



La geomorfología es la ciencia que estudia las formas de la Tierra. Se institucionalizó a finales del siglo XIX y principios del XX y sus haberes se asientan en los saberes acumulados por las demás ciencias de la Tierra que se sistematizaron a partir de la actitud ilustrada respecto de la naturaleza y sus complejas consecuencias en nuestra cultura.

Pero la Tierra es amplia, diversa y desigualmente conocida, lo cual plantea problemas a los científicos por la gran variedad y aparente dispersión de hechos y procesos, por su dependencia de múltiples factores y por la dificultad de encontrar en su generalidad las leyes que los rigen.

Estos hechos y procesos pueden ser microscópicos y aparecer aislados, pero las formas del relieve sólo pueden entenderse de modo global como pertenecientes a la totalidad del planeta e integradas en la totalidad de la naturaleza donde participan de múltiples relaciones. Conocer las causas es explicar las geoformas, pues la geomorfología tiene que dar cuenta de la génesis del relieve y tipificar sus geoformas: explicar fuerzas y procesos y clasificar resultados.

20.1 LA GEOMORFOLOGIA COMO CIENCIA

La geomorfología se especializa en estructural (que atiende a la arquitectura geológica) y climática (que se interesa por el modelado), incorpora las técnicas estadísticas sedimentológicas, en laboratorio y, sobre todo, pierde su aislamiento para convertirse en una ciencia que atiende múltiples factores e inserta el estudio del relieve al

conjunto de relaciones naturales que explica globalmente la geografía física.

20.1.1 Conexión con geología, climatología, hidrología y biogeografía.

La geomorfología tiene que contar prioritariamente con el factor geológico que explica la disposición de los materiales. Las estructuras derivadas de la tectónica y de la litología configuran frecuentemente los volúmenes del relieve de un modo más o menos directo.

El clima introduce modalidades en la erosión y en el tipo de formaciones vegetales, de modo que la morfogénesis adquiere características propias en cada zona climática. La elaboración de geoformas también depende de los paleoclimas que se han sucedido en un determinado lugar.

De las condiciones climáticas, biogeográficas, topográficas y litológicas, depende la eficacia erosiva de los cursos de agua y de otros modos de escorrentía. Aquí habrá que considerar el conjunto de la red hidrográfica.

La cobertura vegetal introduce un tapiz protector en la interfase atmósfera-litosfera, razón por la cual la biogeografía da claves importantes en el análisis de las geoformas y de los procesos que las modelan. Pero esta cobertura no depende sólo del clima y del sustrato rocoso, sino también de la acción antrópica.

20.1.2 Geoforma. Una geoforma es un cuerpo tridimensional: tiene forma, tamaño, volumen y topografía, elementos que generan un relieve. Se han clasificado treinta y seis (36) geoformas; el primer paso es identificar las geoformas con su topografía, drenaje, textura, tono, vegetación natural y uso del suelo.

Una geoforma está compuesta por materiales que le son característicos: como arenas, gravas, arcilla o cuerpos masivos; tiene una génesis y por lo tanto una dinámica que explica los materiales que la forman.

Como geoformas las rocas son lechos rocosos; los deltas, abanicos, terrazas y llanuras de inundación, son materiales transportados. Los suelos residuales están asociados a los lechos rocosos.

Utilizando fotografías aéreas se puede inferir que el tono y la textura dependen de la vegetación, que el uso del suelo permite hacer asociaciones con aptitudes, que las formas de erosión anuncian si el material es arenoso o rocoso. La topografía a su vez, está relacionada con la pendiente, y puede ser: plana, ondulada, quebrada o escarpada; donde existen entrantes o salientes del terreno son factibles los cambios litológicos.

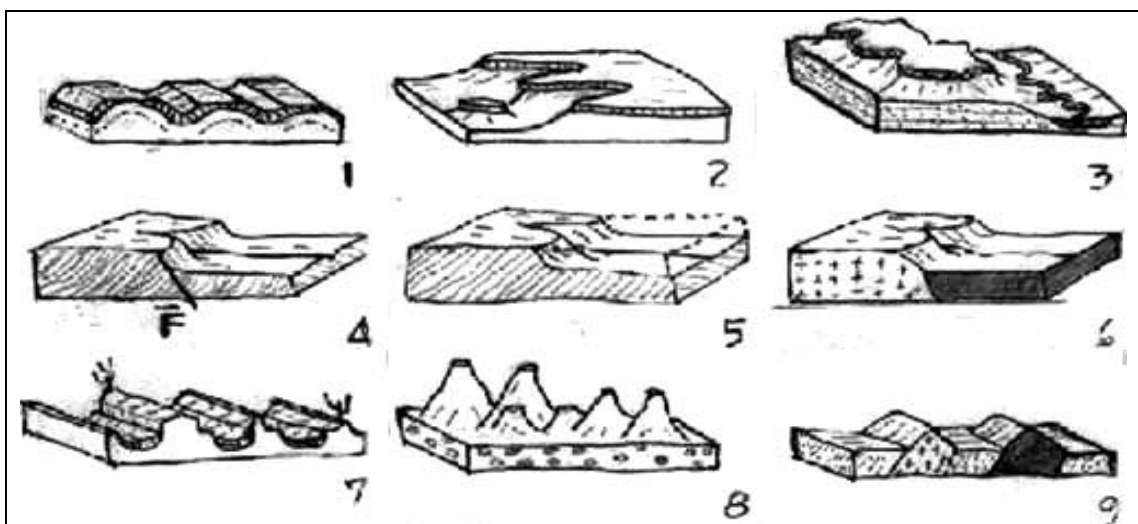


Figura 155. Paisajes con diferentes situaciones litológicas, estructurales y ambientales: 1. Relieve apalachinado (plegamiento erosionado), 2. Aspecto de una cuesta estructural subhorizontal. 3. Relieve aluvial invertido, (construcción y destrucción de un valle), 4. Escarpe tectónico (falla normal), 5. Escarpe de erosión m(observese el descenso del relieve), 6. Escarpe litológico (el escarpe marca el contacto), 7. Paisaje árido en suelo fino (formación de yardang), 8. Paisaje árido en conglomerado (formación de mesas basculantes y pilares), 9. Afloramientos duros (diques intruyendo rocas más blandas). Adaptado de Max Derruau, Geomorfología.

El drenaje está caracterizado por una forma o patrón modelo, donde el índice de erosión o remoción es muy importante y la textura es el grado de espaciamiento entre los canales del drenaje. La textura en rocas puede ser gruesa, media o fina, y la erosión, laminar, por surcos o por cargas.

La vegetación puede ser natural y su altura anuncia la profundidad del suelo, cuando hay densidad. Las variaciones en la densidad de la vegetación se asocian con presencia de aguas subterráneas. Si es artificial se considera ya un uso del suelo. En un abanico aluvial los bosques de galería anuncian el drenaje y la vegetación es más alta en su pie que en el ápice a causa del nivel freático.

A continuación se presenta una tabla de claves fotogeológicas para la identificación de las diferentes rocas y fallas, de acuerdo a tres aspectos fundamentales: tonos, texturas y drenaje.

20.1.3 Conceptos básicos de geomorfología

1. Los procesos físicos de hoy operaron en el pasado geológico.
2. La estructura geológica condiciona las formas del relieve.
3. El proceso geológico se expresa en la geoforma.
4. Cuando los diferentes agentes modelan la corteza se produce la secuencia que evidencia tales etapas.
5. La complejidad es más común que la simplicidad en las geoformas.
6. La geología del cuaternario domina la topografía.
7. La adecuada interpretación del paisaje exige conocer los cambios geológicos y climáticos pasados.

8. La presión y temperatura del clima regional son necesarias para entender los procesos geológicos.

9. Se debe mirar la geomorfología de hoy en el contexto de las geoformas pasadas.

20.2 CLAVES DE FOTOINTERPRETACION

Se mostrará en el siguiente cuadro las claves fotogeológicas atendiendo como aspectos relevantes, tonos, texturas y drenajes, tanto de las rocas como de las estructuras geológicas.

Cuadro 24. Claves fotogeológicas.

ASPECTOS	ROCAS INTRUSIVAS	ROCAS VOLCANICAS	ROCAS CLASTICAS
TONOS	- Claros salvo humedad (gris) - Oscuros en ultramáficas - Claros a oscuros en hipoabisales y diques	- Oscuro en las jóvenes, en las meteorizadas es claro. - Claros en conos de ceniza y lavas viejas, secas y sin cobertura	- Claros en conglomerados, areniscas maduras y lodolitas de desiertos. - Oscuro en areniscas maduras y lodolitas, por humedad. - Oscuros en estructuras
TEXTURAS	- Homogéneas masiva	- Finas en tefras (tobas, cenizas). - Rugosas en lavas, flujos o bloques	- Gruesas en conglomerados y areniscas. - Finas en lodolitas (dan flatiron)
DRENAJE	- Dendrítico, pinzado o radial y puede variar con el	- Paralelo en basaltos. - Dendrítico en tobas y	- Rectangular, paralelo y subparalelo en conglomerados y

ASPECTOS	ROCAS INTRUSIVAS	ROCAS VOLCANICAS	ROCAS CLASTICAS
	diaclasamiento y la composición - Radial-anular en hipoabisales	depósitos piroclásticos - Anular en domos. - Radial en volcanes - Anómalo en lagunas y canales discordantes	areniscas maduras - Subparalelo y subdendrítico en areniscas inmaduras - Subparalelo a dendríticas en lodolitas

ASPECTOS	ROCAS NO CLASTICAS	ROCAS METAMORFICAS	FALLAS
TONOS	- Claros casi siempre - Oscuros si hay materia orgánica o humedad, bandeados si hay interestratificación	- Oscuros generalmente pero no intensos - Claros en cuarcita - Claros a semioscuros en gneises	Cambios bruscos y oscuros por agua o claros si hay exceso de drenaje
TEXTURAS	El del relieve (ejemplo paisaje cárstico). No da flatiron	- Finas pizarras - Medias a gruesas, gneises. - Esquistosidad	Cambios, anomalías e irregularidades
DRENAJE	- Discontinuo y con sumideros en karst. - Controlado por fracturas subterráneas	- Dendrítico a rectangular en pizarras y filitas. - Variable en esquistos - Colector con poco drenaje secundario en	- Desviación sistemática - Controles anómalos. - Alineado y con dirección perpendicular

ASPECTOS	ROCAS NO CLASTICAS	ROCAS METAMORFICAS	FALLAS
		cuarcitas - Dendrítico a rectangular en gneis	

Mónica Dunóyer. Posgrado de Geotecnia, Universidad Nacional, 1995.

20.2.1 Claves de fotointerpretación de rocas plutónicas

- Los contactos de intrusiones graníticas con rocas encajantes son discordantes, nítidos y sencillos.
- Los cuerpos graníticos tienen grandes dimensiones.
- Los tonos son claros (buena reflectancia), salvo en condiciones de humedad.
- La textura es homogénea, pues su aspecto es masivo.
- El drenaje es normalmente dendrítico-pinzado o radial, en caso de domos.
- Si hay muchas diaclasas el patrón es rectangular.
- El tono y drenaje puede variar con la composición, densidad de diaclasas y humedad.
- La topografía se presenta en cerros con forma de A o macizos redondeados.
- Presentan más fracturamiento cuando tienen mayor antigüedad.
- En el trópico desarrollan saprolito profundo.

20.2.2 Claves de fotointerpretación de rocas volcánicas

- Son reconocibles si no están erosionadas.

- Las geoformas dependen del tipo de lava y su actividad.
- Los basaltos presentan columnas, drenaje paralelo grueso y suave topografía.
- Los cráteres de ceniza son claros y con pendientes altas (ángulo de fricción $f = 35^\circ$).
- Las lavas viscosas son lenguas de pared abrupta y tienen formas en pata de elefante.
- Los depósitos lávicos forman colinas de cresta aguda.
- Muy disectadas por drenaje dendrítico y fino cuando son recientes, además presentan tonos claros y laderas verticales y uniformes.
- Presentan tonos oscuros en lavas jóvenes, aunque la vegetación las aclara algo.
- Los patrones de drenaje son dendríticos en depósitos piroclásticos y tobas; anular, en edificios volcánicos; radial, en la base de los volcanes, anómalo con lagunas y canales discontinuos, en los flujos.
- La vegetación es escasa si el material es reciente, y la porosidad y permeabilidad son altas, aunque disminuyen con la meteorización.

20.2.3 Claves de fotointerpretación de rocas sedimentarias clásticas

- Estas rocas son las que más información arrojan.
- Las rocas sedimentarias forman estructuras secundarias (pliegues, fallas, diaclasas) que se evidencian por alineamientos de cualquier tipo (tonos más oscuros, drenajes controlados, cordones vegetales).

- Las geoformas que más las delatan son los flatiron (planchas), que se desarrollan sobre las rocas sedimentarias duras (areniscas compactas) y son las geoformas fruto de la erosión diferencial.
- Generalmente la pendiente topográfica corresponde a la pendiente estructural que es larga y suave.
- En la contrapendiente hay escalonamientos por el contraste entre estratos duros y blandos que se alternan.
- Los conglomerados muestran tono claro a medio; textura gruesa; a muy gruesa, drenaje rectangular, subparalelo o paralelo; vegetación escasa y arbustiva; escarpes verticales en la contrapendiente, y crestas agudas rectilíneas y de gran continuidad.
- Las areniscas pueden ser maduras o inmaduras; las intermedias tienen rasgos que oscilan entre los extremos de estas.
- Las areniscas maduras muestran tono claro a medio, textura gruesa a media, drenaje rectangular a subparalelo, canales en V cerrada, vegetación escasa a media, escarpes escalonados y excelentes niveles guías.
- Las areniscas inmaduras son oscuras y de textura gruesa, drenaje subparalelo o subdendrítico, vegetación buena a excelente y morfología ligeramente escarpada a suave en la contrapendiente estructural y ondulada en la pendiente.
- Las lodolitas son de tono oscuro en clima húmedo y claro en desiertos, textura fina, drenaje dendrítico o subparalelo y vegetación exuberante si el clima es húmedo, morfología deprimida con desarrollo lineal extenso, excelente contraste con unidades duras y malos niveles guías.

En la fig. 156 se dibujan tres geoformas, con elementos explicativos, típicas en rocas sedimentarias.

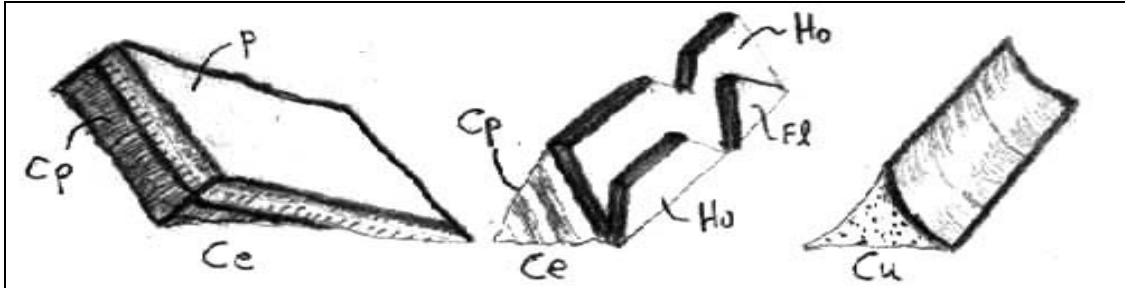


Figura 156. Geoformas en rocas sedimentarias: Ce. Cuesta estructural (asimétrica), Cp. contrapendiente, P. pendiente, Ho. y Fl. Hogback y flatiron (desarrolladas sobre la pendiente estructural), Cu. Cuchilla estructural (cóncava). El Hogback es un estrato en altorelieve, con forma trapezoidal, formado sobre la pendiente estructural. Según Mónica Dunóyer y Antonio Manrique, curso de fotointerpretación U. de Caldas.

20.2.4 Claves de las rocas sedimentarias químicas

- No dan flatiron (estratos en altorelieve triangular sobre la pendiente) y muestran fracturas bien desarrolladas que controlan la vegetación y dolinas y sumideros cuando siendo carbonatadas resultan afectadas por la disolución.
- Normalmente la vegetación es poca y alineada con las fracturas. En el trópico ésta puede ser densa.
- El relieve es función del clima y de la composición de la caliza. Los tonos son claros.
- En clima árido se presentan crestas empinadas y tonos claros, nunca oscuros.
- En climas húmedos el paisaje es cárstico: bosques de mogotas o colinas puntiagudas. Además se desarrollan dolinas, poljes (depresiones cerradas) y sumideros.
- El drenaje se pierde por los sumideros resultando interrumpido.

- El relieve es más suave que en zonas áridas y entre más pura y cristalina sea la roca, más abrupto resulta el relieve.
- Si se encuentra materia orgánica y humedad, los tonos son oscuros.

20.2.5 Claves de fotointerpretación de rocas metamórficas

- Son las rocas más difíciles de identificar.
- A mayor grado de metamorfismo, más desaparecen los rasgos litológicos y estructurales.
- El metamorfismo iguala la resistencia de la roca, resultando una topografía más masiva.
- La esquistosidad es el principal elemento de fotoidentificación; le da al paisaje una sensación de paralelismo (control de cárcavas, drenaje, etc.).
- En rocas metasedimentarias se alcanza a insinuar la estratificación con algo de flatiron.
- El tono es generalmente oscuro pero no intenso.
- El drenaje tiende a ser uniforme y constante tendiendo a dendrítico o rectangular.
- Cuando provienen de rocas ígneas, su aspecto es masivo y no presentan foliación.
- Desarrollan relieve de cualquier tipo por lo que aquél no es guía.
- Muestra colinas alineadas con crestas o cuchillas.
- Las pizarras y filitas muestran textura fina, drenaje dendrítico rectangular, vegetación escasa (y a veces alineada), y no muestran estructuras falladas aunque conservan

la estratificación de la roca madre. En la morfología se presentan crestas agudas y laderas empinadas no muy altas.

- Los esquistos tienen clara orientación, buena foliación, tono gris uniforme (de medio a oscuro), drenaje variable, según el clima, pero controlado por la foliación, morfología con planos de esquistosidad planos y cárcavas paralelas.

- Las cuarcitas dan tonos claros, crestas empinadas, drenajes colectores, poco drenaje secundario, crestas filudas, fracturas controlando el drenaje, los contactos con otras rocas tienen fuerte contraste y la vegetación es escasa, está alineada y es de tipo arbustivo.

Los gneises tienen aspecto masivo y muestran fracturas bien desarrolladas (fallas) que controlan el drenaje. Las lomas son alargadas con cimas suaves pero altas y pendientes. Su tono es claro a semioscuro y la textura rugosa.

El drenaje es dendrítico a rectangular con textura media a gruesa. Las lomas desprovistas de capa vegetal desarrollan poco suelo y poca vegetación dando posibilidad a la observación de los diques que las cortan.

20.2.6 Claves diagnósticas para caracterizar movimientos en masa

- **Características morfológicas.** Pendientes cóncavas y convexas, nichos semicirculares, pendientes escalonadas, bloques inclinados, relieve irregular (hummocky), formación de grietas y cambio súbito de pendiente.

- **Características de la vegetación.** Vegetación desordenada y parcialmente muerta, cambios en la vegetación coincidentes con escalones morfológicos, zonas con vegetación menos abundante, (elongadas y claras), diferencia de vegetación dentro y fuera del deslizamiento y cambios de vegetación asociados a condiciones de drenaje.

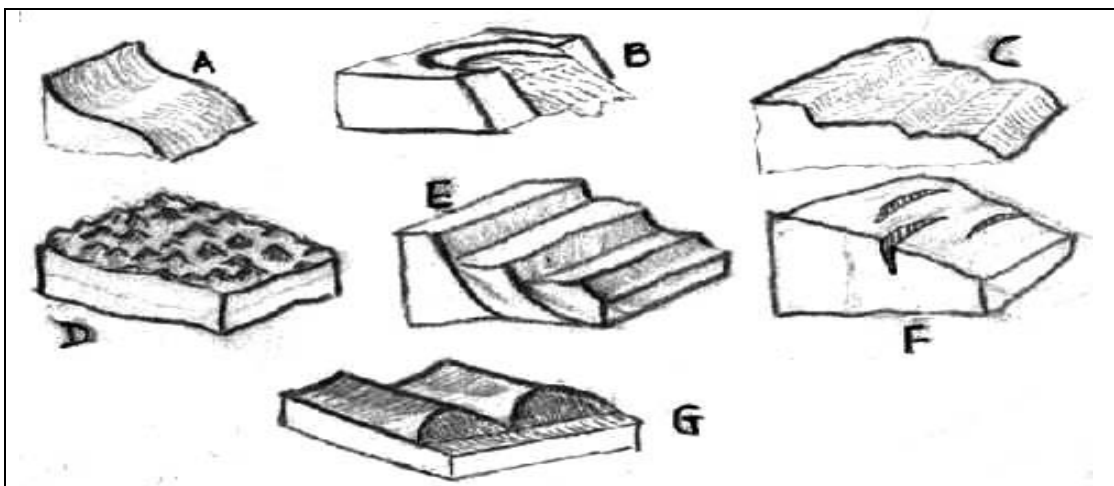


Figura 157. Morfología para diagnóstico: A. formas cóncavas y convexas, B. nichos semicirculares, C. pendientes escalonadas, D. relieve irregular (hummocky), E. bloques inclinados, F. grietas, G. cambios abruptos de pendiente. Según Mónica Dunóyer y Antonio Manrique, curso de fotointerpretación U. de Caldas.

- Características del drenaje y medidas de estabilización.

Drenaje desordenado con líneas interrumpidas, anomalías en los patrones de drenaje, zonas de acumulación de agua, zonas de infiltración o nacimientos (tonos oscuros), zonas excesivamente drenadas (tonos claros). Si hay intervención, canalización de aguas y terracetas en pendiente con canales en curvas de nivel.

- Otras características o elementos. Ausencia de vegetación, escarpes en forma de pinza, concavidades elongadas, depósitos elongados, acumulaciones en quiebres de pendiente, facetas triangulares, cuerpos coalescentes (masas contiguas dislocadas), escarpes elongados y lóbulos de flujo.

20.2.7 Claves para identificación de rasgos estructurales

- Monoclinales. En la cuesta (pendiente suave), el drenaje es dendrítico o paralelo, el suelo es grueso o potente, hay buen desarrollo de la vegetación y drenaje es poco denso. En la contrapendiente el drenaje es denso, subdendrítico, se presentan movimientos en masa y a veces la topografía es

cóncava, el suelo es casi nulo y es notoria la poca acumulación de agua y poca la vegetación.

- **Hogback y cuchillas estructurales.** El hogback es un bloque donde la pendiente y la contrapendiente tienen la misma inclinación. Uno de los estratos conforma en la pendiente una capa de cubierta dura que presenta erosión en cárcavas con pobre desarrollo de la vegetación, poco suelo y poca agua.

La cuchilla estructural es una forma masiva que corresponde a un afloramiento de capas duras. La pendiente y la contrapendiente son simétricas y el drenaje por ambos lados es paralelo; las superficies muestran cárcavas y no se desarrolla suelo ni vegetación en ningún flanco.

- **Pliegues.** Los anticlinales muestran drenaje radial poco denso (según la litología expuesta); si está erosionado, muestra el núcleo y la roca es estratificada, además hay poco suelo por la pendiente de la geoforma y poca agua, pues es mal acuífero. El sinclinal muestra drenaje centrípeto, núcleo deprimido, estratos que buzcan hacia el centro del pliegue y humedad y vegetación buena en su núcleo, pues se trata de un buen acuífero.

- **Fracturas.** Las diaclasas muestran un drenaje cuya intensidad depende de la roca. En la diaclasa hay agua, vegetación y erosión. El suelo es profundo si la vegetación es intensa y la pendiente favorece su estabilidad.

Las fallas muestran fuerte meteorización y suelos pobres en los escarpes, aunque buenos en los pies. En el escarpe no hay vegetación pero sí en los bajos donde se almacena la humedad.

Los indicadores de las fallas son los desplazamientos de las capas horizontales o verticales, los cambios abruptos en el rumbo y buzamiento, los escarpes, facetas triangulares y cañones en V cerrada, los cambios bruscos de tono y vegetación, los tonos oscuros por agua y drenaje alineado, las

desviaciones sistemáticas del drenaje, el diaclasamiento intenso o brechamiento y los movimientos en masa sistemáticos.

20.3 GENERALIDADES DEL AREA DE MANIZALES Y CHINCHINA

Por la importancia la precisión de los resultados, se hace una presentación sumaria de los aportes del Dr. Antonio Flórez, 1986 consignados en su estudio del medio ecosistémico de esta región.

20.3.1 Localización. El área se ubica sobre la Cordillera Central, entre los 4° 58' N y los 5° 18' N y entre los 75° 10' W y los 75° 45' W. La superficie es de 2430 Km.², 2/3 de los cuales se localizan en el flanco occidental de la cordillera desde los 4150 a los 700 msnm en el río Cauca, y el 1/3 restante sobre el flanco oriental hasta los 1500 msnm en la vertiente del Magdalena. Administrativamente la mayor parte del territorio pertenece al departamento de Caldas y en menor extensión al del Tolima.

20.3.2 Geología y geomorfología. Entre las cordilleras de los Andes colombianos aparecen depresiones tectónicas como las del Magdalena y el Cauca. El área de Manizales-Chinchiná se ubica sobre la vertiente occidental de la Cordillera Central.

Las formaciones geológicas se distribuyen de norte a sur en bandas paralelas al sistema de Romeral, umbral entre las cortezas continental y oceánica y cicatriz de una antigua zona de subducción.

La cordillera, que constituye básicamente el conjunto continental, está compuesta por un núcleo de esquistos principalmente Paleozoicos entre los cuales se intruyeron batolitos y stocks mesocenoicos. Al norte del área se encuentra una cobertura continental Jurásica. En la fosa del Cauca se presenta un conjunto oceánico, a ambos lados del sistema Romeral, que incluye las formaciones del complejo del Cauca del Cretáceo inferior, además de los esquistos y la formación metasedimentaria volcánica relacionada con el

emplazamiento del complejo ofiolítico y el cinturón magmático mio-plioceno de la fosa del Cauca. Según A. Flórez, a partir del Mioceno medio se cubrieron los conjuntos continental y la parte inferior Cretácea del oceánico, con una cobertura sedimentaria y volcánica de edad Terciaria y Cuaternaria.

También se da un levantamiento principal en el Plioceno asociado a fallas inversas que generan un escalonamiento de bloques.

Antes del levantamiento principal de la cordillera por sus dos flancos, se modelaron superficies de aplanamiento que resultaron disectadas por los movimientos del Plioceno. El levantamiento y vulcanismo evidencian actividad reciente.

De las nieves perpetuas hacia los cañones de los ríos mayores se diferencia un eje volcánico con modelado glacial, alvéolos de disección en rocas metamórficas y plutónicas, un sistema de cuchillas residuales de superficies de aplanamiento antiguas y la depresión del Cauca con su relleno vulcano-sedimentario. Las características más sobresalientes del área de estudio son su relieve montañoso con un modelado de disección profunda, activa y controlada estructuralmente, aspectos que influyen la fuerte inestabilidad de las vertientes manifiesta en los abundantes movimientos en masa.

20.3.3 Desarrollo morfoestructural. Según A. Flórez, el basamento es un conjunto metamorfoseado en varios eventos desde el precámbrico hasta el mesozoico. Los esquistos del núcleo de la cordillera resultan de los movimientos tectónicos del paleozoico durante la orogenia herciana. Durante el Jurásico-Cretácico intruyen varios stocks y batolitos causando un levantamiento de la cordillera.

En la observación de los diferentes elementos estructurales del actual relieve infieren eventos tecto-orogénicos del cretáceo-cenozoico, A Flórez identifica cuatro fases, así:

En la **fase I**, partiendo de un plegamiento y de la depresión del Cauca limitada por fallas inversas, ocurre el movimiento principal de las grandes fallas de rumbo de los sistemas Romeral y Palestina. Por el plegamiento de los esquistos y materiales sedimentarios se forma un relieve en crestas monoclinales, el graben se convierte en una cuenca de sedimentación intramontaña y sobre la superficie se desarrolla luego una red de drenaje que transporta detritus hasta el graben del Cauca.

En la **fase II**, hacia el mioceno medio, se presenta vulcanismo inicial cuyo detritus y cuyo piroclastos cubren las superficies de aplanamiento a ambos lados de la cordillera.

En la **fase III**, un evento tecto-orogénico de gran importancia sucede al vulcanismo. A este evento se asocia el plegamiento de los sedimentos, un fuerte desplazamiento horizontal de la falla Romeral y un escalonamiento de fallas inversas en la cordillera. También hay intrusión de stocks porfidíticos sobre los sedimentos oligo-miocénicos de la fosa del Cauca para formar relieves piramidales.

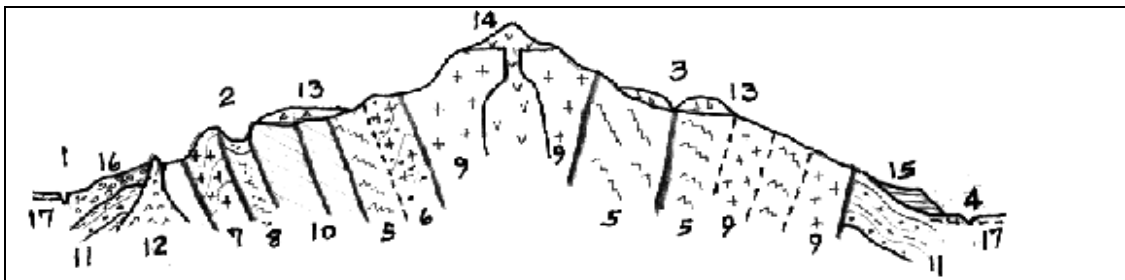


Figura 158. Perfil morfoestructural (esquema según Flórez, 1986). 1. Río Cauca; 2. Sistema Romeral; 3. Falla Palestina; 4. Río Magdalena; 5. Esquistos Pz; 6. Gneises intrusivos Pz; 7. Complejo ofiolítico K; 8. Esquistos K; 9. Stock granítico Mz-T; 10. Complejo metasedimentario volcánico K; 11. Sedimentos oligo-mioceno; 12. Stock andesíticos mio-plioceno; 13. Formación Manizales mioceno medio; 14. Rocas volcánicas Tq; 15. Sedimentos pliocenos; 16. Terraza poligénica de Chinchiná; 17. Piedemonte aluviotorrencial Q. Según Antonio Flórez, Cartografía del medio ambiente de Manizales-Chinchiná.

- En la **fase IV**, después del levantamiento señalado, el vulcanismo tiene su mayor auge y permite la formación de la cobertura de lavas en el eje de la cordillera. Este vulcanismo, aunado al potencial de disección generado por el levantamiento y los cambios climáticos hacia condiciones más húmedas, según Flórez, convergen para facilitar las formaciones vulcano-sedimentarias plio-cuaternarias.

Con relación al relieve volcánico, característica principal del paisaje geomorfológico de la cordillera Central, las formas constructivas se sitúan sobre su eje y los flancos superiores, para constituir una cobertura resistente con relación al basamento metamórfico y granítico fracturado y alterado. Los flujos de lavas procedentes de los estratovolcanes, forman patrones radiales divergentes que en ocasiones presentan coalescencias (choques) con flujos de otras fuentes. Flórez señala nuevas estructuras vulcanogénicas al norte del Ruiz, como los volcanes Romeral, El Retiro, La Ermita, Santa Cecilia, La Cumbre, La Plazuela, El Colmillo, El Ciervo, Peñas Blancas, El Gualí y la Tribuna, al lado de los ya conocidos, El Contento y Cerro Bravo.

20.3.4 Consecuencias del desarrollo morfoestructural. El desarrollo de la cordillera imprimió las principales características de los relieves actuales y condicionó gran parte de los procesos externos y de la dinámica de las vertientes. Tales características, según Flórez, son:

- La dinámica de compresión entre las placas tectónicas generó bloques levantados y hundidos separados entre sí por escarpes tectónicos con pendientes abruptas generalizadas.

- El levantamiento de la cordillera generó un enorme potencial gravitatorio.

- Los diferentes eventos tectónicos causaron fallamiento y fracturamiento generalizado de las rocas y una fuerte

actividad hidrotermal, hechos que han facilitado la alteración del sustrato para facilitar su disección.

- El área continúa afectada por una tectónica activa y una reconocida actividad sísmica.

- La cobertura volcánica reciente que cubre el sustrato fracturado y alterado se constituye en un factor de resistencia diferencial de las rocas.

- Las reactivaciones volcánicas son factores actuales que modifican el paisaje.

- La espesa cobertura piroclástica, dados su peso, las fuertes pendientes y el clima húmedo, contribuye a la inestabilidad de las vertientes.

20.3.5 Clima. La localización del área, sobre los 5° de latitud norte, se ajusta a la posición media de la zona de convergencia intertropical (ZCIT), lo que explica lluvias abundantes con un régimen de distribución bimodal, alto contenido de humedad del aire y un régimen térmico poco contrastado, todas ellas características de un clima ecuatorial típico.

Los parámetros climáticos que varían con la altitud son, gradientes térmicos en las vertientes occidental y oriental de 0,54 y 0,62 °C para la temperatura estabilizada del suelo y de 0,60 y 0,64 °C para la temperatura media anual del aire (Flórez). Hay una disimetría térmica entre las dos vertientes siendo mayor la temperatura media anual del aire en el occidente en menos de 1,5 °C. Las isotermas de 0° para el suelo y el aire están localizadas a 5000 y 4500 msnm respectivamente.

La precipitación es inferior en la vertiente occidental donde los máximos se dan sobre los 1500 msnm con 2900 mm anuales y los 2750 msnm con 2500 mm anuales, pues por el oriente los

máximos se localizan a 1150 msnm con 4100 mm y a 2400 msnm con 3200 mm.

La humedad relativa varía entre el 80 y 85% por debajo de los 1700 msnm y entre el 85 y 90% para alturas superiores. La evapotranspiración potencial ETP es excedida por la precipitación, aunque a nivel mensual puede presentarse un balance negativo en julio o agosto. Junto al río Cauca enero también es un mes seco.

Lo anterior permite deducir que el clima es cálido-húmedo en el área, con una precipitación distribuida que permite permanente humedad de las formaciones superficiales para favorecer los procesos hidrogravitatorios. Sólo una pequeña área al norte del río Guacaica y junto al Cauca, por debajo de los 1000 msnm según Flórez, presenta características ambientales de estacionalidad marcada. Como de diciembre a marzo y julio a septiembre son secos, los procesos hidrogravitatorios son escasos y dominan los de escurrimiento superficial y difuso concentrado.

El clima lluvioso genera una red de drenaje densa, caudalosa y permanente durante todo el año, dominada, por la red estructural. Los ríos mayores avanzan de sur a norte ocupando las depresiones tectónicas a los dos lados de la cordillera, mientras sus afluentes drenan el agua controlados en gran parte por un fallamiento E-W cuasiperpendicular a las fosas tectónicas. Hacia el Magdalena fluyen los ríos Guarinó, Aguacatal, Cajones, Gualí y Azufrado, y hacia el Cauca los ríos Chinchiná, Guacaica, Tapias, Tareas y La Honda.

20.3.6 Suelos. La mayoría de los suelos están desarrollados a partir de piroclastos que muestran una diferenciación alrededor de los 2000 msnm, pues a mayores alturas se da una alternancia de capas de pómez, lapilli, arenas y cenizas mientras por debajo domina la fracción ceniza. Se exceptúan de lo anterior los flancos abruptos de los valles en V del drenaje principal donde aflora el sustrato y los suelos son líticos, y las vertientes bajas, por debajo de 1200 msnm donde

las cenizas han desaparecido o están en avanzada meteorización y los suelos de carácter vértico (por su aspecto arcilloso y el agrietamiento que presentan al secarse) se han desarrollado a partir de alteritas (suelos alterados) asociadas al sustrato o a cenizas.

Entre 4000 y 1800 msnm dominan los andosoles humíferos, de 1800 a 1200 msnm los ferrisoles ándicos y por debajo de los 1200 msnm los suelos ferralíticos de carácter vértico. El contenido de materia orgánica aumenta con la altitud y la cantidad de arcilla disminuye con ésta. La densidad aparente disminuye con la altura mientras la porosidad y permeabilidad aumentan debido a la disminución de arcilla en los suelos.

20.3.7 Efectos de la antropización. Por la inestabilidad potencial del área las formaciones superficiales son susceptibles a la pérdida del equilibrio dinámico por la acción humana. Los efectos más visibles y evidentes se relacionan con la generación o aceleración de movimientos en masa superficiales, para propósitos de construcción de vías o urbanizaciones, y por la deforestación.

Los suelos tropicales andinos son jóvenes. Las laderas, que son las cuestas naturales del terreno, a pesar de su frágil equilibrio, están adaptadas a las condiciones pluviométricas y tectónicas extremas del medio ecosistémico, como las lluvias y sismos de gran intensidad. No obstante, la acción antrópica ha logrado acelerar los ritmos de degradación, por lo que los desastres asociados a amenazas naturales se hacen más viables en los escenarios urbanos. A las lluvias excepcionales o a los sismos intensos suceden escurrimientos superficiales y deslizamientos de tierra, y a estos los flujos de escombros y de lodo.

Ya en el área de estudio, para Flórez resultan de especial importancia las microformas en graderías generalizadas, porque afectan específicamente a los suelos. Aunque las graderías ocurren en condiciones naturales, éstas se intensifican como consecuencia de la deforestación y posterior actividad agropecuaria.

La construcción de vías en la zona se ha caracterizado por la entrega defectuosa de aguas. Dominan los cortes a media ladera afectando estratos de bajo nivel de cohesión. En el caso de los rellenos en zonas urbanas, los hidráulicos han mostrado mejor comportamiento y más adecuadas prácticas, pero la magnitud de los mismos puede estar causando modificaciones importantes en los esfuerzos asociados al flujo de aguas subterráneas. La tala completa de la vegetación arbórea para establecimiento de pastos y cultivos genera una inestabilidad de las formaciones superficiales que se expresa por la gran cantidad de movimientos masales del tipo golpe de cuchara.

Son frecuentes otros movimientos, desde deslizamientos y derrumbes, hasta flujos. El efecto de la tala del café con sombrero, para sembrar en su reemplazo variedades como el Caturra y la Colombia, se inició en las pendientes suaves de la terraza poligénica de Chinchiná, en las cuchillas convexas y en los sectores convexo-cóncavos, para avanzar luego a las vertientes abruptas del sector cóncavo de la región.

La consecuencia de este proceso de tala fue la generación de abundantes movimientos en masa superficiales, del tipo golpe de cuchara, desencadenados en los períodos lluviosos entre dos y cinco años después, siendo más intensos donde la pendiente supera los 25°.