

# Determinación de la dinámica del relieve en territorios montañosos: un nuevo enfoque geomorfológico ambiental en la Sierra de Trinidad, Cuba Central

Jorge Luis Díaz Díaz  
José Ramón Hernández Santana\*  
Ramiro Reyes González\*  
Miguel Sánchez Celada\*  
Erick Quisbert Gutiérrez\*

Recibido: 10 de julio de 2001  
Aceptado en versión final: 28 marzo de 2002

**Resumen.** Los problemas ambientales aparecen en cualquier territorio, paisaje, geosistema o ecosistema, pero en términos geomorfológicos las montañas aparecen entre los ecosistemas más frágiles, agredidos y modificados, debido a sus características físico-geográficas, en primer lugar las geomórficas, y por su potencial de recursos naturales de diverso tipo. Las actuaciones humanas se producen sobre un fondo físico-geográfico, en el cual el relieve juega un doble e importante papel, activo y pasivo. El objetivo de la investigación es exponer los principales criterios del enfoque geomórfico en el análisis ambiental, en forma de elementos y atributos, tomando como ejemplo un territorio montañoso cubano de moderada energía del relieve. De esta forma, se propone un procedimiento para la determinación del grado de estabilidad del relieve mediante una unidad, el bloque morfotectónico, que permita evaluar integralmente el factor geomórfico con el uso de variables endógenas (bloques y fallas con movimientos tectónicos recientes rápidos y bloques y fallas con movimientos tectónicos verticales recientes lentos, valor máximo del ascenso en cada bloque, delta máximo de los movimientos entre bloques vecinos, categoría superior del límite morfotectónico y longitud total y densidad de morfoalineamientos) y exógenas (inclinación y orientación de las pendientes, disección vertical, disección horizontal, energía del relieve, complejos morfolitológicos) y una herramienta estadístico-matemática, el análisis factorial, para establecer el peso de cada una de las variables y cuantificar la dinámica geomórfica, acompañada de análisis de *cluster* e histogramas. El alcance del trabajo no puede considerarse como un tema puramente de geomorfología ambiental, sino un intento de aplicación o generalización teórica del conocimiento geomorfológico al análisis ambiental. El resultado final son mapas de la dinámica endógena, exógena y general, donde se muestran los tipos de bloques, clasificados por el valor de su dinámica.

**Palabras clave:** Geomorfología ambiental, geodinámica, geostatística.

## Determination of landform dynamics in mountainous land: a new environmental geomorphic approach in the Sierra de Trinidad, Central Cuba

**Abstract.** Environmental problems can emerge in any kind of territory, landscape, geosystem or ecosystem. However, in geomorphic terms mountains are amongst the most fragile, impacted and modified units, as a result of their physico-geographical characteristics -mostly geomorphic- and of the diversity of their natural resources. Human impacts take place on a physical-geographical framework in which landforms play both an active and a passive role. This research aims to present the main geomorphic criteria for environmental analysis, in the form of elements and attributes, taking a Cuban mountainous area with a moderate landform energy as an example. A procedure to determine the extent of landform stability by defining a unit, namely the morpho-tectonic block, is hereby proposed. This would allow to perform a comprehensive assessment of the geomorphic factor by using endogenous variables (blocks and faults with recent rapid or slow vertical tectonic activity; maximum uplifting of each block; maximum displacement between contiguous blocks; upper category for the morpho-tectonic limit; and length and density of morpho-alignments) and exogenous variables (slope angle and aspect, vertical and horizontal stream erosion, relief, morpho-lithologic complexes). Factor analysis, cluster analysis and histograms are used to determine the relative weight of each variable and to quantify the geomorphic dynamics. The scope of this work cannot be considered solely as an environmental geomorphology subject, but is rather an attempt to apply geomorphic knowledge to environmental analysis. The final result are maps showing types of blocks classified according to their endogenous, exogenous and general dynamics.

**Key words:** Environmental geomorphology, geodynamics, geostatistics.

---

\*Instituto de Geografía Tropical, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de la República de Cuba, Calle 13 No. 409, esquina a F Vedado, C. P. 10400, La Habana, Cuba. E-mail: jorge@cesigma.com.cu; igt@ceniai.inf.cu

## **INTRODUCCIÓN**

Las investigaciones geomorfológicas cubanas han aportado datos de interés para el conocimiento del relieve de la isla. Ellas han incluido esferas como la morfometría, la cartografía, el análisis morfoestructural y morfotectónico, la evolución geomorfológica y la geomorfología aplicada.

En los últimos años, los investigadores han incorporado esta ciencia al análisis ambiental (Barranco, 1996) en un intento por encontrar nuevos enfoques de aplicación en concordancia con su evolución y con las nuevas necesidades de la sociedad.

El análisis geomorfológico cuenta con muchas variables, unas (disección, inclinación de las pendientes) expresan individualmente sólo un aspecto del relieve y otras (tipos de relieve, regiones, etc.) no resultan viables para los objetivos de este trabajo. Como consecuencia, los métodos geomorfológicos clásicos tampoco resultan suficientes para los objetivos de la investigación.

El objetivo de este trabajo es exponer los principales criterios del enfoque geomorfológico en el análisis ambiental, en forma de elementos y atributos, tomando como ejemplo un territorio montañoso (montañas de Trinidad) de moderada energía del relieve. En este contexto, se inserta una propuesta de procedimiento, en la cual los autores han explorado las posibilidades de ofrecer nuevos conocimientos útiles para la protección y la ordenación ambientales, sobre la base de las investigaciones previas y con el empleo de los métodos geomorfológicos tradicionales.

Así, la esencia consiste en lograr encontrar indicadores utilizables y comprensibles para los especialistas en medio ambiente, que se pudieran incorporar al análisis ambiental. La determinación de los elementos geomórfico-ambientales no agota la comprensión de las

características geomorfológicas y su papel ambiental, por cuanto sólo alcanza el plano teórico-descriptivo. Se precisa entonces de la proposición de: a) una unidad que permita evaluar integralmente el factor geomórfico y b) una herramienta estadístico-matemática que permita establecer el peso de cada elemento y cuantificar la dinámica geomorfológica.

El alcance del resultado no puede considerarse como un tema puramente de geomorfología ambiental, sino un intento de aplicación o generalización teórica del conocimiento geomorfológico al análisis ambiental. Se entiende por geomorfología ambiental aquella rama que, mediante métodos propios, apunta a la investigación de las complejas interrelaciones entre el relieve y el medio ambiente.

### **Las montañas de Trinidad, Cuba central**

Las montañas de Trinidad (Figura 1) son una unidad geomórfica con límites precisos, menor grado de estudio en comparación con otras montañas cubanas, zonalidad altitudinal bien definida, un conjunto de fenómenos geomórficos agrupados en un área relativamente pequeña, dimensiones adecuadas. Se encuentra actualmente en proceso de asimilación y posee un buen nivel de conocimientos sobre los cambios históricos en los medios natural y socioeconómico. Además, los fenómenos meteorológicos extremos ocurridos en los últimos años demuestran la fragilidad de estas montañas. Estas características indujeron su selección como zona de investigación.

Estas montañas presentan una zonalidad altitudinal, determinada por su carácter de cúpula bloque (Díaz *et al.*, 1989), que se expresa mediante diferentes paisajes. En el núcleo montañoso, sobre los 800 m de altitud, se encuentran los bosques templados muy húmedos, con promedios anuales de 2 000 mm de lluvia y 15°-17°C de tempera-

tura media anual del aire, una estable presión atmosférica y una humedad relativa media anual del 86% (Magaz *et al.*, inédito). En esta zona los suelos son ferralíticos rojos típicos y fersialíticos pardo-rojizos, que sustentan al bosque pluvial. Hacia los bordes del macizo se ubican los bosques temporalmente húmedos, con promedios anuales de precipitación de 1 900 mm entre 700 y 800 m y 1 800 mm a 300 m de altitud, con suelos pardos con carbonatos, húmicos, poco evolucionados y esqueléticos en la vertiente meridional. Los bosques de esta zona son el siempreverde submontano y el deciduo.

Peculiaridad importante de estas montañas es la presencia de un macizo *kárstico* situado en su parte central y en otros sectores distribuidos por su periferia, que le imprimen una diversidad de ambientes y de procesos importantes en los trabajos de corte científico

y aplicado medioambientales.

En estas montañas el grado de alteración medioambiental y, en particular, del relieve, a causa de los eventos meteorológicos extremos o durante el curso de las estaciones lluviosas es notorio; se tienen antecedentes en el manejo inadecuado de las cuencas hidrográficas, en el desconocimiento de la estructura y funcionamiento de los relieves *kársticos*, en su interacción con los erosivos y en la inexistencia de un esquema efectivo de protección y conservación de las subcuencas en su diversidad, así como en los problemas de diseño de las obras de fábrica (de drenaje y protección) de las carreteras y caminos y, en especial, en la ausencia de acciones ingenieras imprescindibles de acometer en los valles fluviales, fluvio-*kársticos* y otras depresiones del *karst*.

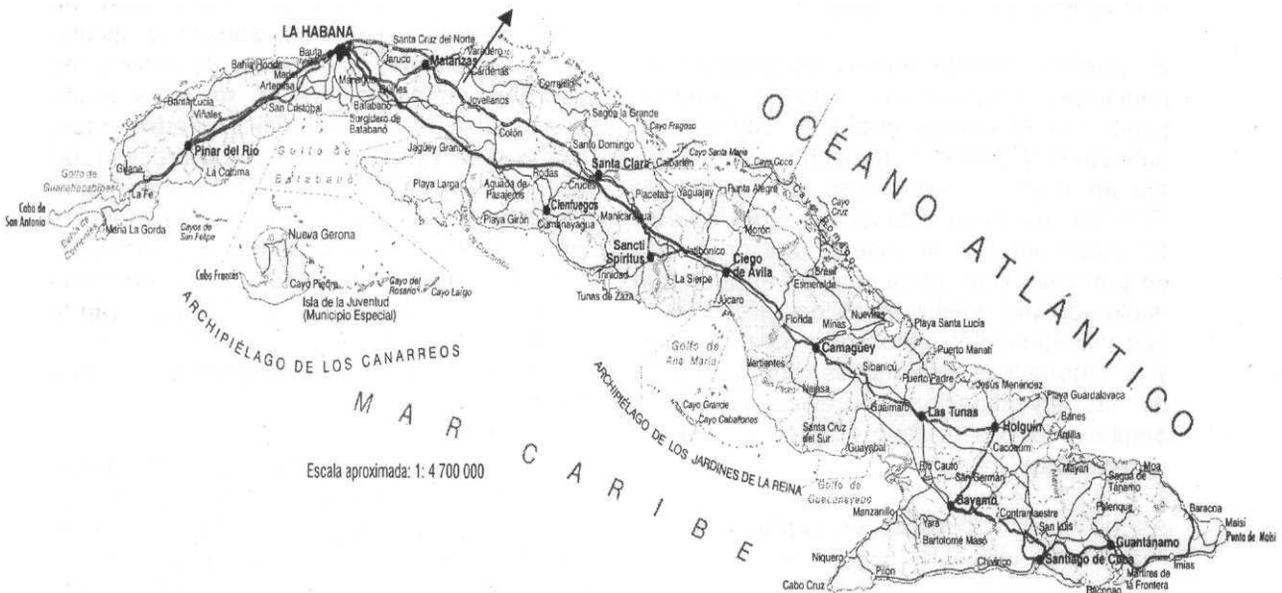


Figura 1. Situación geográfica de las Montañas de Trinidad.

A consecuencia de los aspectos señalados, los cambios medioambientales negativos se manifiestan de un modo notable en el incremento de la intensidad de los procesos erosivo-acumulativos y gravitacionales, en los fenómenos de inundación periódica de los valles fluvio-kársticos y otras depresiones del *karst* y en las numerosas alteraciones ocurridas en los complejos territoriales productivos.

Sobre la base de estimados y de mediciones estacionarias, las pérdidas de suelo y cortezas minerales por erosión se han duplicado y triplicado en los territorios reforestados sin especies del bosque original y pueden ser superiores en las áreas deforestadas de uso agrícola, con pendientes superiores a los 5°. En las pendientes principales del mesorrelieve se observan decenas de formas gravitacionales nuevas o reactivadas, con densidades máximas de 3 a 10 formas/km<sup>2</sup> y, en menor número, en pendientes del microrrelieve (con 1-2 formas/km<sup>2</sup>). En los taludes de los viales de excavación sin protección, se produjeron a consecuencia del huracán "Lili" formas nuevas y reactivadas o movilizadas del orden de 2-3 formas/km<sup>2</sup> para ciertos tramos de las carreteras principales (Trinidad-Topes, Topes-Manicaragua, Topes-La Sierrita, entre otros importantes).

El incremento de los procesos erosivos y gravitacionales en las áreas deforestadas de fuertes pendientes ha conducido al aumento de la acumulación de sedimentos en los puntos de drenaje subterráneo de los valles cerrados, produciéndose inundaciones locales del orden de 2-17 días de duración y de 6-25 m de altura que abarcan significativas áreas socioeconómicas, donde se producen grandes pérdidas y afectaciones (Martínez *et al.*, inédito).

Acompañan a estas características geomórficas condiciones geofísicas particulares, pues sin ser una región sísmicamente activa,

en su borde suroriental se concentra una franja sismogeneradora de baja intensidad (hasta V en la escala MSK) señalada por Chuy *et al.* (1989, 1993).

La influencia negativa de estos procesos geodinámicos antropo-naturales ocurridos en las montañas, también se manifiesta en otros geosistemas periféricos, donde suceden transformaciones en los estuarios y desembocaduras de los ríos meridionales, así como en los valles y sistemas de terrazas del norte y noroeste, ambas producto de las inundaciones motivadas por las peligrosas olas de crecida.

### **POSICIÓN TEÓRICA DEL ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO AMBIENTAL**

En Cuba, los intentos de evaluar el papel del relieve de forma analítica, desde el punto de vista ambiental, no han sido muchos: Hernández y Díaz (1976); Kirchner y Díaz (1986); González y Arcia (1994) y Luis (1994). La principal característica de tales investigaciones consiste en destacar la influencia y el papel del hombre y sus actividades socioeconómicas sobre el relieve, es decir, analizan este último como objeto y no como sujeto del proceso de interacción naturaleza-sociedad y entre las propias relaciones naturales. Además, los principales elementos evaluados eran únicamente los de carácter exógeno, el abordaje metodológico era preliminar y descriptivo y no se hacía uso de las herramientas estadístico-matemáticas.

En segundo lugar, se aplican métodos geomorfológicos para conocer cualidades principalmente exógenas y de ahí llegar a una evaluación de "las características geomorfológicas más importantes para el uso adecuado y la protección del relieve referido... por ejemplo a la actividad agrícola y forestal" (Luis, 1994). En ellos también se asume una posición en cuanto a la necesidad de su protección como condición natural y por el valor intrínseco que posee, teniendo

en cuenta la influencia de los procesos geomorfológicos sobre las actividades económicas.

Una posición menos difundida comprende el análisis de los factores y elementos naturales que son transformados, pero a su vez, por sus peculiaridades (nivel jerárquico y dinámica) constituyen también verdaderos agentes de transformación. Este es el caso del relieve, cuyo principio genético abarca el conjunto de fuerzas endógenas y exógenas y ocupa una posición jerárquica alta entre los factores naturales.

El relieve es un factor geográfico de singular importancia en el análisis y los problemas ambientales. Por una parte, es pasivo, en tanto sufre modificaciones por el efecto de alteraciones en otros factores naturales o directamente por el hombre, y por otra, es un agente activo, pues su evolución determina o influye sobre los cambios en aquéllos, es decir, constituye una fuente de estrés. La Norma Cubana: Calidad ambiental de Cuba (citado por Luis, 1994) lo clasifica "como la condición natural que tiene la interacción más compleja con los restantes componentes del medio natural".

En este contexto, y en el caso del relieve de Cuba, dominan las fuerzas endógenas por su magnitud e intensidad, por lo cual el bloque morfotectónico resulta la unidad que cumple los requisitos, pues agrupa de las condiciones endógenas y exógenas, sus límites son precisos y objetivos y de él dependen diferentes características geomórficas. A partir de este enfoque y con un carácter solamente metodológico y cognoscitivo es posible separar ambas componentes y, los procesos y fenómenos resultantes para analizar y evaluar la dinámica del relieve en función de su papel como fuente de estrés en el medio ambiente.

Los dos grandes grupos de fuerzas genéticas conforman dos grupos correspondientes

de fenómenos: dinámico-endógenos (temporales y espaciales) y estático-exógenos.

Entre los dinámico-endógenos temporales, los más importantes son los movimientos tectónicos de diversa escala, intensidad y manifestación, y entre los dinámico-endógenos espaciales, los morfoestructurales resultan los más destacados.

Los temporales se pueden traducir como atributos en:

- Geodinámica reciente:

Bloques y fallas con movimientos tectónicos recientes rápidos (terremotos) y bloques y fallas con movimientos tectónicos verticales recientes lentos (seculares).

- Geodinámica neotectónica:

Movimientos neotectónicos: delta máximo de los movimientos entre bloques vecinos y valor máximo del ascenso en cada bloque.

Por su parte, los espaciales comprenden:

Plano morfotectónico - categoría superior del límite morfotectónico.

Nudos morfoestructurales - categoría jerárquica.

Morfoalineamientos - longitud total y densidad.

## PROCEDIMIENTO ENDÓGENO-AMBIENTAL

El procedimiento diseñado para la investigación endógena incluyó tres aspectos: caracterización morfotectónica, selección de los elementos y atributos, y clasificación, cuantificación de la dinámica y tipología mediante el empleo de una herramienta de sistemas de información geográfica (SIG) y técnicas estadísticas.

La caracterización abarcó: análisis bibliográfico-temático de los materiales geológi-

cos, tectónicos y sismológicos; interpretación geomorfológica de las fotografías aéreas a escala 1:62 000 y 1:37 500 y mapas topográficos a escala 1:50 000 y 1:100 000; métodos morfoestructurales (análisis de los perfiles longitudinales de los ríos, de las superficies geomorfológicas y de los sistemas orográficos locales); método correlativo de la distribución e intensidad de terremotos con los elementos morfoestructurales.

El análisis cuantitativo y cualitativo del sistema interactuante morfoestructura-morfoescultura como expresión del principio genético de la formación del relieve en el transcurso de su evolución, ofrece un valioso volumen informativo sobre las unidades más activas de la corteza terrestre, que han determinado su diferenciación morfoestructural y deforma-

do los niveles geomorfológicos desarrollados sobre ella.

El fundamento teórico-metodológico de la presente diferenciación morfotectónica del mesobloque montañas de Trinidad (Figura 2) abarcó el análisis, tanto de la influencia de los procesos endógenos en la conformación del plano morfotectónico, como de los elementos areales de distinta génesis del relieve, que son deformados por la actividad diferenciada de cada una de las unidades que integran ese complejo mosaico de la corteza terrestre.

En la investigación se analizaron las variables geomórfico-endógenas que a continuación se describen.

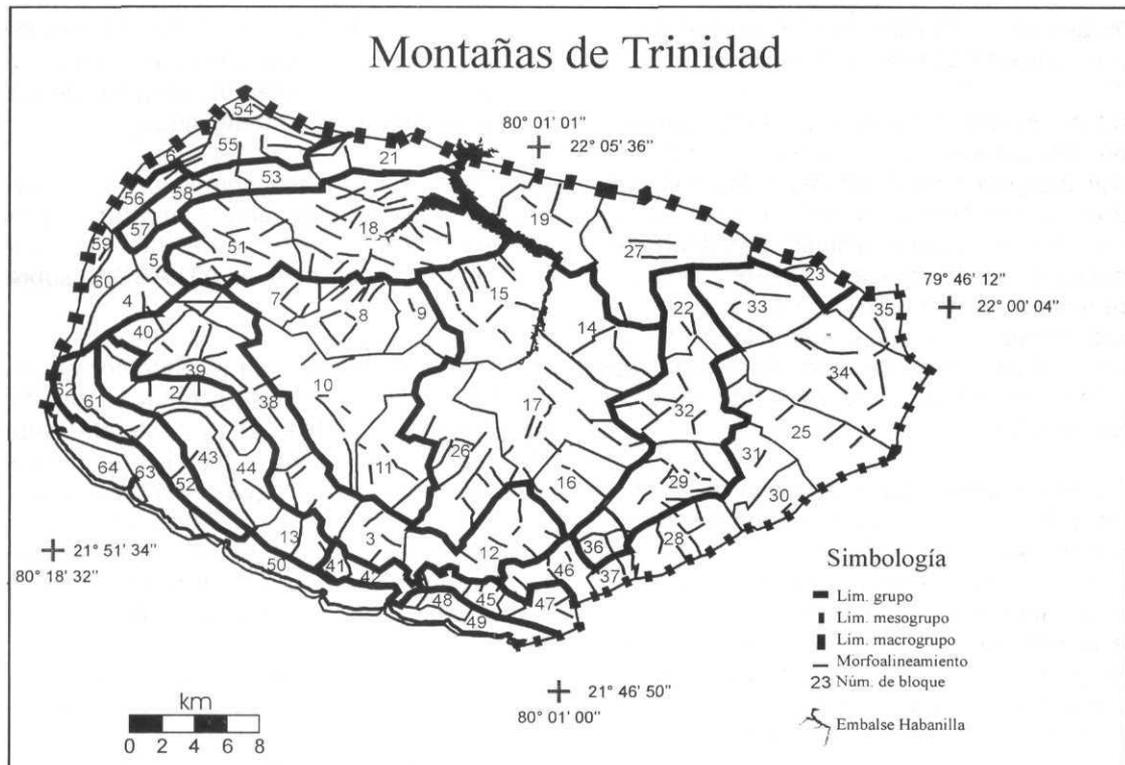


Figura 2. Morfotectónica.

Los bloques se caracterizan por movimientos verticales recientes rápidos de distintas intensidad y magnitud, reconocidos por datos históricos o registrados instrumentalmente. Ellos son fuente directa e inmediata de transformaciones en los medios natural y socioeconómico, por la enorme energía liberada. La correspondencia espacial entre los terremotos (intensidad y frecuencia), fallas, nudos morfoestructurales y bloques determinan la actividad tectónica reciente en un territorio.

Los bloques y fallas poseen manifestaciones diferentes en cuanto a los movimientos tectónicos verticales recientes lentos, que se registran en los últimos siglos (en Cuba 40 - 50 años), por nivelaciones geodésicas de alta precisión. Sus velocidades y gradientes caracterizan la movilidad de la corteza terrestre, que refleja la actividad de las fallas preneotectónicas y neotectónicas y de los bloques neotectónicos. No se dispuso de información para utilizar esta variable.

Los movimientos neotectónicos predeterminan las categorías del relieve y sus subdivisiones (montañas, alturas y llanuras) a lo largo de esa época geológica y las principales zonas de fallas activas. Las diferentes unidades neotectónicas poseen distintos gradientes y con ello diferente dinámica. Esto conlleva desigual intensidad de los procesos exógenos. Los indicadores básicos son el delta máximo y el valor total de estos movimientos.

El plano morfotectónico expresa la disposición y el orden de las fallas activas y de los correspondientes bloques de la corteza terrestre. Tal disposición del fondo morfotectónico determina, a su vez, la acción y el desarrollo de un conjunto de elementos exógenos. La variable empleada para caracterizar este elemento fue la categoría superior de los límites de los bloques.

Los nudos morfoestructurales o zonas de

conjunción de fallas, bloques y de alto tectonismo representan los puntos más activos de la actividad endógena. No se dispuso de información sobre esta variable.

Los morfoalineamientos son aprovechados por los agentes exógenos para elaborar o conformar un determinado tipo de morfología: denudativa, marina, fluvial o kársica, que generalmente se dispone en un tramo recto, o aumentar la intensidad de la acción del factor correspondiente. Se denota que el elemento no es íntegramente tectónico sino mixto. Los indicadores empleados son la longitud total y su densidad en cada unidad neotectónica.

Las variables seleccionadas fueron divididas en: recientes o semicuantitativas (epicentros por bloques, su intensidad por bloque, terremotos sentidos por bloque y categoría del límite superior morfotectónico) y neotectónicas o cuantitativas (delta máximo de los movimientos neotectónicos, amplitud de los mismos movimientos, longitud de los morfoalineamientos y su densidad).

Para facilitar el análisis complejo de la información, contar con una cartografía más precisa y crear una base de datos georreferenciada, se empleó el ATLASGIS sobre *Windows*.

A partir de la información morfotectónica, se obtuvo una matriz observacional (Tabla 1), transformada (Tabla 2) y estandarizada (Tabla 3), que caracterizó las unidades morfotectónicas o bloques y cuyos datos fueron sometidos a un análisis de *Cluster*, cuyos resultados determinaron la clasificación de los bloques (dendrograma) por su grado de semejanza (Figuras 3 y 4).

Como aclaración, se debe señalar que en las tablas sólo está señalado un grupo de bloques seleccionados aleatoriamente del total existente en las montañas de Trinidad.

Tabla 1. Matriz observacional de las variables endógenas

Bloque	Epicentros por bloques	Intensidad por bloque (MSK)	Terremotos sentidos por bloque	Categoría del límite superior morfotectónico	Delta máximo de los movimientos neotectónicos (m)	Amplitud de los movimientos neotectónicos (m)	Longitud de los morfoalineamientos (km)	Densidad de los morfoalineamientos (km)
2	0	0	1	III	470	450	10.11	0.42
3	0	0	0	III	580	660	4.05	0.29
4	0	0	0	III	430	300	3.29	0.27
5	0	0	0	III	530	160	3.81	0.42
6	0	0	0	III	260	250	0	0
7	0	0	0	III	620	1020	7.49	0.51
8	0	0	0	III	520	1150	11.69	0.49
9	0	0	0	III	370	1000	2.50	0.25
10	2	III,IV	4	III	360	930	12.27	0.20
n								

Tabla 2. Matriz observacional transformada de las variables endógenas

Bloque	Epicentros por bloques	Intensidad por bloque (MSK)	Terremotos sentidos por bloque	Categoría del límite superior morfotectónico	Delta máximo de los movimientos neotectónicos (m)	Amplitud de los movimientos neotectónicos (m)	Longitud de los morfoalineamientos (km)	Densidad de los morfoalineamientos (km)
2	0	0	1	2	470	450	10.11	0.42
3	0	0	0	2	580	660	4.05	0.29
4	0	0	0	2	430	300	3.29	0.27
5	0	0	0	2	530	160	3.81	0.42
6	0	0	0	2	260	250	0.00	0.00
7	0	0	0	2	620	1020	7.49	0.51
8	0	0	0	2	520	1150	11.69	0.49
9	0	0	0	2	370	1000	2.50	0.25
10	2	5	4	2	360	930	12.27	0.20
n								

La matriz observacional corresponde al conjunto de datos obtenido mediante las observaciones de campo y el procesamiento de los materiales aerofotográficos y topográficos de distinta escala. La matriz transformada se refiere a la cuantificación estadística de los valores de algunas variables

que inicialmente estaban expresados de forma semicuantitativa, como por ejemplo, la intensidad de los terremotos. La matriz estandarizada refleja la conversión de los datos de la matriz anterior en valores comparables entre sí.

Tabla 3. Matriz observacional estandarizada de las variables endógenas (valores absolutos)

Bloque	Episcentros por bloques	Intensidad por bloque (MSK)	Terremotos sentidos por bloque	Categoría del límite superior morfotectónico	Delta máximo de los movimientos neotectónicos	Amplitud de los movimientos neotectónicos	Longitud de los morfoalineamientos	Densidad de los morfoalineamientos
2	0	0	0.25	0	0.62	0.35	0.2	0.39
3	0	0	0	0	0.8	0.55	0.08	0.27
4	0	0	0	0	0.56	0.21	0.06	0.25
5	0	0	0	0	0.72	0.08	0.07	0.39
6	0	0	0	0	0.28	0.17	0	0
7	0	0	0	0	0.87	0.88	0.15	0.48
8	0	0	0	0	0.7	1	0.23	0.46
9	0	0	0	0	0.46	0.86	0.05	0.23
10	0.5	0.6	0.25	0	0.44	0.8	0.24	0.19
<i>n</i>								

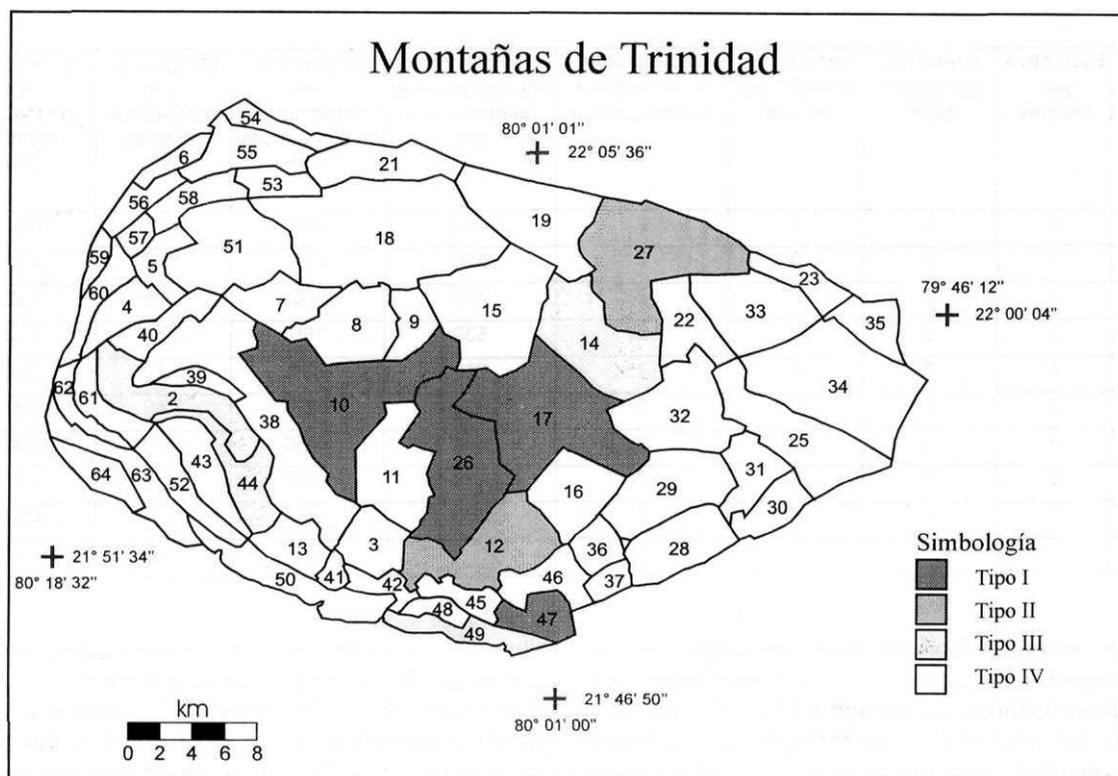


Figura 3. Clasificación endógena reciente.

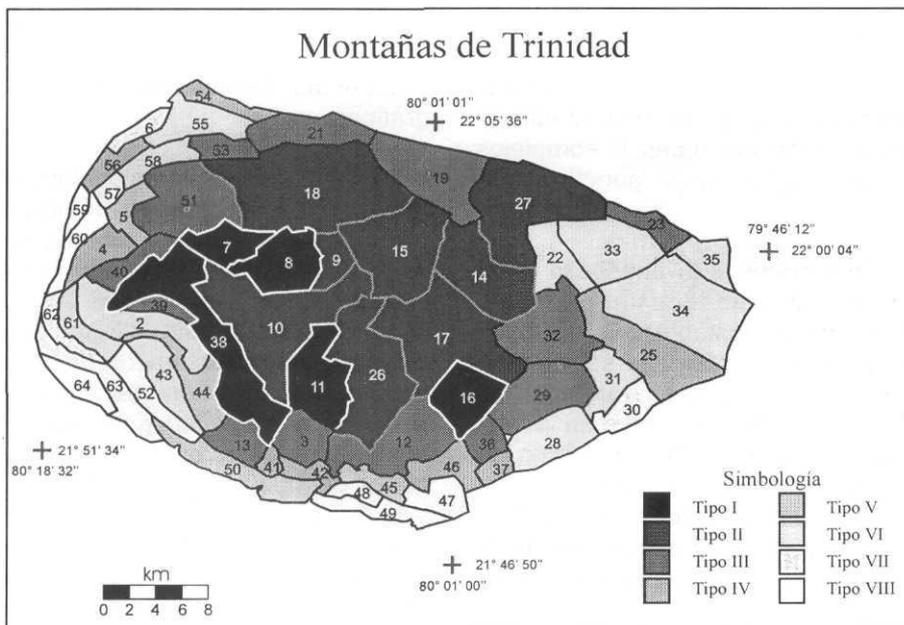


Figura 4. Clasificación neotectónica.

Con posterioridad, se ejecutó la cuantificación de la dinámica, mediante el análisis factorial de la matriz estandarizada con la ayuda del programa *Statistic*, el cual permitió obtener el grado de significación de cada variable, determinar que las más importantes eran la intensidad de los terremotos sentidos por bloque y la amplitud de los movimientos neotectónicos (Tablas 4 y 5). A partir de aquí, se calcularon los valores de dinámica neotectónica, dinámica reciente y dinámica morfotectónica (dinámica endógena) mediante la multiplicación los valores estandarizados de cada variable en cada bloque por la significación de cada una de ellas obtenida durante el análisis factorial. Luego se agruparon los valores obtenidos mediante histogramas de frecuencia, resultando los tipos dinámicos de bloques (Figuras 5 y 6).

#### PROCEDIMIENTO EXÓGENO-AMBIENTAL

Como continuación del análisis de la dinámica de las montañas de Trinidad, se realizó

la valoración del conjunto de factores exógenos que caracterizan los diferentes bloques morfotectónicos. Esto incluyó tres aspectos: caracterización morfoescultural, selección de los elementos y atributos, y clasificación, cuantificación de la dinámica y tipología mediante el empleo de una herramienta SIG y técnicas estadísticas.

La caracterización morfoescultural abarcó: análisis bibliográfico-temático de los materiales morfológicos, morfométricos, edafológicos y litológicos; interpretación geomorfológica de las fotografías aéreas a escala 1:62 000 y 1:37 500 y mapas topográficos a escala 1:50 000 y 1:100 000; métodos morfoesculturales: análisis morfológico y análisis morfométrico.

El conjunto de elementos estático-exógenos está relacionado con el aspecto exterior del relieve, conformado por la morfología y la morfometría y originado bajo la influencia primordial de las fuerzas exógenas. A ellos

corresponden de forma directa la pendiente (inclinación, orientación y longitud), la disección vertical, la disección horizontal, la energía del relieve, y también elementos complejos geólogo-geomorfológicos como la valoración morfológica de las rocas o complejos morfolitológicos y los tipos genéticos de relieve.

Este grupo de elementos lo encabeza la inclinación de la superficie terrestre, pues ella determina, en última instancia, la magnitud del transporte de masa. En ella se transforman la energía interna y la energía solar en los procesos que facilitan el intemperismo, la acumulación o el arrastre bajo la acción de la fuerza de gravedad. Así, la inclinación va a determinar el surgimiento, tipos, intensidad o expresión de los otros componentes de la esfera geográfica y de los propios procesos geomórficos.

La orientación y la longitud se refieren a cualidades complementarias de las pendientes que determinan la distribución de la energía solar y la acción de la fuerza de gravedad e influyen sobre la magnitud del intemperismo y del arrastre de materiales, fundamentalmente.

La disección vertical y la disección horizontal individualmente son reflejo del plano morfotectónico y de los complejos morfolitológicos y dependen también de otros factores geográficos.

La energía del relieve es el elemento integrador de dos importantes índices morfométricos: la disección horizontal y la disección vertical, como expresión de las principales características cuantitativas del relieve junto a la pendiente. Esta integración ofrece la posibilidad de caracterizar, dentro del cuadro exógeno, la desmembración total, responsable de la magnitud o la energía potencial con que pueden ocurrir los procesos exógenos denudativos y fluviales.

Los complejos morfolitológicos como expresión de la diferente modelación del substrato geológico constituyen, en forma sumaria y sintética, el fondo sobre el cual los agentes endógenos y, principalmente los exógenos, ejercen una acción transformadora diferencial, de forma tal, que este subsistema geólogo-geomorfológico determina las condiciones más pasivas para los procesos geomorfológicos y el papel de otros factores geográficos. Su expresión más cabal es la dureza de las rocas.

Tabla 4. Dinámica endógena reciente (variables semicuantitativas)

Bloques	Dinámica
2	0.24
3	0.00
4	0.00
5	0.00
6	0.00
7	0.00
8	0.00
9	0.00
10	0.79
<i>n</i>	

Tabla 5. Dinámica neotectónica (variables cuantitativas)

Bloques	Dinámica
2	0.92
3	1.13
4	0.65
5	0.67
6	0.35
7	1.51
8	1.55
9	1.11
10	1.19
<i>n</i>	

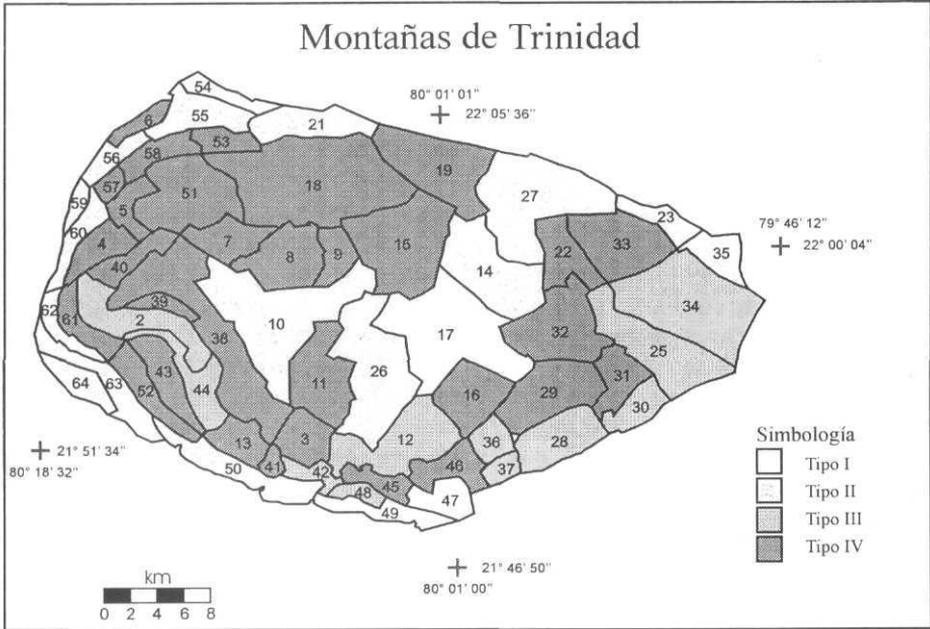


Figura 5. Dinámica endógena reciente.

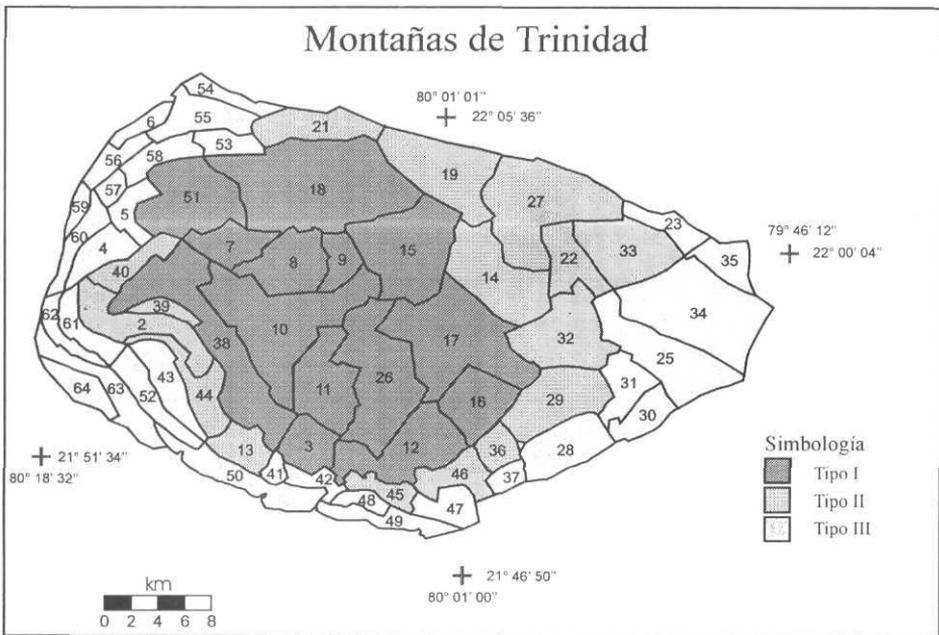


Figura 6. Dinámica neotectónica.

Para la clasificación de la dureza se adoptó el criterio de la ordenación de las litologías de mayor a menor resistencia, en una escala relativa de categorías, que se corresponden con las formaciones geológicas (Millán y Somin, 1985 y Millán, 1993) siguientes: 1. Mármoles y esquistos carbonatados -San Juan, esquistos verdes con mármoles y metasilicitas -Yaguanabo, 2. Mármoles y rocas metaterrígenas -Jibacoa; esquistos metaterrígenos moscovíticos y metavulcanitas -Chispa; calizas órganodetríticas y órganógenas -Vedado, 3. Rocas metaterrígenas, esquistos cuarzo-cloríticos -Naranjo, 4. Intercalaciones flyschoides de rocas metacarbonatadas y metaterrígenas -Cobrito y 5. Esquistos cuarzo-granatíferos micáceos y albito-graucofános -Algarrobo; anfíbolitas, gabroanfíbolitas y esquistos -Mabujina. Los resultados de la diferenciación espacial de la dureza predominante de las rocas por bloques, así como de las amplitudes de su disección vertical, del grado de su inclinación y de su orientación aparecen en la matriz observacional (Tabla 6).

Las variables propuestas durante la fase de planteamiento del problema fueron: ángulo de la pendiente (grados), disección vertical (metros), disección horizontal ( $m/km^2$ ), energía del relieve, (coeficiente)

dureza de las rocas (escala 1-5) y orientación de las pendientes (azimut y escala 1-5).

El procesamiento de la información mediante el análisis factorial demostró que la energía del relieve, por ser el producto de las variables disección vertical y horizontal, no debía emplearse en el análisis; y que la disección horizontal no tenía significación dentro de este grupo de variables en este territorio. Así, las variables con significación fueron el ángulo de las pendientes, la disección vertical, la orientación de las pendientes y la dureza de las rocas (Tablas 6 y 7).

El procesamiento cartográfico de la información y su mapificación se realizó en el ATLASGIS sobre *Windows*.

A partir de la información morfoescultural o exógena se obtuvieron las matrices observacional (Tabla 6), transformada (Tabla 7) y estandarizada (Tabla 8), que caracterizó las unidades morfotectónicas o bloques y cuyos datos fueron sometidos a un análisis de *Cluster*. Sus resultados permitieron realizar la clasificación de los bloques (dendrograma) por su grado de semejanza (Figura 7).

Tabla 6. Matriz observacional (variables exógenas)

Bloques	Ángulo de las pendientes (grados)	Disección vertical (m)	Orientación de las pendientes	Azimut	Formación geológica
2	15 a 35	540	SO	225	S. JUAN
3	15 a 35	760	S	180	S. JUAN
4	5 a 10	380	NO	315	NARANJO
5	5 a 10	400	NO	315	NARANJO
6	15 a 35	440	NO	315	NARANJO
7	15 a 35	660	SO	225	S. JUAN
8	35 a 55	680	SO	225	S. JUAN
9	35 a 55	680	S	180	S. JUAN
10	35 a 55	640	O	270	S. JUAN
<i>n</i>					

Tabla 7. Matriz observacional transformada (variables exógenas)

Bloques	Pendiente máxima (grados)	Disección vertical (m)	Orientación de las pendientes cuantitativa	Dureza cuantitativa
2	35	540	5	1
3	35	760	5	1
4	10	380	3	3
5	10	400	3	3
6	35	440	3	3
7	35	660	5	1
8	55	680	5	1
9	55	680	3	1
10	55	640	3	1
<i>n</i>				

Tabla 8. Matriz observacional estandarizada (variables exógenas)

Bloques	Pendiente máxima (grados)	Pendiente máxima estandarizada	Disección vertical (m)	Disección vertical estandarizada	Orientación de las pendientes cuantitativa	Orientación de las pendientes estandarizada	Dureza cuantitativa	Dureza estandarizada
2	35	0.62	540	0.64	5	1.00	1	0.00
3	35	0.62	760	0.97	5	1.00	1	0.00
4	10	0.13	380	0.39	3	0.33	3	0.50
5	10	0.13	400	0.42	3	0.33	3	0.50
6	35	0.62	440	0.48	3	0.33	3	0.50
7	35	0.62	660	0.82	5	1.00	1	0.00
8	55	1.00	680	0.85	5	1.00	1	0.00
9	55	1.00	680	0.85	3	0.33	1	0.00
10	55	1.00	640	0.79	3	0.33	1	0.00
<i>n</i>								

Más adelante, se ejecutó la cuantificación de la dinámica, mediante el análisis factorial de la matriz estandarizada con la ayuda del programa *Statistic*, el cual permitió obtener el grado de significación de cada variable, determinándose que el Factor I explicaba las verdaderas relaciones geomórficas, con las variables disección vertical y ángulo de las pendientes como las de mayor peso. A

partir de aquí, se calcularon los valores de dinámica exógena mediante la multiplicación de los valores estandarizados de cada variable en cada bloque por la "significación" de cada una de ellas obtenida durante el análisis factorial. Luego se agruparon los valores obtenidos con la ayuda de histogramas de frecuencia, resultando los tipos dinámicos de bloques (Figura 8).

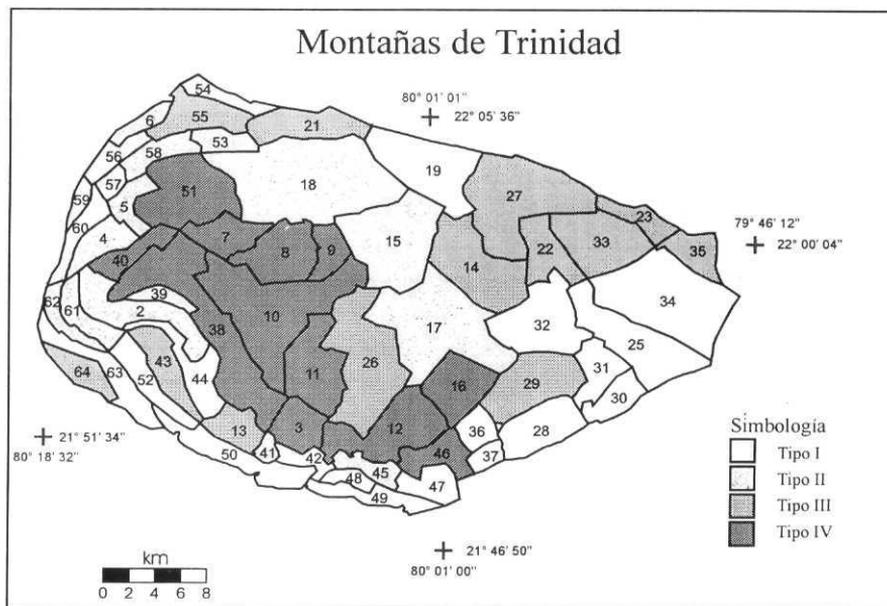


Figura 7. Clasificación exógena.

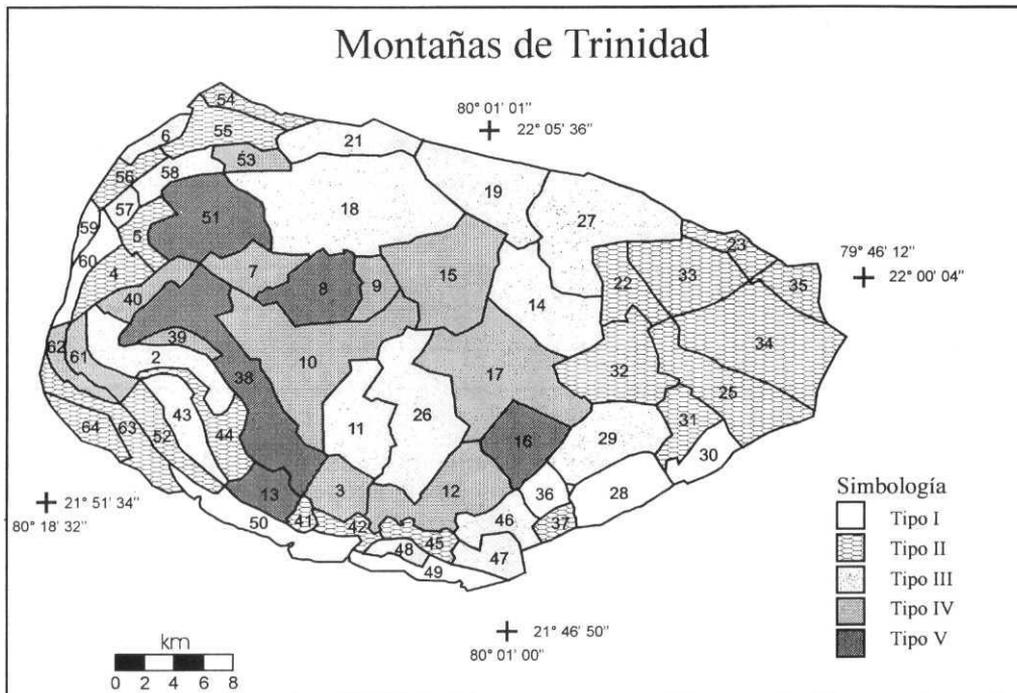


Figura 8. Dinámica exógena.

A manera de ejemplo se describe uno de los tipos.

Tipo IV: Integrado por los bloques de dinámica alta 40, 12, 53, 61, 62, 3, 15, 39, 17, 10 y 9, con los siguientes valores de las variables utilizadas en la clasificación y ponderación de la faceta exógena de la dinámica geomorfológica: pendientes (mayoritariamente entre 35-55°), disección vertical entre 540 y 780 m, y dureza alta (1, 2) del sustrato geológico. En este caso, el mayor peso para la dinámica exógena recae en la energía potencial generada por la posición neotectónica máxima de los bloques involucrados, los cuales obedecen a la subcategoría geomorfológica de montañas bajas, o sea, máximo escalón morfoestructural de las montañas de Trinidad.

A su vez, dicha posición hipsométrica, en condiciones de rocas de dureza alta, propicia el desarrollo de pendientes abruptas, las cuales favorecen la dinámica exógena. Si el sustrato geológico de estos bloques tuviese características más blandas, indiscutiblemente los valores dinámicos serían superiores. No obstante, este Tipo IV de alta dinámica comparte con el Tipo V, el núcleo central de la cúpula-bloque, y sus diferencias radican fundamentalmente en la diferenciación de la dureza litológica.

Una compilación de los momentos básicos

del desarrollo del procedimiento propuesto es como sigue:

1. Determinación de las variables endógenas (neotectónicas y recientes) y exógenas.
2. Composición de la matriz observacional.
3. Análisis de *Cluster*. Clasificación de los bloques (clases).
4. Estandarización de las variables endógenas y exógenas.
5. Análisis factorial. Determinación de las variables significativas y su peso.
6. Cálculo de los valores de la dinámica.
7. Análisis de frecuencia.
8. Tipificación de los bloques (tipos endógenos y exógenos). Mapas.
9. Cálculo de la dinámica general mediante la suma de los valores de la dinámica endógena y exógena.

#### REGIONALIZACIÓN GEOMORFICO AMBIENTAL

Dentro del gran sistema terrestre, la litosfera constituye el subsistema platafórmico sobre el cual descansan los subsistemas atmosférico, hidrosférico y biosférico, cuyas interacciones con el primero y entre sí, determinan la modelación permanente del relieve de la superficie terrestre. Por ello, en toda valoración general del mismo, es indispensable la ponderación de la dinámica de las fuerzas endógenas y exógenas de su formación (Tabla 9).

Tabla 9. Dinámica geomórfica exógena

Bloque	Dinámica	Tipos
2	1.27	III
3	1.57	IV
4	0.57	II
5	0.60	II
6	1.09	III
7	1.43	IV
8	1.81	V
9	1.72	IV
10	1.66	IV
<i>n</i>		

Para la regionalización geodinámica del relieve de las montañas y premontañas de Trinidad, se adoptó este principio genético básico de la evolución geomórfica y de cualquiera de sus clasificaciones de alcance general, tanto tipológicas como regionales.

tetizados mediante una suma algebraica. De esta forma, fue obtenido el valor de la dinámica general para cada bloque morfotectónico y la regionalización, como caracterización de la influencia geomórfica sobre el medio ambiente.

En el análisis de la dinámica general del territorio fueron tomados en consideración los resultados tipológicos alcanzados en las evaluaciones de las dinámicas endógena y exógena, obteniéndose cinco tipos bien definidos (Tabla 10). Finalmente, los valores de la dinámica endógena y exógena fueron sin-

De acuerdo con el histograma de frecuencia de la dinámica general (Figura 9) dichos tipos presentan los valores modulares siguientes: I. Muy baja (0.5 - 1.4); II. Baja (1.4 - 2.3); III. Moderada (2.3 - 3.2); IV. Alta (3.2 - 4.1) y V. Muy alta (4.1 - 4.5).

Tabla 10. Dinámica geomórfica general

Bloque	Valores	Tipos
2	2.43	III
3	2.70	III
4	1.62	II
5	1.27	I
6	1.44	II
7	2.94	III
8	3.36	IV
9	2.83	III
10	3.64	IV
<i>n</i>		

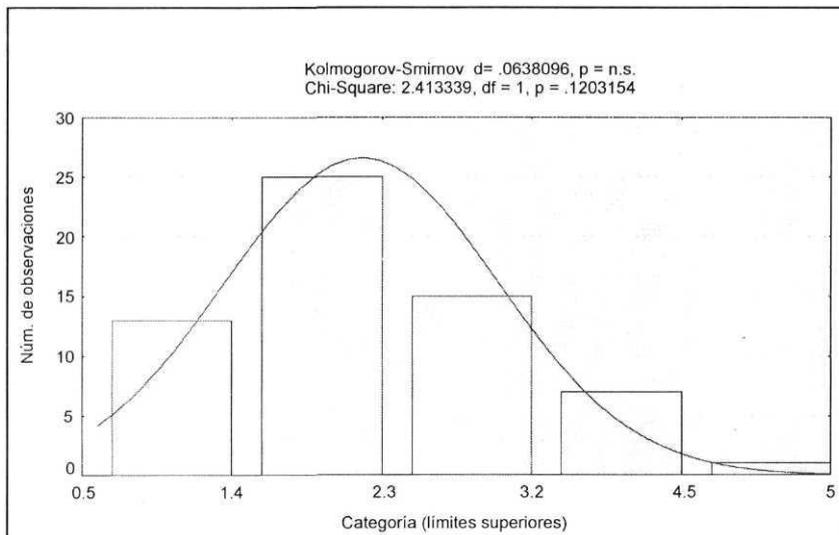


Figura 9. Histograma de frecuencia de la variable dinámica geomórfica general.

Los tipos de baja y muy baja dinámica geomórfica están relacionados con los pisos altitudinales de premontañas y alturas respectivamente, cuya energía potencial endógena no determina una notable energía cinética de los procesos exógenos, por lo cual constituyen la base del sistema montañoso (bloques 4, 5, 6). Precisamente, la diferenciación tectónica radial del macizo establece su fragmentación geográfica alterna y dispersa a lo largo de los anillos occidental y oriental del sistema (Figura 10).

En estrecha relación con las formaciones geológicas más jóvenes y con las morfoestructuras menos activas, sobresalen las regiones periféricas del norte (bloques 2, 3, 7, 9), catalogadas como moderadamente dinámicas.

La región transicional de dinámica alta (IV) se concentra de forma diferenciada y muy fragmentada hacia los bordes. Aquí se des-

tacan los bloques 8 y 10 dispuestos en el escalón altitudinal inferior a la zona central, y asociados esencialmente con las litologías metaterrígenas y terrígenas, donde los valores de la dinámica exógena se potencian sensiblemente.

Un análisis regional de estos tipos apunta hacia la conformación de tres regiones, en dependencia del predominio de un tipo o por la combinación de dos de ellos: I- con predominio de los tipos de muy baja y baja dinámica general, II- con combinación de valores moderados y altos y III- con predominio casi absoluto del tipo muy alto.

Por la extensión y grado de complejidad de la información, esta investigación ha sido potenciada por el uso de un SIG: el ATLASGIS® sobre Windows. La piedra angular de cualquier SIG es, sin duda, la obtención y captura de la base de datos, ya sea alfanumérica o espacial.

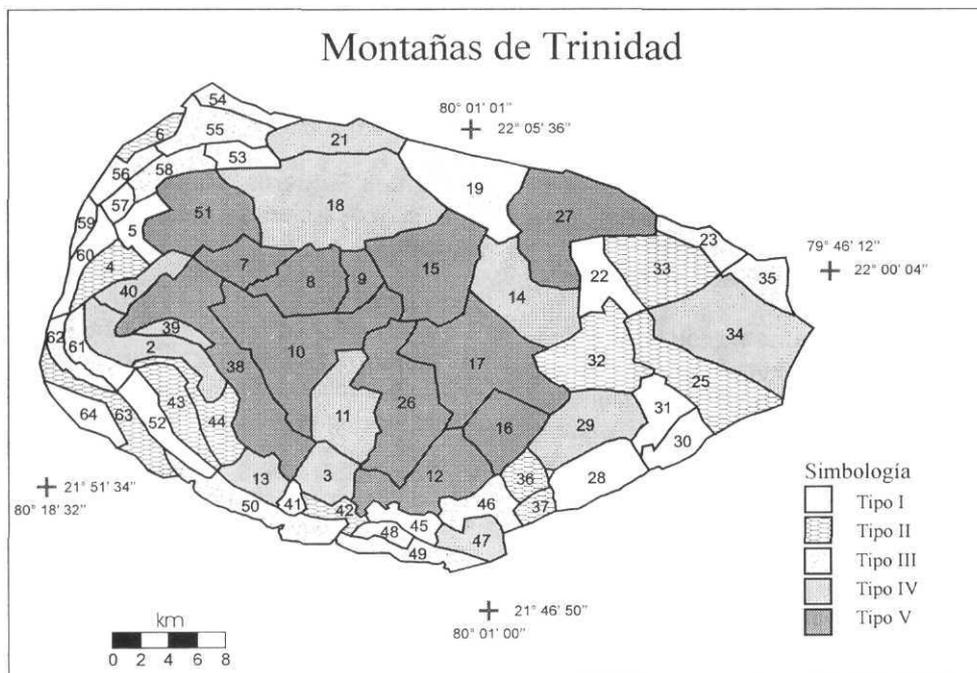


Figura 10. Dinámica general.

La base de datos alfanumérica fue capturada mediante una tableta digitalizadora tomando como mapas fuentes las hojas topográficas a escala 1: 50 000 de distintos formatos. Una parte de esta base existía en formato analógico y la otra parte, existente en formato digital, se encontraba, en su gran mayoría, en forma de textos o de tablas. Además, el resultado de los análisis estadísticos con el programa *Statistic*, generó nueva información de tipo alfanumérica en otro formato digital. Toda esta información fue convertida a formato Dbase®, formato en el cual interactúa el ATLASGIS®.

La información espacial fue posteriormente pasada a formato digital. De esta manera, se elaboró un mapa base que contenía todas las capas necesarias para el análisis y posterior culminación del trabajo tuvieron como "unidad de fondo" los bloques morfotectónicos.

## CONCLUSIONES

Los principios expuestos, aún cuando se han conceptualizado tomando como ejemplo las montañas de Trinidad, sobrepasan este marco regional y, al menos, pueden ser empleados en las investigaciones de otras zonas montañosas cubanas, pues los elementos enumerados son parámetros geomorfológicos repetitivos, medibles y sobre los cuales existe un buen grado de estudio.

En comparación con otras metodologías previas, la propuesta presenta las siguientes ventajas: carácter holístico, reducción del grado de subjetividad, facilidad del manejo de la información, empleo de indicadores geomórficos comunes.

Este procedimiento contribuye a la evaluación más precisa del papel transformador de las condiciones y procesos geomórficos en el medio ambiente mediante la cuantificación de las variables endógenas y exógenas de la formación del relieve.

En las evaluaciones cuantitativas geomórfico-dinámicas generales, con vistas al análisis ambiental, se debe emplear la mayor cantidad de variables, sin realizar una valoración *a priori*, de aquellas que pudieran no ser efectivas, de forma tal, que sólo el análisis factorial defina las que no tienen significación.

Los datos aportados por el análisis estadístico-matemático tuvieron su expresión en las peculiaridades del diseño morfotectónico y morfoescultural de las montañas de Trinidad.

La dinámica endógena puede catalogarse de baja de acuerdo con los valores que alcanza y el número de bloques con valores bajos.

La dinámica exógena se puede clasificar como moderada, teniendo en cuenta los mismos aspectos anteriores.

Las tres regiones en que puede ser dividido el mesobloque Trinidad no tienen un predominio claro en cuanto a la superficie que ocupan.

## AGRADECIMIENTOS

A Manuel Figueroa Mah-eng por la calidad del procesamiento automatizado de las figuras.

## REFERENCIAS

- 📖 Barranco, G. (1996), *Dimensión ambiental de la planificación*, Conferencia del Curso de Gestión ambiental, La Habana, Cuba.
- 📖 Chuy, T. J. (1989), "Epicentros de terremotos por datos macrosísmicos 1551-1983", *Nuevo Atlas Nacional de Cuba*, Instituto Geográfico Nacional de España, Sección Geofísica, cuadernillo II.3.2, mapa 33, Madrid.
- 📖 Chuy, T. J. *et al.* (1993), *Estudio sismológico del Complejo Sanatorial Topes de Collantes*. Ed. ICGC, varios mapas.

- 📖 Díaz, J. L. *et al.* (1989), "Morfoestructura", *Nuevo Atlas Nacional de Cuba*, Instituto Geográfico Nacional de España, Sección Relieve, cuadernillo IV.3.1, mapa 8, Madrid.
- 📖 González, L. y M. Arcia (1994), "Fundamentos teóricos y metodológicos de la Geografía del medio ambiente", *Geografía del Medio Ambiente: una alternativa del ordenamiento ecológico*, UAEM, México, pp. 27-54.
- 📖 Hernández, J. R. y J. L. Díaz (1976), "La geomorfología y la conservación del paisaje natural", *Informe Científico-Técnico*, núm. 72, La Habana, Cuba.
- 📖 Kirchner, K. y J. L. Díaz (1986), *Algunos aspectos básicos de la protección del relieve en Cuba*, Zprávy geografického ustav CSAV, 23, pp. 3-9.
- 📖 Luis, J. A. (1994), "Cuestiones metodológicas de la evaluación geográfico-ambiental de sus componentes abióticos, bióticos y socioeconómicos", *Geografía del Medio Ambiente: una alternativa del ordenamiento ecológico*. UAEM, México, pp. 59-70.
- 📖 Magaz A. *et al.* (1993), *Geomorfología del Complejo Sanatohal de Topes de Collantes*, Instituto de Geografía Tropical, La Habana, Cuba, inédito.
- 📖 Martínez, J. M. *et al.* (1995), *Las transformaciones ocurridas por efecto del huracán Lily en la Sierra de Trinidad*, Instituto de Geografía Tropical, La Habana, Cuba, inédito.
- 📖 Millán, G. y M. L. Somin (1985), *Condiciones geológicas de la constitución de la capa granito-metamórfica de la corteza terrestre de Cuba*, Ed. Academia, La Habana, Cuba.
- 📖 Millán, G. (1993), "Evaluación de la estructura del Macizo del Escambray, Sur de Cuba central", *Revista Ciencias de la Tierra y el Espacio*, núm. 21-22, Ed. Academia, La Habana, pp. 26-32.