1 a -3 desviaciones estándar) prácticamente no está bajo procesos erosivos importantes, una por corresponder a la planicie de Ixtlahuaca, y la otra por encontrarse en las elevaciones de la Sierra.

5.3 Componente antrópico

En este componente se asocian negativamente sólo dos variables, la pendiente de la ladera principal de la vertiente izquierda (-0.452) y la superficie agrícola (-0.426) y positivamente la superficie de bosque (0.403). A grandes rasgos señalan la ocupación a la que está sujeta la ladera principal izquierda, que varía dependiendo de su posición topográfica, porque el componente diferencia dos zonas generales, que tienen la misma disposición que la orientación general de la Sierra. La primera, tiene scores positivos, que señalan la mayor o menor ocupación por la agricultura, corresponden a todas aquellas laderas izquierdas cuyos cauces desembocan en la presa Taxhimay.

La segunda, comprende los scores negativos, que señalan diferentes magnitudes de ocupación por la vegetación

forestal, corresponde a las laderas izquierdas, cuyos cauces desembocan en la planicie de Ixtlahuaca. Por tal motivo se le asigna el nombre de "Componente antrópico", (ver figura 11).

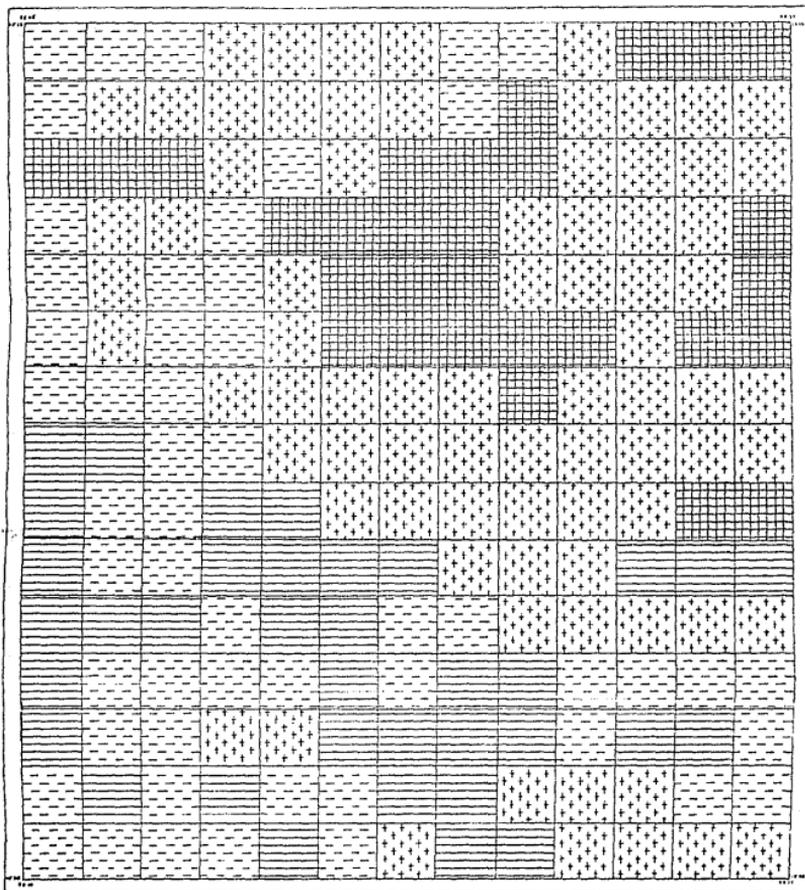
a) Primer intervalo

Este intervalo señala aquellas áreas donde la ladera principal izquierda es la menos inclinada, con pendientes entre 11° y 15° , en contraste con la ladera derecha, donde el gradiente va de 12° a 26° . En el caso de la izquierda, por su menor pendiente, tiene mayor probabilidad de ser ocupada por la actividad agrícola, sin embargo, esto no ha sucedido pues ambas laderas mantienen su cobertura de vegetación natural, con superficies de 2.0 a 2.5 km^2 , el resto de la superficie (menos de 0.5 km^2), se vincula a áreas con agricultura de temporal y de pastoreo, por lo que se puede afirmar que son las superficies más estables en cuanto a condiciones de laderas.

b) Segundo intervalo

Aquí las laderas izquierdas han sido ocupadas parcialmente o totalmente por la agricultura y el pastoreo, pues se distinguen dos situaciones, la primera, se refiere a los efectos que han sufrido estas formas del relieve, localizadas en los alrededores de los principales poblados, donde sus valores de ocupación agrícola van de 1.0 a $2,9 \text{ km}^2$, que en

COMPONENTE ANTROPICO



SIMBOLOGIA

(CORRISPONDENZE INTERNAZIONALI)

- | | |
|---|---------|
|  | +1 > +3 |
|  | 0 > +1 |
|  | 0 < -1 |
|  | -1 < -3 |



Su mayoría corresponden a las áreas de piedemonte. La segunda, corresponde a las laderas izquierdas ubicadas en el área montañosa, que aún no han sido afectadas por cualquiera de las dos actividades, aunque poseen una mayor probabilidad de ser ocupadas por éstas, que las laderas derechas, que tienen pendientes de 14 a 22°.

En este intervalo las vertientes derechas son las más conservadas por la presencia de una cobertura natural amplia, siendo por lo tanto las de mayor estabilidad.

c) Tercer intervalo

Las laderas de menor pendiente son las derechas, con gradientes de 2 a 9°, ocupadas en su totalidad por la agricultura y el pastoreo; mientras las laderas principales de la vertiente izquierda, con pendientes de 9 a 16°, son las más pronunciadas; no obstante, han sido ocupadas en su mayoría por tales actividades, con superficies que oscilan entre 2.0 y 2.9 km². Por lo tanto, ambas laderas tienden a ser muy inestables, aunque con diferentes intensidades y procesos en cada una de ellas.

d) Cuarto intervalo

La ladera principal izquierda está ocupada principalmente por el bosque, siendo la más conservada por su lejanía de los núcleos de población, en comparación con la lade-

ra principal derecha, que ha sido roturada y ocupada por una agricultura de temporal.

El tercer componente muestra diferentes grados de estabilidad en ambas laderas principales, aunque resalta la importancia de la izquierda. Las superficies con scores positivos indican una tendencia hacia el desequilibrio de las laderas principales izquierdas; mientras las áreas con scores negativos señalan una tendencia generalizada a la inestabilidad en ambas laderas, no importando cual sea el valor de su gradiente.

En el primer intervalo (+1 a +3 desviaciones estándar), ambas laderas son estables, aunque la izquierda presenta una mayor tendencia a la inestabilidad por facilitar la expansión de la agricultura. En el segundo intervalo (0 a +1 desviaciones estándar), la ladera principal izquierda ya presenta cierto grado de inestabilidad, por su ocupación agropecuaria, en cambio la ladera derecha permanece estable por su cobertura natural. En el tercer intervalo (0 a -1 desviaciones estándar), se muestra inestabilidad en ambas laderas, porque han sido ocupadas por dichas labores, sin embargo es más inestable la izquierda por ser la más empinada. En el cuarto intervalo (-1 a -3 desviaciones estándar) la ladera izquierda se mantiene estable, pero su probabilidad de afectación se incrementa a medida que se sature la ocupación de la ladera principal derecha.

Resumiendo el comportamiento de los componentes principales, en cada uno de los intervalos, y de acuerdo a su grado de estabilidad, se tienen los siguientes resultados (véase cuadro 4 y 5).

De la superficie total del área de estudio, según el componente estructural, señala que un 53% se encuentra entre inestable y muy inestable (336.64 Km^2), sin embargo, es más sobresaliente la superficie inestable con un 33%, aunque 20 de cada 100 m^2 están muy deteriorados. En cuanto a las superficies estables y muy estables, suman un 46.7%, destacando las áreas que ya muestran pequeños grados de alteración, pero que aún no han sido suficientes como para clasificarlas en el intervalo de inestables, corresponden a un 26% del área, equivalente a 165.087 km^2 .

El componente erosivo tiene un comportamiento similar al anterior, los intervalos de inestable y muy inestable se incrementan ligeramente, al 54% (346.35 km^2). Lo cual indica que un poco más de la mitad de la zona se encuentra bajo una gran actividad erosiva, aunque sus grados todavía no son muy elevados, pues al índice de inestabilidad le corresponde al 37.4%. En tanto, la categoría de muy inestable indica que 17 de cada 100 m^2 son en extremo erosionados.

En relación a las superficies no alteradas, las estables cuentan con un 25.6%, en cambio las que están sin perturbación aparente tienen un 19.4%, es decir, de cada 100 m^2 19 están erosionados.

El componente antrópico muestra valores diferentes a

CUADRO 4. GRADO DE ESTABILIDAD POR COMPONENTE
 EN VALORES ABSOLUTOS (Km^2) E. INTERVALOS
 EN DESVIACION ESTANDAR

GRADO DE ESTABILIDAD	C O M P O N E N T E S		
	ESTRUCTURAL	EROSIVO	ANTROPICO
MUY ESTABLES	129.480 (+1 σ +2 σ)	123.006 (-1 σ -3 σ)	93.873 (+1 σ +3 σ)
ESTABLES	165.087 (0 σ +1 σ)	161.850 (0 σ -1 σ)	252.486 (0 σ +1 σ)
INESTABLES	210.405 (0 σ -1 σ)	236.301 (0 σ +1 σ)	168.324 (0 σ -1 σ)
MUY INESTABLES	126.243 (-1 σ -2 σ)	110.058 (+1 σ +2 σ)	116.532 (-1 σ -3 σ)
TOTAL	631.215	631.215	631.215

CUADRO 5. GRADO DE ESTABILIDAD POR COMPONENTE
EN PORCENTAJES E INTERVALOS EN
DESVIACIONES ESTANDAR

GRADO DE ESTABILIDAD	COMPONENTES		
	ESTRUCTURAL	EROSIVO	ANTROPICO
MUY ESTABLES	20.51 (+1 σ +2 σ)	19.48 (-1 σ -3 σ)	14.87 (+1 σ +3 σ)
ESTABLES	26.15 (0 σ +1 σ)	25.64 (0 σ -1 σ)	40.00 (0 σ +1 σ)
INESTABLES	33.33 (0 σ -1 σ)	37.43 (0 σ +1 σ)	26.66 (0 σ -1 σ)
MUY INESTABLES	20.00 (-1 σ -2 σ)	17.43 (+1 σ +2 σ)	18.46 (-1 σ -3 σ)
TOTAL	100.00	100.00	100.00

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

los anteriores, pues las áreas deterioradas representan el 45% de la zona (284.85 km²). Pues a las áreas inestables y muy inestables les corresponde el 26.6% y el 18.4%, respectivamente.

Por otro lado, el 54.8% se considera sin alteración, destacando al igual que en los componentes anteriores, la categoría de estable con un 40%.

6. CONCLUSIONES

Los comentarios finales giran en torno a dos cuestiones, la primera, relacionada con las bondades de la técnica empleada en relación al problema de análisis; y la segunda, corresponde al nuevo conocimiento generado en el comportamiento de la zona estudiada.

La utilidad de manejar un marco teórico, radica en que estructura el proceso de investigación, por señalar en primera instancia las categorías de análisis a las que pertenece un problema dado, que bien puede pertenecer a una sola categoría del conocimiento o bien estar distribuida en varias. A partir de ahí se derivan sin gran dificultad las dimensiones con sus respectivas variables involucradas para la explicación del fenómeno. Aunque muchas veces su cuantificación encuentra serios obstáculos, ya sea por los instrumentos para medirlas, el tamaño de la escala, o la utilización de técnicas intermedias para su objetivización.

El no contemplar el marco teórico puede llevar a conclusiones falsas, por elegir variables que caen en categorías diferentes a las de interés, o se excluyen variables que teóricamente estarían justificadas en el análisis.

Fue positivo el haber realizado el análisis de estadística descriptiva para cada variable, porque no existían estudios previos acerca del comportamiento de algunas de ellas, y en otros casos ni siquiera se había contemplado la posibilidad de incluirlas en el análisis geomorfológico.

Así los parámetros de tendencia central, dispersión y forma son criterios elementales para hacer una previa valoración del conjunto de variables, teniendo la alternativa de aislar aquellos objetos causantes de que la distribución este muy sesgada.

Por otro lado, la jerarquización de variables según su número de relaciones en el diagrama modelo de correlación es novedoso, porque no se había realizado para la evaluación del comportamiento del medio natural, además de especificar el sentido de la relación y su coeficiente de asociación.

Sin embargo, la limitante de estos dos procedimientos, es el no poder distinguir espacialmente las diferencias existentes entre cada unidad estadística de datos, cuya solución la proporciona la siguiente técnica.

Una de las necesidades primarias de la técnica de componentes principales, es su exigencia en cuanto a la selección de variables a utilizar. Esto porque aunque teóricamente se señalan un sinnúmero de variables que explican el comportamiento de los fenómenos, no es suficiente si se manifiestan cualitativamente, por la necesidad de expresarlas en un indicador, dejando fuera variables que se pueden cuantificar, pero por la escasez de su cobertura espacial son irrelevantes para el caso, sin embargo, su importancia quedaría justificada cuando éstas sean determinantes en estudios de casos más concretos, o restringidos a un área en particular, con problemas relacionados a ellas, por ejemplo el lavado en mantos, procesos de sufoación, movimientos en masa, etc.

Con esto se esclarece la estrecha relación existente entre la teoría como proveedora de las variables, y la técnica como exigidora de la objetividad numérica de dichas variables.

La técnica exige además, que las variables utilizadas sean significativas para el problema, por medio de su denunciaci3n en cuanto a sus grados de correlaci3n significativa, es decir, s3lo se conjuntan variables que aportan un mayor porcentaje de varianza explicada, lo que permite desechar en sus primeras fases variables no significativas, antes de tratar las variables finales.

El resultado es la creaci3n de un modelo general donde se indican las variables relevantes, en funci3n de su n3mero de relaciones y de su magnitud, lo cual permite efectuar un an3lisis preliminar en el modelo de correlaciones.

Despu3s de crear los componentes e identificar las variables que se asocian a cada uno de ellos, as3 como su varianza explicada, 3sta se distribuye entre cada uno de los objetos y se representa espacialmente para observar sus diferentes grado de impacto, en funci3n de que se ubiquen por arriba o por debajo de la media del componente, medidos en desviaciones est3ndar, as3 cada intervalo muestra los diferentes grados de alteraci3n desde los m3s estables a los m3s inestables, junto con las variables que act3an en dichos procesos.

Algo significativo fue la obtenci3n, en los componentes, de variables con alto peso de explicaci3n (pendiente

del cauce, pendiente del parteaguas, amplitud del parteaguas) teóricamente poco explicadas en el modelado del relieve, lo cual invita a investigar el comportamiento de cada una en particular.

Lo mismo sucede con la elaboración e interpretación de la cartografía derivada de técnicas multivariadas.

Atendiendo a los resultados obtenidos en cada componente, el estado del área de estudio no se encuentra en franco deterioro como podría pensarse en base a una simple observación cartográfica, pues el porcentaje medio de áreas muy alteradas es del 18.6%, que son superficies difíciles de restaurar por técnicas elementales de conservación, y por lo general corresponden a las zonas sobreexplotadas por la agricultura, involucrando a las vertientes izquierdas.

En contraparte las áreas muy estables o con alto grado de conservación muestran un valor promedio del 18.2%, y corresponden a las porciones más altas de la Sierra, evidenciando un mínimo grado de alteración.

El problema se concentra en los intervalos intermedios, que señalan las transiciones entre las áreas protegidas y las desprotegidas, es decir, las superficies estables e inestables. Las primeras tienen el 30.5% de la superficie, que empieza a perder su estado de estabilidad por algunos procesos; mientras las inestables con un promedio del 32.4% son ligeramente superiores, enfatizando que en estos rangos es donde se están produciendo los procesos modificadores del

relieve, pues al incrementarse el rango de inestabilidad le corresponde una disminución equivalente al intervalo de estabilidad.

Considerando en conjunto, por un lado las áreas estables y por el otro las inestables, sin distinguir magnitudes, existe casi la misma proporción, en virtud de que el de equilibrio no es predominante. Se pueden realizar algunas medidas de conservación sobre todo en las vertientes y partes frontales del piedemonte que da hacia Ixtlahuaca, en razón de que los componentes estructural y antrópico localizan el mismo espacio afectado.

Sin embargo, el componente erosivo pone énfasis en el deterioro del área de Villa del Carbón y de algunos puntos aislados, con alto desarrollo de badlands hacia la planicie de Ixtlahuaca, zonas difíciles de restablecer por técnicas de regeneración poco costosas, pues el trabajo fluvial y de erosión ha sido intenso.

La estabilidad del área también se refleja por el orden de importancia en el que aparecen los componentes, es decir, el componente estructural señala variables indicadores de estabilidad, en cambio el componente erosivo por encontrarse en segundo plano evidencia que estos procesos todavía no adquieren un sentido devastador. En caso contrario, el orden posible de los componentes, hubiera sido en primer lugar el erosivo, seguido por el estructural.

Al nivel en que se realizó esta investigación, las observaciones de campo tienen el valor de corroborar los resul

tados en cada uno de los intervalos de los componentes principales. Ahora bien, el trabajo de campo es más relevante cuando se labora a escala de mayor detalle, y la mayoría de las variables provienen de las observaciones directas del terreno.

Si bien no se niega la posibilidad de la existencia de formas del relieve y procesos erosivos geológicos; sería muy aventurado tratar de delimitarlos cuando se sabe que por la misma naturaleza de las variables utilizadas no es fiable, puesto que ninguna de ellas son indicadores de la escala temporal de dichos eventos, desde el momento que este análisis representa un corte en el tiempo.

7. BIBLIOGRAFIA

1. Cervantes Borja, Jorge. "Reseña general sobre la investigación sistémica del medio natural", Boletín No.9, Instituto de Geografía, U.N.A.M., 1979, pp. 7-25.
2. _____ . "Los estudios geosistémicos y su base metodológica", Primer Congreso Interno del Instituto de Geografía, U.N.A.M., 1983, pp. 90-105.
3. Coates, Donald R. "Systems physical", in Environmental geology, John Wiley, New York, 1981, pp. 44-84.
4. Cole, John. Una introducción al estudio de métodos cuantitativos aplicables en Geografía, Instituto de Geografía, U.N.A.M., 1975, 93 p.
5. Cooke, R.V. and Doornkamp, J.C. Geomorphology in environmental management, Clarendon Press, Oxford, 1974, 411 p.
6. Cortés, Fernando. "La insoportable levedad del dato", en Estudios Demográficos y Urbanos, El Colegio de México, Vol. 2, No. 3, Sept-Dic 1987, pp. 389-411.
7. Chorley, R.J. "Geomorphology and general systems theory", in The conceptual revolution in Geography, editor Wayne K.D. Davies, Rowman and Littlefield Totowa, New Jersey, 1972, pp. 282-300.
8. _____ . Spatial Analysis in Geomorphology, ed. for the British Geomorphological Group, New York, 1972, 393 p.
9. Daakombe, R.V. and Gardiner, V. Geomorphological field manual, George allen and unwin, London, 1983, 254 p.
10. Daniel, Wayne W. Bioestadística. Base para el análisis de las ciencias de la salud, Limusa, México, 1983, 485 p.

11. Derruau, Max. Geomorfología, Ariel, México, 1981, 528 p.
12. Doornkamp, John Charles. Numerical analysis in Geomorphology: an introduction, by J.C. Doornkamp, Cuchlaine A.M. King, London, B. Arnold, 1971, 372 p.
13. Dury, George. "Surface morphological systems: Slopes", in An introduction to environmental systems, Heine-mann, London, 1981, pp. 108-126.
14. Espinosa, Guillermo y López, Arturo. Introducción a los métodos jerárquicos de análisis de cúmulos. IIMAS, U.N.A.M., 1977, 78 p.
15. Galindo Gómez, Graciela y Jaime Morales. "El relieve y los asentamientos humanos en la Ciudad de México", Rev. Ciencia y Desarrollo, Núm. 76, Sept-Oct 1987, México, pp. 67-80.
16. García, Enriqueta. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen, (para adaptarla a las condiciones de la República Mexicana), U.N.A.M., 1973.
17. Gorshkov, G. Yakushova, A. "Acción geológica de las aguas corrientes superficiales", en Geología General, Mir, Moscú, 1977, pp. 118-123.
18. Grupo Chadule. Iniciación a los métodos estadísticos en Geografía, Ariel, Col. Elcano, Barcelona, 1980, 284 p.
19. Johnston, Ronald John. Multivariate statistical in Geography, Longman, London, 1980, 280 p.
20. King, Cuchlaine. Techniques in Geomorphology, London: B. Arnold, 1966, 342 p.
21. _____ . "Análisis de forma: asimetría de los valles" en Geografía Física, Oikos Tau, Barcelona, 1984, pp. 92-98.

22. Kunz Bolaños, Ignacio. Regionalización socioeconómica-demográfica y de salud de la República Mexicana. Un instrumento para la planeación e investigación en atención primaria a la salud, Centro de Investigaciones en Salud Pública, Secretaría de Salud, México, 1986, 91 p.
23. _____ . El uso de la estadística para la construcción de clasificaciones y regionalizaciones, Serie Varia T. 1, Núm. 11, Instituto de Geografía, U.N.A.M., 1988, 34 p.
24. Leopold Luna, B. "Hillslope characteristics and process" and "Evolution of Hillslopes" in Fluvial processes in Geomorphology, Freeman, San Francisco, 1964, pp. 333-503.
25. Levin, Jack. Fundamentos de estadística en la investigación social, Harla, México, 1979, 305 p.
26. Lugo Hubp, José I. Elementos de Geomorfología aplicada (métodos cartográficos), Instituto de Geografía, U.N.A.M., 1988, 128 p.
27. Martínez de Pisón, Eduardo. El relieve de la Tierra, Temas Clave Salvat, Núm. 75, Barcelona, 1985, 64 p.
28. Mendenhall, William. Introducción a la probabilidad y la estadística, Wadsworth International Iberoamericana, California, 1982, 626 p.
29. Mooser, Federico. "Historia geológica de la cuenca de México" en Memoria de las obras del sistema de drenaje profundo del Distrito Federal, México, 1975, pp. 7-38.
30. Morisawa, Marie. Geomorphology laboratory manual: with report forms, New York, Wiley, 1976, 253 p.

31. Ortiz Pérez, Mario Arturo. Geomorfología de la disección fluvial asimétrica en depósitos de piedemonte por cambios de nivel de base (caso: Sierra de Monte Alto y Monte Bajo), Tesis de Doctorado, U.N.A.M., 1985a, 75 p.
32. _____ . "Una interpretación de los depósitos recientes en el bloque de Ixtlahuaca Edo. de México", Memoria del X Congreso Nacional de Geografía, Morelia, 1985b, pp. 29-46.
33. _____ . "Los cambios de nivel de base como mecanismo morfogenético de la asimetría de valles", Boletín Núm. 17, Instituto de Geografía, U.N.A.M., 1987, pp. 9-44.
34. Reyes, Lilia et al. Análisis/cúmulos, Un programa para el análisis de cúmulos, IIMAS, U.N.A.M., 1978, 27 p.
35. Rice, R.J. Fundamentals of Geomorphology, Longman, London, 1979, 387 p.
36. Sierra Bravo, Restituto. Ciencias Sociales: análisis estadístico y modelos matemáticos, Ed. Paraninfo, Madrid, 1981, 482 p.
37. Strahler, Arthur N. "Análisis cuantitativo de las formas de erosión" en Geografía Física, Omega, Barcelona, 1974, pp. 521-542.
38. Strahler A.N. y Strahler A.H. Environmental geoscience: interaction between natural system and man, Hamilton, Santa Bárbara, 1973, pp. 7-25.
39. Spiegel, Murray R. Estadística, Mc Graw-Hill, México, 1985, 357 p.
40. Tricart, Jean. La epidermis de la Tierra, Labor, Barcelona, 1969.

41. _____ . The landforms of the humid tropics, forests and savannas, Longman, London, 1972, 305 p.
42. _____ . La Ecogeografía y la ordenación del medio natural, Anagrama, Barcelona, 1982, 288 p.
43. _____ . Pro-lingos del Eje Neovolcánico de México, Instituto de Geografía, U.N.A.M., 1985, 66 p.
44. Williams, Frederick. Razonamiento estadístico, Interamericana, México, 1982, 189 p.
45. I.N.E.G.I. Cartas: geológica, edafológica y uso del suelo, escala 1: 50 000, México, 1976.
E14-A28 Villa del Carbón
46. _____ . Fotomapas, escala 1: 20 000, México, 1983.
E14-A28 A San Lorenzo Malacota
E14-A28 B Villa del Carbón
E14-A28 D Jiquipilco
E14-A28 E Los Tachos



ACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFIA