



Frentes de lava del V N del Ruiz. Colombia. Carlos E. Escobar P

# MANUAL DE GEOLOGIA PARA INGENIEROS

Cap 07

## ROCAS IGNEAS

GONZALO DUQUE  
ESCOBAR

### 7.1 GENERALIDADES

Son el fruto de la solidificación del magma, fragmentado o compacto, sobre o en el interior de la corteza terrestre. Esas temperaturas de cristalización oscilan así: para los magmas riolíticos 1000 °C, para los andesíticos 1150 °C y para los basálticos 1250 °C.

La composición mineralógica promedio de las rocas ígneas es: 59% feldespatos, 12% cuarzo, 17% anfíboles y piroxenos, 4% micas y 8% otros minerales.

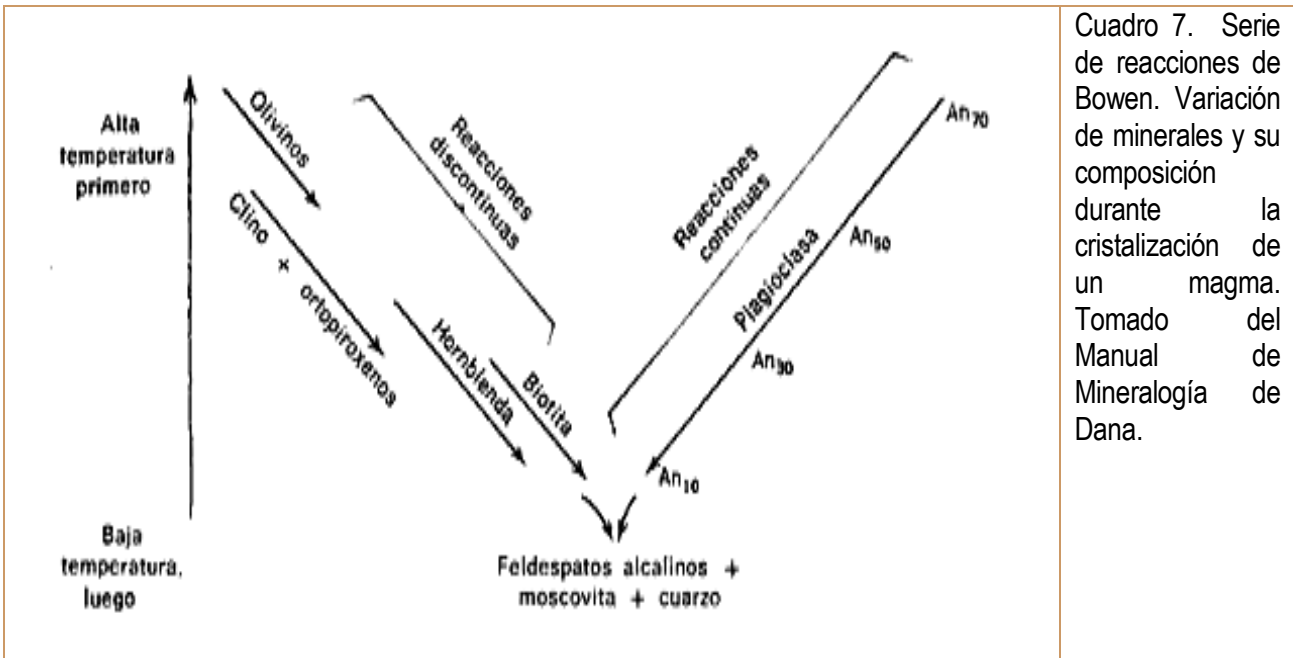
Por el volumen en la corteza, las rocas ígneas representan el 95% contra el 5% de las sedimentarias, aunque estas últimas exhiben mayor afloramiento.

La acción del magma resulta ser la asimilación y fusión de la roca encajante o el fracturamiento y la intrusión de dicha roca. Al fluir a través de ella genera movimientos telúricos por la presión de los gases magmáticos o por la presión del magma mismo.

### 7.2 ASPECTOS FUNDAMENTALES

**7.2.1 Serie de Bowen** Define el orden de separación de los silicatos en un magma que se enfría y por un proceso que transcurre en dos líneas independientes, una continua, y otra discontinua que se desarrollan a la vez (ver Cuadro -7). En la parte final, cristalizan los feldespatos alcalinos, la moscovita y el cuarzo.

Las reacciones continuas se inicial con el feldespato cálcico (anortita) y terminan con el sódico (albita), mientras las discontinuas empiezan con los olivinos, continúan con los clinopiroxenos y ortopiroxenos, luego con la hornblenda y finalmente con la biotita.



Cuadro 7. Serie de reacciones de Bowen. Variación de minerales y su composición durante la cristalización de un magma. Tomado del Manual de Mineralogía de Dana.

Según Bowen, con el enfriamiento del magma aparecen primero los ferromagnesianos y plagioclasas y por último el cuarzo; los ferromagnesianos lo harán en el siguiente orden con base en cambios estructurales: por formación de tetraedros individuales aparece el olivino; por formación de cadenas de tetraedros, la augita; por formación de cadenas dobles y a partir de las cadenas simples anteriores, la Hornblenda, y por la unión de láminas de cadenas dobles, la biotita. Contemporáneamente los iones de calcio van siendo sustituidos por iones de sodio, pues ambos elementos tienen radios compatibles, con lo que las plagioclasas evolucionarán en una serie continua, desde la anortita hasta la albita. Posteriormente se formarán el feldespato potásico, la moscovita y por último el cuarzo y las soluciones acuosas, a la menor temperatura.

Enseña Bowen que los primeros minerales formados son los primeros que se meteorizan y los últimos en cristalizar (micas, ortoclasa y cuarzo) son los más resistentes al intemperismo.

**7.2.2 Temperatura.** La temperatura de cristalización aumenta con la profundidad, por ejemplo el basalto cristaliza a 1250 °C al nivel del mar o a 1450 °C a 30 km. de profundidad, esto pone en evidencia que la presión no parece ejercer gran influencia sobre la temperatura de fusión pues a una presión de 8000 atmósferas correspondientes a 30 Km. de profundidad el punto de fusión varía poco, y su efecto es menor cuando existen volátiles retenidos en el magma, cuyo efecto es contrario al de la presión; la temperatura de cristalización también varía con la composición química del magma, por ejemplo, en la superficie para el magma riolítico es 1000 °C contra 1250 °C del basalto.

**7.2.3 Segregación magmática.** De un magma se pueden separar cuatro productos diferentes, a saber:

- Los sulfuros líquidos, que requieren un magma rico en azufre y son sólo parcialmente miscibles durante el enfriamiento.
- Los silicatos y óxidos comunes, que originan rocas ígneas ordinarias.
- Los componentes gaseosos que escapan arrastrando hacia las paredes ciertos componentes magmáticos.
- La porción residual líquida, rica en volátiles y fuente de las pegmatitas y menas.

Los mecanismos de segregación son: la miscibilidad limitada, la cristalización fraccionada, la diferencia en concentración y la difusión y convección.

La miscibilidad limitada explica la separación del magma en el estado líquido, fenómeno que según se ha comprobado experimentalmente, no existente para rocas ordinarias y sí entre sulfuros y silicatos comunes.

La cristalización fraccionada se evidencia al observar y analizar las rocas ígneas, de conformidad con la serie de Bowen, a partir de un magma basáltico. Cabe aquí el mecanismo de segregación magmática a través de una cristalización fraccionada, ya por asentamiento de cristales formados ya por escurrimiento del magma líquido. La diferencia en concentración debida a la asimilación de las rocas intruidas, realmente ocurre a gran profundidad, cuando la composición de la segunda es favorable a la reacción (no se trata de metamorfismo de contacto).

La difusión y convección han sido estudiadas como posible manera para la diferenciación magmática. En relación con la convección, según Soret, los componentes de una solución próxima a saturarse tienden a acumularse en las partes más frías que están en equilibrio, resultando la concentración inversamente proporcional a la temperatura absoluta.

**7.2.4 Textura.** La textura de una roca alude al tamaño, forma, distribución, densidad y disposición de los granos. La textura de la roca ígnea, por depender de la velocidad de enfriamiento, es también función de la profundidad de cristalización del magma.

En general si se puede afirmar que las rocas con minerales de tamaños heterogéneos son más resistentes que las de tamaños homogéneos. Las rocas de textura granular son más resistentes que aquellas que presentan minerales laminares (micas) y fibrosos alineados (anfíboles).

Si la roca es plutónica, los minerales son resistentes y entabados y su fallamiento a la acción de los esfuerzos se presenta progresivo porque la resistencia de sus componentes varía.

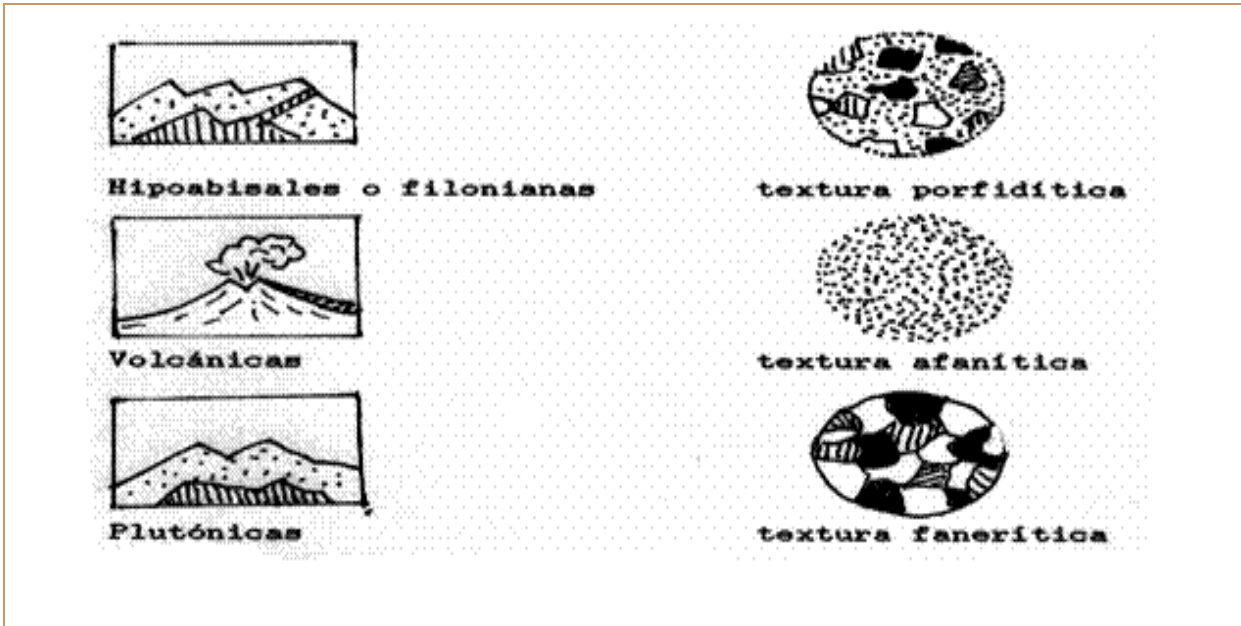


Figura 28. Ambientes de formación y texturas. A la izquierda se ilustran los ambientes de formación de las rocas ígneas y a la derecha las texturas de las rocas en cada ambiente. Adaptado de Leet y Judson

Si la roca es volcánica, los poros disminuirán su resistencia y rigidez pero ganará plasticidad.

La textura de la roca ígnea, por depender de la velocidad de enfriamiento, es también función de la profundidad de cristalización.

En general si se puede afirmar que las rocas con minerales de tamaños heterogéneos son más resistentes que las de tamaños homogéneos. Las rocas de textura granular son más resistentes que aquellas que presentan minerales laminares (micas) y fibrosos alineados (anfíboles).

Si la roca es plutónica, los minerales son resistentes y entrabados y su fallamiento a la acción de los esfuerzos se presenta progresivo porque la resistencia de sus componentes varía.

Si la roca es volcánica, los poros disminuirán su resistencia y rigidez, pero ganará plasticidad.

En general se puede decir que las características ingenieriles más primordiales de las rocas ígneas son su alta resistencia, isotropía, rigidez, fragilidad, densidad, y textura entrabada, mientras los inconvenientes de estas rocas son el diaclasamiento y la alterabilidad de sus minerales.

La textura granular se denomina holocristalina por estar constituida totalmente por cristales, y puede ser equigranular si todos los cristales tienen casi el mismo tamaño, que generalmente varía entre 2 y 10 mm.

Por regla general estas rocas ígneas son isotrópicas pues los minerales están entramados y dispuestos al azar.

Aunque algunas rocas filonianas también presentan textura holocristalina, no resultan equigranulares puesto que se han formado en dos etapas diferentes. Parte de sus minerales han ascendido ya formados, resultando de gran tamaño por los que se les denomina fenocristales, mientras el resto del magma cristaliza más tarde y de manera rápida originando cristales pequeños, generalmente inferiores a 1 mm, que constituyen la pasta de la textura porfídica. Si la matriz domina el conjunto, las propiedades de la roca resultan isotrópicas.

En las rocas volcánicas también suelen presentarse texturas porfídicas con fenocristales rodeados por una pasta de grano generalmente microscópico y a menudo con la presencia de vidrio a causa del enfriamiento muy rápido.

Es frecuente, además, que muestren textura fluidítica y burbujas producidas por el escape de gas. En la medida en que aparezcan minerales alineados, la roca tendrá una mayor ortotropía.

### 7.3 CRITERIOS DE CLASIFICACION

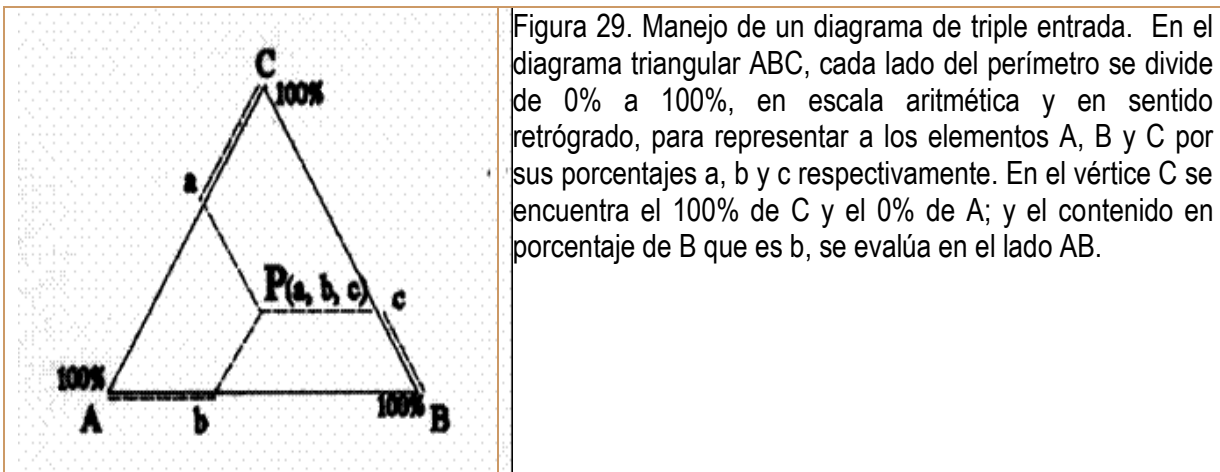
Cuadro 8. Cuadro simplificado de las rocas ígneas.

Composición	Plutónica	Hipoabisal	Volcánica	Características	
1	Granito	P O R F I D O S	Riolita	ácidas	Claras y menos densas
2	Sienita		Traquita		
3	Grano-Diorita		Dacita	intermedias	
4	Diorita		Andesita	básicas	
5	Gabro		Basalto	ultrabásicas	oscuras y más densas
6	Piroxenita		Augitita		
7	Peridotita		Limburgita		
* Silicatos	Textura Fanerítica	Textura intermedia	textura afanítica		

\*Mineral típico: 1 Cuarzo, 2 Ortoclasa, 3 Micas., 4 Plagioclasas, 5 Anfíboles, 6 Piroxenos, 7 Olivinos  
Julio Robledo. Mecánica de suelos, Universidad Nacional, 1990.

Las rocas ígneas se pueden clasificar por el contenido de cuarzo, respecto a tipo de feldespatos (% de feldespatos alcalinos respecto al de plagioclasas), respecto al porcentaje y clase de ferromagnesianos o por la textura.

Para la clasificación debe tenerse en cuenta, además de la composición mineralógica, el ambiente de formación (profundidad), la textura y otras propiedades como densidad y color; a las oscuras y densas que son ricas en ferromagnesianos se les llama rocas básicas o de minerales máficos, mientras que las claras y más ligeras formadas a partir de un magma rico en sílice y aluminio, se les denomina rocas ácidas o de minerales félsicos.



En el diagrama un punto P interior del triángulo es un compuesto que tiene tres coordenadas, a, b y c, leídas sobre cada uno de los lados del triángulo, tal que su suma sea 100%. El punto P (a, b, c) se localiza así: sobre CA marco a, por a trazo paralela al lado BC; sobre AB marco b, por b trazo paralela al lado AC, y sobre el lado BC marco c y por c trazo paralela al lado AB. Las tres paralelas se encuentran en un único punto p, cuando  $a+b+c=100\%$ .

Según la proporción de sílice ( $\text{SiO}_2$ ), las rocas ígneas pueden ser ácidas, cuando este componente se encuentre en exceso y, tras combinarse con todos los demás, queda en cantidad suficiente para cristalizar dando cuarzo; intermedias, cuando hay suficiente sílice para combinarse con los demás componentes, pero no queda en exceso; y básicas, cuando presentan déficit de sílice y no aparece cuarzo. Existen todavía rocas más pobres en sílice que las básicas y son las ultrabásicas, rocas éstas características del manto.

**7.3.1 Clasificación de Streckeisen.** La denominación más precisa de las rocas conforme aumenta el contenido de sílice y cae la densidad, es el siguiente: ultrabásicas, con menos del 45%; básicas, del 45 al 52%; intermedias, entre el 52 y el 66%, y ácidas, más del 66%.

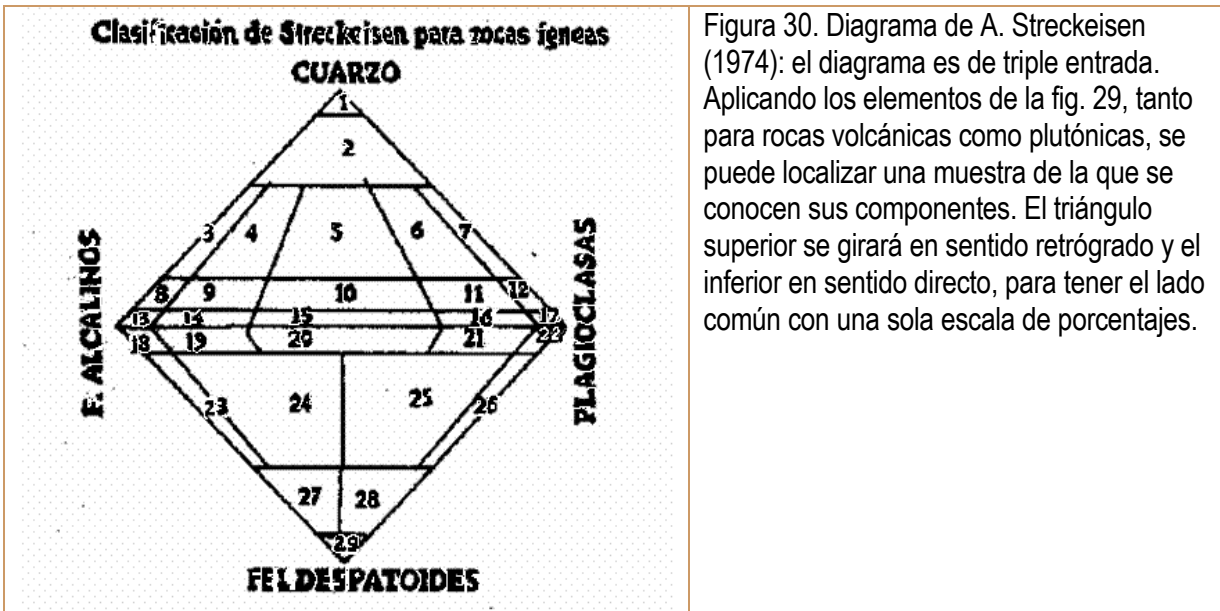


Figura 30. Diagrama de A. Streckeisen (1974): el diagrama es de triple entrada. Aplicando los elementos de la fig. 29, tanto para rocas volcánicas como plutónicas, se puede localizar una muestra de la que se conocen sus componentes. El triángulo superior se girará en sentido retrógrado y el inferior en sentido directo, para tener el lado común con una sola escala de porcentajes.

La fig. 30 muestra hasta 29 rangos de rocas, todas con feldespatos, en donde los 17 primeros tienen, entre sus componentes, al cuarzo y los doce siguientes a los feldespatoides. Para **rocas volcánicas**, (ver fig. 30): 3 riolita alcalina, 4 riolita, 5 riodacita, 6 dacita, 7 cuarzoandesita, 8 cuarzotraquita alcalina, 9 cuarzotraquita, 10 cuarzolatita, 11 cuarzolatita andesítica, 12 cuarzoandesita, 13 traquita alcalina, 14 traquita, 15 latita, 16 latita basáltica, 17 andesita o basalto toleítico, 22 andesita o basalto alcalino, 23 fonolita, 24 fonolita tefrítica, 25 tefrita fonolítica, 26 tefrita olivínica, 27 y 28 foidita fonolítica y tefrítica, 29 nefelinita leucitita.

Para **rocas plutónicas**, (ver fig. 30): 1 cuarzolita (silexita), 2 granitoides cuarzosos, 3 granito de feldespato alcalino, 4 y 5 granito, 6 granodiorita, 7 tonalita, 8 cuarzo-sienita de feldespato alcalino, 9 cuarzo-sienita, 10 cuarzo-monzonita, 11 cuarzo-monzodiorita, 12 cuarzo-diorita o cuarzo-anortosita o cuarzo-gabro, 13 sienita de feldespato alcalino, 14 sienita, 15 monzonita, 16 monzo-diorita o monzo-gabro, 17 diorita, 18 sienita de feldespato alcalino con contenido de foideos, 19 sienita con contenido de foideos, 20 monzonita con contenido de foideos, 21 monzo-diorita o monzo-gabro con contenido de foideos, 22 diorita o gabro con contenido de foideos, 23 sienita feldespatoídica, 24 monzo-sienita feldespatoidea (plagio-sienita), 25 monzo-diorita o monzo-gabro feldespatoideo, 26 diorita o gabro feldespatoideo (teralita), 27, 28 y 29 foidolita.

## 7.4 PAISAJE IGNEO

**7.4.1 Yacimientos.** Las rocas ígneas pueden aparecer en yacimientos primarios cuando no han sido dislocadas por eventos tectónicos, ni transportadas de su lugar de origen; en el caso contrario se hablará de secundarios.

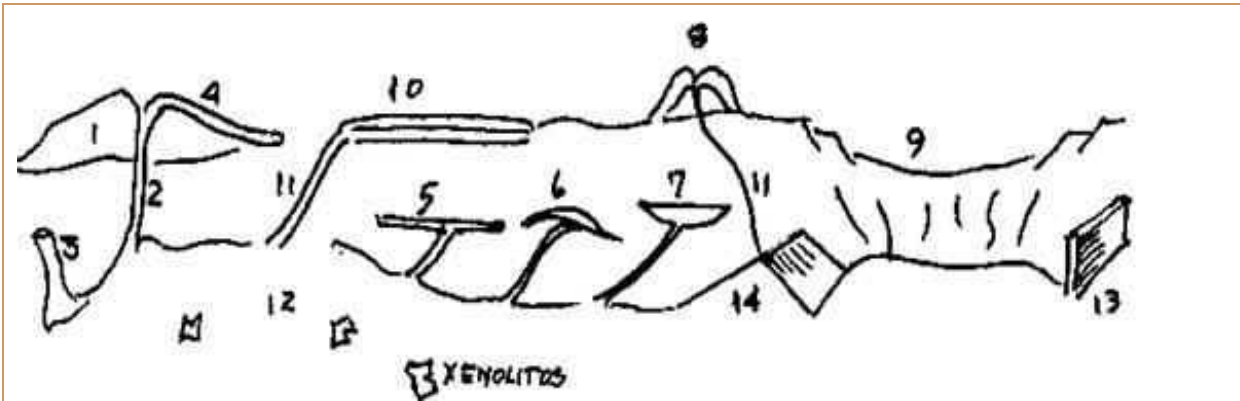


Figura 31. Paisaje ígneo. 1. Volcán, 2. Conducto, 3. Tronco, 4. Frentes lávicos, 5. Manto o placolito 6. Lacolito, 7. Lapolito, 8. Domo, 9. Caldera, 10. Meseta lávica, 11. Fisura, 12. Stock (o batolito) con inclusiones (xenolitos), 13. Dique, 14. Cúpula. Adaptado de La Tierra, Salvat, y de La Tierra, Círculo de Lectores.

Los yacimientos pueden ser masivos como en el caso de los plutones, derrames y extrusiones, o pueden ser de roca fragmentaria como las capas y los depósitos de explosión (mantos volcánicos, tobas e ignimbritas).

**7.4.1.1 Tefras.** En los depósitos de material fragmentado, transportado por el aire, los productos de caída forman capas que siguen las irregularidades topográficas del terreno; aquí los fragmentos pueden endurecerse por percolación del agua en el subsuelo o también pueden mostrar sinterización (soldadura) por calor propio.

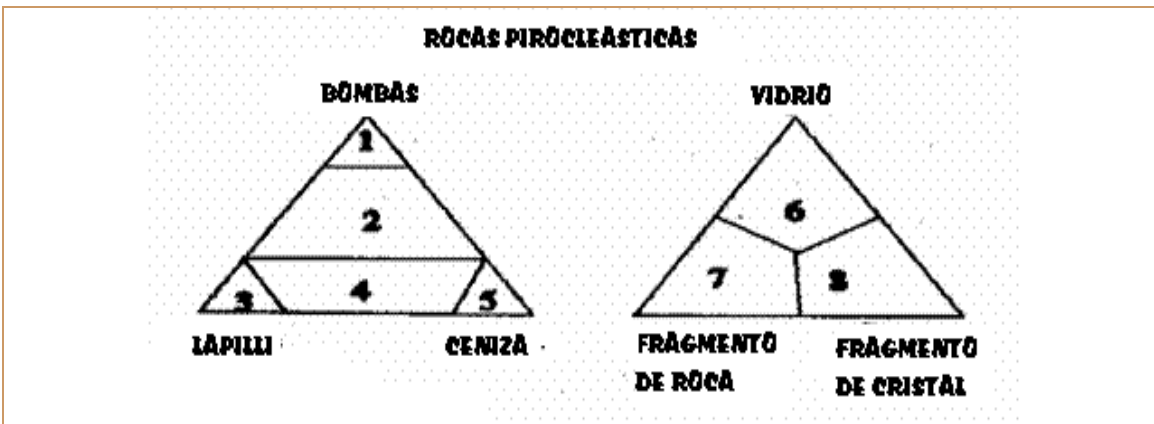


Figura 32. La clasificación de las rocas piroclásticas puede hacerse según el tamaño (izquierda) o la naturaleza de los constituyentes (derecha), así: 1. Brecha piroclástica, 2. Brecha tobácea, 3. Lapillstone, 4. Toba de lapilli, 5. Toba (tuff), 6. Tobas vítreas, 7. Tobas líticas, 8. Tobas cristalinas. Curso de petrología, J. L. Naranjo.

De otro lado los depósitos de flujos piroclásticos se endurecen como tal y las partículas resultan sinterizadas por calor residual de las nubes; así, se llamarán entonces tobas si son depósitos endurecidos de cenizas volcánicas y brechas volcánicas si el depósito endurecido presenta escorias en una matriz de lapilli y cenizas, y finalmente aglomerado o conglomerado volcánico, el primero con bloques angulosos y el segundo con bloques redondeados en una matriz fina, siendo todo el material de origen volcánico



**7.4.1.2 Derrames lávicos.** El depósito de flujos lávicos, endurecidos por enfriamiento, (lavas solidificadas) recibe los nombres de:

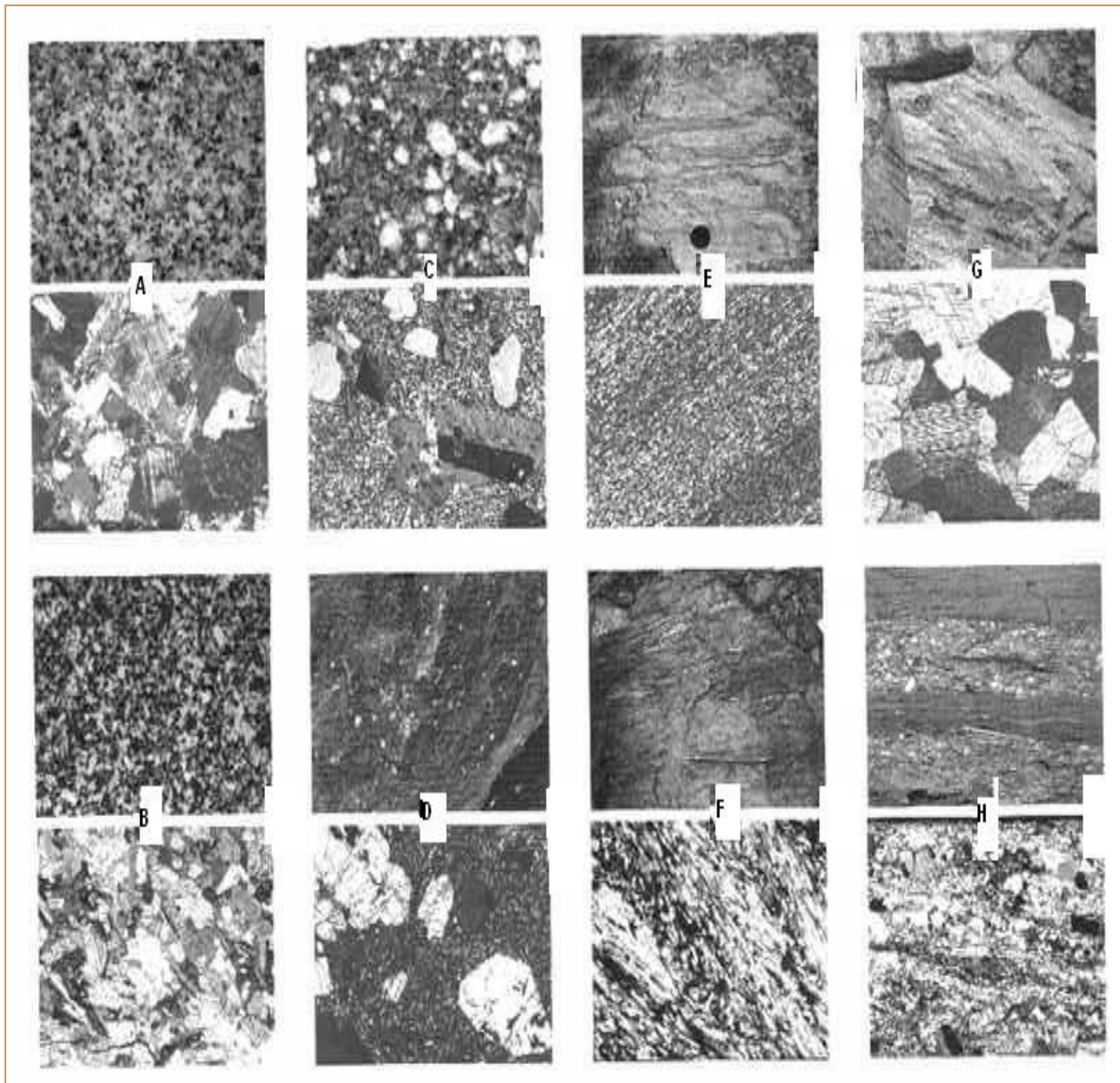


Figura 33. Anexos petrográficos. Se muestran aspectos al natural (Arriba) y al microscopio (Abajo) de diferentes rocas: A granito, B diorita, C pórfido, D basalto, E pizarra, F micaesquisto, G mármol, H gneis. Atlas de Geología. Durán-Gold-Taberner.

- **Lavas columnares.** Los flujos de lavas fluidas generan lavas columnares; en donde las columnas son perpendiculares a la dirección del flujo y tienen sección pentagonal, o hexagonal preferiblemente. Se explica la

disposición de las columnas debido a que las disyunciones de contracción son perpendiculares a la onda térmica de enfriamiento del flujo.

- **Lavas en bloques.** Formadas a partir de lavas viscosas que se fracturan en bloques gracias a la presión de los gases que escapan y al empuje que, desde atrás, generan los derrames más tardíos.

- **Lavas cordadas.** Las generan las lavas fluidas. El retorcimiento del flujo y el temprano endurecimiento de su superficie explican las arrugas externas. Endurecida la costra el interior del flujo aún caliente la lava en su movimiento abandonará la costra favoreciendo la formación de túneles.

- **Lavas almohadilladas.** Son lavas marinas con estratificación de las formas en almohada y fracturamiento radial del conjunto. A través de estas fracturas emergen o aparecen los almohadones o almohadillas de segunda generación que sepultan a los de la primera generación.

**7.4.2 Estructuras internas.** Próximas a la superficie y con desarrollo horizontal está el Placolito o manto, el Lacolito y el Lapolito, los tres son plutones con profundidad superior e inferior conocida. De esta misma categoría pero con desarrollo vertical tenemos el tronco, el dique y la cúpula. De todas ellas las más connotadas son el manto o placolito y los diques. Las estructuras más profundas son el Stock y el Batolito, masas con profundidad superior conocida pero sin profundidad inferior conocida; la diferencia entre uno y otro es solamente el tamaño, si en superficie cubre un área de menos de 100 Km.<sup>2</sup> es Stock y si el área es mayor de 100 Km.<sup>2</sup> se denomina Batolito.

**7.4.2.1 Características de los batolitos.** Hoy se acepta el origen ígneo de los batolitos como también el fenómeno de granitización explicado por soluciones magmáticas que invaden la roca encajante haciendo intercambio iónico; se acepta incluso el origen mixto y la posibilidad de que el batolito se forme en una actividad poligénica. Las características de los batolitos son:

- Están asociados a las cordilleras.
- Se extienden paralelos a las cordilleras.
- Se forman después del plegamiento pero no son causa de ello.
- Tienen techo cóncavo escalonado y presentan xenolitos, es decir, inclusiones extrañas, embebidas en el magma.
- Tienen constitución granítica, granodiorítica o cuarzdiorítica pero homogénea.
- Aparecen reemplazando grandes volúmenes de roca pero no aparecen los volúmenes desplazados, de ahí surge el misterio ígneo: ¿son magmas cristalizados, o por el contrario, son fruto de un metamorfismo de granitización?
- Tienen gran volumen de rocas sin profundidad inferior conocida y una extensión mayor de 100 Km. cuadrados.

Para ilustrar el ambiente, disposición y densidad de estos cuerpos, estos ejemplos de Stocks vecinos al del VN del Ruiz: por el E de la Cordillera Central los de Norcasia (Caldas), Mariquita y Hatillo (Tolima); por el W los de Manizales (edad 56 Ma), Aranzazu y Arma (Caldas). Y como ejemplos de batolitos vecinos al Ruiz: al S los de

Ibagué y El Bosque (Tolima), y al N el Antioqueño (edad 100 Ma) y el de Sonsón (edad 60 Ma), ambos cubriendo 9 mil km.<sup>2</sup>. Según la distribución espacial y temporal, al parecer la actividad emigró de N a S. Merece también mención el batolito de Santa Marta, asociado a la Sierra Nevada, como otros cuerpos menores de la Cordillera Central, los stocks San Diego, La Unión, Altavista, El Pescado, Cambumbia, El Atillo y La Tolda.

**7.4.3 Estructuras vulcanogénicas.** El relieve volcánico es el resultado del magmatismo que tiene un doble carácter, es constructivo y destructivo simultáneamente. El nombre de la acumulación de los productos magmáticos aparecidos en superficie es el de edificio o aparato volcánico cuya vulnerabilidad a los agentes erosivos depende de sí lo constituyen rocas masivas o masas fragmentadas. Será resistente si el proceso magmático es el efusivo, (derrame) tan frecuente cuando el magma es pobre en sílice; y será frágil si la construcción vulcanogénica procede de explosiones (magma pulverizado) lo que resulta frecuente en magmas viscosos. Las estructuras se denominan así:

**7.4.3.1 Mesetas de basalto.** Son estructuras asociadas a derrames fisurales típicos de magmas básicos o fluidos con espesores del orden de los km. y extensiones del orden de los miles de km. cuadrados.

**7.4.3.2 Escudos.** Son construcciones derivadas de un vulcanismo de conducto; el edificio de gran base resulta con pendientes suaves, pues dicha acumulación se asocia a derrames y no a explosiones, es decir, a magmas básicos o fluidos; la construcción es maciza y por regla general está coronada de un lago da lava (cráter), ejemplos, Paramillo de Santa Rosa, Nevado del Huila y Mauna Loa. La suave pendiente del paramillo de Santa Rosa anuncia el tipo de edificio volcánico

**7.4.3.3 Estratovolcanes.** Son edificios altos y grandes como el Fuji, Tolima, Vesubio y Ruiz; de paredes más abruptas que el anterior y menor base, con cráteres parásitos en ocasiones; son el producto de alternadas explosiones y efusiones por lo que su nombre anuncia la alternancia de capas de piroclastos y derrames solidificados. Desde un punto de vista general los estratovolcanes son formas particulares de volcanes compuestos, y se asocian a magmas intermedios.

**7.4.3.4 Conos Cineríticos.** Asociados a magmas viscosos e intermedios, son acumulaciones no muy grandes donde la base y la altura se regula por la fricción del cinder o magma pulverizado que las forma (piroclasto); son de pendiente fuerte y muy vulnerables a la erosión; se forman por fases explosivas y prolongadas.

**7.4.3.5 Domos volcánicos.** Otra estructura de conducto como las anteriores; se asocia a magma viscoso. Este elemento constructivo del relieve, carente de cráter (volcán fracasado) se explica por procesos extrusivos, ejemplos: Sancancio, El Plato, Alsacia, etc.

La presencia de domos volcánicos dispuestos en forma areal, entre Cerro Bravo y el Ruiz, parece anunciar un fracturamiento bidimensional del basamento; también, el alineamiento de domos al este de Sancancio, se correlaciona con la falla Villa María-Termalés del Ruiz

Al examinar la condición equialtitudinal de Sancancio, el alto de Chipre y Villa Kempis (2222msnm), se advierte que la presión litostática causante del levantamiento compresional de los bloques del Escarpe de Chipre, también explica la extrusión magmática del domo Sancancio.

## 7.5 ALGUNOS TERMINOS Y DEFINICIONES

- **Anortosítica.** Masa que se está formando por rocas magmáticas intrusivas ricas en plagioclasa cálcica y algo de olivino. La anortosita es típica de Escudos Precámbricos.
- **Criptocristalina.** Textura más fina que la microcristalina, donde los cristales no pueden verse sin un potente microscopio.
- **Cúmulo-volcán.** Formación obtenida cuando las lavas son muy viscosas y no llegan nunca a desparramarse para formar coladas. Se solidifican a la salida del cráter formando esbeltas agujas o pitones, como en Monte Pelado, Martinica.
- **Diatrema.** Chimenea volcánica que se ha cortado a través de rocas estratificadas, a consecuencia de una erupción explosiva.
- **Felsita.** Roca ácida félsica; nombre genérico de las rocas ácidas útil cuando se hace difícil su diferenciación.
- **Granófiro y aplita.** Pórfidos siálicos ricos en cuarzo y feldespato potásico.
- **Holocristalina.** Textura completamente formada de cristales, sin ningún material vítreo.
- **Igneslunitas.** Flujos piroclásticos nacidos de un flujo lávico colapsado o de flujos de cenizas; generan depósitos de cenizas refundidas llamados tobas.
- **Ignimbritas.** Partículas refundidas y soldadas originadas a partir de una nube ardiente y densa de gran potencia.
- **Lahares.** Avalanchas fangosas de material piroclástico removido por aguas lluvias o de otra procedencia (deshielo, lagos, etc.). Se dividen en primarios, por deshielo y secundarios, por lluvias y ceniza.
- **Lamprófiro y diabasa.** Pórfidos siálicos o félsicos; es decir, ácidos ricos en cuarzo y ortoclasa.

- **Leucócratas.** Denominación para las rocas ácidas o félsicas a causa de sus tonos claros; por oposición, a las básicas se les dice melanócratas, por tener minerales oscuros o máficos.
- **Maar.** Pequeños volcanes formados por los productos de explosiones volcánicas que han sido depositados en forma anular alrededor del cráter.
- **Obsidiana.** Vidrio volcánico; roca oscura y ácida con fractura concoidea y brillo vítreo explicada por el enfriamiento súbito del magma.
- **Placa tectónica.** Porción de la superficie terrestre que se comporta como una unidad rígida simple. Puede estar formada por corteza continental, oceánica o por ambas y se ubican sobre una capa del manto superior. Las mayores son siete (Africana, Euroasiática, Indoaustraliana, Pacífico, Norteamericana, Sudamericana y Antártica).
- **Pegmatita.** Roca ígnea de grano grueso (como el granito) que ha permitido en su interior dar cuerpo a la formación de minerales a partir de soluciones hidrotermales mineralizadas (por ejemplo la ortoclasa y el cuarzo); su composición es siálica o félsica, típica de diques y mantos (placolitos).
- **Piroclastos** (fragmentos de fuego). Pueden ser tefras, si son piroclastos estratificados no consolidados y de ambiente subaéreo, o hialoclastitas si son piroclastos estratificados no consolidados y de ambiente submarino.
- **Pumita.** Roca volcánica ligera con estructura vesicular por acción de los gases; es ácida como la obsidiana y el granito y es producto de la espuma magmática.
- **Rift** (grieta). Aquí la estructura es un hundimiento longitudinal limitado por dos fallas.
- **Zona de Beniof.** Superficie inclinada de actividad sísmica, característica de arcos insulares y márgenes continentales activos. Su ángulo de buzamiento, que es hacia el continente, está comprendido entre 30 y 80.
- **Zona de divergencia.** Zona de separación en un margen constructivo de placas. Región donde dos placas se apartan, como por ejemplo en una dorsal.

## 7.6 EJEMPLOS DE ROCAS ÍGNEAS EN COLOMBIA

Según el Mapa de Terrenos Geológicos de Colombia (Ingeominas, 1986) y otras fuentes, estos son algunos ejemplos de yacimientos ígneos de nuestro país.

La cresta de Malpelo, con lavas almohadillas, brechas volcánicas, diques basálticos y hialoclastitas, representa una porción de la corteza oceánica excesivamente gruesa, cuya antigüedad es de 19 Ma (millones de años).

Un complejo migmatítico asociado al magmatismo básico del proterozoico, se localiza al sur del río Guaviare y presenta variaciones desde alaskitas hasta monzonitas. También se encuentran sienitas en San José del Guaviare de 480 Ma. de antigüedad, y aspecto granítico y holocristalino.

Se pueden distinguir los granitos del migmatítico de Mitú, de finales del proterozoico medio (1500 Ma.). Además, un granito de color rosado-naranja y grano muy fino a fino, aflora al oeste de la población de Pescadero, Santander.

En Cáceres (Cundinamarca) y Puerto Romero (Boyacá), afloran intrusiones básicas gabroides del cretácico, que afectan las sedimentitas. También en el cerro Tragarepas de Pacho (Cundinamarca). Donde la carretera Albania-Bolombolo cruza la quebrada Popala (Antioquia), y en el Cauca sobre los alrededores de Fredonia, aparecen basaltos de textura afanítica a porfídica y composición diabásica.

En la isla de Providencia, las vulcanitas están representadas por lavas alcalinas a subalcalinas como son los basaltos, andesitas y riolitas ignimbríticas; todas asociadas a un vulcanismo en fracturas de la capa del Caribe, ocurrido durante el Terciario.

Un stock diorítico intruye la Formación Quebradagrande, al norte y sur de Heliconia y al este de Ebéjico (Antioquia). Los pórfidos de Irra y los de Salento tienen composición andesítica-dacítica y textura porfídica.

En el Complejo Ofiolítico del Cauca afloran gabros, piroxenitas y serpentinitas. A la altura de Marmato y por los dos márgenes del Cauca, los pórfidos son dacíticos y andesíticos.

Las tobas del Juanambú, Cauca, son depósitos formados por cantos de andesitas, lapillis y cenizas, acumulados bajo un régimen fluvio-lacustre.

En los alrededores de la población de Honda, Tolima, está la formación Mesa del terreno Cajamarca, cuya litología muestra una unidad estratificada constituida por material volcánico -representado por andesitas, dacitas, pumitas y cenizas volcánicas- y un conglomerado de filitas. Le suceden estratos sedimentarios.

En Málaga, Santander, en los alrededores de Onzaga y Páramo de Canutos, se encuentran riolitas grises; algunas tienen textura porfídica y otras, textura de flujo. En el morro del Salvador o el volcán Boyacá, al sur de Paipa, se observan tobas y rocas ígneas andesíticas y pórfidos, andesíticos y dacíticos, caolinizados.

Un gabro piroxénico con textura variable entre porfídica y afanítica, aflora al oriente de Altamira y en la quebrada el Moro, Antioquia. Una pegmatita aflora en la vereda la Laguna, municipio San Antonio (Tolima). Tonalitas del Cretácico afloran en la Sierra de la Iguana, al norte de San Jerónimo, Antioquia.

En los terrenos insulares del Pacífico, tenemos el complejo ígneo de Gorgona con una secuencia de peridotitas, dunitas y gabros, donde se da una secuencia ígnea de rocas máficas y ultramáficas que incluye flujos basálticos almohadillados y rocas tobáceas. También afloran peridotitas al suroccidente de Planeta Rica.

Al sureste de Ibagué vecino al río Combeima, en la vereda Potrerillo, aparece el volcán Guacharacos, cuyo cono está constituido por lavas y productos de explosión, sobreyace el Abanico de Ibagué. Las rocas son basaltos andesíticos y el evento al parecer, Pleistoceno tardío.

Las lavas y pórfidos asociados al volcán nevado del Huila, son andesitas y dacitas.

También en su área de influencia se encuentra el Batolito de La Plata, con rocas dioríticas, cuarzodioríticas y granodioríticas.

## 7.7- EL DESASTRE DE ARMERO A LOS 30 AÑOS DE LA ERUPCIÓN DEL RUIZ

### HIPÓTESIS PARA EL PREFACIO



Imagen 17 A. Fotografía del Volcán Nevado del Ruiz, por Jaime Duque Escobar

Una vez más estas notas para conmemorar una dolorosa fecha como la destrucción de Armero, con la intención de hacer una lectura de la coyuntura previa a la erupción del Ruiz del 13 de noviembre de 1985, de la que se deriven lecciones a partir de las experiencias científicas en torno a un desastre que según mi convicción pudo ser por lo menos mitigado, a pesar de que para entonces el Estado no contaba con políticas ambientales ni de planificación ligadas a la dimensión de los riesgos, y que nuestra sociedad tampoco había desarrollado esa cultura que demanda la apropiación del territorio buscando su adaptación a las amenazas naturales.

Al estar desprovistos de instrumentos que proveyeran la capacidad efectiva de intervenir, se dejó a su suerte a decenas de miles de pobladores expuestos y en sumo grado vulnerables, sobre un escenario severamente amenazado por una erupción claramente anunciada, y donde las acciones locales y nacionales de los diferentes actores sociales, resultaron asimétricas, fraccionadas e insuficientes.

Si bien ese es el fundamento de la hipótesis que presento, a mi juicio existieron otros factores contribuyentes, cuya intervención pudo desmovilizar o neutralizar de forma oportuna los precarios activos del Estado dispuestos para prevenir la tragedia.

Entre ellos, las ideas que me asaltan, discutibles si se quiere por quedar en el plano de las impresiones, es que pudieron más los intereses locales de quienes preocupados por la economía, reclamaban la “desgalerización” de la ciudad – término ahora aplicado en Pasto frente a las crisis del volcán Galeras-, y la irresponsabilidad de funcionarios claves justificándose en flacas y tardías acciones que desatendieron las oportunas recomendaciones de calificados expertos de UNDRO, para terminar calificando de apocalíptico el clamor de notables líderes locales, entre otros factores que finalmente restringieron al ámbito académico las inequívocas señales del volcán, tales como la cenizada del 11 de septiembre de 1985, además de la información obtenida de la historia eruptiva del volcán y del mapa preliminar de amenazas elaborado un mes antes de los acontecimientos, entre otras tareas así provinieran de un grupo inexperto del que hicimos parte al lado de varios compañeros que hoy faltan, tras haber entregado su vida en acciones científicas al servicio de la sociedad.

En dicha historia, la del volcán, el insigne investigador Jesús Emilio Ramírez S.J. en su obra Historia de los Terremotos de Colombia (1983), describía las erupciones del Ruiz de 1595 y 1845, dando cuenta de sendos flujos de lodo que se esparcen en el valle de salida del Lagunilla, hechos que coincidirán con lo acaecido en 1985, sólo que para entonces no existía la población de Armero, la que fuera fundada en 1895.

Los trabajos de Darrel Herd (1974), sobre vulcanismo y glaciación del complejo volcánico sumados a los de Franco Barberi para la investigación del proyecto geotérmico del cual participé, definitivamente le daban cimientos a las proyecciones del riesgo derivadas del reconocimiento histórico del Padre Ramírez.

Si bien el motivo que nos congrega en cada efemérides es reflexionar para construir como colectivo, mi aporte partirá de lo que ya he consignado hace diez años para similar propósito, en “Las lecciones del volcán del Ruiz a los 20 años del desastre de Armero” (2005), de nuevas reflexiones hechas a partir de la lectura de los desastres naturales que continúan surgiendo en la geografía de nuestro convulsionado país, además de las experiencias ya vividas con la coyuntura volcánica en los dramáticos sucesos de 1985, e incluso las acumuladas desde el año 1979 cuando participaba de las investigaciones del potencial geotérmico del complejo volcánico Ruiz T.

## EL ALBA DE LA COYUNTURA



Imagen 17 B. Cráter Arenas del Volcán Nevado del Ruiz. Ingeominas



Para empezar, un poco de historia sobre los antecedentes, correspondiente a un primer período de esas inequívocas señales entregadas por el volcán, el de los meses previos a la erupción freática del 11 de septiembre de 1985, y en especial a la erupción magmática del 13 de noviembre de 1985.

La reactivación del Volcán Nevado del Ruiz se anuncia desde el 22 de diciembre de 1984 con ruidos y sismos locales, olores a azufre y manchas amarillas en la nieve, y las primeras advertencias llegan a Ingeominas iniciando 1985 con las recomendaciones de John Tomblin como responsable de la entonces Oficina de las Naciones Unidas para el Socorro en Caso de Desastres -UNDRO-, invitado para el caso a Colombia. Dos meses después se publica la noticia en el diario local La Patria, donde se dan a conocer los hechos, advirtiendo que la actividad de las fumarolas no era motivo de alarma.

El 23 de marzo de 1985 realizamos un seminario abierto y concurrido en el Aula Máxima de la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, en el que se informa sobre una reactivación del Volcán, sus erupciones históricas y los riesgos, y los posibles eventos esperados frente a una erupción.

Todo esto se consigna en el Boletín de Vías y Transportes N°53, donde se publica el resultado de una labor científica previa adelantada en el volcán por nuestro grupo de trabajo, compuesto por expertos voluntarios, profesores de las universidades Nacional y de Caldas, y miembros del Departamento de Geotermia de la Central Hidroeléctrica de Caldas CHEC, labor cuyo propósito era mapear el cráter activo, describir la actividad fumarólica, generar una información adecuada para dar respuesta a las crecientes inquietudes de la comunidad y sugerir lo que fuera del caso.

En mayo se recibe la visita del científico Minard Hall como delegado de UNDRO, quien reclama de nuevo la atención a las anteriores recomendaciones de dicha organización, expresa su preocupación por la persistente actividad del Ruiz, y de paso señala la necesidad de acometer una gestión para la atención oportuna del riesgo priorizando las zonas habitadas, tras mostrarnos en el lugar el potencial de flujos de lodo del edificio volcánico, asociado a la presencia de los glaciares y materiales de arrastre disponibles.

En julio, cuando ya se empieza a percibir el olor a azufre en Manizales, luego de intentar infructuosamente durante los meses precedentes obtener unos sismógrafos para iniciar el monitoreo del Volcán, y de haber recurrido al Cuerpo Suizo de Socorro para conseguirlos por otra vía gracias a una gestión iniciada por Hans Meyer, se establece Ingeominas aportando los cuatro sismógrafos y justificando su tardanza en la dificultad que tuvo para conseguir las piezas de repuesto; el hecho en sí y la precaria justificación permiten mostrar la importancia que se le daba al asunto en Bogotá.

En agosto llega el científico Bruno Martinelli como respuesta del Cuerpo Suizo de Socorro a una solicitud del Gobernador de Caldas y del Alcalde de Manizales, tras un mes de preparativos en el cual se decidió desarrollar la tecnología buscando adaptar los sismógrafos para operar en ambientes a temperaturas bajo cero grados, lo que suponía hacer uso de la electrónica militar. Indudablemente estos meses perdidos al lado de la inexperiencia que nos asistía, será una de las causas más relevantes en el trágico desenlace de los acontecimientos.

Para información de ustedes, varios de los que actuábamos éramos de algún modo parte del equipo organizado desde 1979 por Ariel César Echeverri, con la misión de investigar el potencial geotérmico del Ruiz; la mayoría ingenieros con 500 horas de instrucción en Geofísica entre los años 1983 y 1984 impartida por eminentes profesores de las escuelas italianas de Nápoles y Pisa, y dos entre los miembros del grupo, con estudios en

Geotermia. Del equipo hacíamos parte entre otros, Néstor García Parra QEPD, la geóloga Marta Lucía Calvache y Bernardo Salazar Arango como miembros del Departamento de Geotermia de la CHEC, además del grupo de geoquímica de aguas termales de la Universidad Nacional liderado por la Profesora Adela Londoño Carvajal.

## LUCES Y SOMBRAS DE LA TRAGEDIA



Imagen 18. Extensión espacial de los eventos del V. N. del Ruiz en 1985. Fuente: [www.tulane.edu](http://www.tulane.edu)

Estando presto a salir Bruno Martinelli para Suiza quien un mes antes había cambiado un volcán de África, el Niragongo, por el Ruiz, este geofísico de enorme dimensión humana debió esperar para la evaluación de la información sismológica recogida en los entornos del antiguo refugio del Ruiz donde se hospedaba, porque al medio día de ese 11 de septiembre se produce una erupción freática en el cráter Arenas, cuyas cenizas llegan a Manizales para despejar las dudas de los más escépticos.

Confieso que si bien desde 1979 estábamos investigando el tema de los volcanes, el evento nos llevó a esa extraña dimensión que señala Lévi Strauss en *Tristes Trópicos*, porque frente a semejante fenómeno estábamos como quien cree saber de un extraño lugar porque colecciona sus imágenes, al que no ha viajado para sentir su compleja naturaleza y experimentar su carácter.

Esta erupción temprana y desconocida que se hace sentir en la ciudad y genera pequeños flujos de lodo que cierran la vía a Murillo, le da la connotación suprarregional al riesgo, y sobre todo detona la ya aplazada confección del mapa de amenazas del Ruiz. De lo ocurrido en ella, a finales de ese mes el equipo de Ingeominas pudo establecer, no sólo la velocidad del pequeño flujo de lodo, sino también la certeza de su ocurrencia en caso de una erupción mayor, dato importante para estimar el tiempo disponible para evacuar a Armero.

Igualmente Ingeominas informa de un represamiento del Lagunillas en la vereda El Cirpe, consecuencia de actividades mineras, un elemento aislado pero fundamental porque vinculará al imaginario de esos pobladores la amenaza temida con la suerte de Armero, así la magnitud de tal represamiento con tan solo 200.000 m<sup>3</sup> no compitiera en tamaño y alcance espacial con los voluminosos lahares históricos.

Tras el evento, se crea el Comité de Estudios Vulcanológicos de la Comunidad Caldense, bajo la coordinación de Pablo Medina Jaramillo con la secretaría científica de José Fernando Escobar Escobar como coordinador de Ficducal, fundación que reunía a las cinco universidades de Manizales y cuyas actas juiciosamente recolectadas dan testimonio de las actividades y esfuerzos de diferentes instituciones y autoridades de la ciudad, buscando darle buen trámite a una preocupante crisis que no encontraba el eco esperado en el gobierno nacional. Como ilustración: cuatro meses antes de la catástrofe aparece la famosa carta de la Jefe de la Oficina de Relaciones Internacionales del Ministerio de Educación, ofreciendo su mediación al gobernador de Caldas para que se le solicite por ese conducto a la Unesco “evitar que el volcán del Ruiz se reactive”.

A finales de septiembre, además del histórico debate del parlamentario caldense Hernando Arango Monedero, calificado de apocalíptico en una respuesta del Ministerio que justifica con un pálido balance sus acciones insustanciales, el citado Comité que también recibe las advertencias de UNDRO sobre la posible ocurrencia de flujos de lodo por el río Chinchiná, entre otros eventos de menor relevancia para Manizales, conoce del Censo efectuado por Corpocaldas a lo largo del drenaje de sus tributarios, y revisa una carta del Gobernador de Caldas para solicitarle al gobierno central acciones para atender la problemática. En ese estado de cosas, recuerdo haber solicitado incluir en ella tareas de preparación para la comunidad expuesta en las zonas de alto riesgo y llamar la atención al gobierno para proveer lo que se requiriera para atender los evacuados, incluyendo entre ellos los que moran dentro de un radio de 10 Km y los pobladores de Armero, además de los censados.

Para entonces, los temidos temores del volcán identificados finalmente por Martinelli y reportados ahora por el equipo de sismología, a juicio de éste resultaban preocupantes; la columna de vapor alcanzaba alturas sostenidas que superaban los 10 km, y se implementaban estrategias informativas que hacían uso del manual de UNDRO para el debido manejo de las emergencias volcánicas. Además, la ya visible exacerbación de la actividad fumarólica era interpretada por nuestro grupo de geoquímica, como evidencia de que se empezaban a generar los efectos decisivos previstos por W. Giggembach sobre el tapón del cráter Arenas, y con ellos una posible reducción en la presión del sistema que conduciría a la erupción.

## EL ESTADO DE LA PREVISIÓN

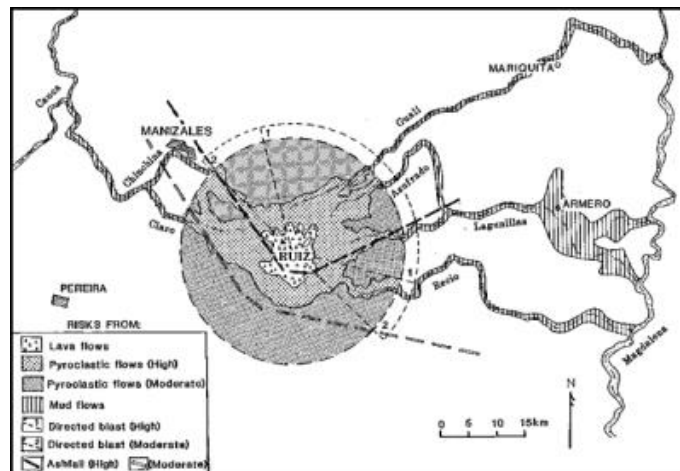


Imagen 19. Versión preliminar del mapa de amenazas. Ingeominas y U. de C.

Entrado octubre, aunque en tan corto tiempo son notables los avances alcanzados en la confección del mapa de riesgos encomendado al equipo de geólogos de Ingeominas y de la Universidad de Caldas, y por la implementación del modelo metodológico y teórico propuesto por el Neo Zelandés W. Giggembach, útil para la evaluación de la dinámica pre-eruptiva en función de la volatilidad variable de los componentes gaseosos de los fluidos volcánicos – según su composición dependiese de carbono, azufre o cloro -, entre otros logros, también faltaba monitorear la topografía del edificio volcánico para advertir las posibles deformaciones causadas por incrementos en el campo de esfuerzos de darse el ascenso del magma.

Entonces se concretan gestiones en el Comité para satisfacer las deficiencias e incertidumbres sobre un proceso urgido de complementos instrumentales y conceptuales, como son traer hasta Manizales a Franco Barberi desde Italia, a Rodolfo Van der Laat desde Costa Rica y a Minard Hall desde Ecuador. Esto se logra, al igual que la traída de Darrel Herd del Servicio Geológico de EE UU, quien en concurrida conferencia en el Teatro 8 de Junio de la Universidad de Caldas desestima la ocurrencia de un desastre en caso de erupción, a pesar de haber señalado en el Comité la importancia de las tareas que hacíamos en virtud del riesgo existente.

Iniciando la segunda semana de octubre, aparece la versión preliminar del Mapa de Riesgos Potenciales del Volcán Nevado del Ruiz, donde además de consignarse la historia del Volcán se señalan las amenazas, entre las que se incluyen: riadas gasopiroclásticas a alta temperatura de alguna severidad con una probabilidad de 2/3 y alcance hasta los 20 km; flujos de lodo de hasta medio centenar de metros de potencia dependiendo del nivel de riesgo de las zonas, asignándoles una probabilidad del 100% en caso de erupción importante, riadas que alcanzaban en dicha cartografía todas las zonas que efectivamente se bañaron de lahares, entre ellas Armero; y también caída de cenizas con igual probabilidad extendiéndose solamente sobre una zona orientada hacia el noreste del cráter, y que por lo tanto excluía de caída de estos piroclastos transportados por el aire a sectores del occidente, omisión para la que sugerimos considerar esa posibilidad por el cambio de la dirección de los vientos regionales entre el verano y el invierno relacionado con la dinámica del clima bimodal andino, lo que se comprobaba con las cenizas del 11 de septiembre anterior y las que alcanzaron a Cartago en 1595.

Aunque hubo discrepancias sobre las características de los flujos piroclásticos, relacionadas no solamente con la distribución y alcance de los eventos, sino también con la inclusión de una erupción dirigida de ángulo bajo o blast, inclusión soportada en un depósito asociado a una erupción de alta energía que se observa sobre el talud de la vía a Murillo, por ser a nuestro juicio un evento poco probable que ameritaría otro tipo de manejo, siempre se consideró probable una erupción de entre 1 y 2 km<sup>3</sup>, con una columna eruptiva vertical y no de colapso, dado el coeficiente explosivo de nivel moderado bajo del magma andesítico del Ruiz, a diferencia de lo que puede esperarse de uno dacítico de nivel moderado alto como el de Cerro Bravo o el Huila, donde la columna eruptiva típica es de colapso, y por lo tanto con nubes ardientes de mayor alcance.

Entre tanto mientras las labores del monitoreo rudimentario continuaban, seguíamos confiados en que a falta de un sistema telemétrico el volcán se anunciaría a distancia y en que uno de nuestros miembros que permanecía en el lugar: el Ingeniero Bernardo Salazar Arango, exponiendo su vida para observar los sismógrafos allá, informaría en tiempo real por radio sobre cualquier evento de carácter sorpresivo: ambos, volcán y hombre, cumplieron a cabalidad, pero la última señal no fue suficientemente interpretada, como tampoco las que ya había dado el volcán anticipadamente desde horas de la tarde.

Hasta aquí la corta extensión espacial y temporal del monitoreo sismológico y geoquímico, donde gravitaba la falta de observaciones de otras variables físicas, como las deformaciones que dependían de medidas geodésicas no implementadas, y de unas observaciones morfológicas, que al no ser sistemáticas a causa de las

dificultades y condiciones ambientales, resultaban insuficientes: todo este acerbo impedía generar una línea base para el volcán, necesaria como instrumento para un diagnóstico adecuado y con suficiente aproximación, para calificar el grado de anormalidad de los fenómenos observados.

Recuerdo cómo un día antes de la erupción, el grupo de geotermia descendió una vez más y por última vez al fondo del cráter Arenas, para tomar otra muestra de los gases intentando capturarlos en las fumarolas antes de que emergieran y entraran en contacto con la humedad del aire, para malograrse. En esta riesgosa expedición que incluía la tarea adicional de observar las eventuales dinámicas morfológicas, no se reportaron cambios significativos del cráter.

Pero al día siguiente, el de la erupción del 13, siendo las 7:30 PM cuando procedíamos a dar inicio al análisis geoquímico en el Laboratorio de la Universidad Nacional, observábamos las muestras obtenidas, con un aspecto turbio inquietante, asunto éste que sumado a los eventos preeruptivos del día, permite calificar la imposibilidad que teníamos de aventurar un pronóstico.

## NOCHE DE MUERTE Y DESTRUCCIÓN



Imagen 20. Armero 1985. En [armeroguayabal-tolima.gov.co](http://armeroguayabal-tolima.gov.co)

Y a los pocos días de haber concluido la elaboración del mapa de amenazas, a pesar de la caída de cenizas que desde horas de la tarde afectaba a Armero, de las llamadas al cuerpo de bomberos de la “Ciudad blanca” efectuada desde uno de los municipios cordilleranos, de haberse informado el inicio de la erupción por la doble vía que se esperaba: la del volcán y la del hombre, los flujos de lodo estimados después en 100 millones de metros cúbicos, que descendieron raudos desde los glaciares del volcán nevado por las dos vertientes cordilleranas, avanzaron arrasándolo todo hasta alcanzar los poblados ubicados en los valles de salida de los ríos, pero la población no fue evacuada.

Por la vertiente del Cauca las riadas de lodo tardaron más de una hora hasta río Claro y parte de Chinchiná, y por la del Magdalena unas dos horas hasta Armero, transitando por la cuenca del Lagunillas, y dos horas hasta las partes bajas de Mariquita primero, para seguir luego a Honda por el Gualí. En Armero los lahares, masas donde participaron agua y sólidos casi por mitades, cubrieron con 2 m de lodos unos 30 km<sup>2</sup> del valle, en varias direcciones incluida la del río Sabandija por el norte, ajena a este drenaje.

Y como me he preguntado ahora: ¿por qué antes del 13 de noviembre no se produjo ninguna acción ante la advertencia expresa de que en caso de una erupción, Armero sería borrado por una avalancha? – esto de conformidad con lo que el mapa oficial mostraba desde su primera versión de inicios de octubre, así fuese preliminar -.

Posiblemente el trabajo que emprendimos a la fecha fue tomado como un simple ejercicio académico, o también la sistemática preocupación por la información que se daba en la prensa, dudosamente calificada de alarmista, terminó con sus voces por apagar las luces de sensibles periodistas, y por dismantelar una estrategia que pudo contribuir a la necesaria apropiación social del territorio para lograr la prevención del desastre.

Calificados expertos de varios países, después de recopilar la información sobre los antecedentes y analizar los hechos, coincidieron en denominar lo ocurrido como “una catástrofe anunciada”, mientras aquí unos y otros rompían sus vestiduras amparados en la imposibilidad de predecir el comportamiento de un volcán, para decir que la suerte padecida por unos 25.000 colombianos fue culpa de la indómita naturaleza y olvidando de paso que los desastres no son naturales, así lo sean los eventos que los generan.

La erupción de 1595, tiene como antecedentes de importancia para estimar la duración de las fases preeruptivas del Ruiz, que la identificación del volcán por los conquistadores, se hizo varias decenas de años antes del paroxismo: hacia 1540 en crónicas desde Anserma y Cartago y hacia 1553 en un mapa desde Victoria Caldas y Mariquita.

En comparación con los eventos históricos del Ruiz acaecidos en 1595 y 1845, la segunda entre las tres erupciones históricas parece haber generado los mayores flujos de lodo, y la de 1985 no solo fue la de los lahares más modestos sino también la erupción de menor magnitud por volumen de lava erupcionado. Si por volumen la erupción del 19 de febrero de 1845, con unos dos km<sup>3</sup> acumulados y vertidos tras 250 años de calma volcánica, pudo duplicar el volumen erupcionado en 1595, para la actual erupción después de 140 años de calma, el volcán podría disponer de al menos 1 km<sup>3</sup> de magma, dado que lo se ha vertido ha sido solo una fracción de dicha unidad.

Respecto a la erupción de 1845, esto: la gran extensión de la fase de calma que le antecede, el tipo y característica de la erupción, al tratarse de un evento de mayor volumen, pero orientado y sin columna vertical notable, sumado a que el volcán no se anuncia con una actividad preeruptiva visible a distancia desde principios del siglo XIX, son hechos que permitirían inferir un taponamiento del cráter por aquella época, situación que no ocurre ahora donde el conducto del cráter Arenas funciona adecuadamente según lo ocurrido en el Ruiz desde 1985.

En cuanto a los ambientes glaciares, mientras las dos primeras erupciones citadas se dieron durante una pequeña glaciación ocurrida entre 1550 y 1850, con picos fríos en 1650, 1770 y 1850, lo que se explica por una baja actividad solar, habrá que tener en cuenta el actual deshielo, donde los 29 km del manto de hielo del PNNN existente en 1979 se han reducido casi cuatro veces, como consecuencia del calentamiento global, fenómeno global donde inciden factores antrópicos (emisión de gases de invernadero y deforestación) y causas naturales (el incremento actual de la actividad solar).

Además, si bien la erupción de 1985 fue calificada de subpliniana o de nivel 3, al haber cobrado unas 25.000 víctimas mortales queda la lección para no subestimar estos eventos, dado que la del Ruiz (1985) con apenas 1/10 de km<sup>3</sup> de magma vertido hasta ahora, por el número de vidas cobradas se ubica en el tercer lugar entre

los desastres volcánicos más catastróficos del siglo XX, después del Tambora (1915) con 56.000 y del Krakatoa (1883) con 36.400 víctimas.

Esto es, hace 30 años a pesar del compromiso de la comunidad científica que asumió tareas, del esfuerzo de la Cruz Roja y de la Defensa Civil locales en materia de prevención, queda pendiente pagar un saldo que únicamente se liquida sin volver a repetir la tragedia de Armero. Y lo digo porque antes de la erupción del 13 de noviembre de 1985, previo al paroxismo de las 9:20 de la noche hora local, desde las 3:05 de la tarde hubo emisiones de ceniza, y antes del anochecer a modo de señal premonitoria la arena volcánica y fragmentos de pómez caían sobre al poblado tolimense, en un ambiente enrarecido por un extraño olor azufrado.

Todo, porque allí como en otros lugares se carecía de una instrucción precisa, de unos medios mínimos y de unos procesos previos de preparación adecuados, para que la población evacuara frente a un evento sorpresivo, el que también daba tiempo al menos para mitigar la desgracia. Esto es, la insuficiencia de la información gravitó, ya que no resultó suficiente la historia y que el mapa no se socializó; también faltaron las instrucciones y el protocolo para evacuar, señalando el por qué, cuándo, cómo y a dónde ir, por lo menos, e incluso, los simulacros del caso como parte de la información intangible.

## EPÍLOGO



Armero antes y después del desastre, en <http://historico.unperiodico.unal.edu.co>

Imagen 21. Armero, antes y después del desastre, en UN-Periódico

Luego de los sucesos de Armero, cuando se dan las frecuentes noticias sobre las crisis de los volcanes Galeras, Huila y Cerro Machín, además de las del Ruiz, no dejamos de preocuparnos a pesar de saber que nuestros científicos de Ingeominas están altamente capacitados, que se hayan hecho estudios sobre el riesgo, y que se tienen mapas de amenaza y un eficiente sistema de monitoreo, y sobre todo, que existe en Colombia una institucionalidad con notable desarrollo en materia de gestión del riesgo.

Esto porque a pesar de la existencia de un Sistema Nacional de Prevención y Atención de Desastres que ha hecho grandes esfuerzos, se ha consolidado y reestructurado, siempre quedan como preguntas: ¿por qué las personas no evacuan y qué falta en términos tangibles e intangibles?

Como evidencia de lo primero, antes del terremoto del Quindío, el Comité Local de Emergencias del pequeño municipio de Pijao, epicentro del sismo, no sólo se reunía periódicamente y producía sus actas, sino que contaba con presupuesto y tomaba sus propias decisiones, tal cual lo hizo el 25 de enero de 1999 y días siguientes, a pesar de quedar incomunicado el poblado y desarticulada su comunidad del contexto regional y nacional.

También, porque lo de haber “galerizado a Armero”, posiblemente habría salvado a muchos armeritas de la hecatombe, del mismo modo que lo han hecho las comunidades indígenas de Belalcazar, Inza, Tesalia y otros asentamientos menores de Huila y Cauca en Abril de 2007, cuando tras las erupciones del Volcán Nevado del Huila se generaron lahares que llegaron al Magdalena, arrasando a su paso cultivos, vías y puentes por el cañón del río Páez, donde unos 5.000 habitantes rivereños expuestos a las avalanchas, previamente habían evacuado a zonas seguras.

La “galerización”, término extraño para entonces y para quienes no saben del Galeras, refuerza la dialéctica del discurso como herramienta estratégica para entender la problemática que existe en Pasto, donde se repite lo que se hizo en Manizales cuando se desdibujó una estrategia comunicativa, con expresiones como “aquí todos éramos vulcanólogos” cuya perversa intensión era detener el proceso de aprendizaje popular, en beneficio del mercado.

La dimensión social, política, cultural y económica de los desastres en Colombia, podría darnos esas respuestas que espero no se resuelvan con nuevos acontecimientos como los que se han vivido fruto de la imprevisión, por no comprender la naturaleza socioambiental de los conflictos en la construcción social del territorio, como lo ha sido el del proceso que explica el desastre de Armero.

Con las leyes de la Cultura, del nuevo Sistema Ambiental y de la Reforma Urbana, y en particular con la nueva Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, la LOOT, que pasa del enfoque municipal al de regiones y asociaciones de municipios, contemplando aspectos estructurales como la gestión integral del riesgo y el manejo responsable del medio ambiente, hoy se contempla la dimensión de los desastres y se consagra el derecho de la participación ciudadana; pero urge implementar la gestión del riesgo, primero, asegurando las acciones misionales de institutos como el Ingeominas y las de complemento de las autoridades ambientales; segundo, avanzando con los procesos de ordenamiento del territorio previendo los usos conflictivos del suelo; y tercero, fortaleciendo los procesos pedagógicos de apropiación social soportados en la participación comunitaria y de la sociedad civil.

Al respecto, mientras la Previsión a corto plazo que se relaciona con los procesos geodinámicos y afines, incluye las tareas de observación sistemática de variables físicas y el desarrollo de modelos, tal cual lo hace ahora el Observatorio Vulcanológico de Manizales, para la Previsión general que se materializa en mapas de amenaza para estudiar los riesgos naturales y asegurar el uso sostenible del suelo, en materia de cartografía y de acciones de las autoridades territoriales, aún encontramos profundas deficiencias, al igual que en los procesos del ordenamiento del territorio por no ser concebidos con enfoques del orden socioambiental.

Esta loable y muy difícil labor para el caso de los volcanes activos, la han desarrollado oportunamente los científicos de Ingeominas en los tres segmentos de los Andes colombianos; pero en los planes de desarrollo y ordenamiento territorial, y de ordenamiento ambiental de cuencas, sabemos hoy se obliga a contemplar la dimensión regional y a aplicar los mapas de amenaza durante los extensos períodos de calma sísmica y



volcánica, para proceder con una ocupación no conflictiva del suelo en términos de exposición a la amenaza y mitigación de riesgos de esta naturaleza.

Me temo que con una visión de corto plazo y la baja propensión a las acciones estructurales señaladas, estaremos desaprovechando el esfuerzo de muchas instituciones del país, como la de nuestros observatorios vulcanológicos y sismológicos que han perdido algunos de sus miembros, comprometiendo la suerte de la Nación y exponiendo a varias comunidades vulnerables de Colombia en lugares donde el riesgo no resulta racionalmente mitigable.

Manizales, Noviembre 11 de 2015.

—

Nota: Este documento preparado para la conmemoración del trigésimo aniversario de la mayor tragedia socio-ambiental de la historia de Colombia, incluye algunos ajustes a la publicación inicial de 2005 y a Las Lecciones del Ruiz a los 25 Años del Desastre de Armero.

---

## Lecturas complementarias

### ***El territorio del Gran Caldas, “La Tierra del Café”***

El Gran Caldas conformado por Caldas, Risaralda y Quindío, es un territorio mestizo, biodiverso pluricultural y mediterráneo, ubicado en el centro occidente de Colombia, sobre la Ecorregión Cafetera. En el Eje Cafetero, Huila y Antioquia, se produce 1/2 del café colombiano; siguen en su orden, los departamentos de Tolima, Cauca, Valle del Cauca y Santander, que juntos producen 1/3.

Ver en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/46561/1/elterritoriodelgrancaldas.pdf>

### ***Un diálogo con el Paisaje Cultural Cafetero PCC.***

La declaratoria del Paisaje Cultural Cafetero, impone retos para que las transformaciones ambientales y desarrollos socioeconómicos, proporcionen un medio ecológicamente sólido compatible con nuestra cultura. El desafío que emplaza a nuestras instituciones a emprender políticas públicas y sectoriales, concertadas con las comunidades de base, debe partir de la Federación Nacional de Cafeteros y acompañarse por el Estado.

Ver en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/7038/1/gonzaloduqueescobar.201230.pdf>

### ***Temas rurales para la ecorregión cafetera.***

La situación rural donde gravita una profunda brecha de productividad, no podrá soportar las consecuencias del TLC con los EE.UU.: los ingresos caerán entre la cuarta parte y la mitad, como consecuencia de haber castigado al sector rural para buscar en el negocio ventajas para otros sectores agroindustriales de la economía colombiana. La solución partirá de diferenciar la producción rural y artesanal de la industrial, y de incorporar ciencia y tecnología al lado de la cultura, para elevar los ingresos rurales.

Ver en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/4505/1/gonzaloduqueescobar.201157.pdf>

### ***Relevancia del Ferrocarril Cafetero por Caldas.***

El Ferrocarril Cafetero, un proyecto de gran impacto para Colombia, que al articular el Sistema Férreo Central con el el Tren de Occidente, permite implementar la multimodalidad para llegar a los puertos marítimos, repotenciando el Puerto

Multimodal de La Dorada y detonando una plataforma logística mediante un puerto seco en el Km 41, plataforma que se extendería desde La Virginia hasta La Felisa.

Ver en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/12525/1/gonzaloduqueescobar.201417.pdf>

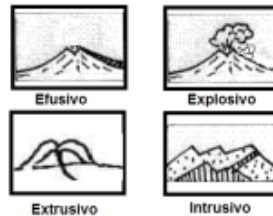
### Gestión del riesgo natural y el caso de Colombia

Sobre la necesidad de reducir los efectos de los desastres por la vía de la vulnerabilidad en Latinoamérica y El Caribe, y particularmente en Colombia. El SINPAD y las amenazas naturales en Colombia. La gestión ambiental, los riesgos específico y de cúmulo, y relaciones con CTS.

Ver en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1699/1/gonzaloduqueescobar.20089.pdf>

## TEXTOS U.N.: GEOMECÁNICA Y GEOLOGÍA:

### PHYSIOGRAPHY AND GEODYNAMICS OF THE ANDES IN COLOMBIA



**Fisiografía y geodinámica de los Andes de Colombia.** Duque Escobar, Gonzalo and Duque Escobar, Eugenio (2016) [Objeto de aprendizaje – Teaching Resource] – See more at: <http://www.bdigital.unal.edu.co/52776/>

### GEOMECHANICS: SOIL MECHANICS



**Geomecánica.** Duque-Escobar, Gonzalo y Escobar Carlos-Enrique (2016). Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. <http://www.bdigital.unal.edu.co/53252/>

### GEOTECHNICS FOR THE ANDEAN TROPICS.



**Geotecnia para el trópico andino.** Escobar Potes, Carlos Enrique and Duque Escobar, Gonzalo (2016) N/A, Manizales, Colombia. – See more at: <http://www.bdigital.unal.edu.co/53560/>

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  
(1867-2017)



## MANUAL DE GEOLOGIA PARA INGENIEROS

Gonzalo Duque-Escobar

MANIZALES, 2016

<http://www.bdigital.unal.edu.co/1572/>

### Presentación

### Contenido

[Cap01](#) Ciclo geológico  
[Cap02](#) Materia y Energía  
[Cap03](#) El sistema Solar  
[Cap04](#) La Tierra sólida y fluida  
[Cap05](#) Los minerales  
[Cap06](#) Vulcanismo  
[Cap07](#) Rocas ígneas  
[Cap08](#) Intemperismo ó meteorización  
[Cap09](#) Rocas sedimentarias  
[Cap10](#) Tiempo geológico

[Cap11](#) Geología estructural  
[Cap12](#) Macizo rocoso  
[Cap13](#) Rocas Metamórficas  
[Cap14](#) Montañas y teorías orogénicas  
[Cap15](#) Sismos  
[Cap16](#) Movimientos masales  
[Cap17](#) Aguas superficiales  
[Cap18](#) Aguas subterráneas  
[Cap19](#) Glaciares y desiertos  
[Cap20](#) Geomorfología  
[Lecturas complementarias](#)  
[Bibliografía](#)

### Anexo 1: Agua y Clima

<http://www.bdigital.unal.edu.co/54046/>

### Anexo 2: Calentamiento global en Colombia

<http://www.bdigital.unal.edu.co/3673/>

### Anexo 3: Desafíos del Complejo Volcánico Ruiz – Tolima

<http://www.bdigital.unal.edu.co/9484/>

### Anexo 4: Economía para el constructor

<http://www.bdigital.unal.edu.co/1698/>

### Anexo 5: Gestión del riesgo

<http://www.bdigital.unal.edu.co/47341/>

### Anexo 6: Geotecnia para el trópico andino

<http://www.bdigital.unal.edu.co/53560/>

### Anexo 7: La Luna

<http://www.bdigital.unal.edu.co/1663/>

### Anexo 8: ¿Para dónde va el Magdalena?

<http://www.bdigital.unal.edu.co/51046/>

### Anexo 9: Túnel Manizales

<http://www.bdigital.unal.edu.co/2046/>

### Anexo 10: UMBRA: La Ecorregión Cafetera en los mundos de Samoga

<http://www.bdigital.unal.edu.co/50853/>

### Anexo 11: Mecánica de los suelos

<http://www.bdigital.unal.edu.co/1864/>

[El Autor:](#) Gonzalo Duque-Escobar

**HOME:**

<http://www.bdigital.unal.edu.co/1572/>