

Fronteras de la República de Colombia. <http://www.cce.gov.co>

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA



FISIOGRAFÍA Y GEODINÁMICA DE LOS ANDES DE COLOMBIA

Por Gonzalo Duque Escobar * y Eugenio Duque Escobar **

Notas sobre algunos aspectos fisiográficos y de la geodinámica de Colombia, de interés para la ecorregión cafetera, un territorio del centro-occidente colombiano que comprende a Caldas, Risaralda, Quindío, Norte del Valle del Cauca y Norte de Tolima. El contenido, la historia del territorio, las rocas de Colombia, nuestros suelos y ríos, las amenazas naturales y el clima, además del Riesgo Sísmico y Volcánico en la Ecorregión Cafetera y la problemática de los bosques en la Región Andina.

La fuente principal ha sido el Manual de Geología para Ingenieros <http://www.bdigital.unal.edu.co/1572/> un texto elaborado para los alumnos de la Maestría en Enseñanza de las Ciencias y del programa de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Colombia en la sede de Manizales, cuya primera versión se publica en 1998, la segunda en 2003 y la más reciente en 2014.

* Ingeniero Civil. U.N. de Colombia. Profesor U.N.

<http://godues.webs.com>

** Geólogo. U de Caldas. Profesor U.N.

http://scienti.colciencias.gov.co:8081/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0000068284

FORMACIÓN DEL SECTOR NORTE DE LOS ANDES

La edad del universo se estima en 15.000 millones de años (Ma) y la de la Tierra en sólo unos 4.600 Ma. Varios isótopos tienen períodos de desintegración comparables con la edad del universo. Por la concentración relativa de los mismos, así como de los productos de su desintegración, al investigar las rocas terrestres y lunares y sustancias meteóricas del sistema solar, se ha concluido sobre la edad del planeta. La escala de tiempo geológico sirve para ordenar y mostrar los acontecimientos importantes, en la evolución del Planeta.

De forma similar, los investigadores han hecho lo propio, para inferir los procesos de formación de nuestro territorio, acopiando otra información complementaria, como la evolución de las especies y del paisaje mismo.

El tiempo geológico puede ser absoluto o relativo; el primero se define por la desintegración de elementos radiactivos, principalmente en rocas ígneas y a veces en sedimentarias o en fósiles, en tanto que el segundo se determina por la superposición relativa de las rocas sedimentarias o por razonamientos paleontológicos.

Antes de entrar en Colombia, este es el contexto:

Precámbrico.

– El arcaico o período inferior del Precámbrico es de amplia duración (2000 millones de años) desde que se originó la corteza hasta hace unos 2500 millones de años.

Los materiales del período afloran en Finlandia, Canadá y el Cañón del Colorado, donde las rocas del sistema son fundamentalmente gneis, esquistos, granitos y pórfidos. Formadas ya las primeras cuencas marinas, y constituidos los primeros núcleos emergidos con carácter de archipiélagos, se producen los primeros geosinclinales y numerosas orogenias y ciclos volcánicos, para que se formen las antiguas placas tectónicas. A finales del arcaico se difunden por los mares los primeros organismos unicelulares, vegetales y animales.

– El algónquico es el período superior del Precámbrico formado por el lapso comprendido desde hace 2500 hasta 570 millones de años. Los materiales del algónquico (esquistos, cuarcita, areniscas, tillitas, basaltos y pórfidos) aparecen discordantes sobre los del arcaico. Se inicia con la formación de territorios permanentemente libres de agua sobre los que circulan ríos y aparecen en el mar organismos pluricelulares (estromatolitos), cuando la temperatura media era aún bastante elevada, pues sólo a finales del período cae por debajo de 100°C para dar paso a una glaciación.

Paleozoico.

– Durante el cámbrico, período que representa la base del Paleozoico, y que dura unos 70 millones de años, permanecieron emergidas las tierras plegadas por la orogenia Herciana. Fueron importantes dos geosinclinales en Europa, mientras uno ya existía en América sobre la costa Pacífico y otro en lo que hoy ocupan los Apalaches. No hubo en el período orogénesis actividad magmática importante, pero sí una importante transgresión marina, la formación de los tres grandes océanos actuales y una fauna exclusivamente marina (algas, celentéreos, crustáceos, branquiópodos y esponjas).

– En el ordovícico-silúrico la orogenia caledoniana separa notables convulsiones marinas y los océanos invaden gran parte de las tierras emergidas. A la fauna marina invertebrada (graptolites, trilobites y cefalópodos) se suman los primeros peces acorazados (ostracodermos y placodermos), siendo la flora exclusivamente marina (algas).

Si del ordovícico las rocas más abundantes son depósitos de cuarcitas, pizarras y calizas con fósiles, las del silúrico son las pizarras. El ordovícico transcurre desde hace 500 hasta 435 millones de años y el silúrico desde hace 435 hasta 395 millones de años.

– Durante el devónico hay gran extensión de los continentes y un clima seco y caluroso. En el período de 48 millones de años, desde 395 hasta 347 millones de años, se dan la formación de la atmósfera actual y las últimas fases de la orogenia caledoniana. En esta época persiste la existencia del continente Noratlántico separado del de Gondwana por el mar de Tetis.

Aquí se da un hecho muy importante: la conquista del medio terrestre o aéreo por los seres vivos, pues además del gran desarrollo de los peces acorazados y la desaparición de los graptolites, aparecen los anfibios y los primeros insectos terrestres. La flora se instala en los bajos mares interiores, los cursos de agua y los pantanos; aparecen psilofitales y riniales y a continuación los primeros helechos arborescentes y las primeras criptógamas.

– Durante el carbonífero se dan intensos y repetidos movimientos verticales de las tierras emergidas; paroxismo de la orogénesis herciniana y formación de potentes series sedimentarias englobando restos vegetales. Prevalecen las tierras emergidas de carácter pantanoso ricas en bosques que fragmentan el océano Tetis y termina el período con una glaciación.

El clima era tropical en el hemisferio norte y frío en el sur. El carbonífero transcurre a lo largo de 67 millones de años, desde hace unos 347 hasta hace 280 millones de años. De este período de fauna marina rica, en el que aparecen los primeros peces ganoideos y difusión sobre tierra firme de artrópodos y batracios (anfibios), los fósiles animales más característicos son los goniatites.

– El pérmico, sistema superior del paleozoico, transcurre desde 280 millones de años hasta 230, antes del presente. Aparecen en él dos facies bien determinadas, la marina y la continental; la primera de tipo calcodolomítico mientras la segunda está caracterizada por areniscas rojas y evaporitas.

En él se verifica una progresiva retirada de los mares y una pequeña elevación de los Urales y a lo largo del Golfo de Méjico, y también el inicio de la separación de Madagascar.

En este período se difunden los primeros reptiles y se desarrollan los batracios gigantes, se desarrollan los peces ganoideos y desaparecen los trilobites y tetracoralarios. En flora se desarrollan las gimnospermas y hay predominio con formas gigantes de helechos, cordaites y equisetos.

Mesozoico.

– Se inicia la era mesozoica con el período triásico, que transcurre a lo largo de unos 35 millones de años. En el triásico se producen profundas fracturas, de las que sale lava como la enorme colada basáltica del Paraná que ocupa 1 millón de Km².

Es el predominio de la regresión marina que favorece la formación de potentes sedimentos a causa de una intensa erosión en los continentes. Sobre la biosfera se observa cómo se afirman y difunden los reptiles diferenciados pero sin que existan todavía anfibios gigantes. En los mares se desarrollan peces ganoideos, seláceos y varias especies de invertebrados, además de algas características, mientras en los continentes hay una difusión de coníferas tipo araucaria y numerosas xerófilas.

– El jurásico, es un período con regresiones y transgresiones marinas, con predominio de tierras emergidas y grandes pantanos en Europa, representado especialmente por calizas y margas.

El sistema que transcurre desde hace 195 hasta 141 millones de años, bajo un clima tipo tropical, es propicio para que los reptiles (voladores, nadadores y terrestres) alcancen su máximo desarrollo.

En los mares se encuentran reptiles gigantes (ictiosaurios) y gigantescos ammonites, mientras en los continentes predominan las coníferas y cicadáceas, aparecen las primeras angiospermas monocotiledóneas, las primeras aves, los mamíferos marsupiales y los grandes reptiles (dinosaurios, pterosaurios, etc.).

– El cretácico es un período caracterizado por oscilaciones verticales de tierras emergidas. En el cretácico inferior el geosinclinal de Tetis continúa recibiendo sedimentos y su océano alcanza su máxima extensión separando tierras meridionales y septentrionales, mientras a finales del período se da una intensa actividad volcánica que origina extensas llanuras de lava; se verifican también el primer paroxismo de la orogenia alpino- himalayana y movimientos orogénicos en América (Andes y Montañas Rocosas).

En estos 76 millones de años (desde hace 141 hasta hace 65 millones de años) aparecen los antepasados directos de las aves, se desarrollan los marsupiales, hay todavía dominio de reptiles hasta el final de la era y se desarrollan las dicotiledóneas, las monocotiledóneas y las coníferas de géneros actuales.

Cenozoico.

– El paleógeno o terciario temprano, que comprende el ciclo paleo-eo-oligoceno, es el inicio de la era cenozoica que dura 42 millones de años. Se inicia con la transgresión de Tetis que separa Australia del Asia Insular y las dos Américas, continúa con extensas convulsiones que afectan las cálidas aguas de Tetis cuando las dos Américas están separadas.

Termina el paleógeno con un segundo paroxismo de la orogenia alpino-himalaya, con la formación de las cadenas costeras de las Rocosas, el Caribe y algunas zonas de América Central. Se desarrollan los mamíferos y las aves y aparecen en los mares nuevas especies de foraminíferos y los característicos nummulites.

A las especies de tipo tropical se unen las de tipo subtropical y a mediados del paleógeno aparecen nuevas especies de mamíferos. En el oligoceno aparecen los hipopótamos, los lemúridos, los libérridos y los insectívoros, y sobre el medio subtropical, en zonas de montañas, se desarrollan bosques de caducifolios.

– El neógeno o terciario tardío (mio-plioceno) transcurre desde 23 millones de años hasta hace 1.8 millones de años. En él se produce el más importante paroxismo de la orogénesis himalayana y a final del período se restablece la unión entre las dos Américas, desapareciendo definitivamente Tetis del Asia centro-oriental.

Se abre el mar Rojo y el clima empieza a diferenciarse según las regiones, en templado y lluvioso para el norte y en cálido y húmedo para el sur. Durante el mioceno aparecen los simios antropomorfos y algunas especies terrícolas que preludian la forma humana, en fauna se difunden los proboscíferos y desaparecen los nummulites; la flora, de tipo cálido templado, muestra extensos bosques de planifolios, palmeras y plantas tropicales.

– Durante el plioceno, Insulindia y las Antillas toman el aspecto actual, se forma la península italiana y el mar Rojo y además aparecen los antepasados directos del hombre; en fauna se desarrollan los simios antropomorfos y aparecen los antepasados de las actuales especies animales (caballos, felinos, aves, etc.); en flora la característica son bosques de planifolias y numerosas especies subtropicales.

– El cuaternario (neozoico), que se inicia hace 1.8 millones de años, con el pleistoceno, empieza con el asentamiento de la orografía actual y las glaciaciones. Durante los avances del hielo se establecen puentes de tierra que unen al Asia con América y el Asia Meridional (Insulindia). En este período aparece el hombre actual.

Durante las glaciaciones los bosques de coníferas llegan al Mediterráneo y en los períodos interglaciares las especies de clima cálido suben a Europa. En el holoceno se forma el estrecho de Gibraltar y de Mesina y se hunden los puentes intercontinentales. Además se constituyen las actuales razas humanas, se descubre la agricultura, el pastoreo y la metalurgia, y se da paso a la civilización actual.

¿Y los Andes de Colombia?

Según IRWING, Earl. Evolución Estructural de los Andes más Septentrionales de Colombia, Boletín Geológico, Vol. XIX, Nº 2, Ingeominas. Santafé de Bogotá, 1971, esta es la secuencia de eventos que describen la historia de la geología de Colombia:

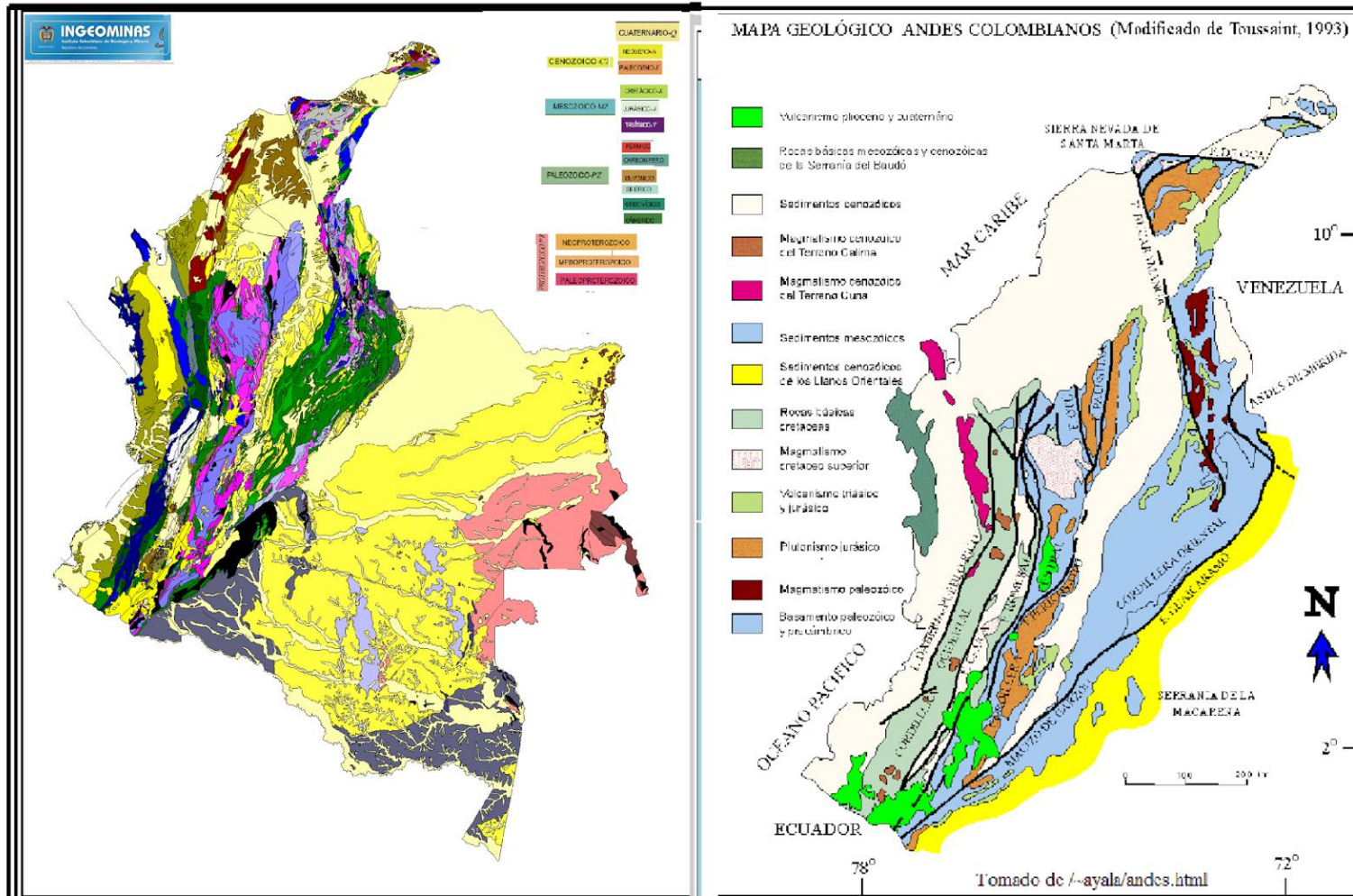


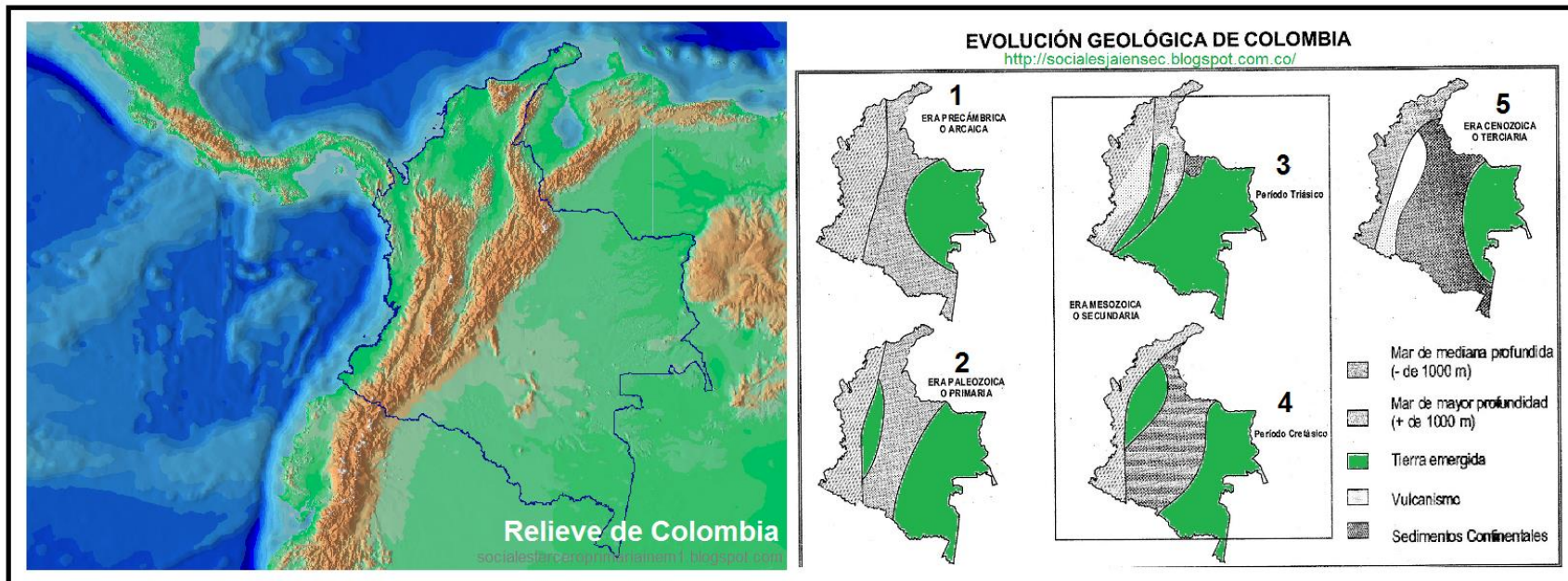
Imagen: Mapa Geológico de Colombia. Izq: Ingeominas 1996, en synmap.com. Der: Modificado de TOUSSAINT, J. F. – 1993 en ayala@mat.unb.br.

- Precámbrico. Se da la formación del escudo Guayanés. (Este cratón, tras haber sido plegado al principio, ha pasado por un largo período de estabilidad). La Macarena muestra rocas del precámbrico.
- Paleozoico. Se da la formación del cinturón ancestral de la cordillera Central (formación Cajamarca) a partir de un primer eugeosinclinal al occidente del escudo, y del sector SE de la Sierra Nevada de Santa Marta a partir de una intrusión granítica (batolito de Santa Marta) en la orogenia del ordovícico.
- Mesozoico. A partir de un segundo eugeosinclinal en el exterior del cinturón Paleozoico, se forma, por el costado occidental, la Cordillera Occidental, además el sector NW de la Sierra Nevada, en la orogenia del Jurásico.
- Cenozoico. Por depósitos del escudo y de la cordillera Central, se forma la cordillera Oriental por flexiones marginales fuertes, fallas inversas locales y fallas de rumbo en sus bordes, sobre un miogeosinclinal en la orogenia del Mioceno, o del Terciario tardío.
- Terciarios tardío y Cuaternario actual. Originadas las tres cordilleras (la Central en el Paleozoico temprano, la Occidental a mediados del Mesozoico y la Oriental en el Terciario tardío) se experimentan varios movimientos epirogénicos en el Terciario tardío (Plioceno) y en el Cuaternario actual (Holoceno), e intrusiones magmáticas, dando como resultado su actual relieve.
- Ciclos ígneos. Se distinguen varios ciclos ígneos:
 - Los plutónicos o intrusivos: en el Precámbrico tardío, Ordovícico tardío, Paleozoico tardío, del Triásico al Jurásico, también en el Cretácico y otro continuo durante el Mio-Oligo-Eoceno.
 - Los ígneos volcánicos: de lavas máficas submarinas en las dos series eugeosinclinales del Paleo y del Mesozoico y las silíceas diferenciadas del Triásico al reciente.
- Dos ambientes. Dividida la Cordillera Central por una línea, y mejor aún, tomando como referencia la Falla Romeral, al este los Andes colombianos resultan supersiálicos y al oeste parecen formados sobre la corteza oceánica, por lo que probablemente son supersimáticos (basaltos y ofiolitas, en general).
- Basamento de Panamá. El basamento del Istmo de Panamá se originó probablemente por un levantamiento de la corteza en el Triásico en asociación con la Orogenia Andina (faunas marinas abisales y batiales homólogas y faunas de norte y sur América en sedimentos del Terciario superior idénticas).
- Contraste costero. La zona costera del Caribe muestra evidencias de erosión y desgaste, el resto del continente está poco desgastado. Estos hechos confirman el crecimiento del continente entre el Paleo y Mesozoico extendiéndose y desplazándose hacia el Pacífico.

- Depósitos Terciarios. El espesor de los estratos terciarios, en los llanos, llega a 4 Km. sobre la zona occidental o piedemonte de la cordillera Oriental y el cretácico aflora 100 Km. al este de dicho margen, En Honda ese espesor llega a los 7 Km. y en Montería hasta los 9 Km., mientras la profundidad de las cuencas sedimentarias del Atrato – San Juan, y del río Cauca, se aproximan a los 4 Km.
- Cinturón cristalino de la cordillera Central. El basamento de la cordillera Central es el Grupo Cajamarca, en donde las rocas sedimentarias han sufrido metamorfismo al final del Paleozoico.

Fragmentos tomados del Manual de Geología para Ingenieros. <http://www.bdigital.unal.edu.co/1572/>

ANEXO:



Imágenes: Relieve de Colombia, en: <http://socialesterceroprimariainem1.blogspot.com.co> y Evolución del sector Norte de los Andes, en: <http://socialesjaiensec.blogspot.com.co/>

LAS ROCAS DE COLOMBIA

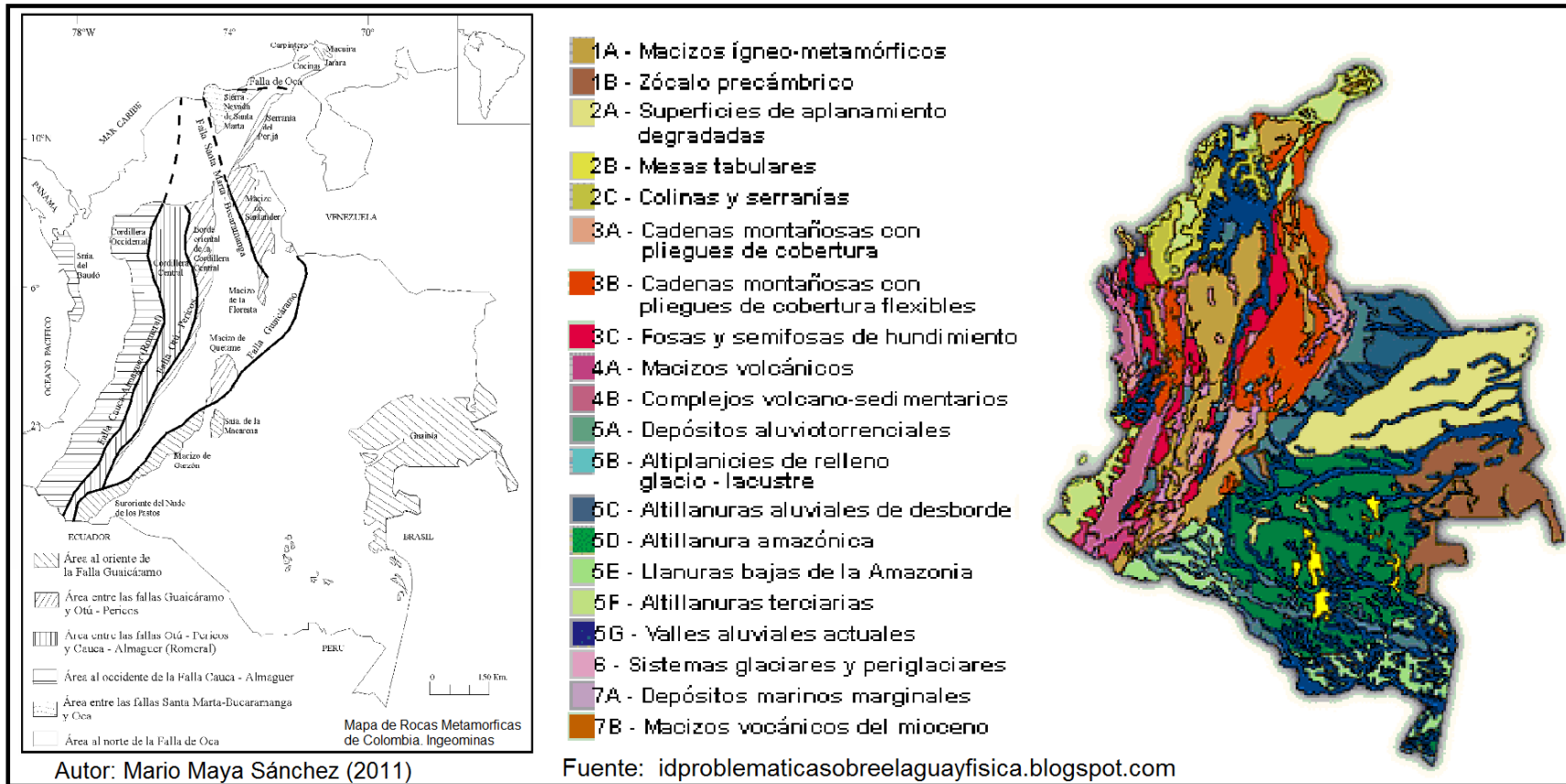


Imagen: Áreas geográficas para la distribución de las Rocas Metamórficas, según Mario Maya, INGEOMINAS (2001). Y Mapa geológico de Colombia, en cidproblematicasobreelaguayfisica.blogspot.com

Resumen: Es indudable la importancia del conocimiento de los yacimientos de las rocas no sólo para el ingeniero y el constructor quienes deben conocer la competencia de los macizos rocosos y las fuentes de los materiales pétreos entre otros elementos, sino también la que tiene la comprensión de la distribución de las diferentes rocas, por parte de agrónomos, agrólogos y biólogos, dada su relación con los ecosistemas. Imagen: Mapa geológico de Colombia, en <http://www2.sgc.gov.co/> y Áreas geográficas para la distribución de las Rocas Metamórficas, según Mario Maya, INGEOMINAS (2001).

El territorio de Colombia, grosso modo comprende varias provincias geológicas, unas asociadas al ambiente continental y otras al oceánico, así: por su afinidad continental, al este del sistema cordillerano, más allá del sistema de fallas del margen llanero, aparece la provincia paleoproterozoica Amazónica; y la provincia mesoproterozoica Grenvilliana entre dicho sistema de fallas y el Sistema Romeral; y por su afinidad a los fondos oceánicos, por el poniente del anterior margen, primero una lábil Provincia neoproterozoica denominada Arquía y más allá la Occidental de edad cretácica asociada al Andén del Pacífico y al margen caribeño hasta la Sierra Nevada, provincia que se conecta al norte con la de La Guajira.

A continuación ejemplos de rocas ígneas y de sedimentitas en Colombia, y distribución de las metamorfitas en seis áreas geográficas del país, según el investigador Mario Maya INGEOMINAS (2001). Este material es un extracto tomado de Manual de geología para ingenieros de la Universidad Nacional de Colombia, que se puede consultar en <http://www.bdigital.unal.edu.co/1572/>

Rocas ígneas

Las rocas ígneas 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.

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 porfidítica 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 porfidítica.

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 porfidítica 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 porfidítica 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.

Rocas Sedimentarias

La meteorización y erosión producen partículas de diverso tamaño que son transportadas por el hielo, el agua o el aire hasta las zonas de mínima energía donde se acumulan. Una vez en reposo los sedimentos sufren procesos que los transforman en rocas sedimentarias.

Estas rocas se han formado por la consolidación o litificación de sedimentos. Los factores que determinan el tipo de roca son fundamentalmente la fuente de los sedimentos, el agente que los erosiona y transporta, y el medio de deposición y forma de litificación.

En el volumen de los primeros 15 km de la corteza las sedimentitas son el 5%; el 95% restante son rocas ígneas, pues las metamórficas dominan los ambientes profundos. Por el área de afloramiento las sedimentarias son el 75% de la superficie el resto son ígneas, sin quedar margen de significación para las metamórficas.

Como ejemplo de sedimentitas en Colombia tenemos:

En la Serranía de la Macarena, la región norte exhibe una sucesión rítmica de grawacas turbidíticas de grano fino a grueso y color gris. Hay calizas delgadas fosilíferas y shale gris oscuro, arenitas finogranulares cuarcíticas muy micáceas, que gradan a arenitas arcillosas cuarcíticas y shale arenoso rojo. Son sedimentitas, además, todas las secuencias del paleozoico temprano.

En la región de los Llanos Orientales hay remanentes de coberturas detríticas del precámbrico con arenitas de cuarzo blancas y grises de grano fino a medio, bien gradadas, en estratos delgados a gruesos intercalados con arcillolitas grises, verdes o rojas. En la región de la selva amazónica las arenitas rojas oscuras se intercalan con tobas y materiales vulcanoclásticos. En la margen llanera al sur-oriente de Bogotá, las sedimentitas, que son de ambiente pericontinental, están constituidas por calizas, arcillolitas rojas, areniscas, conglomerados, arcillolitas y limolitas grises fosilíferas.

En la Sierra Nevada se encuentran además de pelitas, ruditas y calizas del paleozoico, además pelitas y tobas del mesozoico y coberturas locales pelíticas y calcáreas.

En la región del Cerrejón se presenta una secuencia clástica a vulcanoclástica granodecreciente: los sedimentos de grano muy fino conglomerados, areniscas, lodolitas con intercalaciones calcáreas, localmente sedimentitas rojas del mesozoico temprano, y otra secuencia, de hasta 1000 metros de espesor, de arenitas, lodolitas, calizas y rocas comúnmente ricas en materia orgánica depositadas en ambientes predominantemente marinos durante el mesozoico tardío. Más reciente se presenta otra secuencia clástica de arenitas y lodolitas con mantos de carbón, depositada en ambiente marino transicional y continental durante el cenozoico, (terciario). Su espesor alcanza 1000 metros.

En la península de la Guajira hay lodolitas rojas, verdes y grises, arenitas pardas, conglomerados, calizas y lutitas calcáreas. Al NW hay un supraterrano terciario marino. En la baja Guajira una secuencia de arenitas y limolitas en la base y, localmente, capas delgadas de carbón ricas en materia orgánica y calizas glauconíticas depositadas en ambiente transicional a marino, a finales del

cretácico. Igualmente, una secuencia de arenitas y lodolitas de colores rojizos suprayacida por otras oscuras de ambiente continental a marino, del mesozoico tardío. En la región de Santa Marta se tiene una cobertura pelítica y calcárea y, localmente, mantos de carbón.

En Córdoba hay turbiditas con fragmentos de serpentinitas, shale, chert y tobas. Más al sur y al occidente del río Cauca, hasta Cartago, hay turbiditas fino a grueso granulares, chert, calizas y piroclastitas básicas. Continuando desde Cartago hacia el sur, la estratigrafía se repite pero presenta metamorfismo. En Santander del Norte hay una sedimentación predominantemente samítica y pelítica y localmente calcárea que reposa discordantemente sobre el basamento ígneo-metamórfico. Entre Tunja y Bucaramanga, región de la Floresta, hay una sedimentación pericontinental durante el paleozoico temprano que se reanuda posteriormente. Las sedimentitas son conglomerados, arcillolitas generalmente amarillentas, limolitas y areniscas.

Al sur de Ibagué, y hasta Mocoa, hay sedimentitas del paleozoico medio y superior con sedimentos calcáreos epicontinentales del mesozoico. Entre los Llanos orientales y el sistema de Romeral, en la región que comprende Cundinamarca y Santander, hay sedimentitas clásticas, en desarrollos faciales, y calizas bioclásticas y evaporitas. Se trata de una sedimentación epicontinental que culmina con el levantamiento progresivo a finales del mesozoico.

La región de los valles del San Juan-Atrato y la costa Pacífica al sur de Buenaventura, presenta shales, arenitas, conglomerados turbidíticos y calizas en menor proporción. Localmente se encuentran afloramientos de arenitas cuarzosas. La región del Baudó muestra piroclastitas básicas, arenitas turbidíticas, shale, chert y calizas. Al norte, la región del Sinú tiene turbiditas, hemipelágicas (carbonatos y silicatos) y depósitos marinos terrígenos.

-

Rocas Metamórficas

En su trabajo titulado “Distribución, Facies y Edad de las Rocas Metamórficas en Colombia”, INGEOMINAS (2001) el Investigador colombiano Mario Maya Sánchez, quien recoge y complementa la valiosa información existente en la materia, señala que en el territorio nacional los efectos del metamorfismo han sido registrados, al menos cuatro veces en el Precámbrico (Pe), tres más en el Paleozoico (Pz), una vez en el Mesozoico (Mz), y un último evento en el Paleógeno (Pg).

Para la variable temporal: esta sería la notación:

Pe = Precámbrico; Pe4 = Mesoproterozoico; Pe1 = Paleoproterozoico; Pz = Paleozoico; Pz1 = Paleozoico temprano; Pz2, = Paleozoico medio; Pz3= Carbonífero superior; TR= Triásico; K = Cretácico; KT= Cretácico temprano; Kt = Cretácico Tardío; Pg = Paleógeno (Terciario temprano);

Luego desarrolla una clasificación en “unidades metamórficas” para mostrar la distribución actual de dichas rocas, obteniendo seis áreas geográficas limitadas por grandes fallas, denotando la facies del metamorfismo, con los siguientes símbolos:

C/PP: Facies Ceolita1 y Prehnita – Pumpellyta. AN: Facies Anfibolita. G: Facies Granulita.

Las seis áreas geográficas identificadas por el Investigador Maya, son:

- 1) Al oriente de la Falla Guaicáramo,
- 2) Entre las fallas Guaicáramo y Otú-Pericos,
- 3) Entre la Falla Otú-Pericos y la Falla Cauca-Almaguer (Romeral),
- 4) Al occidente de la Falla Romeral,
- 5) Entre las fallas Oca y Santa Marta – Bucaramanga
- 6) Al norte de la Falla de Oca.

Veamos las unidades, con la respectiva notación según la Facies metamórfica y Tiempo geológico asignado, información que se consigna en el mapa anexo.

Área al oriente de la Falla Guaicáramo

Región de la Guainía: Unidades ANb (Pe1, Pe2, Pe4); PP/EV (Pe4)

Macizo de Garzón: Unidades G/AN (Pe4)1; G/ANm (Pe4)1

Serranía de la Macarena y región suroriental del Nudo de los Pastos: Unidad G/AN (Pe4)2

Entre las fallas Guaicáramo y Otú-Pericos,

Macizos de Santander y la Floresta: Unidades ANb (Pe4, Pz1); AN/EV (Pe-Pz1); AN/EVbm (Pe-Pz1); EV (Pz1)1

Macizo de Quetame: Unidad EV (Pz1)2

Borde Oriental de la Cordillera Central: Unidades AN/G (Pe4); EV (Pz1)3;

Entre la Falla Otú-Pericos y la Falla Cauca-Almaguer (Romeral),

Cordillera Central: Unidades G/ANm (Pe-Pz) ; ANm (Pe-Pz2) ; AN (Pe-K) ; ANb (Pz2,Pz3) ; EVb (Pz2,Pz3) ; EVm (Pz2-KT) ; AN/EV(Pz2) ; AN/EV (Pz-TR) ; AN/EVm (Pz-KT) ; AN (Pz-TR) ; E/EaA (KT) ; C/PP(KT)

Al occidente de la Falla Romeral,

Suroccidente de la Cordillera Central, Cordillera Occidental: Unidades C/PP/EV (Kt-Pg)1; C/PP/EV (Kt-Pg)2

Serranía del Baudó: Unidad C/PP (Kt-Pg)

Entre las fallas Oca y Santa Marta – Bucaramanga

Cinturón de la Sierra Nevada: Unidades G/ANm (Pe4) 2; AN (Pz)

Cinturón de Sevilla: Unidades AN (Pz3); AN (P)

Cinturón de Santa Marta: Unidades AN (Kt,Pg); EVb (Kt,Pg)

Al norte de la Falla de Oca.

Sector al oriente de la Falla Simarua: Unidades ANm (Pz,Pg); PP (Kt)

Sector al occidente de la Falla Simarua: Unidad EVb (Kt-Pg)

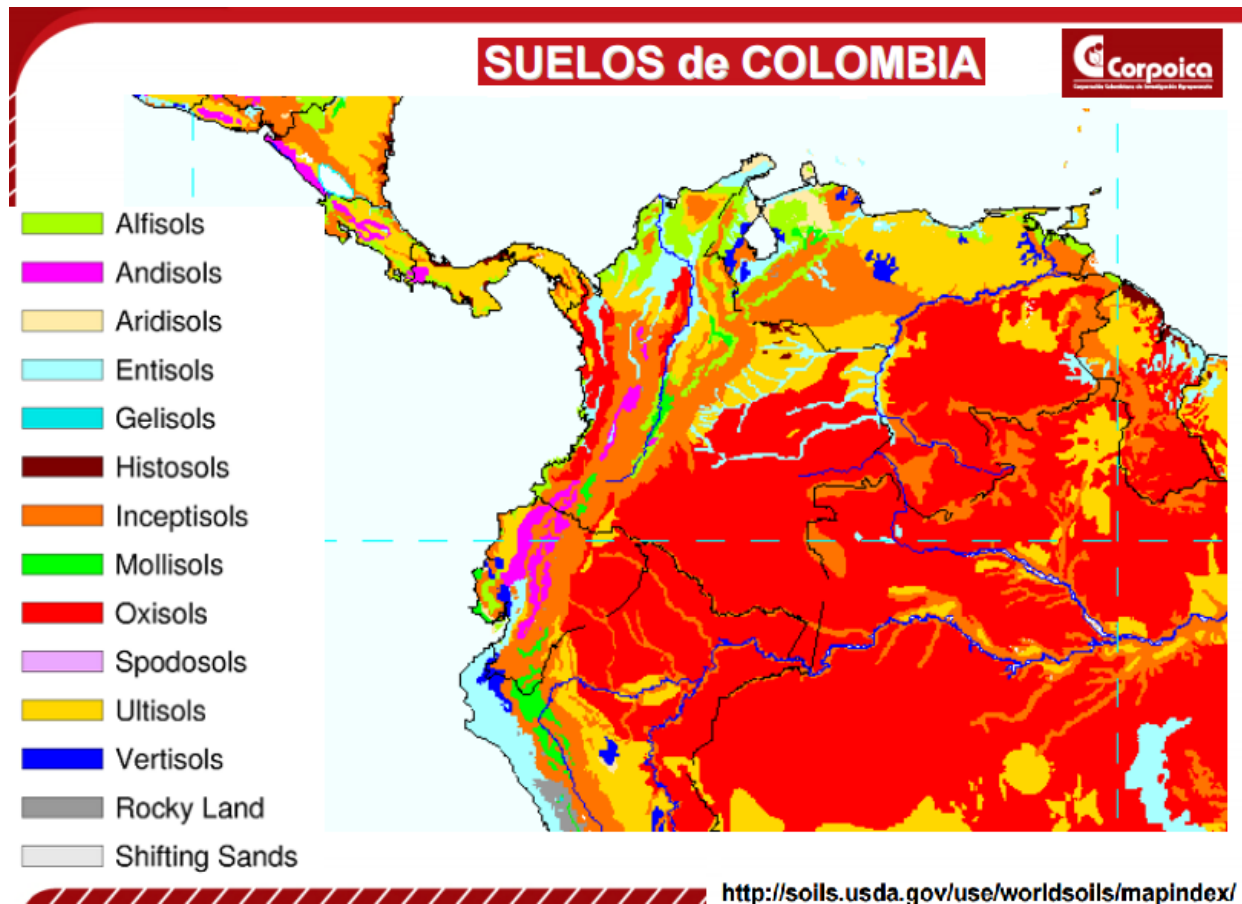
-

* Extracto tomado de Manual de geología para ingenieros <http://www.bdigital.unal.edu.co/1572/>

Relacionados:

- Rocas ígneas – Manual de geología para ingenieros. Capítulo 7: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1572/>
- Rocas metamórficas- Manual de geología para ingenieros. Capítulo 13: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1572/>
- Rocas sedimentarias- Manual de geología para ingenieros. Capítulo 9: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1572/>
- Distribución, Facies y Edad de las Rocas Metamórficas En Colombia. Mario Maya Sánchez (2002) Instituto de Investigación e Información Geocientífica, Minero – Ambiental y Nuclear Ministerio De Minas y Energía Colombia. INGEOMINAS.
- Mapa Metamórfico de Colombia. INGEOMINAS 2001 Mario Maya Sánchez y Edgar Vásquez Arroyave INGEOMINAS, 2001. <https://es.scribd.com/doc/164787592/Mapa-Metamorfo-de-Colombia-INGEOMINAS-2001>

LOS SUELOS DE COLOMBIA



Resumen: Los elementos biofísicos que conforman las regiones naturales de Colombia, cambian: mientras en el ecosistema de sabana tropical semi-seca de la Orinoquía aparecen los suelos más viejos del país, en la húmeda Amazonía y en el lluvioso Andén del Pacífico, las altas precipitaciones afectan su desarrollo; entre tanto, en la región Caribe donde la asimetría de varios factores como relieve y clima explica contrastes como los de la Guajira respecto a la región Momposina, también en la región Andina gracias al régimen bimodal de climas variados, paisajes de montaña, altiplanicies y valles, se han formado suelos en su mayoría son jóvenes, de mediana fertilidad natural y ligera acidez; finalmente, mientras en la región insular del pacífico no hay presencia de suelos en el archipiélago la mayoría son fértiles y bien drenado.

El suelo se forma por la descomposición de las rocas por acción del aire, del calor, del frío y de la lluvia. Las cordilleras andinas son jóvenes y sus suelos no tienen la madurez ni la estabilidad de los suelos de la plataforma africana. Una hectárea en la sabana de Bogotá es 24 veces más productiva que una hectárea promedio en los Llanos Orientales, suelos, estos últimos, lateríticos (presencia de óxidos).

Igualmente los del Chocó y la Amazonía, están lixiviados por las intensas lluvias. De estas dos regiones sus suelos tendrán vocación para la ganadería extensiva, para la agricultura de subsistencia y para la silvicultura. En la zona andina se demandan prácticas para un uso y manejo adecuados de sus suelos inestables pero productivos.

Mientras los suelos de la alta cordillera Central, gracias a la precaria precipitación, pese a su altitud también son 10 veces más productivos que los de la altillanura, los del Magdalena Centro aunque podrían duplicar en productividad los de la Sabana, sin sistemas de riego y de control de inundaciones no se pueden aprovechar donde el NAF sea bajo al estar afectados por inundaciones que expresan el descontrol hídrico y pluviométrico de la cuenca del Magdalena.

Para el caso del Cauca, pese a la moderada precipitación anual y conveniente topografía, una fuerte limitante es la mala distribución de las lluvias a lo largo del año y la otra la presencia de bauxitas. En el Eje Cafetero, los suelos que se han formado bajo la influencia de cenizas volcánicas, presentan mucha profundidad y fertilidad media.

En la ecorregión del Eje Cafetero, los mejores suelos son los francos con un Ph entre 5 y 6, que tengan más del 8% de humus, y que por ser francos, al poseer una buena proporción de arena, limos y arcillas, presentan permeabilidad moderada y penetrabilidad de las raíces. Aunque en su mayor proporción provienen de cenizas volcánicas andesíticas relativamente jóvenes, dada su baja evolución son en general de fertilidad natural moderada. La mayor demanda de estos suelos, es fósforo (P), potasio (K) y nitrógeno (N), y en menor proporción elementos como Mg, Ca, S, Fe, Zn y Cu.

En suelos de pendiente moderada con usos agropecuarios, se requieren prácticas agroforestales y silvopastoriles. En fuertes pendientes, si el uso es para la agricultura, se deben evitar cultivos rotativos, y en algunos tenerse en cuenta prácticas de conservación (bosques, productores y no productores).

Por su alta productividad, en Colombia sobresalen las siguientes regiones:

- Valle del Cauca (desde Cartago hasta Cali).
- Valle del Magdalena (alto, medio, bajo).
- Valle del Sinú y San Jorge (unidad que incluye a Urabá).

- Altiplano Cundiboyacense (incluye la sabana).
- Región entre Túquerres e Ipiales.
- Zona Cafetera (desde Caicedonia a Andes).
- Región entre Sonsón y Félix hasta Roncesvalles y Las Hermosas.

Ahora, para comprender lo anterior, veamos los factores de evolución y formación de los suelos, donde intervienen la condición biodiversa de la zona ecuatorial, el clima y relieve andino, la variedad litológica y juventud de nuestras montañas:

– El material Parental.

La porosidad, la permeabilidad, la constitución, etc., de la roca madre. La roca subyacente determina buen número de las características de los suelos y sobre todo de los suelos jóvenes, mientras los horizontes superficiales se forman a partir de materiales de aporte, ajenos a la roca subyacente. Las propiedades químicas del material tienen una gran influencia sobre la evolución del suelo. Los suelos formados sobre rocas ricas en bases que a menudo presentan arcillas tipo illita o montmorillonita, son ricos en humus y más fértiles, mientras las rocas ácidas pueden dar origen a suelos con arcilla tipo caolinita o vermiculita, en general más lixiviados y más pobres que los anteriores.

– Tiempo (cronológico).

Se puede hablar de suelo maduro o joven, pues el clímax en la formación de un suelo demanda de decenas a miles de años. La duración puede intervenir como un factor de diferenciación, de tres maneras: a) las propiedades del suelo varían en función de la hora (temperatura, contenido de CO₂ atmosférico y actividad de elementos vivos. b) En función de la estación, el contenido de agua, de nitrógeno nítrico, el pH, etc. c) Por último, en el transcurso de los años, pues un suelo pasa por las fases de juventud, madurez y senilidad. Además el clima de la Tierra cambia a largo plazo.

– Topografía.

Porque de divisorias, vaguadas, valles y pendientes del terreno, depende su drenaje y la orientación de la ladera, siendo más favorable la que recibe el Sol m- Topografía. Porque de divisorias, vaguadas, valles y pendientes del terreno, depende su drenaje y la orientación de la ladera, siendo más favorable la que recibe el Sol matutino. Además en los flancos de los valles los espesores son

menores que en las mesetas y hondonadas. No debe olvidarse que la topografía es a la vez una manifestación particularmente evidente de variaciones de edad, clima y roca.

– Formadores biológicos.

La microflora y la microfauna son fuente de humus y la dependencia suelo-fauna, resulta vital para la acción bacteriana. Algunos de estos seres son los transformadores iniciales de la energía química para la evolución del suelo y otros utilizan parcialmente esta energía para transportes que modifican el suelo. Los animales provocan transporte de materia y contribuyen a la transformación de la materia orgánica, mientras los vegetales actúan mediante la subida de los cationes extraídos por las raíces y concentrados en la superficie; además la planta protege el suelo contra elementos atmosféricos, sintetiza las materias orgánicas gracias a la luz solar y tiene efectos mecánicos y químicos por el crecimiento y la acción de las raíces.

– Clima.

De la temperatura y del balance hídrico dependerá la velocidad e intensidad de acciones de las reacciones químicas típicas del intemperismo químico. Cuando los factores climáticos son mínimos como en los desiertos fríos o en los desiertos cálidos y secos, el suelo no evoluciona. Sobre una misma roca varía el suelo con el clima, así: en las zonas frías del norte de Europa y sobre un granito existen suelos poco desarrollados; en Francia, bajo un clima templado húmedo, encontramos suelos lixiviados, y en Costa de Marfil bajo un clima tropical húmedo existe un suelo ferralítico.

* Tomado de Intemperismo o meteorización. Manual de Geología para Ingenieros. <http://www.bdigital.unal.edu.co/1572/> Imagen, en: eusoils.jrc.ec.europa.eu

Relacionados:

UMBRA: la Ecorregión Cafetera en los Mundos de Samoga. Duque Escobar, Gonzalo (2015) Manizales, Caldas, Colombia. – See more at: <http://www.bdigital.unal.edu.co/50853/>

Mecánica de los suelos. Duque Escobar, Gonzalo and Escobar Potes, Carlos Enrique (2002) Universidad Nacional De Colombia. (Enviado) – See more at: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1864/>

Manual de geología para ingenieros. Duque Escobar, Gonzalo (2003) Universidad Nacional de Colombia, Manizales. – See more at: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1572/>

ELEMENTOS DE LA GEOLOGIA ESTRUCTURAL COLOMBIANA

Fallas notables del país (de conformidad con el Boletín Geológico del Ingeominas Vol. XIX, No. 2 de 1971, por Earl M. Irving.)

- **Falla Salinas.** Longitud 160 Km. Ubicada al costado oriental del Magdalena Medio, es falla inversa con desplazamiento de tres km. lo que explica el levantamiento del altiplano Cundiboyacense. Al sur, en el Huila, se encuentra la falla del Magdalena, al occidente la de Mulato (Mariquita), y al norte se inicia la falla Santa Marta-Bucaramanga que es de rumbo.

- **Fallas Santa María, Yopal y Guaicaramo.** Tres fallas en el margen oriental de la cordillera Oriental, todas de cabalgamiento y paralelas, entre sí. En el costado nordeste de estas, está la falla Bocono (Venezuela) con una dirección N 45° E y de rumbo derecho. Las fallas de cabalgamiento más notables del país son éstas situadas a lo largo de la Cordillera Oriental, cuyo buzamiento se da hacia ella con fuerte ángulo.

- **Sistema de Fallas de Algeciras.** Partiendo del Golfo de Guayaquil (Ec) hacia el sector meridional del sistema Guaicaramo, este sistema de fallas de rumbo deslizante y desplazamiento vertical, con actividad geotectónica, muestra dirección NE-SW y comprende las fallas Algeciras, Pitalito, Yunquillo, San Francisco y Afiladores.

- **Falla Cauca y sector central de la de Romeral.** De Cartago a Puerto Valdivia, el Cauca es un graben comprimido entre las dos cordilleras; por lo tanto las dos fallas son inversas, buzando hacia ambas cordilleras, la Occidental y la Oriental respectivamente.

- **Falla de Santa Marta-Bucaramanga.** Longitud 600 Km., al Norte el aluvión que la cubre expresa topográficamente su actividad cuaternaria. Según perforaciones ésta falla de dirección sudeste es una falla de rumbo izquierdo con un desplazamiento de 110 Km., lo que explica la curvatura de la Cordillera Oriental.

- **Falla Boconó.** Corta los Andes de Mérida en dirección NE, tiene una importante actividad con desplazamiento dextralateral del orden de 1 centímetro por año. El extremo SW se une con las escamas de cabalgamiento de la región de Pamplona, donde confluyen los Andes de Mérida y el Macizo de Santander.

- **Falla Oca.** Falla de rumbo con desplazamiento dextralateral de 60 Km. según perforaciones. Su dirección es EW. Limita el norte de la Sierra Nevada y penetra a Venezuela pasando por la boca del Golfo de Maracaibo.

- **Falla Cuisa.** Es paralela y armoniza con la anterior. Localizada 80 Km. al norte de la falla Oca; esta falla de rumbo muestra un desplazamiento derecho de 25 Km.

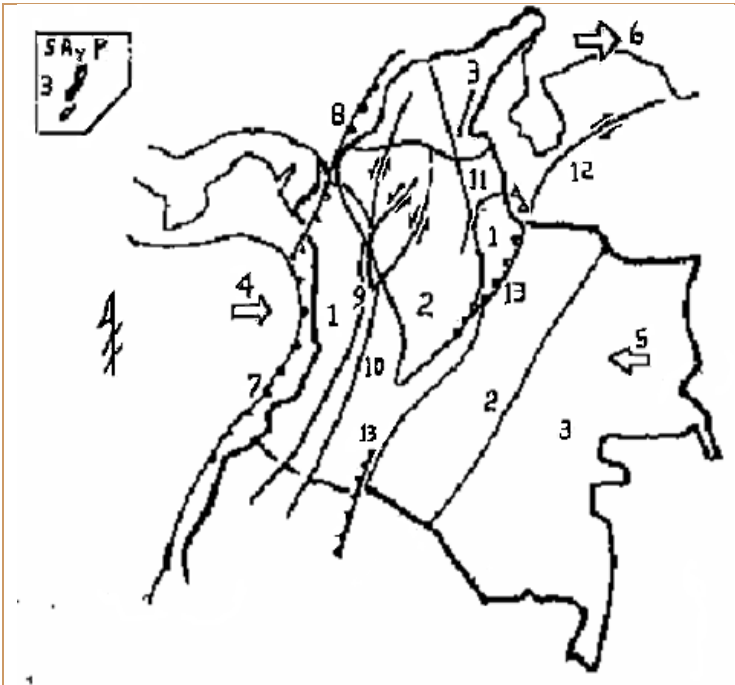


Figura A. Zonas de riesgo sísmico y fuentes sismotectónicas en Colombia. 1. zona de alto riesgo, 2. Zona de riesgo moderado, 3. Zona de bajo riesgo. 4. placa Nazca, 5. Placa Suramericana, 6. Placa Caribe, 7. Fosa colombo-ecuatoriana, 8. Fosa Darién-Urabá (?), 9. Falla Cauca, 10. Falla Romeral, 11. Falla Santa Marta-Bucaramanga, 12. Falla Bocono, 13. Falla frontal. Fuentes: Red Sísmica del eje Cafetero y Tolima, Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica y Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres.

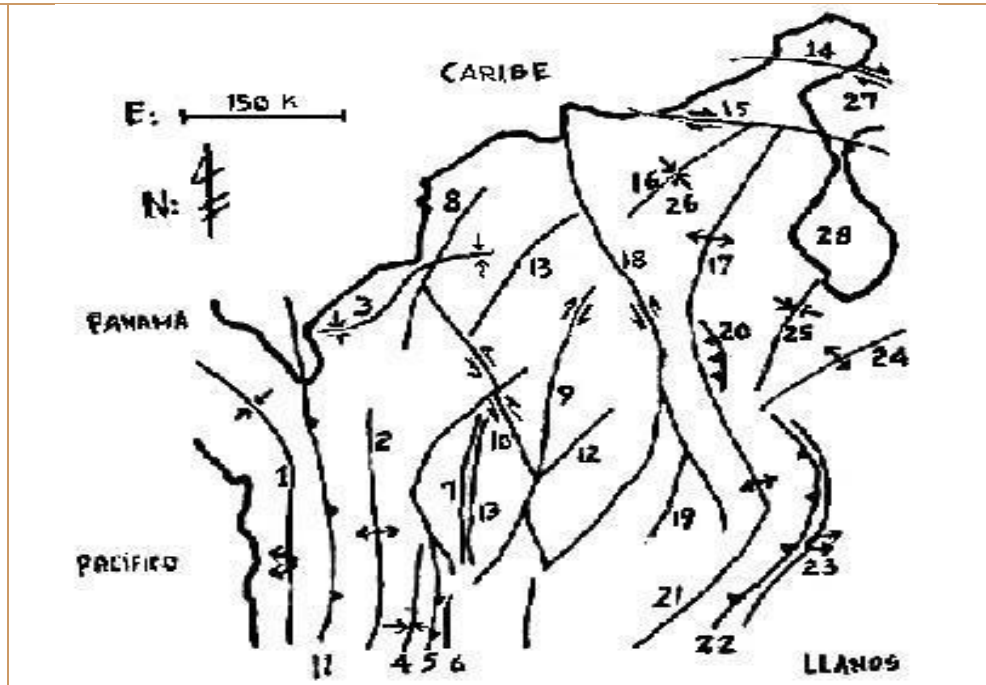


Figura B. Mapa estructural de Colombia. 1. Cuenca del Chocó, 2. Anticlinorio de la Cordillera Occidental, 3. Cuenca costera Caribe, 4. Cuenca del Cauca, 5. Falla de romeral, 6. Zona fallada volcánica, 7. Cinturón cristalino de la Cordillera Central, 8. Falla Bolívar, 9. Falla Palestina, 10. Falla Otú, 11. Falla Atrato, 12. Falla Cimitarra, 13. Límite occidental aproximado del basamento precámbrico, 14. Falla de Cuisa, 15. Falla de Oca, 16. Cuenca del valle del Cesar, 17. Serranía del Perijá, 18. Falla de Santa Marta-Bucaramanga, 19. Falla de Suárez, 20. Falla Mercedes, 21. Anticlinorio de la Cordillera Oriental, 22. Zona fallada de Guaicaramo, 23. Cuenca de los Llanos, 24. Anticlinorio de Mérida, 25. Entrante SW de la cuenca de Maracaibo, 26. Sierra Nevada, 26. Perijá, 27. Golfo de Venezuela, 28. Lago de Maracaibo. Según Irving, E, Evolución de los Andes más Septentrionales de Colombia.

- **Falla Otú.** La más antigua de la Cordillera Central, con dirección N 15° W, expuesta al sur en 125 Km., se sumerge luego en los estratos terciarios de la costa con dirección a Montería; muestra un movimiento sinixtrolateral de 65 Km. medidos donde ella emerge. Otú armoniza con la falla Santa Marta-Bucaramanga por ser de rumbo izquierdo y por su paralelismo con ella.

- **Falla Cimitarra.** Nace en la confrontación Otú-Palestina y se extiende hasta Barrancabermeja, siendo visible por su fuerte expresión topográfica en un trayecto de 120 Km. Su juventud se infiere por la intensa alteración de las formaciones miocenas del Valle Medio del Magdalena. Si las fallas antiguas, Otú y Santa Marta-Bucaramanga son de movimiento sinixtrolaterales, las fallas transcurrentes más jóvenes del terciario medio, como la falla Cimitarra al ser dextrolaterales anuncian cambios de esfuerzos tectónicos que armonizan con el tectonismo terciario de la cuenca del Caribe.

- **Falla de Palestina.** Tiene una longitud de 300 Km., una dirección N 15° E y un desplazamiento dextrolateral de 27.7 Km. medidos donde ésta falla de rumbo desplaza a la de Otú. Palestina es muy joven por su fuerte expresión topográfica. El extremo sur presenta vulcanismo fisural, desde el Ruiz hasta el Quindío.

- **Falla Romeral.** Se extiende de la costa norte colombiana en dirección al Ecuador pasando por Medellín, Armenia y Popayán. Al Norte el aspecto es de rumbo; en el centro de falla de compresión o inversa, al Sur de cabalgamiento. Por la distribución alineada de cuerpos ígneos ultramáficos, en su contorno, se prevé que profundice la corteza.

- **Falla Atrato.** Pasa 15 Km. al oriente de Quibdó, con dirección N-S, es decir, paralela a la Romeral. Estuvo bajo compresión pero ahora muestra desplazamiento de rumbo izquierdo. Atrato sale por el golfo de Urabá y entre ella y Romeral norte encontramos la falla Sabanalarga que en su extremo norte, Montería, da origen a la falla Bolívar.

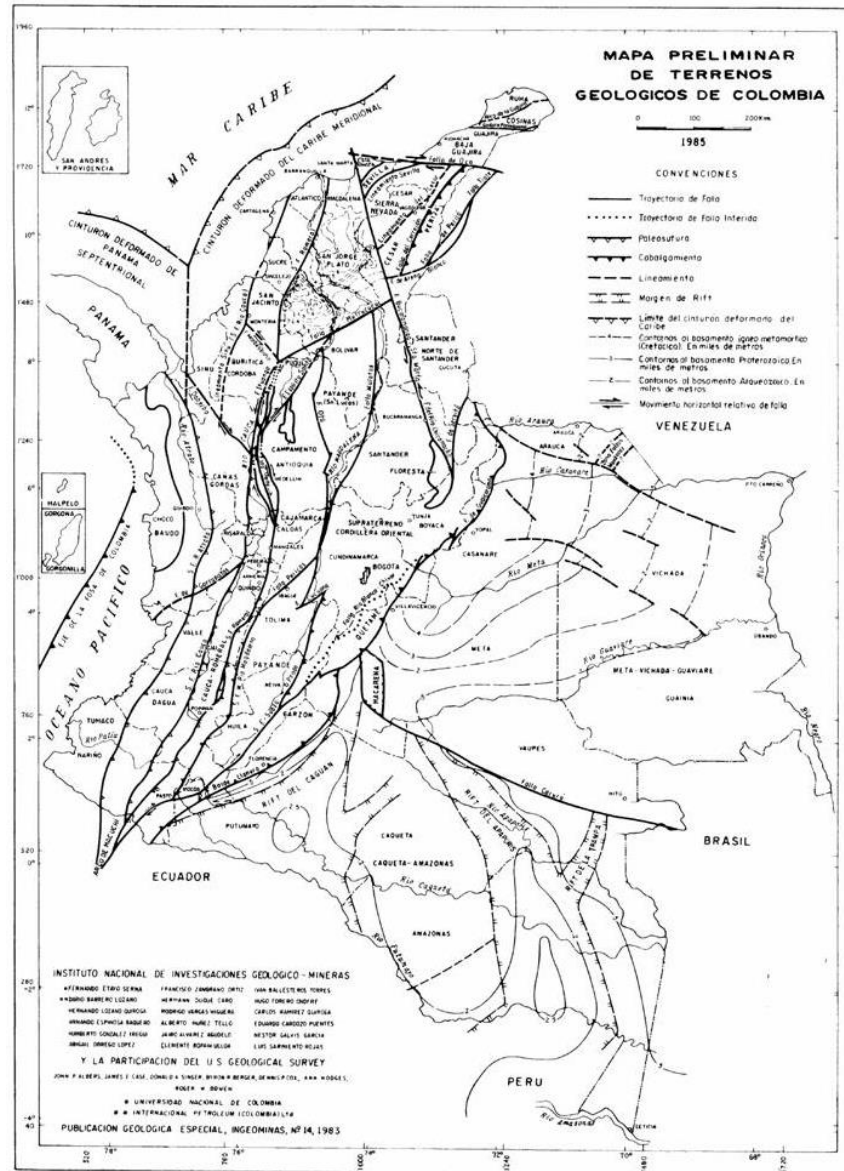
Anticlinorios y sinclinorios de Colombia.

- **Anticlinorios.** Los anticlinorios notables del país son la Cordillera Oriental, la Occidental, la Cordillera Central y la Serranía del Perijá.

- **Sinclinorios.** Los sinclinorios notables del país son la cuenca del Chocó, las cuencas de los ríos Cauca y Magdalena (Alto, Medio, Bajo), la región del Caribe y el valle del Cesar.

Fuente: Manual de geología para ingenieros U.N. <http://www.bdigital.unal.edu.co/1572/>

ESTILOS ESTRUCTURALES DE LOS TERRENOS DE COLOMBIA



Fuente: Manual de geología para ingenieros U.N. <http://www.bdigital.unal.edu.co/1572/>

Los siguientes apartes se toman de la publicación geológica especial de Ingeominas N14-1 de 1986, titulada Mapa de terrenos geológicos de Colombia. En la Figura se muestra el mapa a escala reducida, del mismo documento.

Los terrenos son como fragmentos diversos de placas yuxtapuestas que conforman un mosaico de piezas soldadas entre sí. Estos se dividen en grupos y a su vez los grupos en formaciones.

Los terrenos están caracterizados por poseer litología, estratigrafía, estilo estructural e historia propia, y por tener como límites con los terrenos vecinos, fallas. Aludiremos aquí sólo al estilo estructural, a la estratigrafía y a los límites de algunos terrenos.

Terreno Cajamarca

- Estilo estructural. Pliegues imbricados con convergencia al W y expresión subvertical del plano de falla, y fallamiento con desplazamiento a lo largo del rumbo; rumbos dominantes NS a N50° E, y una dirección secundaria N40-60°W.

- Estratigrafía. Intercalaciones de sedimentitas pelíticas, samíticas y calcáreas con derrames básicos; volcanoclásticas básicas metamorfizadas en facies de esquisto verde a anfibolita (grupo Cajamarca).

- Límites. (Faja que nace en Pasto y muere al norte de Antioquia)

W: Sistema de Fallas de Romeral.

E; Sistemas de fallas del W del río Magdalena hasta Puerto Triunfo y luego NS Falla Otú.

NW: Falla de Murrucucú.

S: Convergencia del sistema de fallas de Romeral y el sistema de fallas del W del río Magdalena, a lo largo del río Guáitara.

Terreno Payandé (suprayacente devónico-jurásico inferior)

- Estilo estructural. Fallamiento con expresión subvertical de los planos de falla que delimitan bloques levantados o hundidos; el fallamiento con rumbo general NW es Jurásico superior.

- Estratigrafía. Sedimentitas del Devónico y Carbonífero, en relaciones localmente discordantes con la formación Luisa, formación Payandé y formación Saldaña.

- Límites. (Faja que se extiende de Mocoa a Ibagué)

W: Desde Armero, Falla Pericos hasta intersección con el sistema de fallas de Romeral.

E: Sistema de Fallas Suaza-Prado hasta su intersección con la Falla Cucuana y desde allí, Falla Honda hacia el norte.

Terreno Cauca-Romeral

- Estilo estructural. Fallamiento imbricado con convergencia variable.

- Estratigrafía. Secuencia incierta, con fragmentos de corteza siálica y simática de edad desde el Paleozoico hasta el Cretácico. Incluye el complejo ofiolítico del Cauca, el grupo Arquía, las formaciones Buga, Cartago, Combia, Chimborazo, Ferreira, Galeón, Jamundí, Nariño, Popayán, Zarzal y Quebradagrande, entre otras.

- Límites. (Faja desde Nariño hasta Santafé de Antioquia por el Valle del Cauca)

W: Sistema de fallas del río Cauca.

E: Sistema de Fallas de Romeral.

N: Unión rumbo deslizante de las fallas del río Cauca y Romeral.

S: Enfrentamiento con el "Arco de Islas de Macuchi", del Ecuador.

Terrenos Cañasgordas y Dagua

- Estilo estructural. Pliegues imbricados con convergencia al oeste. Desplazamientos verticales predominantes. El terreno Cañasgordas no presenta metamorfismo reconocible como sí el Dagua.

- Estratigrafía. En ambos terrenos hay una secuencia con intercalaciones de vulcanitas básicas. Las principales unidades estratigráficas son, en el primero el grupo Cañasgordas, el batolito de Mandé, el gabro de Altamira y el complejo ultramáfico de Bolívar; en el segundo el grupo Dagua, el grupo diabásico, y las formaciones Aguaclara, Marilopito y Peña Morada.

- Límites de Cañasgordas. (Cordillera Occidental desde Nariño hasta el Valle).

W: Falla del río Atrato.

E: Sistema de Fallas del río Cauca.

S: Falla de Garrapatas.

NE: Falla Dabeiba.

- Límites de Dagua. (W de Risaralda, E de Chocó y W de Antioquia).

W: Falla del Atrato y discordancia con el terreno suprayacente Atrato-San Juan-Tumaco.

E: Sistema de fallas del río Cauca.

N: Falla de Garrapatas.

S: En Ecuador, intersección con la prolongación transformante del Sistema de Fallas de Romeral.

Terreno suprayacente Atrato-San Juan-Tumaco

- Estilo estructural. Pliegues imbricados con convergencia W que incluyen escamas de corteza oceánica.

- Estratigrafía. Secuencias faciales turbidíticas, isópicas heterócronas (?).

- Límites. (Costa Pacífica exceptuando la región de Baudó).

W: Discordancia y fallamiento (paleosutura?) contra el Terreno Baudó.

E: Falla del Atrato.

N: Fallamiento contra el Arco de Sautatá.

Supraterreno Cretácico

- Estilo estructural. Pliegues de cobertura con convergencia variable.
- Estratigrafía. Sedimentitas e intrusivos básicos del cretácico inferior y medio.
- Límites. (Entre Neiva y Santander por el E del río Magdalena).

E: Llanos Orientales.

W: Sistema de Fallas de Romeral.

Terreno suprayacente cenozoico (vulcanogénico terciario- cuaternario)

- Morfología. Estratovolcanes. El vulcanismo está generado por la subducción de la Placa de Nazca bajo el margen W de la Placa Suramericana.
- Estratigrafía. Conos y calderas, flujos de lavas, tefras, lahares.
- Límites.

E-W:> Irregulares, a ambos lados del eje de la Cordillera Central. Valle superior del río Magdalena. Localmente en la parte central de la Cordillera Occidental en el Departamento del Valle del Cauca.

Figura. Mapa Preliminar de Terrenos Geológicos de Colombia según el INGEOMINAS, 1986.

Tomado de:

MONTAÑAS Y TEORIAS OROGENICAS. Cap 14. MANUAL DE GEOLOGIA PARA INGENIEROS. En: <http://www.galeon.com/manualgeo>

Relacionados:

Manual de geología para ingenieros. Duque Escobar, Gonzalo (2003) En: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1572/>

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

Clima andino y problemática ambiental. Duque Escobar, Gonzalo (2016) In: IV Foro Ambiental, Julio 24 de 2016, La Merced, Caldas. <http://www.bdigital.unal.edu.co/53169/1/climaandinoy%20problematICAambiental.pdf>

Colombia, país de humedales amenazados. Duque Escobar, Gonzalo (2016) <http://www.bdigital.unal.edu.co/53346/1/colombiapaisdehumedalesamenazados.pdf>

Textos U.N.: Geomecánica y Geología. Duque E, Gonzalo; Escobar P, Carlos Enrique y Duque E, Eugenio (2016) Universidad Nacional de Colombia. <https://godues.wordpress.com/2016/08/13/textos-u-n-geomecanica-y-geologia/>

PRESENTACIÓN

Muchos de los trabajos de enfoque poblacional que se han realizado en la ciudad de Manizales se han realizado con base en el plano geológico que se realizó por el Profesor de la Universidad de Caldas José Luis Naranjo Henao y el Geólogo Pedro Antonio Ríos titulado “Geología de Manizales y sus alrededores y su influencia en los riesgos geológicos”, publicado por la Revista Universidad de Caldas en el año 1989, este importante trabajo ha sido tomado como referencia para diferentes fines, pero hay que aclarar que es necesario realizar complementos y ajustes de escala para ponerlo al servicio de la comunidad y de los usuarios para apoyar futuros estudios, obras y proyectos.

Es importante hacer la aclaración que este trabajo podrá servir como soporte para para nuevos trabajos y algunos límites de unidades podrán ser ajustados, pues para la escala más detallada y la localización de futuras obras se encontrará posiblemente con la relocalización espacial de algunos límites o bordes planteados en esta cartografía. Con las futuras exploraciones de nuevos trabajos, podrán además detectarse nuevas unidades litológicas, por tal razón los autores agradecen cualquier recomendación de ajuste para hacer la constatación y ajuste respectivo.

El dimensionamiento y búsqueda de los diferentes objetivos, y el factor escala cobran una suficiente importancia a la que hay que darle respuesta, puesto que la magnitud de información que requieren los diseños constructivos de obras civiles de gran envergadura, requieren de estudios puntuales y sondeos geomecánicos que den la suficiente información para los propósitos y la calidad de una obra digna y segura, valores que desprevénidamente pudieron ser traídos del plano geológico en mención a escala 1:25000 para edificaciones ya construidas en nuestra ciudad. Aunque este es un trabajo de actualización y a escala más detallada, se hace la advertencia de que este es solo un documento de soporte, y que se deben cumplir los términos de referencia de las nuevas obras, y los autores de este trabajo no nos hacemos responsables de los resultados de los nuevos estudios, materiales, anomalías, discontinuidades o elementos que se detecten en esas obras y que obliguen a cambios de trascendencia, e incluso a darle reversa a un proyecto o alternativa.

INTRODUCCIÓN

Saber y entender cómo es la geología y la génesis de las unidades geológicas de un sector, y en especial las de una ciudad, son de gran utilidad para la comunidad en general, pues de allí surgen un sin número de decisiones de vital importancia en asuntos de ocupación del territorio, de su uso y de su manejo entre otros.

Los trabajos de cartografía geológica son de carácter dinámico, ya que a medida que se realizan estudios puntuales para proyectos y entre estos cobran gran importancia los de desarrollo urbanístico, con sus estudios se va mejorando, complementando y actualizando la información de los documentos que han servido como base y de los documentos oficiales de que dispone la comunidad

El presente trabajo es una actualización del plano geológico de Manizales a escala 1:10.000, que toma como referencia el plano geológico de Naranjo y Ríos, para lograr este documento se hacen ajustes de información obtenida durante cerca de veinte años de historia laboral en trabajos de geología y geotecnia donde se detectan datos para confirmar la geología del mapa base y nuevos hallazgos en los afloramientos que han resultado por la remoción de la cubierta vegetal y de las cubiertas de suelos superficiales tanto de origen natural (suelos residuales y /o transportados) como de suelos y materiales de origen antrópico y que por su remoción parcial o total han permitido apreciar la presencia de las diferentes unidades geológicas para de esta forma complementar el mapa fuente con una escala de detalle apropiada que permita establecer con un buen grado de confiabilidad cuáles son las posibles unidades geológicas que están fallando o que están infrayaciendo los materiales fallados que tienen influencia en un movimiento en masa localizado dentro de la zona urbana de la ciudad. Gran parte de la complementación de este trabajo, establece qué unidades litológicas son las que se presentan bajo los depósitos de caída piroclástica, unidades que en el plano geológico base estaban cartografiadas como Cubierta de Caída Piroclástica (Qcp), y la presencia de esta unidad geológica que está como cubierta se debe considerar como una unidad dentro de los planos de formaciones superficiales.

Dentro de las nuevas unidades que se reportan en este plano actualizado se reporta un cuerpo localizado hacia el extremo occidental externo al casco urbano de la ciudad entre las quebradas La Francia y el Arenillo, esta nueva unidad volcánica se denomina en este documento como Lavas de La Francia y su convención será (Qlf) esta unidad aflora aguas arriba del puente de la vía Panamericana sobre la quebrada La Francia que no se han reportado en la literatura local, esta unidad está aflorando por la disección o socavación de fondo que hacen la quebrada el Topacio-La Francia sobre los depósitos de flujos de lodo de la Formación Manizales, razón por la cual enmascara completamente la geoforma y no permite cartografiar apropiadamente su extensión, pero su dimensionamiento se realiza con base en la poca expresión morfológica que generan sobre el cuerpo suprayacente.

El trazo de los lineamientos morfoestructurales planteados en el presente documento recopila además de los planteamientos realizados por Naranjo, J L. y Ríos P A, en el plano tomado como referencia y los del plano estructural de Hermelín, M. y Velásquez, A. planteado en el año 1985, además de los detectados en campo confirmados por análisis geomorfológico con análisis de fotointerpretación tanto a escala detallada como regional.

En general, las localizaciones de gran parte de las unidades geológicas que se presentan en el mapa que fue utilizado como base, han sido constatadas durante los diferentes recorridos realizados por la ciudad en el día a día y de los múltiples análisis de fotointerpretación, y en las actividades profesionales que el autor de este ítem del estudio ha desarrollado como profesional, cobran bastante valor las observaciones minuciosas en las visitas a los sitios donde se han generado movimientos en masa como procesos de inestabilidad del terreno, de otro lado, en los diversos estudios y prácticas con estudiantes de cursos actuales y pasados como el de línea de profundización en vías, trabajos de grado y estudios en los que he participado como el de túneles en roca blanda, geomecánica de laderas de Manizales, la participación en estudios como el plan de saneamiento básico del río Chinchiná y Plan de ordenamiento y manejo (POMCA) de la cuenca del río Chinchiná, y un elevado número trabajos

de asesoría profesional han permitido adquirir un mejor conocimiento de la ubicación de los afloramientos, y por ende una mejor y más completa localización y concepción del plano geológico de la ciudad de Manizales y los lineamientos morfoestructurales de posibles fallas geológicas.

UNIDADES GEOLÓGICAS

A continuación, y en orden cronológico desde la unidad más antigua a la más reciente, se describen las diferentes unidades geológicas que conforman la zona de estudio y además se muestra su ubicación y límites en el plano geológico estructural. Ver Figura 1B:

				
<p>Complejo Quebradagrande</p>	<p>Formación Manizales</p>	<p>Formación Casabianca</p>	<p>Tobas volcánicas (Piroclastos consolidados)</p>	<p>Tefras (Piroclastos no consolidados)</p>
<p>Figura 1 A. Unidades litológicas del área de Manizales.</p>				

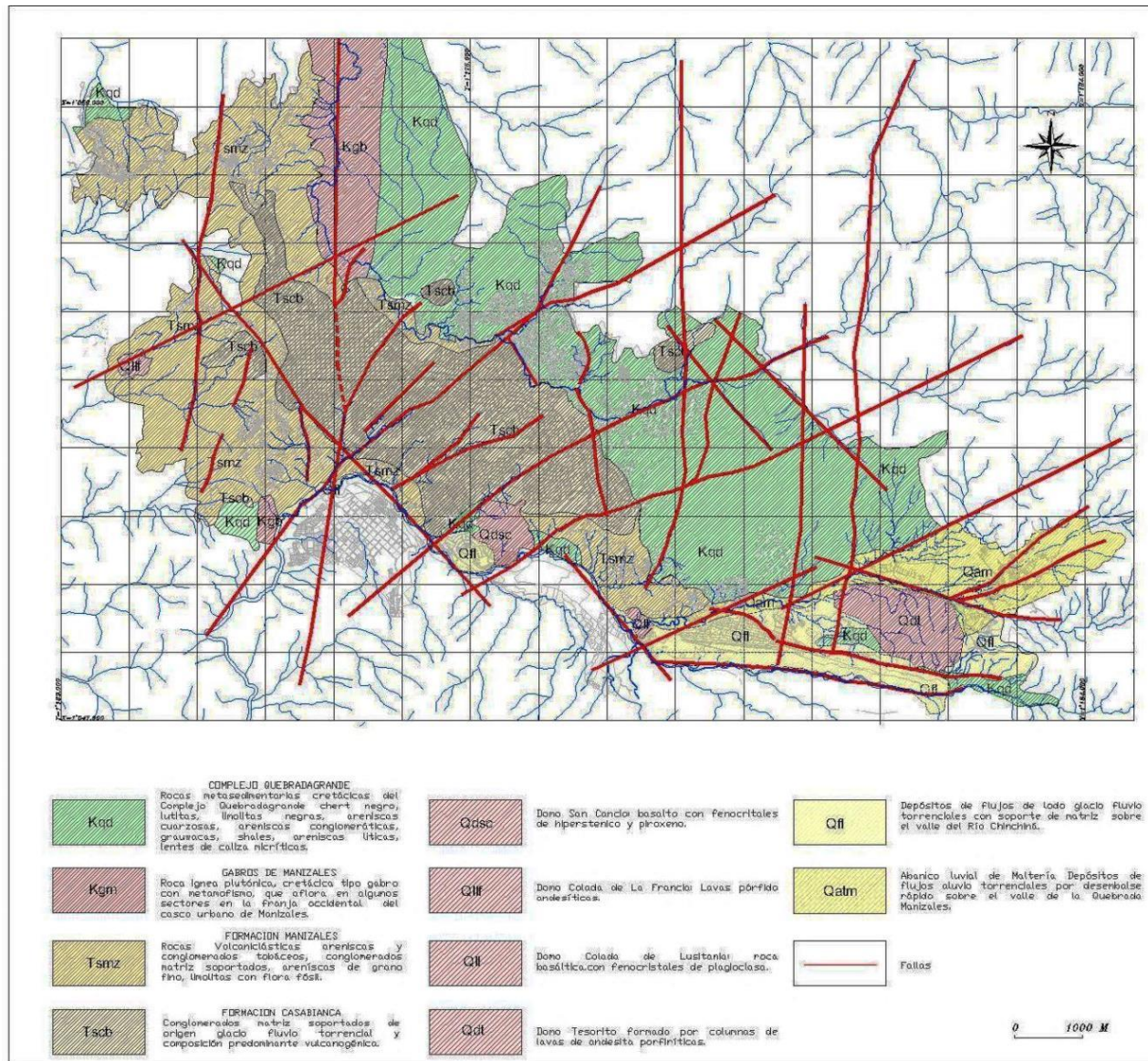


Figura 1B. Plano Geológico Estructural de la ciudad de Manizales.

Unidad de Rocas Metasedimentarias del Complejo Quebradagrande (Kqd).

Corresponde a las rocas del basamento, son rocas foliadas con texturas que varían localmente entre pizarras, filitas y esquistos provenientes de protolitos sedimentarios que corresponden predominantemente a rocas detríticas tipo arcillolitas y lutitas de origen marino, afirmación que surge por la presencia de fauna fósil tipo bivalvos y amonites obtenidos de rocas de esta unidad en localidades como el barrio la Sultana y el cauce de la quebrada Minitas cerca a la bocatoma de río Blanco de esta ciudad; la edad de las rocas de esta unidad es Cretácica y conforma el basamento rocoso con textura foliada, sobre este están depositados en contacto erosivo y discordante los depósitos de flujos de lodo de edad límite entre el fin del terciario y comienzos del cuaternario, ésta cubierta se presenta desde el casco urbano del municipio de Villamaría al sur y la quebrada Minitas-Olivares al norte.

Estabilidad de laderas sobre la unidad Metasedimentaria del Complejo Quebradagrande.

Son comunes los deslizamientos de los suelos de caída piroclástica que descansan sobre los esquistos en laderas de pendiente fuerte, estos eventos se dan por saturación de la capa suprayacente de suelos de caída piroclástica, puesto que las rocas metamórficas suelos residuales subyacentes presentan permeabilidades muy inferiores a las de los suelos de cenizas, además ese contacto entre suelo piroclástico y el basamento con su escaso suelo residual, discontinuidad mecánica de los materiales especialmente desde sus componentes de resistencia como de permeabilidad, ejemplo de este tipo de inestabilidad es el de la figura 2 en la ladera de un montículo al norte del barrio la Sultana, contiguo a la quebrada del mismo nombre.

Otro tipo de inestabilidad en esta unidad está asociado a deslizamientos planares y en cuña, asociados a discontinuidades tipo superficies de foliación y/o diaclasas presentes en estas rocas.

Nota: Los sitios inestables de mayor connotación en Manizales y sus alrededores se presentan sobre rocas grafitosas de esta unidad. Los sectores donde se presentan estos afloramientos con su problemática típica son: La Siria, La Quebra del Billar, y La Cárcava del Alto Tablazo entre otros. La posible causa debe estar asociada con la alta probabilidad de acumulación y liberación de energía sobre estas litologías blandas, prefiriendo estos materiales sobre las rocas oscuras donde se dan zonas de relajación de esfuerzos, zonas de ruptura y procesos de degradación por entrada de agua y descomposición de la pirita liberando óxidos de hierro y aguas aciduladas que deterioran las rocas foliadas hasta su erosión y/o falla.

La unidad metasedimentaria de rocas foliadas del Complejo Quebradagrande aflora en la margen izquierda del río Chinchiná, entre los Barrios Lusitania, sobre la ladera sur que se levanta del sector de la Florida y del casco urbano de Villamaría, en el sector de los Molinos. Al oriente del casco urbano de Manizales en la entrada a la planta de tratamiento aguas para consumo de Niza, cuenca de la quebrada del Perro, talud de corte de la Cancha de Fútbol del Colegio Redentorista, ladera sur del barrio la Sultana y sobre toda la margen derecha de la quebrada Minitas y Olivares.



Figura 2. Deslizamiento de suelos de caída piroclástica sobre esquistos arcillolíticos del Complejo Quebradagrande, nótese el depósito coluvial esparcido horizontalmente sobre la pata del talud con forma llana (lleno Hidráulico en construcción), la horizontalidad del depósito coluvial evidencia saturación de la capa de suelos volcánicos que se deslizaros por esta condición.

En la margen derecha del río Chinchiná, específicamente detrás de la sala de cremación de Jardines de la Esperanza, es importante mencionar que entre los drenajes constituidos por la quebrada Manizales- río Chinchiná y la quebrada Minutas-Olivares esta divisoria es sobre su divisoria y laderas los esquistos del Complejo Quebradagrande no afloran ya que están como basamento de los depósitos de flujos de lodo de la Formación Manizales, esta situación se presenta desde la glorieta de Milán.

Existen varios sitios inestables en los alrededores de la ciudad de Manizales, que están asociados con la baja calidad o aptitud por la presencia de grafito en los macizos rocosos correspondientes a esta unidad, por ejemplo en el sector del Alto Tablazo, la roca que aflora corresponde a esquistos grafitosos cuyo protolito sedimentario debió haber sido lutitas o lodolitas con alto contenido de material carbonoso, estos sectores se caracterizan por presentar pendientes fuertes, en este trabajo se interpretan estos sectores como zonas donde la energía de los procesos tectónicos y orogénicos tienden a acumularse para luego liberarse mediante deformación, fracturamiento y fallamiento. Ver figura 3.



Figura 3. Cárcava del Tablazo (vistas horizontal y aérea) desde la cota media hacia abajo con tonalidad gris corresponde a afloramiento de esquistos grafitosos del Complejo Quebradagrande, lo suprayacen depósitos de flujos de lodo de la Formación Casabianca en tono rojizo y en el extremo superior derecho en tono habano café claro depósitos de Caída Piroclástica.

Con respecto a la disposición espacial de la foliación de estas rocas que a coincide con la paleo estratificación, es importante resaltar que los buzamientos en general son hacia el Este, se destaca que los grados de buzamiento son mayores en la ladera sur, tal es el caso de la vía de los Molinos del casco urbano del municipio de Villamaría y el de la ladera sur del río Chinchiná del sector Chupaderos, donde son cercanos a los 60° . En la ladera occidental, cárcava del Tablazo, los buzamientos varían fuertemente de un sector a otro, aunque se aprecia una tendencia cercana a los 40° hacia el este, en la ladera sur sectores del barrio la Sultana los buzamientos de la foliación se reducen a valores generalmente menores a los 30° , con base en esos cambios de buzamiento entre la ladera sur del río Chinchiná y norte de las quebradas Olivares y Minitas queda clara la presencia de una falla geológica por compresión que coincida ya sea con: el lineamiento del río Chinchiná, el lineamiento de la quebrada Minitas o un lineamiento paralelo entre los dos anteriores que sirvió como depresión para albergar los depósitos de flujos de lodo de la Formación

Manizales y la Formación Casabianca suprayacente, que se elevan desde las quebradas Olivares Minutas, y el río Chinchiná hasta la Avenida Santander.

En las observaciones de campo se ha encontrado que los espesores de los suelos residuales formados a partir de estas rocas foliadas son reducidos, generalmente inferiores a un metro, estos afloramientos se identificaron principalmente donde la roca está suprayacida por depósitos de caída piroclástica ver figura 4.



Figura 4. Corte en escuadra del terreno para construcción de vivienda, sector Alta Carola, afloramiento de esquistos arcillolíticos del Complejo Quebradagrande mostrando su suelo residual (franja blanca con espesor inferior a un metro), lo suprayacen depósitos de Caída Piroclástica.

Unidad de Gabros (Kgb).

Estas rocas de edad Cretácica, que también hacen parte del basamento, en una franja orientada en sentido Norte-Sur y localizada al occidente del casco urbano se encuentran en contacto discordante con las rocas metasedimentarias del Complejo Quebradagrande, afloran en la margen derecha de la quebrada Olivares, en inmediaciones de la unidad residencial Puerta del Sol y al sur occidente del casco urbano en la ladera que va desde el sector de Tejares hasta la micro central de generación hidroeléctrica Municipal del sistema de plantas menores de la Central Hidroeléctrica de Caldas al lado del río Chinchiná. Otro afloramiento de esta unidad se presenta en la ladera sur del río Chinchiná frente a la estación de servicio localizada a la entrada del municipio de Villamaría cerca a las instalaciones de Marcha Gas.

Estabilidad de laderas sobre la unidad de Gabros.

Los suelos residuales formados a partir de estos gabros corresponden a saprolitos arcillosos de color rojizo, son suelos que han sido utilizados históricamente para la fabricación de tejas y ladrillos, de allí surge el nombre del sector denominado Tejares, son suelos menos permeables que los suelos de cenizas volcánicas, aspecto que facilita la saturación y falla de la cubierta Piroclástica suprayacente, esta es la razón de la poca presencia de cenizas en ese sector; en inspecciones de campo se detectaron cicatrices de deslizamiento sobre estos suelos residuales asociadas a discontinuidades estructurales correspondientes a fracturas (discontinuidades relictas). Otro tipo de inestabilidad detectado fue el deslizamiento del macizo rocoso fresco y muy fracturado localizado al frente de la estación de servicio Texaco en la entrada a Villamaría.

La mejor expresión de esta unidad en estado de roca fresca se aprecia en el talud superior de la vía Manizales – Neira cerca de 300 metros adelante del puente colgante sobre la quebrada Olivares, ver figura 5.



Figura 5. Afloramiento de gabros de edad Cretácica en el talud superior de la vía Manizales-Neira, cerca de 500 metros adelante del puente colgante de la quebrada Olivares.

En los sectores donde aflora la roca se presenta en estados semifrescos y fracturados, en general se observa en estado de saprolito con tonalidades rojizas por oxidación. Superficialmente están suprayacidos por los depósitos de caída piroclástica.

El sector de tejares debe su nombre a la ubicación histórica de fábricas de tejas y de ladrillos, su localidad está asociada con los suelos residuales de los gabros que han sido explotados como materia prima para la fabricación de estos elementos.

Rocas Ígneas de Tipo Volcánico Domo de Sancancio (Qdsc), Domo colada de Lusitania (QII), Domo Tesorito (Qdt) y Lavas Fisurales de La Francia (QIf).

El afloramiento de estas unidades de edad Cuaternaria se encuentran asociadas a ascenso magmático a través de la falla Villamaría- Termales para los tres primeros cuerpos y ascenso por la falla de Chipre para el cuarto. Además de estos cuatro cuerpos volcánicos, un numeroso registro de eventos volcánicos conforma la morfología del flanco oeste cordillerano desde el sector de Maltería hasta la cresta del macizo volcánico Ruiz - Cerro Bravo – Tolima.

La composición magmática de los diferentes eventos varía de un cuerpo a otro, por ejemplo las lavas de Sancancio son negras, según Naranjo y Ríos de composición basáltica hipersténica, las lavas localizadas al lado de la planta Luis Prieto Gómez son basálticas de color verde, las que afloran en la quebrada La Francia son andesitas porfidíticas, lo mismo que muchos de los cuerpos volcánicos que están entre Maltería y el nevado del Ruiz.

La unidad de lavas fisurales de la Francia se reporta por primera vez en este documento, se localiza en la ladera occidental del casco urbano de Manizales entre las quebradas el Topacio y La Francia, la roca corresponde a lavas andesíticas porfidíticas afectadas tectónicamente por actividad cuaternaria, evidencia de estos procesos se presenta en los afloramientos rocosos con sistemas de fracturas bien definidos donde se evidencia astillamiento centimétrico de la roca sin meteorización ver figuras 6 y 7.

La presencia de esta unidad corta el flujo subterráneo de las aguas de infiltración de los depósitos de flujo de lodo de la Formación Manizales generando una amplia zona de terreno con relieve que evidencia procesos de reptación aguas arriba del sector donde se detectaron las rocas de esta unidad. Es importante mencionar que en campo no se observa perfiles de meteorización de suelos residuales formados a partir de esta unidad.



Figura 6. Lavas andesíticas aflorando y confinando los conglomerados de la Formación Manizales, además obstruye el flujo de la quebrada el Topacio- La Francia transversalmente, saturando los conglomerados y activando la reptación.



Figura 7. Lavas andesíticas aflorando en la quebrada el Topacio- La Francia, aspecto textural de pórfidos andesíticos, nueva unidad geológica reportada para la ciudad de Manizales en este estudio.

Estabilidad de laderas sobre la unidad de Rocas Ígneas de Tipo Volcánico.

Un caso especial cobra interés, es la inestabilidad de la cubierta de caída piroclástica sobre las laderas del cerro Sancancio, se asocia con el problema típico de saturación de estos materiales puesto que la capa del suelo residual de las lavas, aunque es de poco espesor es arcillosa y poco permeable por su origen de descomposición química.

Otro caso que afecto a la ciudad en el año 2008 está relacionado con la saturación, deslizamiento y flujo de suelos aluvio torrenciales y cenizas volcánicas encapsulados en una oquedad de lavas extrusivas localizadas en la margen derecha del río Chinchiná al lado de la planta de tratamiento para aguas para consumo Luis Prieto Gómez.

Finalmente varios procesos de reptación de magnitud importante se presentan en la ladera occidental contiguos a la quebrada La Francia, estos procesos son activados por la presencia de las lavas fisurales que bloquean el flujo de las aguas freáticas a través de los poros de los depósitos de flujo de lodo de la Formación Manizales, es así como por saturación e incremento de presión de poros fluyen lentamente o reptan fracciones de ladera ver figura 8.



Figura 8. Afloramiento de conglomerados de la Formación Manizales por socavación de fondo de la quebrada el Topacio- La Francia sobre estos materiales que están además en reptación.

Depósitos de Flujos de Lodo de la Formación Manizales (Tsmz).

Los depósitos de flujos de lodo distribuidos sobre los casco urbanos de Chinchiná – Manizales – Villamaría – Neira entre otros tienen su origen por el descenso gravitacional asistido por agua y/o hielo desde la cresta cordillerana acarreado materiales principalmente de origen piroclástico que habían sido depositados sobre las laderas cordilleranas, algunos de estos eventos debieron ser activados por episodios volcánicos. Es difícil

establecer espesores y buzamientos sobre cada uno de los depósitos que conforman esta unidad, incluso algunos autores cuestionan la diferencia entre Formación Manizales y Formación Casabianca, para ellos es la misma unidad.

Existe una gran diferencia por la disposición altitudinal de diferentes depósitos de flujos de lodo así: los presentes en el municipio de Villamaría, los del sector de La Florida, los ubicados en Aranjuez y los ubicados en el Bosque Popular el Prado, todos ellos composicionalmente similares y con diferencias de nivel, aunque de algunos metros no muy significativas como los depósitos de flujos de lodo localizados entre el río Chinchiná y las quebradas Olivares-Minitas que se elevan numerosos metros hasta el carretero de la avenida Santander, esta diferencia induce a concluir que los primeros y de más baja cota son posteriores a los más elevados, tal diferencia podría resultar de procesos de erosión por el cauce del río Chinchiná que han barrido los materiales desde el sector de Maltería a Expoferias, proceso que no se propaga más hacia el occidente por la presencia del domo Sancancio que obliga al río a circular por su flanco sur. Es clara la proveniencia de los depósitos de flujos de lodo desde el eje cordillerano por flujos glaciofluvio-torrenciales que descendieron por los cañones principalmente del Chinchiná, y que pierden confinamiento por el escarpe occidental de la Falla de Chipre principalmente y hacia las márgenes norte y sur por la socavación y búsqueda del nivel base de los cauces del Olivares y del Chinchiná. Ver figura 9.



Figura 9 Nivel de depósitos de flujos de lodo de Villamaría muy por debajo de los depósitos de flujos de lodo del flanco sur del casco urbano de Manizales.

Los contactos erosivos con formas acanaladas que generan las bases de estos depósitos no permiten dilucidar con claridad la disposición espacial de buzamiento o posibles plegamientos e inclinaciones sobre cada uno de estos depósitos, en este documento se presenta la fotografía de un sitio

diagnóstico que evidencia claramente un buzamiento hacia el Este por tectonismo de estos conglomerados en el sector de los viaductos de La Estampilla. Ver figura 4.

Son depósitos sedimentarios continentales de edad Terciaria conformados por conglomerados matriz soportados y localmente clastosoportados. El origen está asociado con eventos intercalados de retroceso glaciar y episodios de actividad volcánica, especialmente explosiva, es así como se han generado diferentes capas o niveles de depósitos con génesis de procesos combinados de tipos glacial, fluvial, torrencial y de composición prevalecientemente vulcanogénica.

La granulometría de los clastos es diversa, dentro de la matriz de suelo con cohesión y fricción se presentan desde gravas finas hasta bloques de varios metros, casi el total de la composición de los clastos son rocas volcánicas entre andesitas y basaltos y otros de rocas plutónicas graníticas.

Esta unidad que en su estado original debió ser una planicie que sepultó un valle, en la actualidad tiene la geoforma de una meseta ondulada y con un escalón tectónico con cota inferior al occidente desde Chipre hasta La Francia, otros sectores que evidencian el fallamiento de esta unidad es el curso de los cauces que la cortan o se meten dentro de esta meseta así:

La quebrada Marmato que entra desde el suroccidente del río Chinchiná en el casco urbano de Manizales con dirección Sur- Norte dirigiéndose hasta los barrios el Carmen y la Isla y en la parte sur del centro urbano de Manizales, este lineamiento de falla controla en la ladera norte la quebrada que drena desde la plaza de mercado en dirección y sentido Sur – Norte hasta la quebrada Olivares.

Los afloramientos de esta unidad se exponen con mejor dimensión en laderas fuertes de la meseta así: Ladera en la vía que va desde el puente para salir a Neira por la avenida del Río Hasta la Universidad Autónoma de Manizales, Ladera por donde va la vía que comunica El Parque Olaya Herrera con el Barrio la Francia, ladera de la vía panamericana desde el cruce en el sector de la Fuente hasta la Estación Uribe y ladera cruzada por la vía entre el Batallón y Expoferias.

Un sector donde se aprecia la inclinación por tectonismo de estos depósitos con buzamiento cercanos a los 15° hacia el norte es el sector del viaducto de la Estampilla, donde se presenta un estrato de arenisca sucia (grawaca) entre dos capas de conglomerados de la Formación Manizales. Ver figura 10.



Figura 10. Depósitos de flujos de lodo interestratificados con una capa de grawaca con buzamiento hacia el noreste por tectonismo.

Gran cantidad de los deslizamientos que han cobrado numerosas víctimas en laderas de barrios subnormales en la ciudad de Manizales se dan sobre esta unidad y están asociados por contacto entre depósitos de caída piroclástica saturados por lluvias que están suprayaciendo esta unidad, o por deslizamientos superficiales de la capa meteorizada exterior de estos materiales o por desestabilización por cortes y o vertimiento de aguas servidas o de techos y/o de basuras y escombros en estas laderas.

En la parte inferior del barrio la Francia se presentan grandes reptaciones que involucran esta unidad, fuerte erosión por socavación genera las aguas encauzadas de la quebrada el Topacio con afloramiento de los conglomerados, la dinámica y el principal factor de su causa es la saturación de estos materiales por el efecto barrera que ejerce la presencia de la nueva unidad de lavas del sector de la Francia que taponan transversalmente el cauce de la quebrada el Topacio-La Francia y contribuye con la saturación de los conglomerados generando las mencionadas reptaciones, ver figura 11



Figura 11. Afloramiento de lavas pórfido andesíticas en la Quebrada El Topacio barrio La Francia. Nótese el sistema de fracturamiento por tectonismo cuaternario.

Estabilidad de laderas sobre la unidad de Depósitos de Flujos de Lodo de la Formación Manizales.

Inicialmente es bueno resaltar que en terrenos escarpados con fuertes pendientes localizadas en las laderas norte sur del municipio de Manizales donde aflora la unidad en cuestión ha desaparecido casi en su totalidad la cubierta de caída Piroclástica debido a procesos denudativos, especialmente deslizamientos causados por la saturación de la cubierta Piroclástica porosa y permeable que yace sobre los depósitos de flujos de lodo menos porosos y menos permeables.

Muy similar a esta tipología de movimientos en masa, pero aún más grave es la de los deslizamientos de la capa Piroclástica sobre suelos de los depósitos de flujos de lodo de la Formación Casabianca, pues esta unidad es más arcillosa, menos porosa y menos permeable.

Un problema frecuente que se presenta en las laderas donde afloran estos conglomerados es el desprendimiento de bloques con diámetros que han superado el metro de diámetro situación que genera una amenaza frecuente a los pobladores, el desprendimiento y caída de bloques se debe

a pérdida de resistencia de la matriz que los soporta y a la mayor diferencia de densidad, ese desprendimiento conlleva otros problemas como encapsamiento y taponamiento de canales colectores y bajantes de obras de estabilidad que hacen que se salga el agua y transite de forma concentrada desarrollando procesos de erosión sobre taludes o laderas, que incrementan pueden reactivar la inestabilidad.

Depósitos de Flujos de Lodo de la Formación Casabianca (Tscb).

Esta unidad de conglomerados matriz soportados es textural y composicionalmente muy similar a los conglomerados de la Formación Manizales, los depósitos de Casabianca se caracterizan porque en general los bloques se encuentran en estado avanzado de descomposición, en saprolito, solo algunos presentan el núcleo aun fresco, en roca dura, ya que por su gran diámetro, la meteorización no ha alcanzado esa profundidad, algunos clastos de cuarzo están frescos por la alta resistencia de este mineral a la meteorización.

Esta unidad aflora sobre la parte alta de la meseta, descansa en contacto erosivo sobre los depósitos de la Formación Manizales. La descomposición de la matriz la hace arcillosa y baja ostensiblemente su coeficiente de permeabilidad, son materiales que en laderas presentan problemas de estabilidad, especialmente a los depósitos de caída piroclástica que se saturan por estar sellados en la base por estos conglomerados con matriz plástica y poco permeable por ser más arcillosa, en la figura 9 se observa un afloramiento localizado en un perfilado para estabilizar un talud inferior localizado en la vía entre Fundadores y la Universidad Autónoma, en el corte para perfilado sobre esa unidad geológica se puede apreciar la trabajabilidad de los materiales térreos acá presentes, pues el alto grado de meteorización química ha llevado los bloques de roca a un estado avanzado de descomposición y adquieren una textura de saprolito donde el material ya convertido en suelo sigue manteniendo la apariencia de la textura de la roca parental, se ven como bloques de roca, pero realmente es suelo y se puede cortar como tal, ver figura 12 en donde la superficie plana por el corteo muestra lo que fueron rocas, en la imagen aún se observa un bloque de roca redondeado que aflora con un nódulo más claro, este bloque soportó los agentes de intemperismo sin descomponerse indicio de que en su composición hay un mayor contenido de sílice elemento que incrementa la resistencia de los minerales y rocas.



Figura 12. Perfilado de talud sobre Depósitos de Flujos de Lodo de la Formación Casabianca, se observan bloques de roca en estado saprolitizado cortados con pala.

Afloramientos de esta unidad se presentan en los barrios Villa Carmenza, Palermo, Sector de San Rafael, Villa Pilar, Liborio, Los Cábulo y los Alcázares entre otros.

Estabilidad de laderas sobre la unidad de Depósitos de Flujos de Lodo de la Formación Casabianca.

Son comunes, sobre esta unidad, la presencia de zonas inestables en taludes de corte donde la pata o pie está próximo al contacto deposicional entre las cenizas y los flujos de lodo que la están suprayaciendo, en este problema contribuye la saturación del manto de cenizas, capa de origen piroclástico, por la diferencia del coeficiente de permeabilidad y la dificultad del agua para pasar de las cenizas permeables a los flujos de lodo de Casabianca con matriz arcillosa poco permeable.

La presencia de zonas de inestabilidad en la unidad geológica de Depósitos de Flujos de Lodo de la Formación Casabianca se da, especialmente en laderas con forma cóncava y donde la pendiente cambia de suave a abrupta, problema asociado con la saturación y ablandamiento de la matriz y se agudiza el problema cuando está la presencia de la cubierta de caída piroclástica, la tipología de deslizamiento es rotacional profunda movilizandando gran cantidad de suelo e incrementando la probabilidad de afectación a las poblaciones frecuentemente vulnerables que viven en laderas inestables, como en el deslizamiento que se generó a finales del año 2013 en el barrio la Avanzada que cobró varias vidas, ver figura 13.



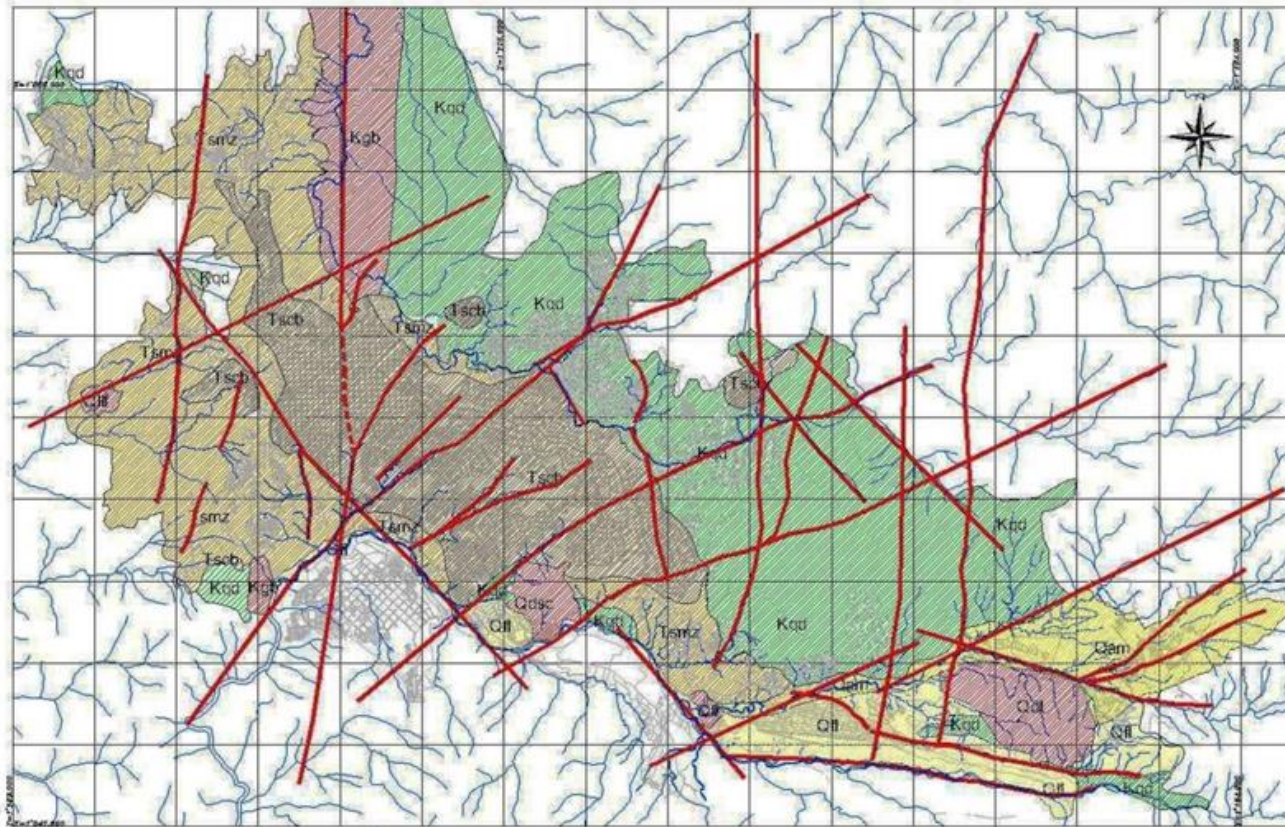
Figura 13 deslizamiento ocurrido en el barrio la Avanzada en noviembre de 2013 los materiales involucrados fueron suelos de la cubierta de cenizas sobre Depósitos de Flujos de Lodo de la Formación Casabianca. Fuente Diario La Patria.

GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.

Cuatro sistemas de estructuras correspondientes a fracturas y a fallas se presentan en la zona urbana de Manizales, ver figura 1. Un sistema de baja densidad con dirección E-W está representado por una falla que controla el río Chinchiná paralela al eje de la pista del aeropuerto La Nubia y a cerca de 300 metros al sur de ésta.

Un sistema con dirección N-S, asociado o perteneciente al Sistema de Fallas de Romeral (S.F.R.), al que pertenecen la Falla Manizales –Neira, la Falla del Perro y la Falla de Chipre entre otras, las fallas satélites pertenecientes a este sistema son las que mayor longitud o continuidad presentan en el área de estudio. El origen de este sistema está asociado con el carácter compresivo que genera la subducción de la placa del pacífico bajo la placa suramericana

El sistema con mayor densidad en el área presenta dirección NE-SW está conformado por fallas que controlan los cursos de las quebradas La Camelia. San Luis y La única:



Las estructuras pertenecientes a este sistema se evidencian por la presencia de drenajes con cursos rectilíneos con las direcciones ya mencionadas, que por ejemplo, para la quebrada San Luis la dirección de un cauce que no esté controlado estructuralmente sería su dirección sería la distancia más corta ya que el corre lineamientos son paralelos y que el agua se encauza sobre estos por ser zonas de debilidad o fallamiento, de no ser así, el agua se encauzaría por las líneas de máxima pendiente, es decir el agente de control de estos tres drenajes sería topográfico, bajando en línea recta y sinuosa aproximadamente perpendicular a las tangentes de las curvas del río Chinchiná o perpendiculares a sus trazos rectos.

Sistema NW-SE falla que cruza los barrios La Francia, alcázares y en línea recta controla la parte del río Chinchiná que separa el sector de los Cámbulos- Aranjuez de los barrios del norte del Municipio de Villamaría.

El conocimiento geológico de un país se plasma en el Mapa Geológico, un documento en permanente perfeccionamiento y ampliación, que muestra la distribución de los diferentes tipos de rocas y otros materiales que conforman el paisaje nacional. Esta información es esencial para la prospección de minerales, hidrocarburos, aguas subterráneas; para la definición y planificación de la infraestructura de obras civiles y usos del terreno, así como para diagnósticos relacionados con la prevención de desastres volcánicos y sísmicos.

Con ocasión de la conmemoración de los 90 años de la expedición de la Ley 83 de 1916, que ordenó la organización de una Comisión Científica Nacional para que hiciese el estudio geológico del país, el Instituto Colombiano de Geología y Minería, INGEOMINAS, entregará al país las nuevas versiones del Mapa Geológico de Colombia (MGC) a escalas 1:2'800.000 y 1:1'000.000, y las 26 planchas del Atlas Geológico de Colombia (AGC) que cubren el país a escala 1:500.000.

Para la realización del AGC y MGC se integró y generalizó de forma digital la información de las planchas geológicas, a escala 1:100.000, del INGEOMINAS, de tal forma que los mapas resultantes tuviesen una salida de presentación a escalas 1:500.000 y 1:1'000.000. Como soporte para el empalme de la información geológica fuente se utilizaron imágenes de radar, LandSat TM y el modelo DEM NASA SRTM (2003) con una resolución de 30 m.

El AGC se implementó en la plataforma SIG institucional denominada SIGER (Sistema de Información Georreferenciada del INGEOMINAS) desarrollado sobre software SIG ArcGIS 9.1 y ArcSDE 9.1 con un motor de base de datos Oracle 10.x. Para el manejo de la información georreferenciada del mapa, se desarrolló una aplicación que permite la edición gráfica, y un sistema automatizado para la producción de las salidas gráficas con el cual se generan los mapas de forma dinámica con la información almacenada en la base de datos. Igualmente, el soporte tecnológico sobre el que se implementó el mapa y la metodología diseñada para su realización, permiten que en este se pueda actualizar con información geológica nueva, permitiendo así obtener versiones periódicas del Mapa Geológico de Colombia a estas escalas.

Como producto del análisis de la información compilada y el trabajo de análisis realizado en el Mapa Geológico de Colombia se plantea un modelo evolutivo de Colombia que postula que el territorio colombiano se formó por la acreción de cuatro bloques o provincias litosféricas –tres de ellos de carácter oceánico– al borde noroccidental de Suramérica o provincia autóctona. Dichos episodios de acreción sucedieron los dos más antiguos posiblemente en el Neoproterozoico (?) y los dos últimos durante el Paleógeno.

FUENTES BIBLIOGRÁFICAS DE COMPLEMENTO

Aspectos geofísicos de los Andes de Colombia Duque Escobar, Gonzalo (2009) In: 1er Congreso Internacional de Desempeño Humano en Altura, Noviembre 19 de 2009, Manizales. - See more at: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1580/2/gonzaloduqueescobar.200915.pdf>

El desastre de Armero a los 30 años de la erupción del Ruiz. Duque Escobar, Gonzalo (2015). In: Curso de Contexto CTS, Noviembre 11 de 2015, Auditorio Juan Hurtado. - See more at: <http://www.bdigital.unal.edu.co/51222/7/eldesastreadearmeroalos30.pdf>

Manual de geología para ingenieros. Duque Escobar, Gonzalo (2003) Universidad Nacional de Colombia, Manizales. - See more at: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1572/>

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

Geomecánica de las laderas de Manizales. Duque Escobar, Gonzalo and Duque Escobar, Eugenio and Murillo López, Cristina (2009) In: Foro: Gestión del riesgo por inestabilidad de terrenos en Manizales, 13 de Agosto de 2009, Manizales. - See more at: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1603/1/gonzaloduqueescobar.200916.pdf>

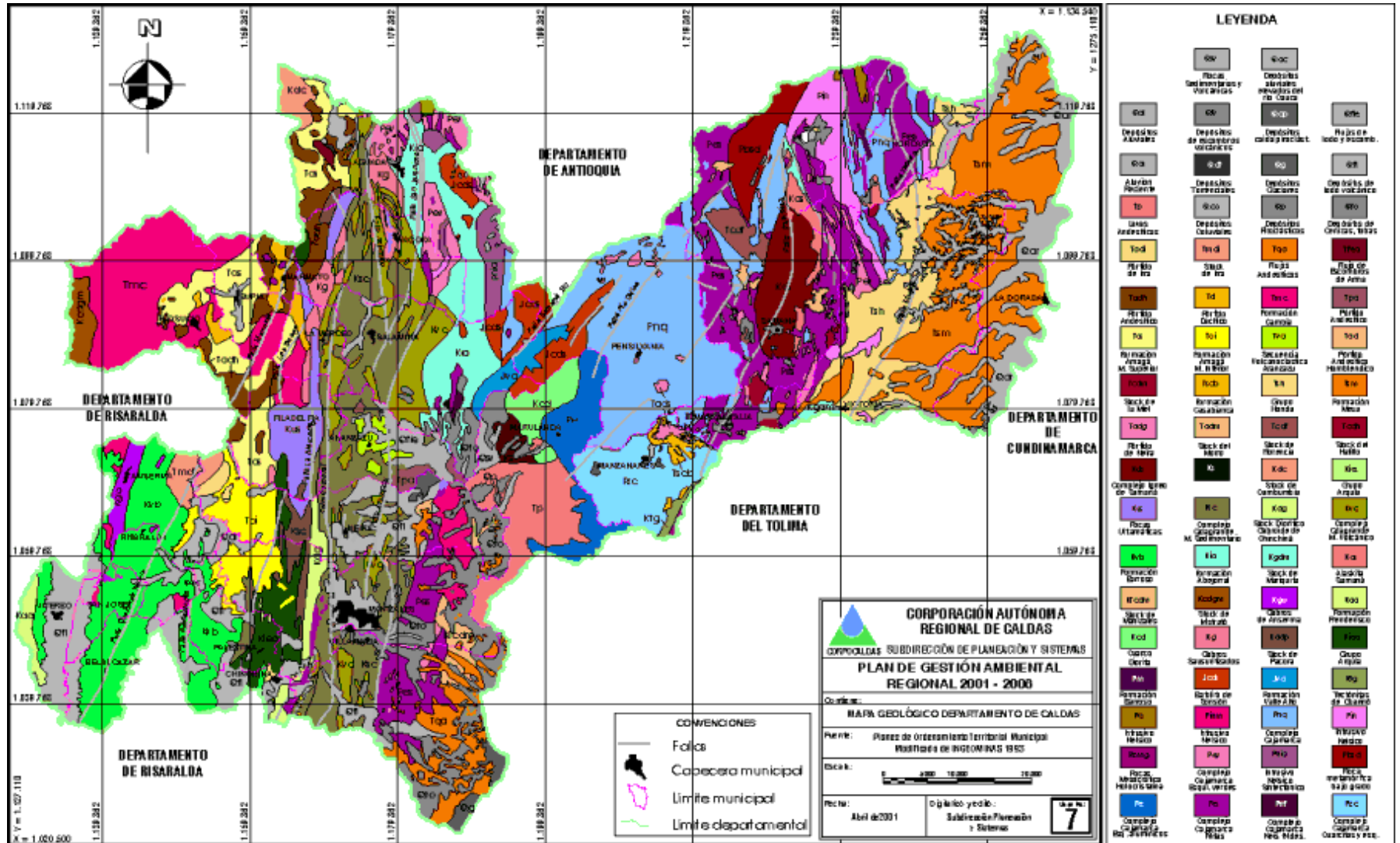
Gestión del riesgo. Duque Escobar, Gonzalo (2014) [Objeto de aprendizaje - Teaching Resource] - See more at: <http://www.bdigital.unal.edu.co/47341/1/gestiondelriesgo.anexo.pdf>

Inestabilidad de laderas en el trópico andino - Caso Manizales. Duque Escobar, Gonzalo (2012) In: Aplicación de técnicas cartográficas y topográficas al análisis de terrenos con problemáticas geoambientales. Programa de Ingeniería Ambiental., 24 de mayo de 2012, Universidad Católica de Manizales. <http://www.bdigital.unal.edu.co/6655/1/gonzaloduqueescobar.201223.pdf>

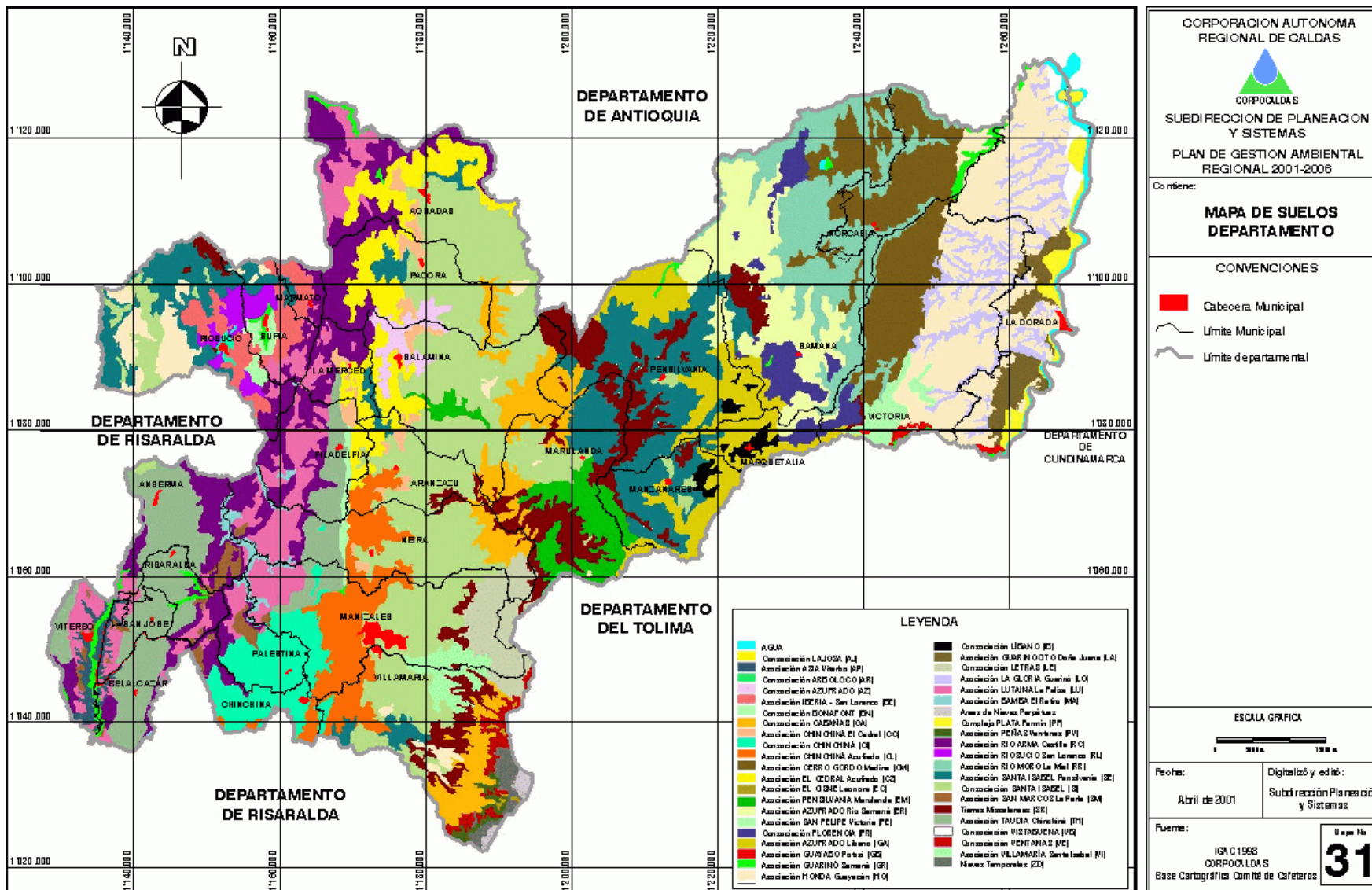
Sismos y volcanes en el Eje Cafetero: Caso Manizales. Duque Escobar, Gonzalo (2012) [Teaching Resource] <http://www.bdigital.unal.edu.co/6544/187/gonzaloduqueescobar.201220.pdf>

Túnel Manizales. Duque Escobar, Gonzalo and Duque Escobar, Eugenio (2010) In: XIII Congreso Colombiano de Geotecnia, SCG - U.N. de Colombia. 21-24 de Sep 2010, Manizales, - See more at: <http://www.bdigital.unal.edu.co/2046/1/gonzaloduqueescobar.20107.pdf>

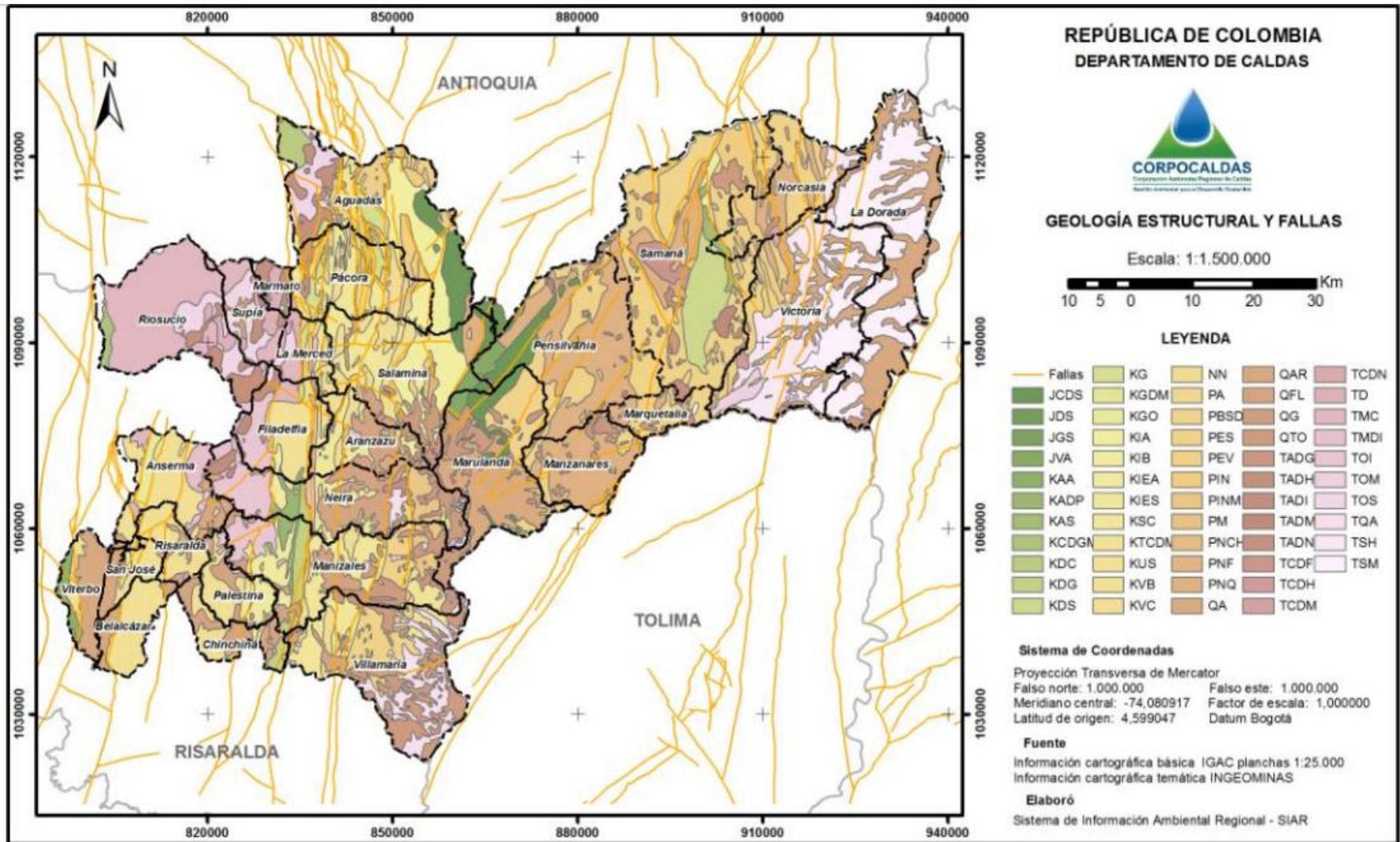
ANEXO A: MAPA GEOLÓGICO DE CALDAS



ANEXO B: MAPA DE SUELOS DE CALDAS



ANEXO C: GEOLOGÍA ESTRUCTURAL DE CALDAS



EL AGUA

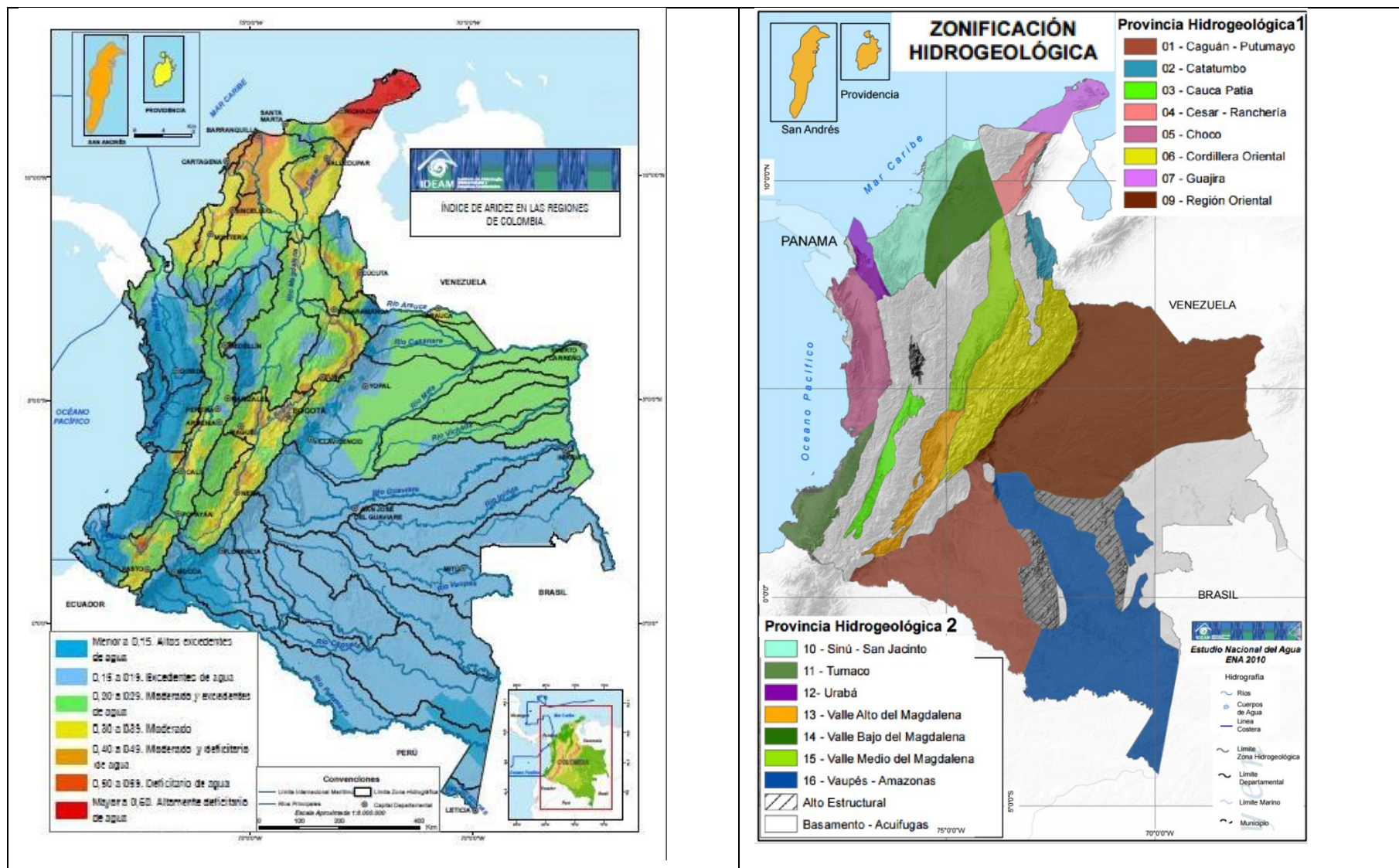


Imagen: Estudio Nacional del Agua. Ideam 2010. Izq. Índice de Aridez en Colombia. Der. Provincias hidrogeológicas de Colombia.

IDEAM

Al definirse el agua como un recurso y no como un patrimonio, ha sido mal tratada, desperdiciada y contaminada., el agua debería ser considerada un patrimonio.

Un recurso es algo que se explota, que puede ser privatizado y que; pero un patrimonio, dado que es algo que se hereda, no se le entrega al mercado.

Al igual que los suelos de cultivo y la biodiversidad, el agua solo admite aprovechamientos responsables.

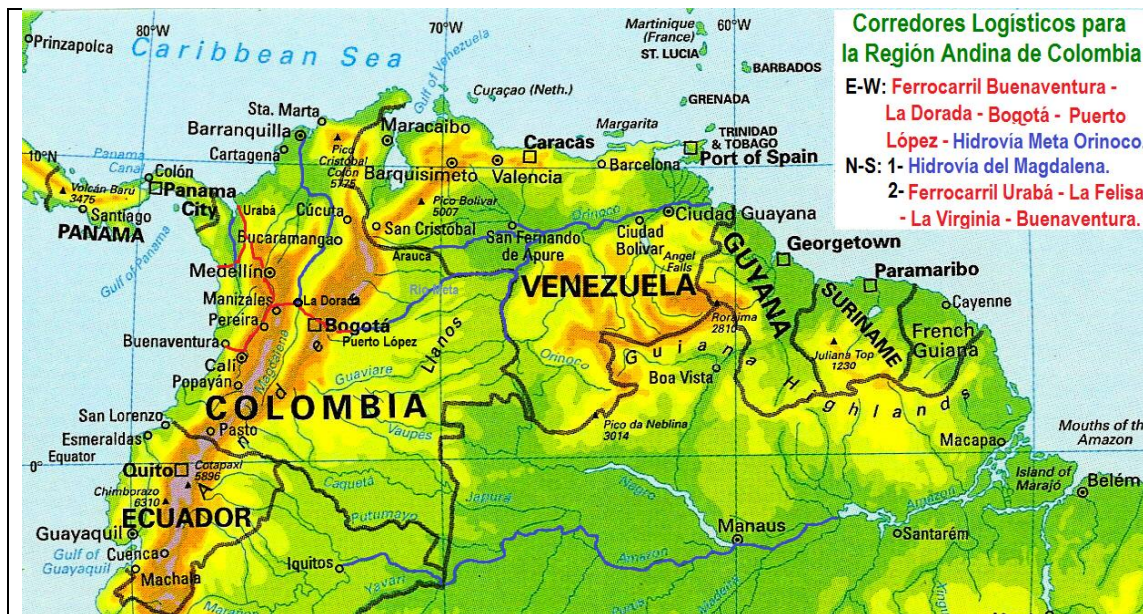
Las Cuentas del Agua

- Colombia cuenta con abundantes tierras agrícolas (43,6 millones de ha, que representan aproximadamente el 39,5% del total de la superficie de suelo), y con recursos de agua dulce, puesto que es el cuarto país en el mundo con mayores precipitaciones anuales.
- Según el Estudio Nacional del Agua IDEAM (2014), del patrimonio hídrico total de agua dulce estimado en 7485 km³ cúbicos, el 78,1% es agua subterránea y el 21,7% agua superficial. Y del volumen de agua superficial, el 98% está en los ríos y el 0,2% en lagos, embalses y glaciares.
- El suelo agrícola colombiano se caracteriza por una profunda asimetría de tipo conflictiva en sus usos: de un lado su infrautilización y del otro su sobreexplotación, ya que el uso dominante es el pastoreo, actividad para la cual destina el 40% de las tierras sabiéndose que sólo el 13% del suelo es apto para dicha actividad.
- La gran cuenca del Magdalena – Cauca (24% del área total del territorio) que es la que presenta la mayor afectación ambiental, con sólo el 10,6% de la oferta hídrica nacional debe soportar el 70% del PIB y el 75% de la población.
- Según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico OCDE en las Revisión a las Políticas Agrícolas de Colombia hecha en 2015, el país, para lograr su objetivo de crecimiento sostenible agrícola y superar los desafíos estructurales, debe potenciar políticas que respalden su competitividad a largo plazo.
- Para el efecto, la OCDE recomienda destinar los recursos públicos a eliminar las deficiencias en el sistema de tenencia de la tierra, infraestructura, gestión del agua y del suelo, sistemas de inocuidad alimentaria y de salud animal y vegetal, entre otras problemáticas.

Nuestros ríos

La hidrografía de Colombia es de las más ricas del planeta. Hasta 1990 Colombia ocupaba el cuarto lugar en el mundo por volumen de agua por unidad de superficie, después de la Unión Soviética, Canadá y Brasil. Pero siete años después, por pérdida del patrimonio hídrico, como consecuencia de la deforestación o tala indiscriminada, en 1996 el país pasó a ocupar el puesto décimo séptimo.

Las cuatro vertientes hidrográficas en que se divide el territorio continental colombiano, son: la del Caribe, la del Pacífico, la del Orinoco y la del Amazonas.



Los ríos colombianos de la vertiente del Atlántico (363.878 km²), son el Atrato, el Sinú, el Magdalena, el Ranchería o Calanaca y el Catatumbo. En la del Pacífico (88.000 km²) se encuentran el Baudó, el San Juan, el Micay, el Patía y el Mira, entre otros. Los afluentes de la cuenca del Amazonas (345.000 km²) son el Caquetá, el Vaupés y el Putumayo y los afluentes de la cuenca del Orinoco (328.000 km²) son el Arauca, el Meta, el Vichada, el Tomo y el Guaviare. Estas vertientes generan un caudal medio de 66.440 m³/seg, distribuidos así: 23% en la del Caribe; 10% en la del Pacífico; 34% en la Amazonía y 32% en la Orinoquía; la del Catatumbo sólo drena el 1% al Golfo de Maracaibo.

La Orinoquia y la Amazonia pese a una red hídrica natural asociada a tan considerable región que comprende el 46,7 % de la superficie sudamericana, esperan ver consolidados dos proyectos vitales para su identidad y desarrollo, y para la integración de América del Sur

– **El río Magdalena.** Es el principal río colombiano, cruza el centro del país y sirve de médula espinal a las comunicaciones de la Nación. Nace en el páramo de Letrero en el Macizo Colombiano y recorre 1538 km. hasta su desembocadura por las llamadas Bocas de Ceniza. Recibe un afluente de gran valía por la cuenca que baña y es el Cauca que riega una de las regiones más ricas de Colombia. La navegación por el Magdalena es viable en naves de poco calado para contenedores.

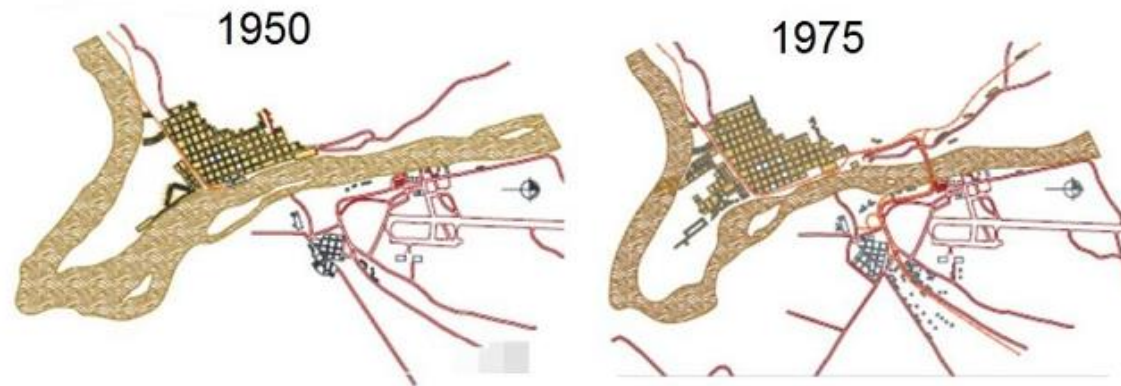


Imagen 11: Dinámica del meandro Conejo en La Dorada. Ladorada.gov.co

La imagen muestra los cambios dramáticos del meandro de la curva Conejo frente al barrio Bucamba, en La Dorada, circunstancia que llevó a considerar a principios del siglo XX el lugar, como “punto cero” de la navegación del río.

La navegación por el Magdalena es viable en naves de poco calado para contenedores: hoy cuando se estima factible garantizar 4,5 pies de profundidad en un canal navegable de medio centenar de metros en el tramo Puerto Berrío-La Dorada, se proyecta movilizar por lo menos 11 millones de toneladas por año a lo largo de todo el río, en los próximos años. Las embarcaciones portacontenedores deberán contemplar, además de frecuentes meandros la velocidad del Magdalena con unos 3 nudos, lo que impone condiciones a sus esloras, radios de curvatura del canal navegable y velocidad de navegación efectiva de los convoyes remontando el río.

– **El Catatumbo.** Con 440 km. de largo es más importante para Venezuela que para Colombia. Nace en la Mesa de Ocaña y desemboca en el Golfo de Maracaibo.

– **El Atrato.** Cobra nombre en el proyectado Canal Interoceánico. Este río considerado como el más caudaloso del mundo en proporción a su cuenca y longitud, nace en el cerro Plateado y recorre 700 km. para morir en el Golfo de Urabá formando un delta de varias bocas.

– **El San Juan.** Nace en el cerro Caramanta, cruza una de las regiones más ricas en metales preciosos de América del Sur y una de las zonas más húmedas del mundo por la gran pluviosidad. Después de 380 km. en gran parte navegables lleva al Pacífico más de 1000 m³ de agua por segundo, con lo que se mantiene en el mayor caudal de toda la vertiente del Pacífico Sur Americano.

– **El Patía.** Nace en el Sotará cerca del Macizo Colombiano, corre inicialmente por un surco intercordillerano que tal vez fue un antiguo lago y después de recibir las aguas del Guáitara que corre en sentido opuesto por el mismo surco, rompe la cordillera para buscar salida al océano a través de una llanura selvática llena de esteros y rica en oro. De sus 400 km. buena parte son navegables.

– **El Mira.** Nace el nudo ecuatoriano de Ibarra y sirve de límite internacional en un corto trayecto. Después de 300 km. este río sumamente navegable llega al Pacífico bañando una zona deshabitada pero de tierra fértiles.

– **El Orinoco.** Con un recorrido de 2900 km., de los cuales 1670 son navegables, nace en la Sierra Parima en los límites con el Brasil. Por su curso y su cuenca es el tercer río de Sur América que corre primero en dirección occidental hasta la frontera colombo-venezolana donde tuerce hacia el norte. En los 420 km. fronterizos recibe el Guaviare de 1350 km. y que debiera considerarse como la verdadera fuente del río por su caudal y longitud, el Vichada de 720 km., el Meta de 1060 km., también fronterizo y el Arauca de 1000 km. casi totalmente navegable como el Meta. De los raudos de Maipures en adelante el Orinoco es perfectamente navegable, se desenvuelve por una llanura de pradera, pasa por Angostura y entra en su zona de delta que es selvática y pantanosa, para desembocar en el Atlántico por un delta de numerosos brazos.

– **El río Amazonas.** Es el mayor del mundo con una longitud de 6275 km. que lo colocan en el segundo puesto después del Nilo, tiene un curso navegable de casi 5000 km. (que incluyen los 115,5 kilómetro del trapecio amazónico), que lo sitúan en el primer lugar de la tierra, sin contar los innumerables afluentes navegables por grandes vapores en mucha parte de su curso. Cuenta con más de 1100 tributarios como el Caquetá de 2200 km. en Colombia. Después de Leticia el ancho medio es de 50 km. y su profundidad media de 50 metros. Debido a lo plano y bajo de las tierras que recorre el río se ensancha en medio de la llanura, formando islas, caños,

esteros, a veces mares interiores en los que no se mira la otra orilla y llega a tener oleaje; es en ésta parte en donde el Amazonas recibe los mayores afluentes. A pesar de desembocar por dos enormes brazos en medio de los cuales está la isla de Marajó las aguas del río entran con tanta fuerza en el Atlántico que se siente su flujo 300 km. mar adentro.

Río	Cuenca km ²	Longitud Km	Caudal m ³ /s
Caquetá	99.203	1.200	13.180
Guaviare	166.168	1.350	8.200
Magdalena	257.438	1.543	6.987
Meta	103.052	1.000	6.496
Putumayo	53.165	1.350	6.250
Atrato	35.702	612	4.155
Vaupés	37.748	660	2.650
San Juan	15.180	376	2.550
Vichada	22.235	700	2.000

Mira	10.901	550	570
------	--------	-----	-----

Cuadro C: Cuencas y caudales de los principales ríos de Colombia. Fuente: <http://www.colombia.com>

El costo del agua

- Para dimensionar el valor económico del agua, se debe ponderar su contribución a las actividades humanas en cada fase del ciclo hídrico, máxime si se trata de un bien escaso que se asigna ineficientemente. Los factores que se incluyen, son: disponibilidad de agua potable, regulación hídrica y suministro de caudales, generación de energía, recurso hídrico para la industria y para el sector agrícola y beneficios económicos para las ESP.
- En 2008 % la participación del agua en el PIB fue del 10%, mientras los costos económicos de la contaminación hídrica (beneficios económicos de la descontaminación), ascendieron al 3,5%.
- Por usos del agua en Colombia según el IDEAM, la primacía la tiene el agrícola con el 54%; siguen el doméstico con el 29% y el industrial con el 13%, y en menor escala el pecuario con el 3% y el de servicios el 1%.
- En Bogotá, tras el advenimiento de la floricultura, mientras por cada 10 m3 extraídos del subsuelo, la industria consume 8 m3, las actividades humanas y rurales casi por partes iguales consumen el resto.

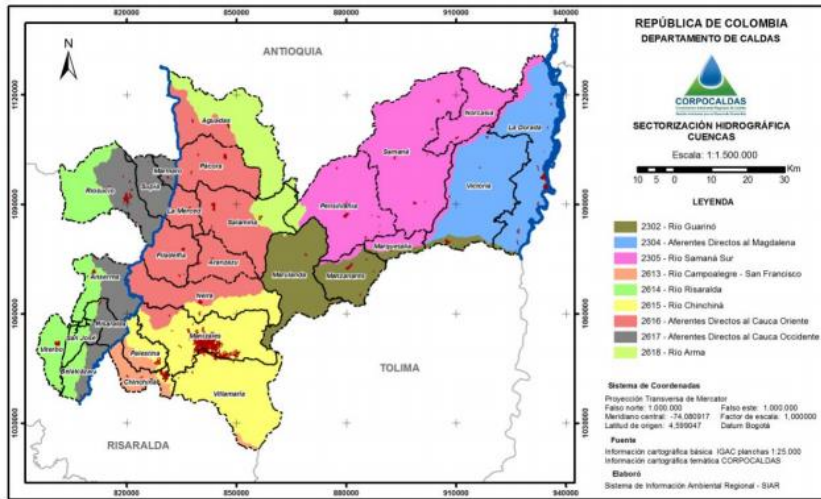


Figura 2. Sectorización hidrográfica del departamento de Caldas.

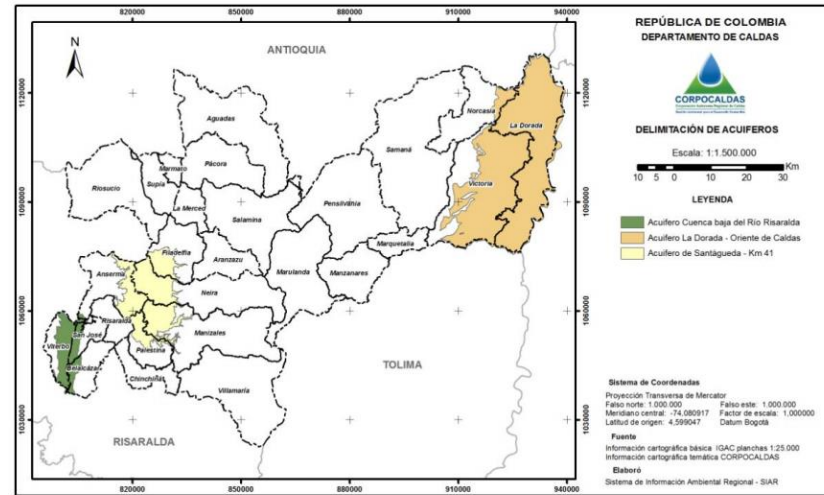


Figura 5. Delimitación de acuíferos..

Cuencas y Acuíferos de Caldas. CORPOCALDAS

- Potabilizar el agua requiere de una valiosa infraestructura y por supuesto de energía. Además, cuanto más crecen las ciudades y más agua consumen, además de requerirse de fuentes cada vez más escasas y distantes o de pozos más profundos y numerosos según el caso, se deberá extender la infraestructura sanitaria, emplear más insumos y ampliar los complejos sistemas de soporte logístico, y las plantas para tratar los efluentes.
- Además, con mayor población también crecerá la demanda de alimentos, y con ella la del agua para el riego agrícola, que en algunas zonas altamente productivas puede escasear, por lo que habrá que recurrir a pozos y a bombeo de agua, a un alto costo.

Agua subterránea

- En Colombia, donde el 31% del agua dulce está en acuíferos y el 29% en lagunas, hace falta una política pública para garantizar el carácter de patrimonio y de bien público, del agua subterránea. Si lo administrativo y técnico están al día, en la gestión falta la dimensión socioambiental.
- Aunque las cuencas hidrogeológicas con posibilidades de aprovechamiento abarcan el 74% del territorio nacional, mientras el 56% de dicho área corresponde a la Orinoquía, la Amazonía y la Costa Pacífica, y el 31,5% a la región Caribe e Insular, solo el 12,5% le corresponde a la Región Andina que es la más densamente poblada.

- La Isla de San Andrés, las alta y media Guajira y el Departamento de Sucre y Tolima utilizan básicamente el agua subterránea para abastecimiento doméstico; el Valle del Cauca, la Sabana de Bogotá, el Urabá antioqueño, la zona bananera de Santa Marta y, Huila, lo utilizan para uso agrícola o industrial.
- Las cuencas hidrogeológicas más utilizadas en el país son las ubicadas en el Valle del Cauca, Valle Medio y Superior del Magdalena y Cordillera Oriental. Siguen en importancia por su uso, las del Golfo de Urabá, Golfo de Morrosquillo y departamentos de Bolívar, Magdalena, Cesar y la Guajira.
- En la Ecorregión Cafetera, además de zonas de recarga y acuíferos ya señalados, contrariamente, otra es la situación en de Cañón del Cauca entre Irra y Arma, por la escarpada topografía, el relativo bajo nivel de precipitaciones en la zona, la presencia de rocas impermeables, y en particular por la deforestación intensa consecuencia de la demanda de madera para la actividad minera.

La regulación hídrica

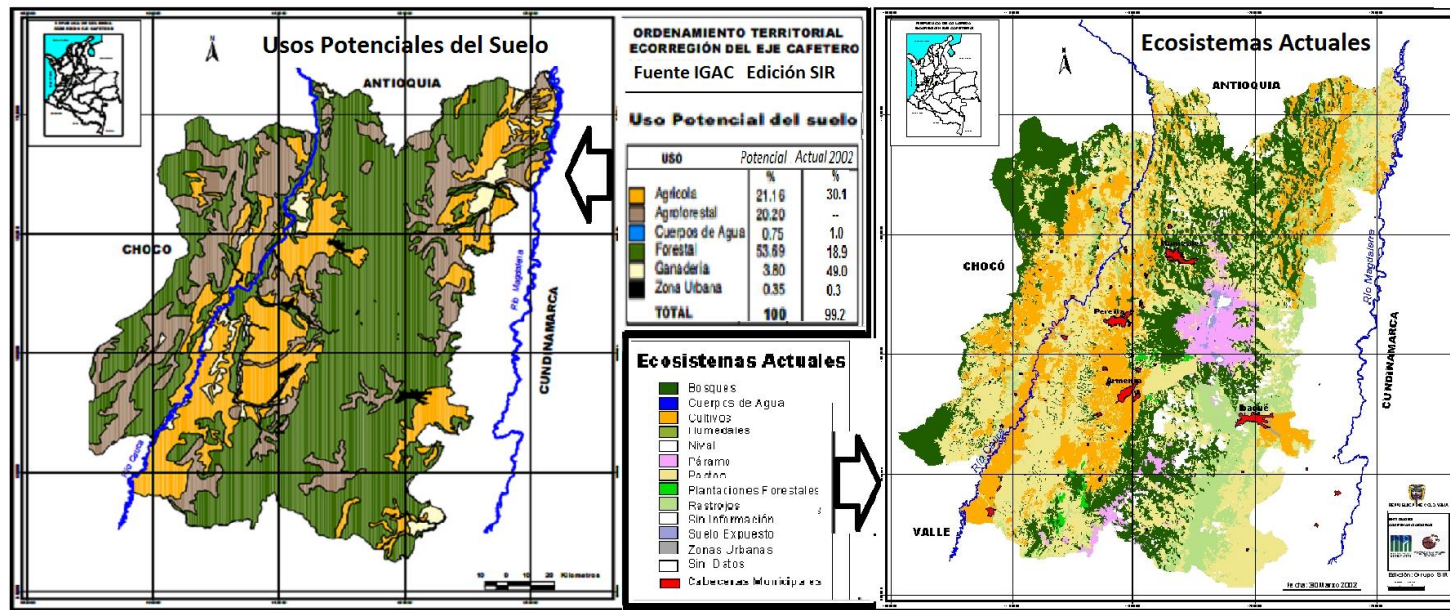
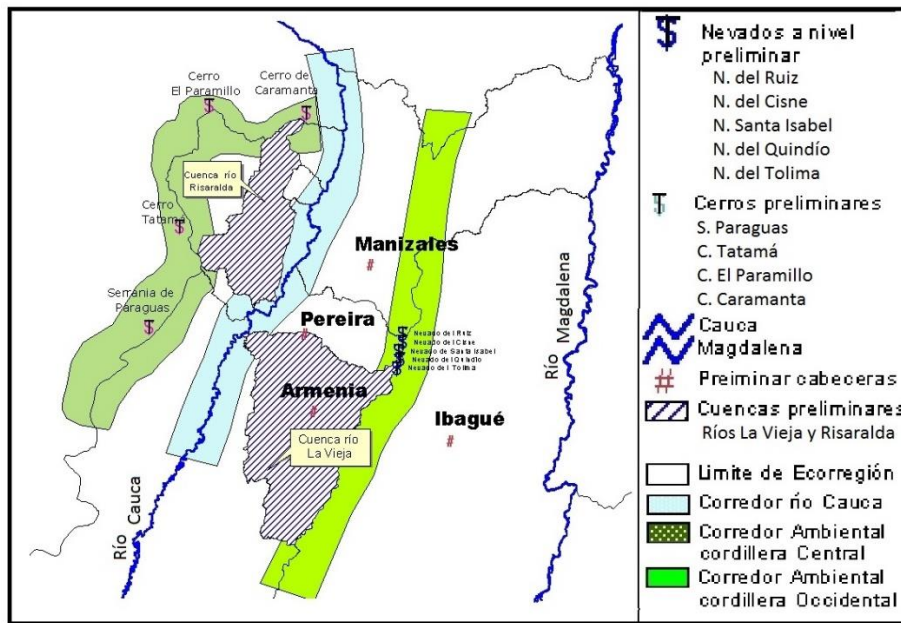


Imagen: La Ecorregión Cafetera, es un territorio deforestado que demanda acciones para mitigar la severa presión antrópica sobre los frágiles y vitales ecosistemas. Alma Mater – SIR Usos potenciales del suelo y Ecosistemas actuales de la Ecorregión Cafetera. Red Alma Mater 2000.

- En la Ecorregión Cafetera, en cuanto al sistema subterráneo sobresalen las zonas de recarga de los complejos de páramos y gran cobertura boscosa de bosques alto-andinos en las alta cordilleras Central y Occidental, las zonas del Roble en Quindío y alto del Nudo en Risaralda, nuestros páramos y las regiones del Oriente caldense con el bosque de Florencia, o los acuíferos del extenso Valle del Magdalena, el del Valle del Risaralda y el de Santágueda, y la cuenca del río La Vieja cuyo gran potencial de recurso hídrico subterráneo se asocia al Glacis que cubre más de 1/3 del Departamento del Quindío.
- Por la copiosa precipitación existe un recurso hídrico excedentario susceptible de aprovechamientos hidroenergéticos responsable, tanto en el Oriente de Caldas como en el alto San Juan.
- El patrimonio hídrico más comprometido, es el de las Cuencas de Río Chinchiná, Otún-Consota y Quindío; pero también existen potenciales problemas asociados al riesgo para el suministro de agua en el Corredor del Río Cauca y Norte de Tolima, donde dicha vulnerabilidad está asociada al déficit severo de agua de precipitación en temporadas de El Niño.



Estructura Fisiográfica de la Ecorregión Cafetera (Preliminar). Fuente Ideam

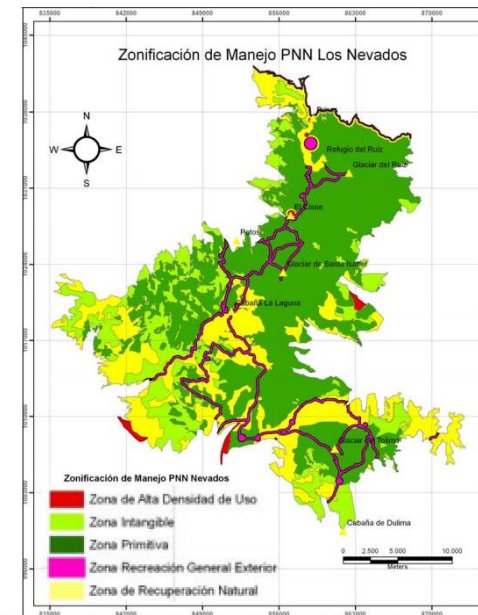


Figura 7. Espacialización de la zonificación de manejo del Parque Nacional Natural Los Nevados. Fuente: Grupo de Trabajo Parque Nacional Natural Los Nevados, 2006.

Imagen: Estructura Fisiográfica de la Ecorregión Cafetera. Ideam, y PNNN 2006.

- Aunque la Ecorregión Cafetera, gracias a su ubicación mediterránea en el centro y occidente de los Andes más septentrionales de América, donde la interacción de la atmósfera de la zona ecuatorial en conexión con el Pacífico, y en menor grado con la altillanura y la Amazonía, proveen un ciclo hidrológico dinámico, cuenta con un patrimonio hídrico abundante aunque asimétricamente distribuido.
- Allí, donde el agua puede convertirse en un notable factor de desarrollo y de bienestar social para la región, también el modelo agroindustrial cafetero soportado en monocultivos y en el uso de productos químicos, se constituye en una amenaza creciente como consecuencia del cambio climático y el avanzado estado de deforestación de sus cuencas.
- Para la Ecorregión, entre los ecosistemas vitales están los páramos del Tatamá y Caramanta, con sus bosques alto-andinos muy húmedos delimitados por los 3.450 m de altitud, que se suman al PNN de los Nevados con su ecosistema nival y páramos del Complejo Volcánico Ruiz Tolima, la ceja sur del Complejo del Páramo de Sonsón, los Páramos y bosques alto-andinos de Génova, el Bosque de Florencia, varias reservas regionales y otras áreas municipales declaradas de interés ambiental.

Relacionados:

AGUA Y CLIMA EN EL DESAFÍO AMBIENTAL <http://www.bdigital.unal.edu.co/52380/1/aguayclimaeneldesafioambiental.pdf>

BOSQUES EN LA CULTURA DEL AGUA <http://www.bdigital.unal.edu.co/3591/1/gonzaloduqueescobar.201133.pdf>

CALDAS EN LA BIORREGIÓN CAFETERA <http://www.bdigital.unal.edu.co/45356/1/gonzaloduqueescobar.201447.pdf>

COLOMBIA, PAÍS DE HUMEDALES AMENAZADOS

<http://www.bdigital.unal.edu.co/53346/1/colombiapaisdehumedalesamenazados.pdf>

COLOMBIA Y SUS MARES FRENTE A LOS DESAFÍOS DEL DESARROLLO <https://godues.wordpress.com/2015/06/22/colombia-y-sus-mares-frente-a-los-desafios-de-desarrollo/>

DESDE LOS ANDES AL ORINOCO Y AL AMAZONAS <http://www.bdigital.unal.edu.co/50641/1/desdelosandesalorinocoyamazonas.pdf>

EL AGUA EN LA BIORREGIÓN CALDENSE <http://www.bdigital.unal.edu.co/45357/1/gonzaloduqueescobar.201448.pdf>

EL OCASO DEL BOSQUE ANDINO Y LA SELVA TROPICAL <http://www.bdigital.unal.edu.co/12218/1/gonzaloduqueescobar.201412.pdf>

FERROCARRIL VERDE E HIDROVÍA DEL ATRATO <https://godues.wordpress.com/2015/03/28/ferrocarril-verde-e-hidrovia-del-atrato/>

NUESTRO FRÁGIL PATRIMONIO HÍDRICO <http://www.bdigital.unal.edu.co/51244/1/nuestrofragilpatrimonioidrico.pdf>

SOL, CLIMA Y CALENTAMIENTO GLOBAL <http://www.bdigital.unal.edu.co/39782/1/gonzaloduqueescobar.201430.pdf>

UMBRA: BACHUÉ, EL MUNDO DEL AGUA <http://www.bdigital.unal.edu.co/50853/3/mundodelagua.pdf>

CLIMA Y BOSQUES

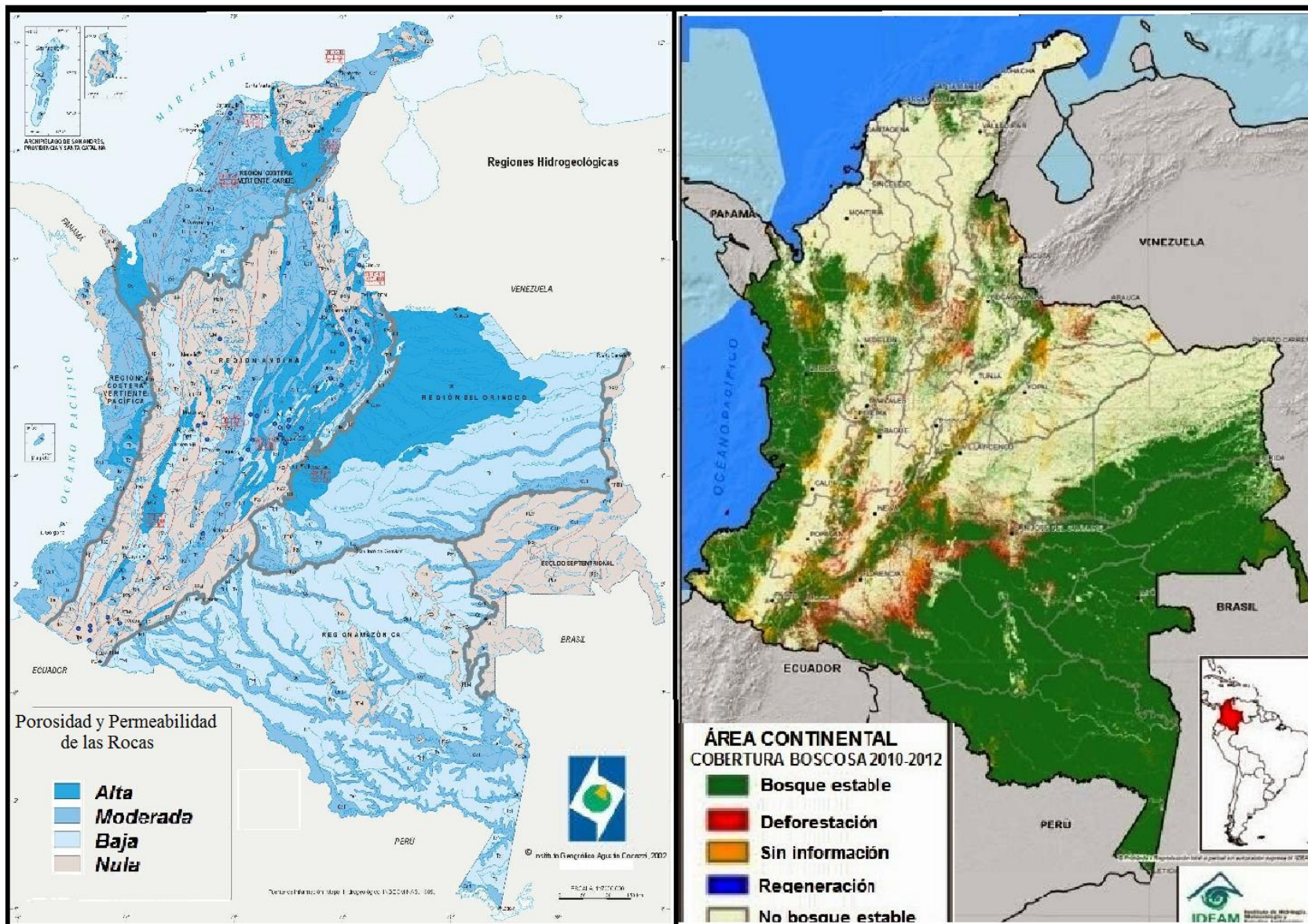


Imagen: Mapas de rocas permeables y porosas de Colombia. IGAC (2002), y de coberturas vegetales del país. IDEAM 2012.

- Sabemos que en la región andina de Colombia, el clima es bimodal: cada año tenemos dos temporadas secas que parten desde los equinoccios (junio 21 y diciembre 22) y dos húmedas a partir de los solsticios (marzo 21 y septiembre 22). En el país, además de reforestar las cuencas andinas buscando la apropiación social de prácticas forestales y productivas no conflictivas, se debe hacer lo propio en la lucha contra la deforestación
- Para el Ideam, mientras la cifra entre 1990 y 2010 llegó a 310 mil hectáreas-año, en el Chocó y en el Amazonas se pierde la batalla contra la deforestación, este flagelo aún cobra cien mil hectáreas por año en la región andina colombiana, lo que supone destruir una quebrada cada año.
- A modo de ejemplo, veamos el caso de Caldas: Según Corpocaldas, de una extensión de 744 mil Ha, las coberturas verdes de dicho departamento en 2010 eran: 163 mil Ha en bosques (22%), 265 mil Ha en cultivos (36%) y 300 mil Ha en pastos y rastrojos (40%), tres cuantías que cubren el 98% de su escarpado y deforestado territorio.
- Entre las especies a proteger, está la guadua, planta emblema de Caldas y recurso fundamental nativo de la región andina, que por sus múltiples usos en el hábitat rural y urbano, se constituye en un elemento estructurante de nuestra cultura y en una impronta del paisaje de la ecorregión cafetera colombiana.

Un jardín deforestado

Esta Ecorregión Cafetera con su escarpado paisaje tropical enclavado entre las cordilleras y profundos valles de los Andes más septentrionales de América, presenta conflictos severos en el uso del suelo: mientras la superficie apta para potreros es del 4% del territorio, las coberturas en dicho uso son del 49%; y mientras su potencial forestal es del 50%, los bosques sólo cubren el 30%.

Urge hacer un llamado sobre el deterioro de nuestros bosques andinos, páramos y selvas tropicales, consecuencia de la deforestación, del comercio ilegal de la madera y de la minería ilegal.

Entre los problemas relacionados con la calidad del agua en la Ecorregión y el Quindío, están la eutrofización, consecuencia de la contaminación con nutrientes (generalmente fósforo y nitrógeno), el nivel de carga orgánica y de patógenos (provenientes de las descargas de aguas residuales domésticas en centros poblados), la contaminación industrial (especialmente la asociada a industrias de alimentos), y la contaminación con mercurio (p.e. en las cuencas del Chinchiná y áreas de Marmato y Supía).

En el Departamento del Quindío se reconocen tramos de fuentes hídricas contaminadas con altos niveles de coliformes en los ríos Quindío, Espejo y Roble, y en las quebradas Cristales, Mina Rica y Agua Linda, como consecuencia de vertimientos directos de las zonas urbanas y centros poblados.

Dinámicas del Clima andino

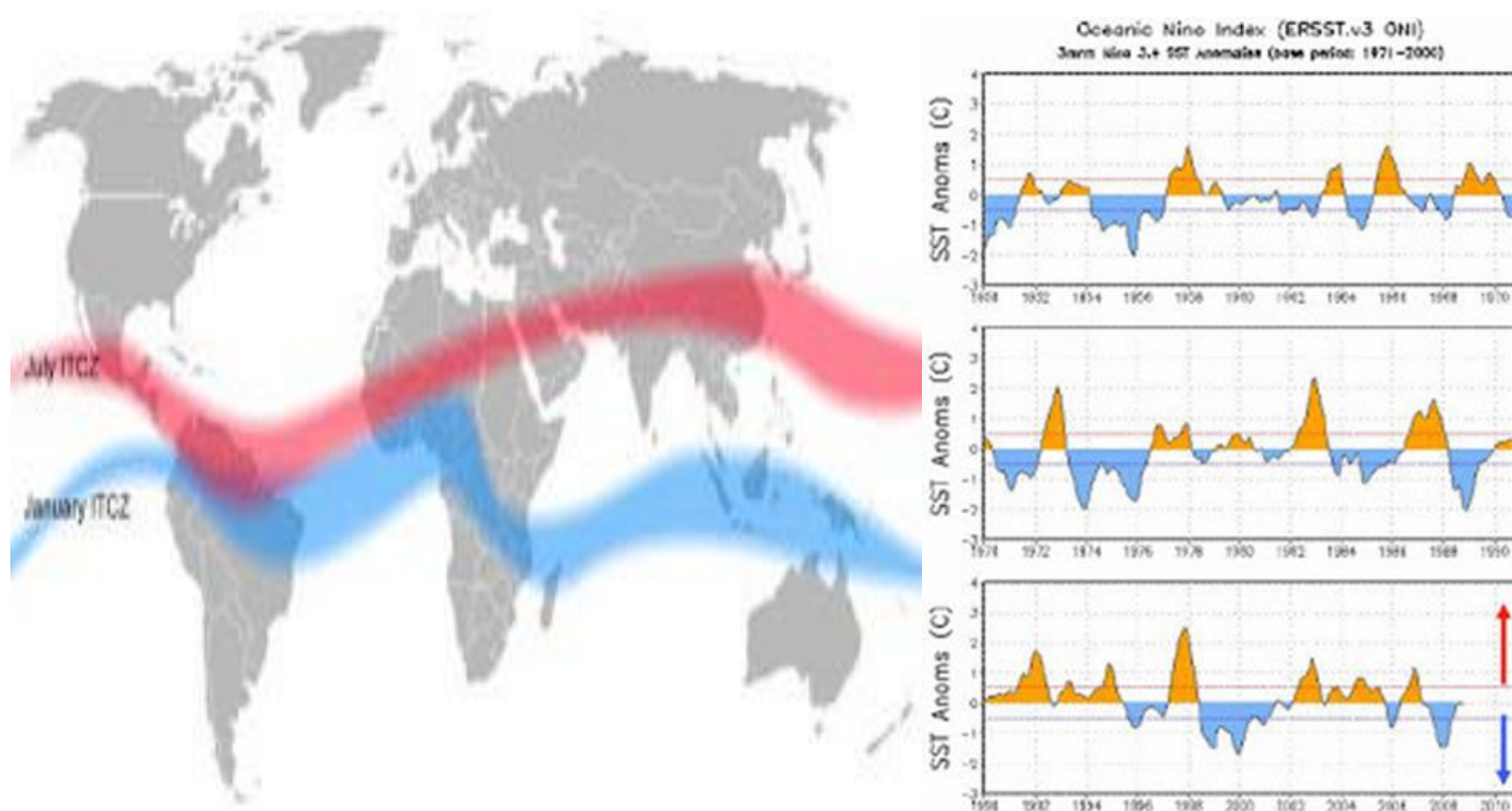


Imagen: dinámica anual de la Zona de Confluencia Intertropical ZCIT, en: www.fondear.org RAC <http://www.rac.net.co/> y Eventos del ENSO durante medio siglo. Según ERSST.

- El Niño y La Niña se explican por las anomalías de temperatura del Océano Pacífico, que se constituyen en freno para el desplazamiento natural y regular de la Zona de Confluencia Intertropical ZCIT, una franja de bajas presiones en la zona Ecuatorial que explica el clima bimodal colombiano.
- Sabemos que en la región andina de Colombia, el clima es bimodal: cada año tenemos dos temporadas secas que inician con los equinoccios (Junio 21 y Diciembre 22) y dos húmedas a partir de los solsticios (Marzo 21 y Septiembre 22).

- Para la zona andina colombiana, en los períodos de El Niño las temporadas de invierno y verano del año son más secas, y más frecuentes e intensos los huracanes del Caribe; y durante La Niña, ocurre lo contrario; ambas temporadas son más húmedas, y se presentan menos tormentas tropicales.
- Mientras para Colombia el fenómeno El Niño se manifiesta con un déficit de lluvias, contrariamente en Perú y Bolivia lo hace con lluvias torrenciales.
- Aunque las frecuentes inundaciones o sequías que disminuyen la oferta del recurso hídrico, especialmente en época de El Niño y de La Niña, en su orden, son la amenaza directa asociada al cambio climático, también El Niño y La Niña son los fenómenos de mayor variabilidad climática interanual de la zona tropical, con influencia directa en la ocurrencia de eventos climáticos extremos de temperatura y de precipitación.

Eventos climáticos extremos

- Aunque el desarrollo del fenómeno meteorológico del ENSO conocido como El Niño/La Niña es de carácter cíclico y comportamiento errático, a largo plazo la fuerza de este fenómeno puede cambiar, intensificándose como consecuencia del calentamiento global para generar eventos climáticos extremos como inundaciones o sequías en diferentes regiones del planeta.

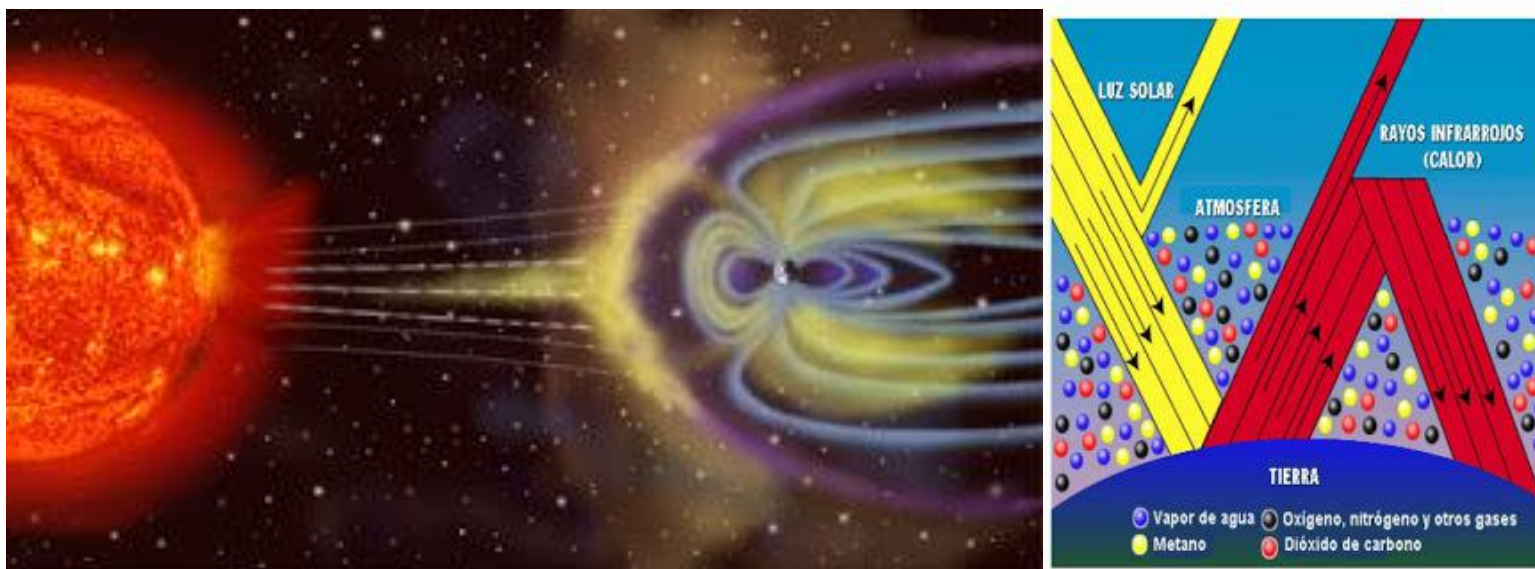
En el caso colombiano, al observar las dos últimas Niñas 2007/8 y 2010/11, pese a su condición intrínseca similar y calificación de sus niveles como eventos moderados, los efectos dejan ver una dinámica creciente del calentamiento global que anuncia consecuencias cada vez más intensas, tal cual lo advertimos en la segunda Niña al observar la Sabana de Bogotá convertida en una “Venecia” y la lista de 30 municipios colombianos como Gramalote, que afectados por las olas invernales requieren reasentamiento, 20 de ellos fuera de su jurisdicción.

Luego de las inundaciones de las dos niñas citadas, en especial las del 2010/11, en las regiones Andina y del Caribe se ha presentado un período de déficit de agua, comparable a la crisis causada por los Niños de los años 1997/98 y 1991/92, reconocidos hasta entonces como los fenómenos océano-atmosféricos más fuertes de la historia del territorio nacional.

Finalmente, El Niño 2015/16 que ha sido calificado de fuerte no “moderado”, se ha ubicado entre los 4 más fuertes a partir de 1950, con los eventos de los años 1972/73, 198/83 y 1997/98.

El bajo nivel de los ríos, el desabastecimiento de agua, el incremento de los incendios forestales, las heladas en el altiplano Cundi-Boyacence y los desastres hidrogeológicos, son hechos reales cada vez más frecuentes, que ponen en evidencia una alta vulnerabilidad socioambiental al Cambio Climático, consecuencia de un modelo de desarrollo conflictivo, no sustentable.

Sol y cambio climático



Imagen, Campo magnético de la Tierra frente al viento solar, en: sohowww.nascom.nasa.gov y Pérdida de energía de la energía radiante, en: fvsa.org.ar

- Aunque astrónomos y geofísicos soportados en correlaciones, pueden afirmar que cuando el Sol está tranquilo la Tierra permanece fría, aún no sabemos el porqué de los cambios de la actividad del Sol.
- Hubo una “pequeña glaciación” asociada a un periodo frío ocurrido entre 1550 y 1850, en el que se presentaron tres picos fríos (1650, 1770 y 1850); esta pequeña edad del hielo coincidió con un período de baja actividad en las manchas solares.
- Entre 1979 y 2010 el área de los glaciares del Complejo Volcánico Ruiz-Tolima pasó de 32 o 29 a 12 o 10 kilómetros cuadrados.
- Pero cuando se funda Manizales (1849), como consecuencia del último pico de esa pequeña glaciación, según Antonio Flórez (2002) e Ideam-Unal (1997), los hielos del PNNN sumaron cerca de 93 kilómetros cuadrados, 10% sobre el Cisne y el Quindío.
- Aunque solo podemos afirmar que la Constante de radiación solar, no es tan “constante”, de conformidad con los modelos heliofísicos es el magnetismo de la atmósfera solar quien influye en la luminosidad del Sol, y por lo tanto en los cambios en radiación solar.

Efecto de invernadero

- El efecto invernadero es causado por gases como el metano y dióxido de carbono, que se encuentran en la atmósfera. Estos y otros gases que permiten la vida en la Tierra, atrapan parte del calor del Sol que se refleja por el planeta. El calor atrapado por la atmósfera, mantiene la temperatura media global en +15º Celsius; si se incrementa ese valor hasta 18º C, se causan fenómenos nocivos.
- En amarillo se muestra el efecto sobre la luz solar incidente; y en rojo, sobre la radiación infrarroja reflejada. Al cambiar la frecuencia de la radiación y no poder escapar, se genera el efecto de invernadero.
- El dióxido de carbono (CO₂) es el gas de efecto invernadero que más contribuye al calentamiento global del planeta. Su concentración atmosférica ha aumentado de forma considerable a partir de la revolución industrial, por el uso de combustibles fósiles. Una de las opciones para reducir las emisiones del CO₂, es empleando tecnologías para almacenarlo en el subsuelo previa captura y licuación del carbono en las plantas industriales, y mediante el secuestro de carbono presente en la atmósfera recurriendo a procesos naturales como el crecimiento de bosques para eliminarlo de la circulación.
- La captura de gases de invernadero por la vía natural o de los bosques, puede emplearse en Colombia, desarrollando campañas orientadas al conocimiento de la normatividad sobre legalidad forestal y de sensibilización sobre la importancia de la cobertura forestal; que estén soportadas en políticas públicas para enfrentar esta problemática como una estrategia de adaptación al cambio climático.
- Para dicha adaptación, se deben implementar planes y programas de ordenamiento de cuencas que incluyan el establecimiento de corredores de conectividad biológica y la implementación de modelos agroforestales y silvopastoriles, como estrategias para resolver los conflictos entre uso y aptitud del suelo.

Emisiones

- Según el quinto Reporte de Emisiones presentado por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (2014), se necesita limitar el calentamiento a 2 °C, reduciendo las emisiones de efecto de invernadero al 2050, entre un 40% y 70% de los niveles de 2010.
- Varios expertos en temas climáticos lanzaron alertas señalando que el acuerdo de la cumbre COP 21, es inconsistente con el objetivo de evitar que la temperatura del planeta no supere los 1,5º C. Para lograrlo, la economía mundial debería estar descarbonizada en 2050 y las emisiones deberían disminuir al menos un 70 % en 2050, respecto a los niveles de 2010.
- Ahora, en razón al calentamiento global, sólo tenemos 40 años para explotar nuestro carbón. Para no exceder el límite de 2°C antes del 2050, a nivel mundial habrá que reducir: el 80% del carbón, la mitad del gas y un tercio del petróleo que se destina como

combustible. Pero el carbón colombiano por ser de alta calidad, tendría uso preferencial para industrias de alto consumo energético: es un carbón duro, de alto poder calorífico y bajo contenido de azufre.

- A pesar de los esfuerzos que históricamente se han hecho desde el Estado colombiano para combatir el delito de la ilegalidad forestal y la preocupante pérdida de los bosques naturales, dos flagelos que podrían acabar con los recursos forestales del país en cien años, se requiere avanzar en el desarrollo de una cultura forestal, del suelo y del agua, que abarque a todos los miembros de la cadena forestal, e incluso a los consumidores finales.

.

La minería



Imagen: Efectos de la minería ilegal, en el tiempo.com

- Colombia, con 56 toneladas de oro por año, ocupa el puesto decimocuarto a nivel mundial.
- Pero el 80% del oro del país proviene de la minería ilegal, seguida de dos grandes empresas que controlan el 12% de la producción: la Mineros conformada por Colpatria, la Corporación Financiera Colombiana y otros socios menores, y la canadiense Gran Colombia Gold.

- La gravedad de la minería ilegal, es su alto costo ambiental, basta examinar los procesos de deforestación en el Amazonas y el Chocó, los intentos de arrasar santuarios como el páramo Santurbán y el Valle de Cocora, o la criminal degradación del paisaje en el Bajo Cauca con la destrucción del humus y las charcas de mercurio y cianuro.
- Además de la deforestación y destrucción de ecosistemas estratégicos, es la responsable del vertimiento de 200 toneladas anuales de mercurio, 100 de ellas en Antioquia.
- En la Depresión Momposina, donde el Cauca desagua al Magdalena, convergen las aguas de la Región Andina con los vertimientos del 75% de los colombianos, portando los residuos de sus aguas servidas contaminadas con el mercurio de 1200 minas de aluvión.

Cambio climático: donde y cuanto

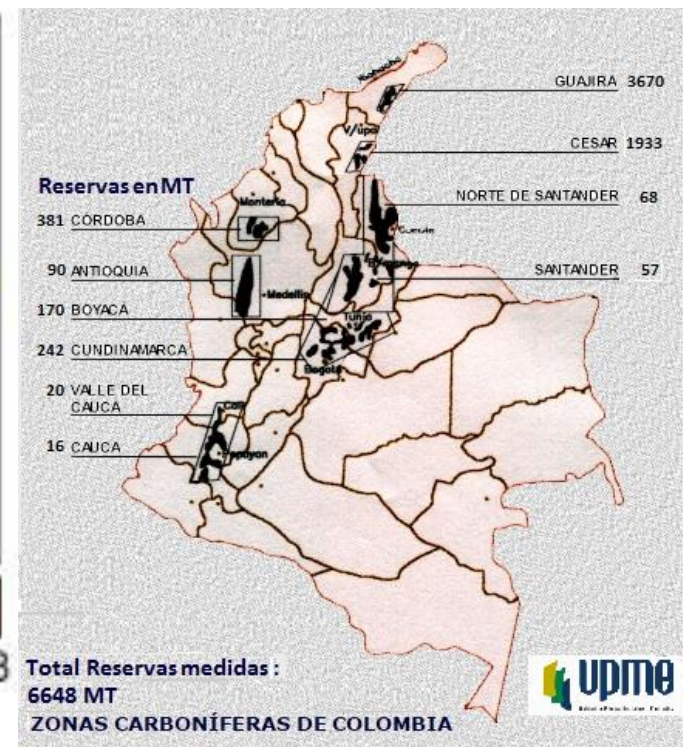
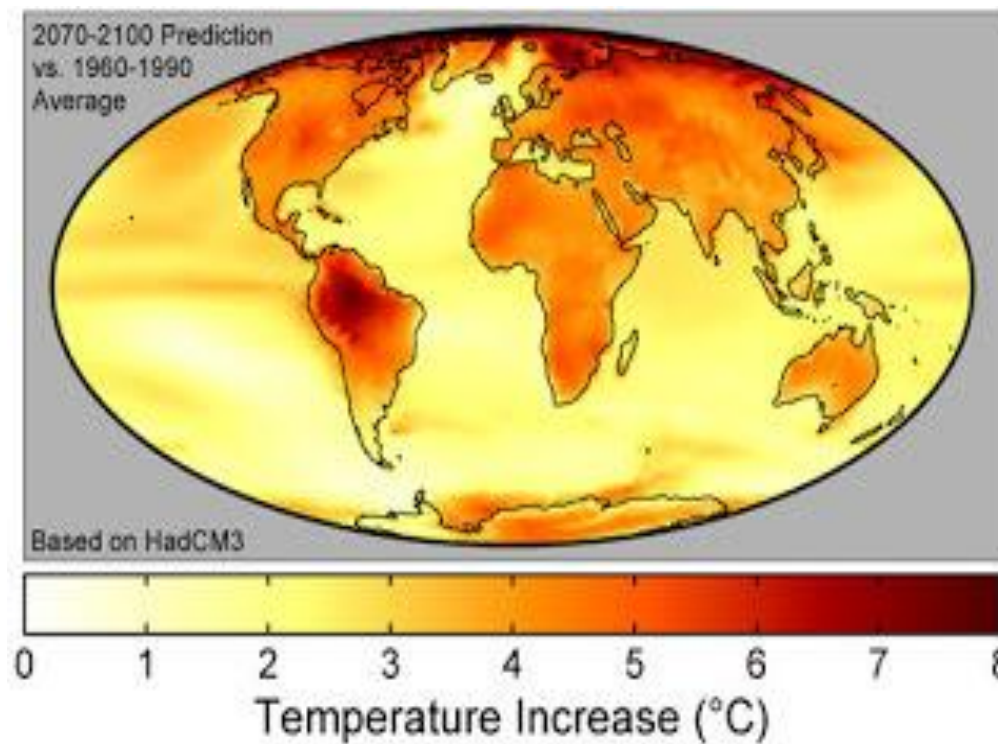


Imagen: Pronóstico global de incremento de la temperatura para el cambio climático, en: apod.nasa.gov y Reservas medidas de Carbón en Millones de Toneladas MT. UPME

- Al subir la temperatura del planeta este siglo, entre 1,8º y 4º C de acuerdo a las características que presenten diferentes zonas, como consecuencia de la fusión de los glaciares también se incrementará el nivel medio de los océanos entre 18 y 59 centímetros dependiendo la cuantía de la gravimetría de cada lugar. Las cuantías esperadas para Colombia son del orden de +3º C en la Región Andina y de +4º C en nuestras regiones costeras y de la Orinoquia y la Amazonía; además de un incremento alto del nivel del mar en el Caribe. Cada variación en 1ºC en el régimen de temperatura media, altera la base climática de los ecosistemas en 170 metros de altitud.
- Con el cambio climático, y los consecuentes fenómenos climáticos extremos, arreciará la erosión del suelo en la Región Andina, dado el descontrol hídrico y pluviométrico consecuencia de su alto nivel de deforestación, y con ella los procesos de sedimentación fluvial. Al respecto, el sistema hídrico colombiano transporta anualmente 300 millones de toneladas de sedimentos en suspensión, de las cuales el río Magdalena aporta 138 millones, el Meta con 44 millones, el Guaviare con 28 millones, y el Patía con 19 millones. (IDEAM -SIAC, 2001).
- Los economistas estiman que mientras el costo de mitigar los efectos del cambio climático es del uno por ciento del PIB mundial, de no hacerlo se produciría una recesión de hasta el veinte por ciento del PIB mundial.

Epilogo

De cara al posconflicto, Colombia deberá reformar la carta definiendo el agua como un patrimonio y como tal, como un bien común que debe ser objeto de aprovechamientos responsables, y no como un recurso, tal cual lo son el oro y el petróleo entre otras mercancías que pueden ser objeto de explotación.

En la Ecorregión Cafetera, se deberán emprender políticas públicas para darle coherencia a las acciones ambientales y sociales del PCC, incluyendo el tema del calentamiento global.

Si al examinar las rentas de Antioquia se observa que frente al sector hidroenergético, los textiles solo representan centavos, habrá que prevenir los enclaves económicos: llama la atención que dos municipios con NBI superiores al 30% en 2012, como Marmato y Norcasia, sean también los de mayor PIB per cápita en Caldas.

El sector agropecuario, deberá replantear el modelo agroindustrial cafetero desde la perspectiva ecológica implantando la agroforestería, y el ganadero las prácticas silvopastoriles para corregir el uso conflictivo del suelo.

Los actuales planes de desarrollo, deberán implementar las políticas de ciencia y tecnología previstas imbricadas con la cultura para resolver la brecha de productividad, que sume en la pobreza los medios rurales de Colombia

- Desarrollar dichas políticas públicas ambientales, y hacer de la civilidad el valor supremo de la cultura urbana en Colombia, será fundamental no solo para enfrentar con éxito la problemática del riesgo y del cambio climático, sino también para soportar la sostenibilidad en la responsabilidad social y ambiental.

Fuentes bibliográficas

- Acciones frente al clima y el “desarrollo”. Duque Escobar, Gonzalo (2013) La Patria. <http://www.bdigital.unal.edu.co/9385/>
- Agua, ordenamiento territorial y desastres: <http://www.bdigital.unal.edu.co/5487/>
- Amenaza climática en el trópico andino <http://www.bdigital.unal.edu.co/1861/>
- Asuntos del clima andino en Colombia / Duque Escobar, Gonzalo (2012) , en:<https://godues.wordpress.com/2011/11/08/asuntos-del-clima-andino-en-colombia/>
- Carbón andino colombiano <https://godues.wordpress.com/2015/01/05/>
- Ciencia, tecnología y ruralidad en el POT de Caldas. CROT de Caldas. <http://www.bdigital.unal.edu.co/9875/>
- Colombia, país de humedales amenazados. Duque Escobar, Gonzalo (2012), en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/53346/1/colombiapaisdehumedalesamenazados.pdf>
- El agua en la biorregión caldense. <https://godues.wordpress.com/2014/11/10/el-agua-en-la-biorregion-caldense/>
- El desastre de Armero a los 30 años de la erupción del Ruiz. <http://www.bdigital.unal.edu.co/51222/7/eldesastredearmeroalos30.pdf>
- El modelo de ocupación urbano - territorial de Manizales - Duque Escobar, Gonzalo (2015). In: Encuentro Colectivo Alianza Verde, Concejo de Manizales. <http://www.bdigital.unal.edu.co/51221/1/elmodelodeocupacionurbanoterritorialdemanizales.pdf>
- Nuestro frágil patrimonio hídrico. Duque Escobar, Gonzalo (2015). La Patria. <https://godues.wordpress.com/2015/10/12/nuestro-fragil-patrimonio-hidrico/>
- Nuestras aguas subterráneas <https://godues.wordpress.com/2016/02/15/nuestras-aguas-subterranas/>
- Planeación preventiva y cultura de adaptación ambiental, en:<http://bdigital.unal.edu.co/3458/1/gonzaloduqueescobar.201122.pdf>
- Temas hidrogeológicos y ambientales afines. Gonzalo Duque-Escobar. Recopilación en: <https://godues.wordpress.com/2014/05/16/temas-hidrogeologicos-y-ambientales-afines/>
- TEXTOS U.N.: GEOMECÁNICA Y GEOLOGÍA <https://godues.wordpress.com/2016/08/13/textos-u-n-geomecanica-y-geologia/>
- Sol, clima y calentamiento global, en:<http://www.bdigital.unal.edu.co/39782/1/gonzaloduqueescobar.201430.pdf>

LAS AMENAZAS NATURALES EN COLOMBIA *

El medio ambiente incorpora dos dimensiones: **la cultura y el medio ecosistémico**.

Por lo tanto: dado que el **medio ambiente relaciona dos sistemas altamente complejos, como lo son el sistema social y el sistema natural, en la relación Sociedad y Naturaleza**, la surge la problemática de los desastres naturales que aparece en la interface de los procesos sociales, económicos y culturales, con la atmósfera, la biosfera, la hidrosfera, la litosfera y la antroposfera.

Desde esta perspectiva, **la información relativa a las amenazas** naturales y antrópicas, resulta de vital importancia **para la gestión del riesgo**, mediante políticas, programas y acciones de **prevención y mitigación de los desastres**.

En Colombia, donde el 86% de la población se encuentra en zonas de nivel de amenaza sísmica apreciable, posiblemente, **el escenario de mayor riesgo sísmico es Bogotá**. Además, Colombia posee tres segmentos volcánicos, donde se localizan cerca de 15 volcanes activos que requieren acciones estructurales de Ordenamiento Territorial y Vigilancia Volcánica. Mientras la mayor amenaza volcánica de Colombia es el **Cerro Machín**, el mayor riesgo volcánico se asocia al **Volcán Galeras**.

Por el Cambio Climático, para **Colombia se prevé un calentamiento** de 2°C en la zona andina montañosa, y de 3°C en las regiones planas costeras, insulares y del oriente, fenómeno que **modificará las zonas de vida** variando su altitud entre 300 y 500 m, con **graves consecuencias** sobre el patrimonio hídrico, la aptitud de los suelos y varios ecosistemas. Adicionalmente, se incrementarán las **tasas de erosión** marina en los medios costeros.

Las **regiones más deforestadas** de Colombia: la Andina, la del Caribe y la Orinoquía, con la mayor frecuencia e intensidad de los **fenómenos hidrogeológicos extremos**, consecuencia del Calentamiento Global, estarán en mayor riesgo por las **inundaciones lentas** y relativamente periódicas de las planicies deprimidas o zonas de ciénaga, y por las **inundaciones súbitas** y de incierta ocurrencia, causadas por avenidas de ríos o por eventos indirectos.

Veamos entonces los determinantes del **Riesgo local y del Riesgo de cúmulo**, y las zonas con Alto nivel de Amenaza, para las diferentes amenazas naturales, en Colombia.

Frecuencia, daño y extensión de algunas amenazas

Fenómenos de las amenazas	Frecuencia por siglo	Siniestralidad esperada	Área afectada
Terremotos Fuertes (I>VII)	300	20%-50%	500 km ²
Flujo de Lava Volcánica	10-100 veces	20%-100%	1-10 km ²
Cenizas Volcánicas	1-5 veces	<10%	<1millón km ²
Flujo Piroclástico	1-5 veces	70%-100%	1-10 km ²
Flujo de lodo Volcánico	1-10 veces	50%-100%	10-100 km ²
Erupción Lateral o Blast	1-3 veces	70%-100%	<1500km ²
Gases volcánicos	1-5 veces	1%	<1000km ²
Inundaciones súbitas	50-500	50% a 100%	1-10 km ²
Inundaciones lentas	200-4000	10%-50%	10-100 km ²
Deslizamientos de tierra o roca	500-10000	50%-100%	1 a 5 km ²
Huracanes Fuertes Grado 3 a 5.	100-500	20%-50%	<50000km ²
La Niña (T<-1,5°C)	1-8	<20%	<1millón km ²
El Niño (T>+1,5°C)	1-12	<20%	<1millón km ²

Incendios forestales		50%-70%	<500 km ²
-----------------------------	--	---------	----------------------

Fenómeno	Posible control	Riesgo local o específico	Riesgo total o de cúmulo
Terremotos Fuertes (I>VII)	No	Reducido (4)	Moderado (3)
Flujo de Lava Volcánica	Si	Agravado (1)	Bajo (5)
Cenizas Volcánicas	No	Reducido (4)	Bajo (5)
Flujo Piroclástico	No	Reducido (4)	Moderado (3)
Flujo de lodo Volcánico	Duda	Mediano (2)	Reducido (4)
Erupción Lateral o Blast	No	Muy Bajo (6)	Agravado (1)
Gases volcánicos	Duda	Reducido (4)	Bajo (5)
Inundaciones súbitas	Duda	Agravado (1)	Bajo (5)
Inundaciones lentas	Duda	Mediano (2)	Reducido (4)
Deslizamientos de tierra o roca	Si	Mediano (2)	Reducido (4)
Huracanes Fuertes Grado 3 a 5.	No	Reducido (4)	Bajo (5)
La Niña (T<-1,5°C)	No	Agravado (1)	Reducido (4)
El Niño (T>+1,5°C)	No	Agravado (1)	Reducido (4)

Incendios forestales	Duda	Mediano (2)	Mediano (2)
-----------------------------	------	-------------	-------------

Cuadro A: Riesgo específico y de Cúmulo para las amenazas naturales

¿Dónde y cómo?

Nivel de Amenaza	Nivel Alto	Nivel Medio a Bajo
Terremotos Fuertes (>VII)	Costa Pacífica, Eje Cafetero, Santanderes, Cauca, Valle, Margen Llanero, Atrato	Antioquia, Cundinamarca, Tolima, Huila, Boyacá
Flujo de Lava Volcánica		Nariño, Huila, Eje Cafetero, Cauca
Cenizas Volcánicas	Nariño, Huila, Eje Cafetero, Tolima, Cauca	Cundinamarca, Boyacá, Antioquia
Flujo Piroclástico		Nariño, Huila, Eje Cafetero, Cauca, Tolima
Flujo de lodo Volcánico	Huila, Tolima, Caldas,	Risaralda, Nariño, Cauca, Valle, Quindío.
Erupción Lateral o Blast		Huila, Tolima, Caldas, Cauca, Nariño, Huila, Tolima, Valle, Quindío
Gases volcánicos	Tolima, Nariño, Cauca, Huila, Eje Cafetero	

Nivel de Amenaza	Nivel Alto	Nivel Medio a Bajo

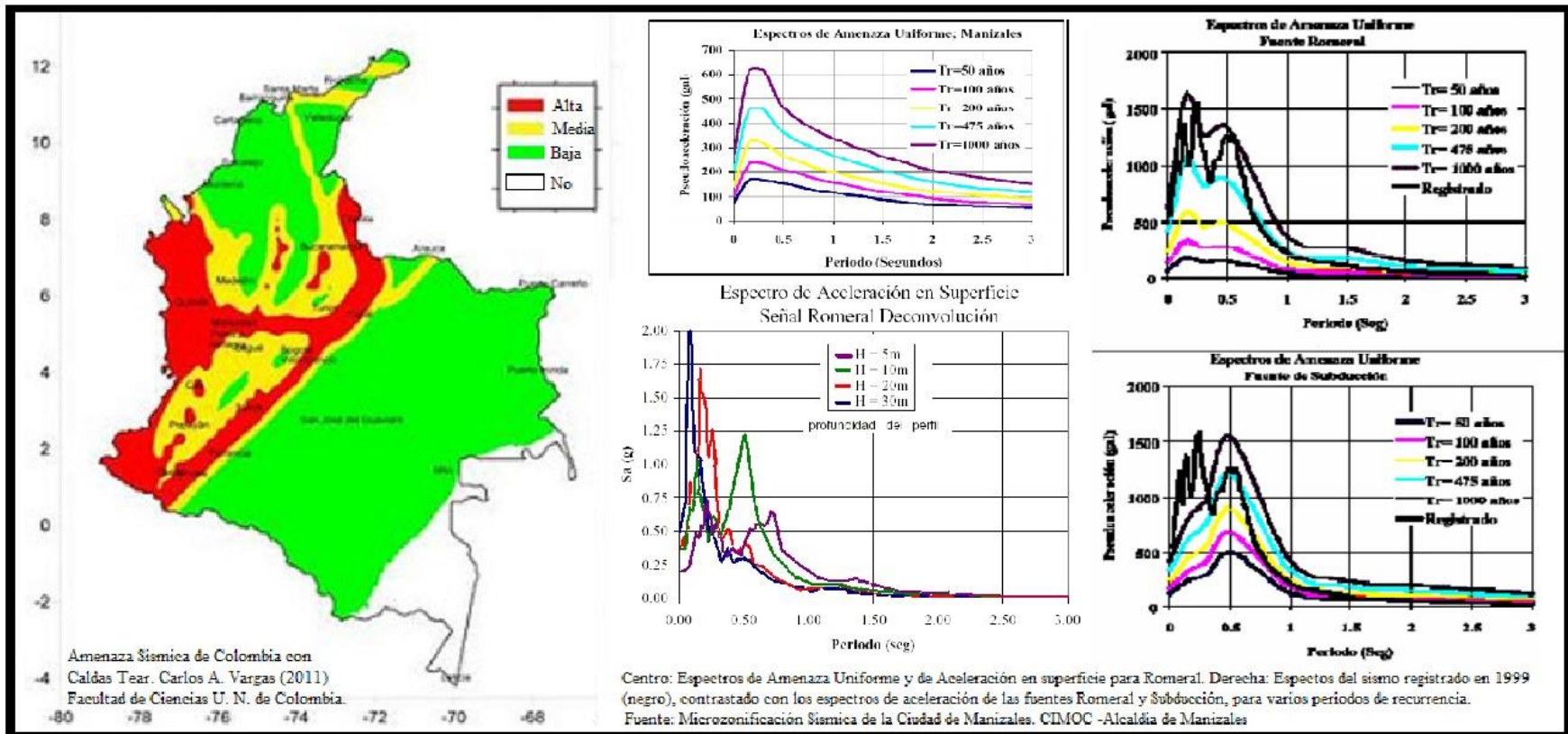
Inundaciones súbitas	Todos los Departamentos Andinos	
Inundaciones lentas	Chocó, Cundinamarca, Antioquia, Santander, Nariño	Eje Cafetero, Tolima, Valle, Santanderes, Huila, Cauca, Nariño, Boyacá
Deslizamientos de tierra o roca	Todos los Departamentos Andinos	
Huracanes Fuertes Grado 3 a 5.	Santanderes, Boyacá, Antioquia, Chocó	Eje Cafetero, Tolima, Valle
La Niña (T<-1,5°C)	Todos los Departamentos Andinos	
El Niño (T>+1,5°C)	Todos los Departamentos Andinos	
Incendios forestales	Santanderes, Cauca, Cundinamarca, Boyacá, Huila, Nariño, Valle, Tolima, Eje Cafetero	

Cuadro B: Geografía de las amenazas naturales en Colombia

FUENTES COMPLEMENTARIAS

ASPECTOS GEOFÍSICOS DE LOS ANDES DE COLOMBIA. [HTTP://WWW.BDIGITAL.UNAL.EDU.CO/1580/](http://www.bdigital.unal.edu.co/1580/)
GESTIÓN DEL RIESGO [HTTP://WWW.BDIGITAL.UNAL.EDU.CO/47341/1/GESTIONDELRIESGO.ANEXO.PDF](http://www.bdigital.unal.edu.co/47341/1/GESTIONDELRIESGO.ANEXO.PDF)
MANUAL DE GEOLOGÍA PARA INGENIEROS [HTTP://WWW.BDIGITAL.UNAL.EDU.CO/1572](http://www.bdigital.unal.edu.co/1572)

AMENAZA SÍSMICA EN EL EJE CAFETERO



Imágenes: Mapa no oficial de Amenaza Sísmica para Colombia según Carlos A. Vargas, en UN Periódico (2011), y Espectros de la Microzonificación Sísmica para Manizales, del SIMOC (2002).

Resumen: El Eje Cafetero, está ubicado en el centro occidente de Colombia, sobre una provincia sismo-tectónica donde los terremotos de 1938, 1961-62, 1979 (2) y 1995 (2) ponen en evidencia una fuente sísmica generadora eventos fuertes dobles cada dos o tres décadas, generadores de sismos de magnitud cercana a 7 grados provenientes de la zona de subducción; pero también, además de lo que ocurre en Magdalena Centro (1805) y Huila (1967), las fallas del sistema Cauca-Romeral son otra fuente que merece mayor consideración, dadas las devastadoras consecuencias de sismos superficiales y de magnitud 6, pero de mayor intensidad como los de Popayán 1983 y Quindío 1999.

En Colombia los sismos son frecuentes en la región del Pacífico y Andina, eventuales en la del Caribe y escasos en la Orinoquía y la Amazonía. Casi toda la población del país habita zonas del alto y moderado riesgo sísmico. Y los sismos intraplaca son someros e intensos en la región del Pacífico y profundos y menos leves sobre la Región Andina.

Hay singularidades en Riosucio (Chocó) y en la región de Bucaramanga, como también fallas de gran actividad en la joven cordillera Oriental y en otras regiones del país, según lo visto atrás. La falla Atrato afecta a los departamentos del Valle del Cauca, Chocó y Antioquia. La falla de Romeral atraviesa los departamentos de Nariño, Cauca, Tolima, Quindío, Risaralda, Caldas, Antioquia, Córdoba, Sucre, Bolívar y Magdalena.

La falla del Cauca recorre los departamentos de Nariño y Cauca. La falla de Palestina cruza los departamentos de Tolima, Caldas, Antioquia y Bolívar. La falla de Santa Marta-Bucaramanga afecta a los departamentos de Cundinamarca, Boyacá, Santanderes, Cesar y Magdalena. La falla Guacaramo cruza los departamentos del Meta, Cundinamarca, Boyacá y Arauca. También se han registrado sismos en Puerto Carreño, Putumayo y San Andrés.

El Eje Cafetero está localizado en una de las zonas de alto riesgo sísmico de Colombia. Los sismos de 1938, 1961-62, 1979 y 1985 ponen en evidencia una fuente sísmica de importancia, generadora de sismos de magnitud cercana a 7 grados e intensidades de VII, la que por la profundidad (70 a 100 km.) y posición de los focos (basamento de la Cordillera Occidental) se ha relacionado con la zona de subducción de la Placa de Nazca (Pacífico). Las aceleraciones registradas, han alcanzado valores del 11% de la gravedad.

Pero las fallas del sistema Cauca-Romeral y las que delimitan la fosa tectónica del Magdalena son dos fuentes sísmicas que merecen consideración en esta poblada región. Los terremotos superficiales de Popayán 1983 y Quindío 1999, con magnitud 6 e intensidad VIII, anuncian una segunda fuente sísmica de implicaciones diferentes. Las aceleraciones en los depósitos mal consolidados, han alcanzado aceleraciones hasta 5 veces superiores a las registradas en los sismos profundos, aunque en intervalos de tiempo muy pequeños.

Esta temática ha sido uno de los principales objetivos de técnicos y científicos que laboran en el Programa de la Red Sísmica del Eje Cafetero y el Tolima, para poder llegar a lo que se conoce como respuesta sísmica. Es importante señalar que las tres ciudades capitales de la conurbación cafetera, están sobre potentes abanicos asociados a depósitos fluviotorrenciales de origen volcánico, asociados a los ríos Chinchiná, Otún y Quindío. El de Manizales anuncia levantamiento desde el terciario tardío hasta el holoceno. La formación Manizales con sus depósitos fluviotorrenciales a la altura de Chipre y Villa Kempis, anuncia el levantamiento respecto a Villamaría y Morrogacho.

Las características sismotectónicas de la región apenas empiezan a conocerse y el catálogo de información sísmica se remonta apenas a algunas décadas, manteniendo lagunas, imprecisiones e inconsistencias. No se sabe aún como se atenúa la intensidad en función de la magnitud y distancia focal del sismo y a lo sumo podríamos suponer que la actividad sísmica del futuro tendrá alguna

semejanza con la del pasado. Aún deberá caracterizarse mejor las fuentes sismotectónicas identificadas y conocer otras que puedan provocar sismos destructores aunque locales.

Como no es posible aún, predecir los fenómenos sísmicos de un modo determinista se ha recurrido a modelos probabilísticos para elaborar pronósticos, cuya eficacia depende de la validez, cantidad, calidad y extensión de los datos que alimentan el modelo. Pero dada la limitación en nuestras bases de datos, se ha buscado representar la historia sísmica con la recurrencia de las magnitudes generadas por las diferentes sismo-fuentes, asumiendo su localización y unas determinadas leyes de atenuación de intensidad, donde las variables se modelan con características aleatorias dada la incertidumbre de los registros y del fenómeno en sí (modelo estadístico bayesiano).

Se parte del presupuesto de que la intensidad es la variable más determinante en los daños sísmicos y que la calibración de los resultados finales y consistencia entre tasas de excedencia de magnitudes e historia sísmica se obtiene con el catálogo sísmico del lugar.

Ciertamente la incertidumbre e imprecisión inherentes a un tratamiento estadístico, no resultan aceptables al evaluar el impacto sobre el total de pérdidas que pueden tener las obras de infraestructura comunitaria, razón por la cual cada caso (cada línea vital o cada centro de servicio) debe ser tratado particularmente. La vulnerabilidad física de una estructura se describe en términos de la aceleración basal, el período fundamental de vibración de la estructura y la función de daños.

Anotaciones al Riesgo Sísmico

En el Riesgo se conjugan dos factores: la Amenaza y la Vulnerabilidad. Aunque sabemos que en el tiempo, a escala humana la Amenaza sísmica permanece como un variante, la Vulnerabilidad cambia, y con ella el Riesgo sísmico; éste que crece cuando los escenarios vulnerables lo hacen, también se puede reducir si se implementan gestiones integrales para acometer su mitigación.

Ahora, si en la región y el país se han dado avances significativos en lo técnico y en lo administrativo, como la institucionalidad alcanzada con el desarrollo de un Sistema Nacional, la incorporación del Riesgo en la Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial y la expedición de normas sismo resistentes con el NSR-10, que ya permiten incorporar el bahareque, aún falta mucho por hacer en la dimensión socio-ambiental. Veamos estas tres anotaciones sobre la materia, para el Eje Cafetero:

En cuanto a la Amenaza, el Eje Cafetero se ubica al norte de una provincia sismo tectónicamente homogénea, ubicada entre la fosa del Pacífico Colombiano y la Cordillera Central de los Andes más septentrionales de América, un territorio sísmicamente activo, que parte del Macizo Colombiano y llega hasta las Montañas de Antioquia, donde transcurren de Sur a norte los Sistemas de Fallas de Romeral y del Cauca-Patía.

La Falla Cauca y sector central de la de Romeral, desde Cartago a Puerto Valdivia, delimitan una graben comprimido o depresión estructural, entre las dos cordilleras; allí, al observar las trazas de la Falla de Romeral con una distribución alineada de cuerpos ígneos afines a la corteza oceánica en su contorno, se prevé que profundice la corteza.

Según la investigación del potencial geotérmico del Ruiz hecha por la Central Hidroeléctrica de Caldas (CHEC, 1985) y la Geología de Manizales y sus alrededores estudiada por José Luis Naranjo y Carlos Borrero de la Universidad de Caldas, un esquema de los rasgos estructurales de la región señala las fallas o lineamientos inferidos, cuya verificación en varios casos se ha venido haciendo por investigadores del Observatorio Vulcanológico y Sismológico del Ingeominas, establecido en Manizales desde 1985.

Y respecto a la Vulnerabilidad, como desafíos de importancia se puede añadir que, aunque conocemos las fuentes sísmicas, para abordar la gestión integral del riesgo a nivel del Eje Cafetero, además del estudio y valoración espacio temporal de la amenaza, está de por medio el conocimiento y desarrollo de instrumentos para la gestión del hábitat y manejo de la dimensión socioambiental.

En lo urbano, esta compleja dimensión pasa por la presión de las frágiles laderas del escarpado territorio, en especial en los ambientes periurbanos de Manizales, y por el control urbano sobre todo en las zonas deprimidas de los centros urbanos de las áreas metropolitanas en rápida expansión, caso Pereira-Dosquebradas, donde las múltiples actividades comerciales mixtas e informalidad, sumada a la alteración estructural de los viejos inmuebles de mampostería no reforzada y de bahareque para su adecuación y expansión recurriendo a prácticas inadecuadas, hacen el escenario un cúmulo de potenciales escombros, ya por la amenaza de las sacudidas, ya por la de la propagación de los incendios.

En los medios rurales, donde la deforestación y potrerización relacionadas con usos conflictivos del suelo, afectan severamente el territorio, y con él las comunidades asentadas en condición vulnerable, además de las vías de comunicación, líneas vitales e infraestructura de conectividad, como elementos expuestos a la amenaza por flujos torrenciales causados por deslizamientos en caso de sismo.

Y finalmente, sobre los actores en la escena: Además de los aportes fundamentales del Geofísico Jesús Emilio Ramírez S.J., con aportes como el de Proyecto Nariño (1973) y la Historia de los terremotos en Colombia (1969), de la permanente labor por décadas de monitoreo a cargo del OVS de Manizales, y de los estudios a nivel regional de Hans Meyer y su equipo de trabajo desde el Observatorio Sismológico del Sur Occidente Colombiano OSSO, en el Eje Cafetero también merecen mención los siguientes trabajos, entre otros:

– Desde la U.N. en Manizales los del Idea liderados por el Profesor Omar Darío Cardona, donde además de actividades fundamentales como la Microzonificación Sísmica de Manizales (SIMOC 2002), se avanza con el concurso de los profesores de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura en la instrumentación y el estudio detallado de la amenaza para Manizales; y desde la Sede Bogotá el valioso aporte de Carlos A. Vargas con la propuesta de Caldas Tear (2011), donde se modifican el modelo geotectónico y la amenaza sísmica en el centro del país.

– También en Pereira, los trabajos de Anna Campos y sus compañeros y colaboradores haciendo lo propio en el 2000, para obtener un mapa preliminar de riesgos del área urbana y otras investigaciones para valorar los efectos de sitio en el A.M. de Pereira; y finalmente en Armenia, la labor continuada y reconocida de los Profesores de la Universidad del Quindío: Hugo Monsalve quien maneja el Observatorio Sismológico del Eje Cafetero, y Armando Espinosa quien ha estudiado en detalle la historia sísmica regional.

Extracto tomado del Capítulo “Sismos” del Manual de Geología para Ingenieros y ajustado por el autor. Ver en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1572/324/sismos.pdf>

Relacionados:

- Al Bahareque le fue muy bien. Duque Escobar, Gonzalo and Robledo Castillo, Jorge Enrique and Muñoz Robledo, José Fernando (1999), Desde el Eje Cafetero de Colombia, <http://www.bdigital.unal.edu.co/1906/1/al-bahareque.pdf>
- Anotaciones sobre el riesgo sísmico en Manizales. Duque Escobar, Gonzalo (2012) [Objeto de aprendizaje – Teaching Resource] – See more at: <http://www.bdigital.unal.edu.co/5949/1/gonzaloduquescobar.201210.pdf>
- Gestión del riesgo. Duque Escobar, Gonzalo (2014) [Objeto de aprendizaje - Teaching Resource] - See more at: <http://www.bdigital.unal.edu.co/47341/1/gestiondelriesgo.anexo.pdf>
- Manual de geología para ingenieros. Duque Escobar, Gonzalo (2003) Universidad Nacional de Colombia, Manizales. <http://www.bdigital.unal.edu.co/1572/>
- Riesgo sísmico: los terremotos. Duque Escobar, Gonzalo (2007) In: III Foro Científico Colrosario 75 años – Área de Matemáticas, Neira. – See more at: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1680/1/riesgosismicolosterremotos.pdf>
- Sismo, bahareque y laderas. Duque Escobar, Gonzalo (1999) [Teaching Resource] - <http://www.bdigital.unal.edu.co/48493/1/sismobaharequeladeras.pdf>
- Sismos y volcanes en Colombia. Duque Escobar, Gonzalo (2010) Documento de trabajo. Universidad Nacional de Colombia – Sede Manizales. – See more at: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1685/1/gonzaloduqueescobar.201019.pdf>
- Sismos y volcanes en el Eje Cafetero: Caso Manizales. Duque Escobar, Gonzalo (2012) [Objeto de aprendizaje - Teaching Resource] - See more at: <http://www.bdigital.unal.edu.co/6544/187/gonzaloduqueescobar.201220.pdf>
- Una política ambiental pública para Manizales, con gestión del riesgo por sismos, volcanes y laderas. Duque Escobar, Gonzalo (2012) Documento de discusión. Colombia. <http://www.bdigital.unal.edu.co/6497/1/gonzaloduqueescobar.201217.pdf>
- “Escombros a la espera” en zonas sísmicas densamente pobladas. Duque Escobar, Gonzalo (2010) <https://godues.wordpress.com/2010/03/05/escombros-a-la-espera-en-zonas-sismicas-densamente-pobladas/>

DESAFÍOS DEL COMPLEJO VOLCÁNICO RUIZ-TOLIMA



Imagen Volcanes nevados del Complejo Volcánico Ruiz Tolima, y Cerro Bravo.
Por Gustavo Wilches Cháux, en: <http://wilchesviajerofrecuente.blogspot.com/>

Manizales, 5 de Mayo de 2013

Introducción

Hoy celebramos el día del Medio Ambiente:

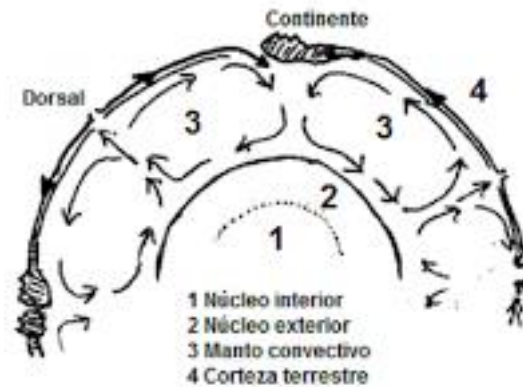
La subregión Centro Sur de Caldas, habitada por 500 mil habitantes de cinco municipios: Chinchiná, Manizales, Neira, Palestina y Villamaría, se ubica sobre el flanco nor-occidental del segmento volcánico más septentrional de la Cordillera Central de los Andes colombianos, donde aparecen los volcanes Cerro Bravo, Nevado del Ruiz, Nevado de Santa Isabel, Nevado del Tolima y Machín.



Imagen 2- Parque Nacional Natural de los Nevados, PNNN: al norte, Nevado del Ruiz; Al sur, Nevado del Tolima, en el centro, Nevado de Santa Isabel. Fuente, Cambio climático y turismo en Colombia, en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1583/>

Consciente de la amenaza volcánica para la subregión Centro Sur, asociada a los tres primeros dada su mayor cercanía, y en particular al Cerro Bravo y al Ruiz, la UN ofrece esta actividad como parte de un programa de gestión integral del riesgo, para invitar a definir con acierto el modelo de ocupación del suelo en dicho territorio.

El planeta tierra



Placas Tectónicas



Imagen 3- Arriba, la estructura del planeta. Abajo, Placas Tectónicas, en www.profesorenlinea.cl

La Tierra posee un núcleo casi tan caliente como la superficie del Sol, sólido en su centro y fluido en su periferia.

Por lo anterior, el manto que envuelve el núcleo terrestre está en un movimiento plástico de corrientes de convección, gracias al cual la corteza muestra sus dinámicas y en ella los continentes derivan y se transforman.

La corteza externa, fría y delgada, es la piel de la tierra que conforma placas tectónicas que mutan y que contienen los continentes, quienes cabalgando sobre los fondos oceánicos se exponen a la atmósfera y erosionan.

En la corteza se diferencian los fondos oceánicos siempre jóvenes con sus dorsales, y los continentes más antiguos emergidos con sus cordilleras.

La danza de los continentes



Imagen 4- En el borde destructivo de las placas tectónicas, el magma que se genera en el plano de Benioff, sube alcanzando las raíces profundas de las cordilleras que se explican por la teoría de la isostasia, hasta la cámara magmática donde se prepara la erupción. Fuente propia.

La corteza de la Tierra, se regenera y destruye, conforme se mueve a modo de banda transportadora, impulsada por las corrientes de convección del manto plástico.

Las rocas de los fondos oceánicos de alto contenido en Fe y Mg son más pesadas y poseen un punto de fusión alto, por lo que los continentes constituidos de materiales pétreos ricos en Si y Al, con rocas de bajo punto de fusión, al resultar más livianos cabalgan las anteriores que las subducen y les permite permanecer en el tiempo, expuestas a la intemperie, sobre la corteza de la Tierra.

Las placas tectónicas surgen en las dorsales y se destruyen en las zonas de subducción, donde regresan al manto para fundirse de nuevo. De ahí que su antigüedad a lo sumo llegue a 150 millones de años, mientras los continentes alcanzan edades de miles de millones de años.

En su deriva la corteza arrastra los continentes, forma montañas y volcanes, e igualmente se deforma y fractura, causando los terremotos, en lugares donde eventualmente los volcanes también acechan.

Vulcanismo efusivo y explosivo

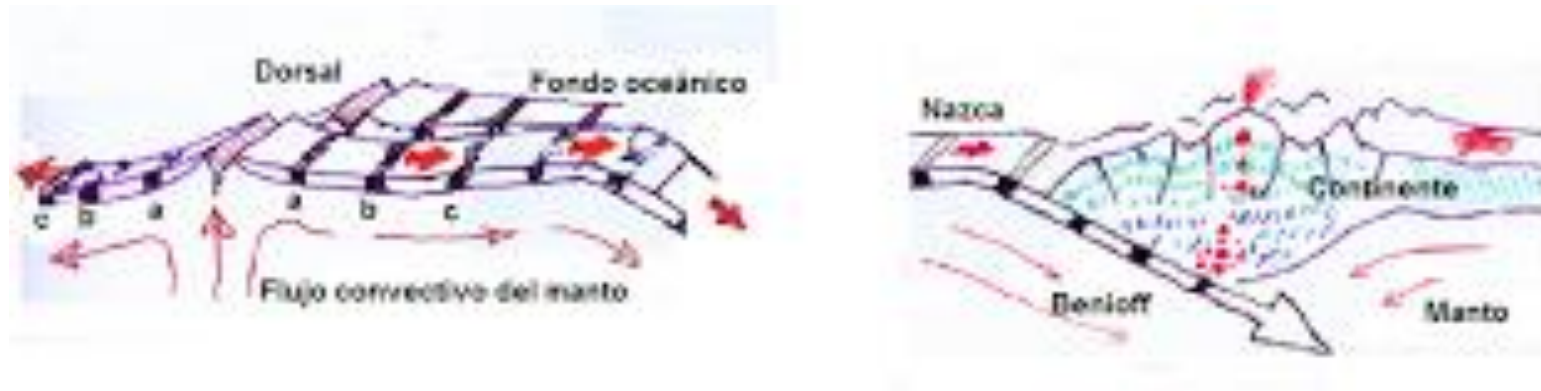


Imagen 5- Borde constructivo de la corteza (Izq) y borde destructivo de la corteza (Der). En los continentes, el magma básico asciende por mecanismos de fusión y reemplazamiento, lo que le permite contaminarse de fluidos y ganar en contenido de sílice. Fuente propia.

Existen sismos en los bordes destructivos de las placas tectónicas, que se relacionan con la fricción en el Plano de Benioff en el contacto de la Placa Tectónica de Nazca con la Sudamérica, cuando la primera regresa para fundirse en el manto de la Tierra, o por tensiones acumuladas del empuje del continente sudamericano hacia el Pacífico.

Dichos sismos Interplaca, típicos de la base de la Cordillera Occidental de Colombia, con profundidad entre 70 y 100 km, tienen gran energía (magnitud) aunque por resultar profundos el efecto en superficie (intensidad), es tenue pero extenso: se sienten en toda Colombia. El mapeo de estos sismos permite inferir el plano de Benioff y los procesos de generación del magma.

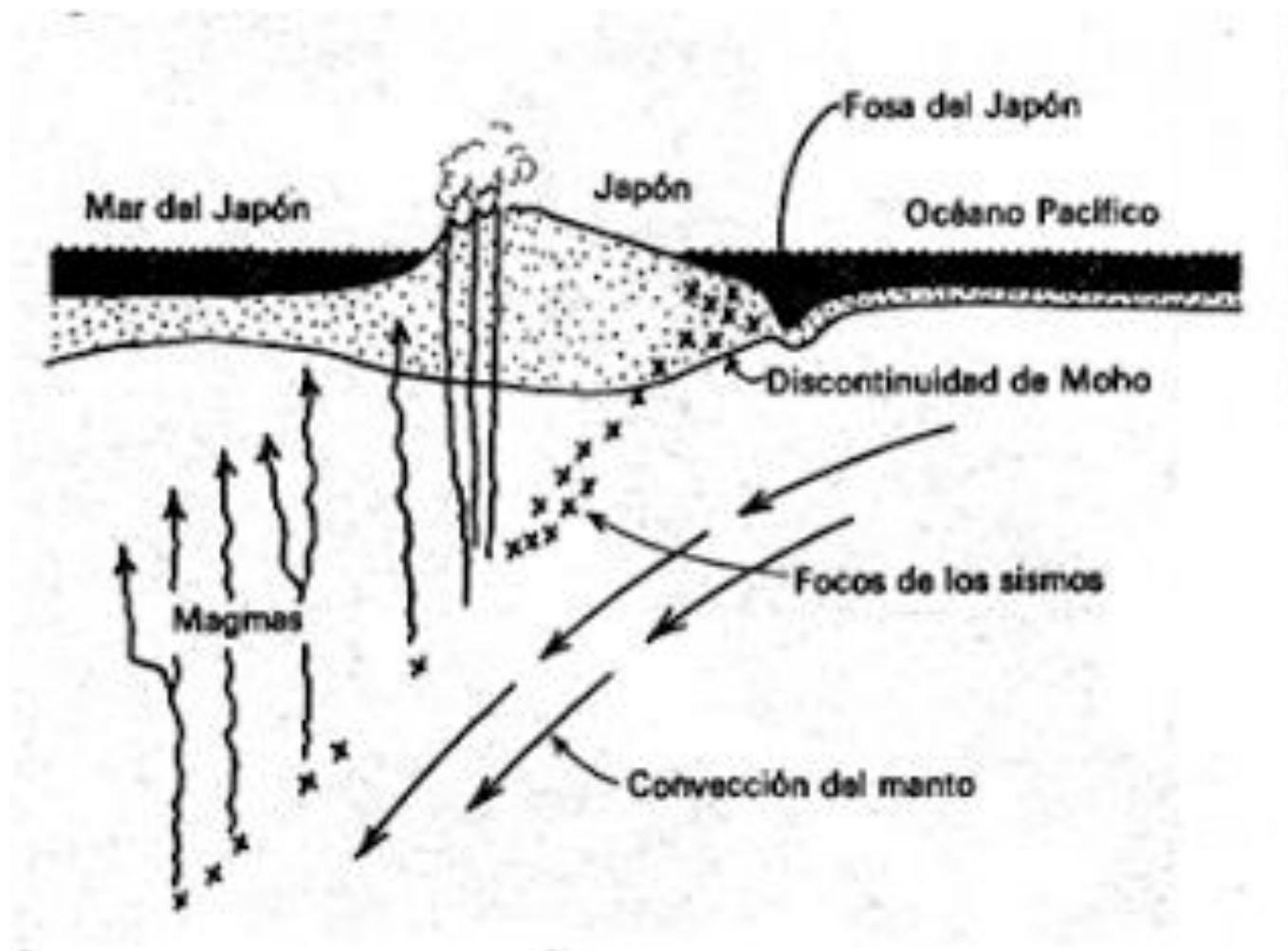


Imagen 6- Vulcanismo en zona magmática interplaca. El ploteo de los focos sísmicos permite inferir el fenómeno de subducción, en Japón. Tomado de ¿Qué es la Tierra?, Takeuchi, Uyeda y Kanamori. En: Manual de geología para ingenieros <http://www.bdigital.unal.edu.co/1572>

Procesos magmáticos fundamentales

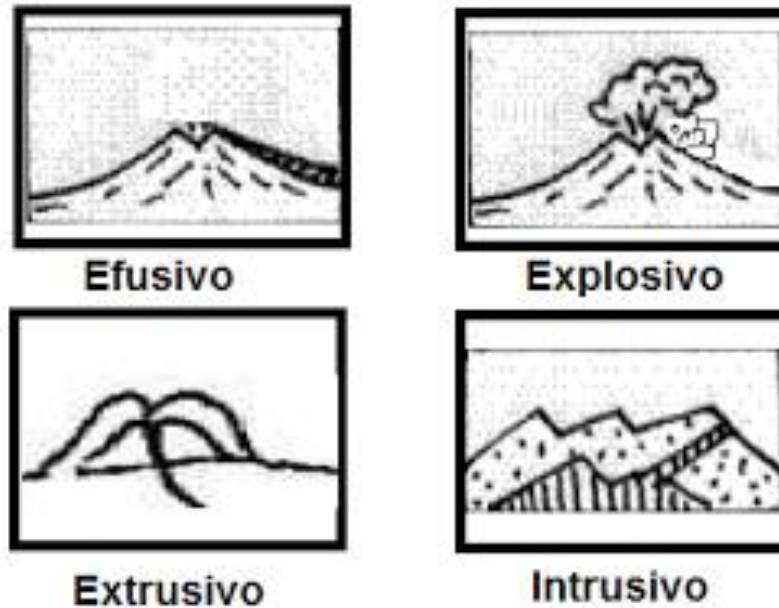


Imagen 7- Procesos magmáticos fundamentales, en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1572>

El efusivo. Caracterizado por la efusión y derramamiento de lava sobre la superficie, para formar mesetas y escudos volcánicos.

El explosivo. Donde se da el lanzamiento con violencia y a gran presión de magma pulverizado y fragmentos de roca; como evidencia de éstos, los conos cineríticos y los estratovolcanes (ej. El Tolima), cuando el mecanismo se alterna con el anterior.

El extrusivo. Proceso que explica domos volcánicos por el estrujamiento de magma viscoso, sólido o semisólido, que se exprime a la superficie. Estos edificios volcánicos no poseen cráter (ej. el otero de Sancancio).

El intrusivo. Cuando el magma penetra los pisos del subsuelo para solidificarse en el interior de la corteza y por debajo de la superficie, quedando depósitos en forma mantos, diques, etc.

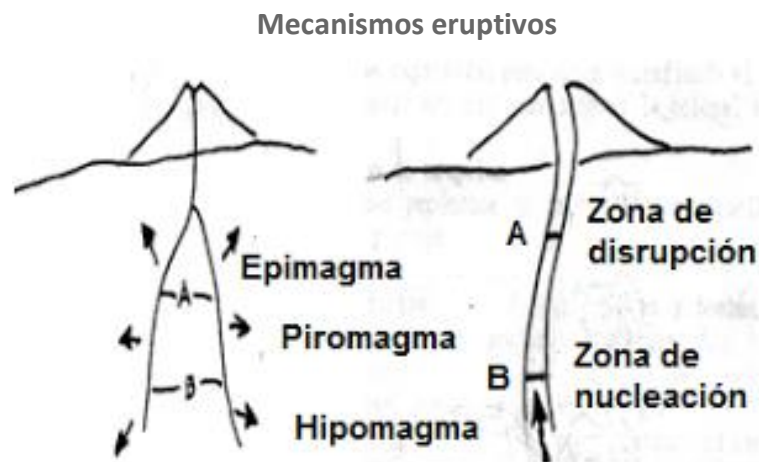


Imagen 8- Modelos eruptivos estático (Izq) y dinámico (Der). Epimagma, Piromagma e Hipomagma, son zonas que definen entre A y B una región en la que el magma se desgasifica y transforma en una espuma de lava, cuya evidencia es la piedra pómez.

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

Modelo Estático:

Característico de volcanes con prolongados procesos de calma volcánica. Inicialmente (A) es la frontera que separa la lava (por arriba) del magma (por abajo); pero puede despresurizarse la cámara magmática trasladándose hacia abajo dicha frontera hasta (B); entre (A) y (B) la nueva porción de magma se desgasifica, y cayendo la presión se forman burbujas, porque entre A y B los volátiles pasan de la fase líquida a la gaseosa; luego, las burbujas fruto de la desgasificación, por menos densas y ayudadas por movimientos convectivos, ascienden hasta la espuma que está por encima de (B) para nutrirla, hasta cuando su colapso produzca la erupción.

Modelo Dinámico:

Típico de volcanes con actividad eruptiva frecuente o magmas fluidos. Suponga un conducto profundo y a través suyo, una porción de magma en ascenso (imagen derecha); cuando el magma alcanza el nivel (A) se forman burbujas porque la presión de gas iguala a la presión confinante. (A) es la zona de nucleación; luego entre (A) y (B) las burbujas, ganan energía potencial de deformación, pues no podrán ganar volumen por la viscosidad del fundido, aunque la presión vaya disminuyendo durante su ascenso. Pero a partir de B, las burbujas explotan produciéndose la erupción.

Estructura general de un volcán

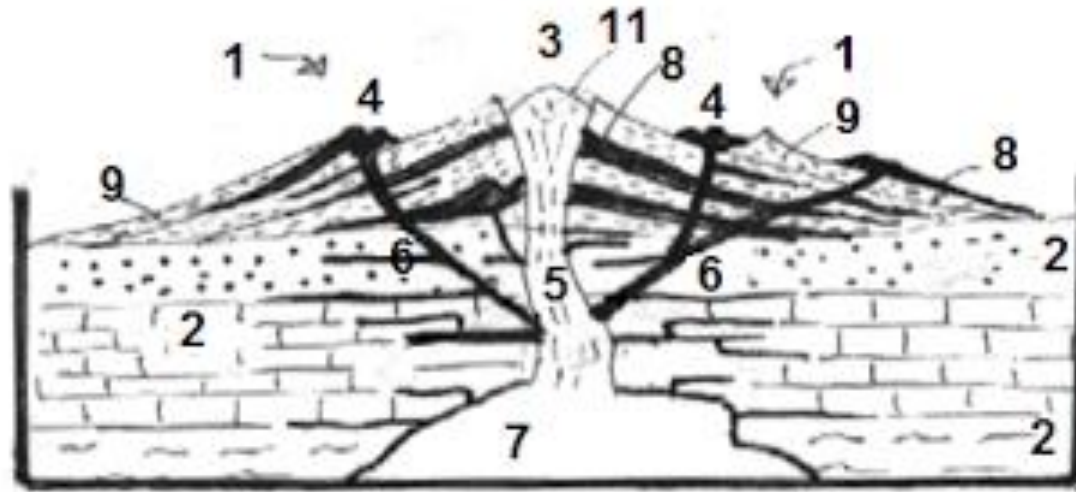


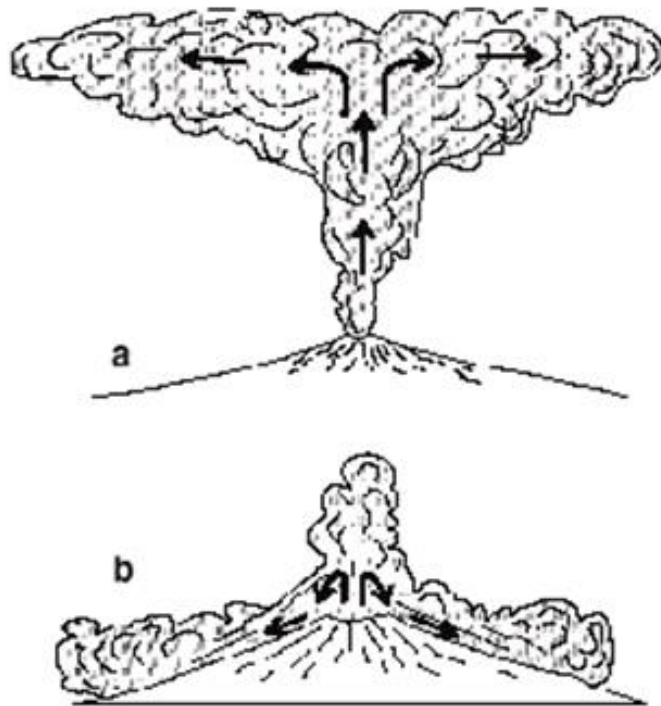
Imagen 9- El Volcán: 1. Edificio volcánico, 2. basamento, 3. cráter principal, 4. cráter secundario, 5. chimenea principal, 6. respiradero, 7. cámara magmática, 8. derrames lávicos, 9. capas de piroclastos, 11. cúpula extrusiva. Imagen adaptada de Geología Estructural, V. Belousov, en <http://www.bdigital.unal.edu.co/1572> .

El Ruiz presenta dos cráteres secundarios, la Piraña y la Olleta, cuyas edades podrían ser de cien mil años, dos estructuras adventicias alineadas con el cráter Arenas y ubicadas a 4 km por ambos costados, anunciando una falla que corta la falla Palestina, rasgo estructural principal sobre la cual se ha dado el vulcanismo del complejo Volcánico.

La presencia de domos volcánicos con edades del orden de los 150 mil años y dispuestos en forma areal entre Cerro Bravo y el Ruiz, (Santana p. e.) parece anunciar un fracturamiento bidimensional del basamento (Stock de Manizales); también, el alineamiento de domos volcánicos al este de Sancancio, se correlaciona con la falla Villa María-Termale del Ruiz, sobre la cual aparece el volcán Tesorito.

Fenómenos volcánicos

Columnas eruptivas, flujos, oleadas y erupciones laterales dirigidas: son eventos cuyas características varían en función del coeficiente explosivo de volcanes, asociado a la naturaleza de los magmas.



**Columnas eruptivas:
a) sostenida y b) con colapso**

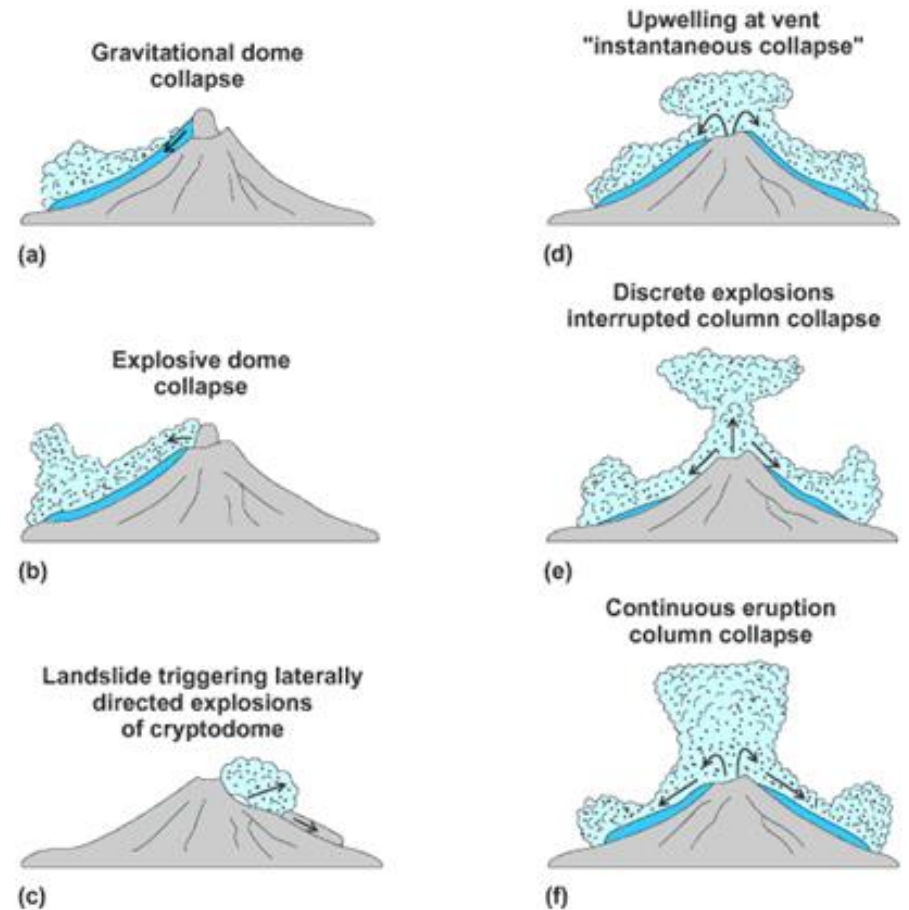


Imagen 10- Columnas eruptivas: Izquierda columnas verticales y de colapso, en <http://www.insugeo.org.ar> Derecha colapsos de columnas y blast (c), en <http://accessscience.com/>—

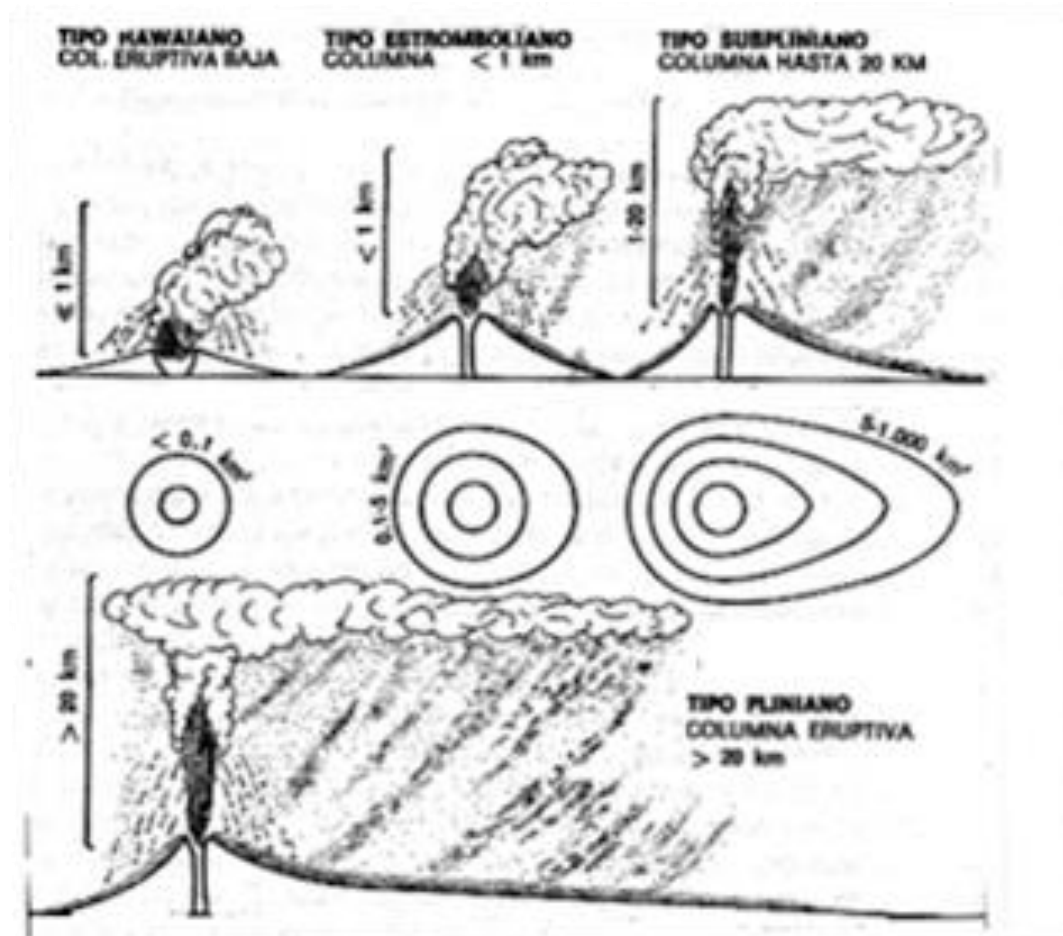


Imagen 11- Erupciones plinianas y subplinianas. Fuente: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1572> tomado de Booth y Fitch, La inestable Tierra.

Los flujos piroclásticos, dada su elevada temperatura y carga en suspensión, pueden producir asfixia, enterramiento, incineración, abrasión con chorros de arena, y trituración por impacto físico.

Las zonas más amenazadas suelen ser las laderas y vaguadas profundas en las proximidades del volcán. Esto explica el riesgo sobre los primeros 10 km en el entorno de un cráter, y a mayor distancia para volcanes de mayor coeficiente explosivo, donde la columna eruptiva suele colapsar.

Formación de una Caldera

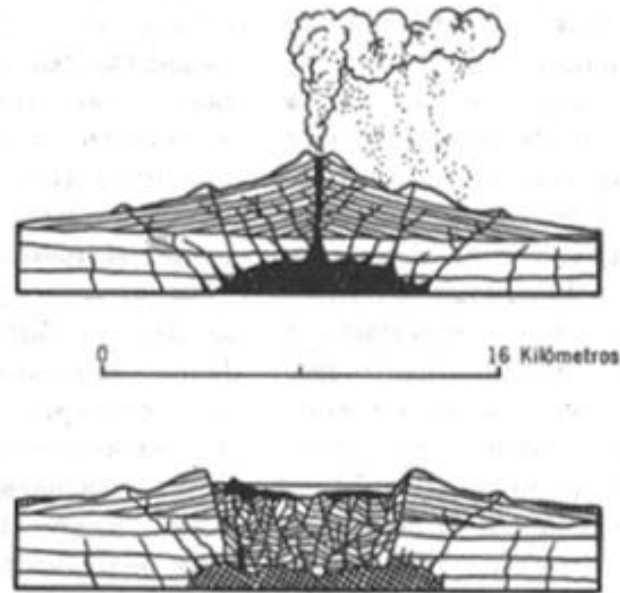


Imagen 12- Por el vaciado una cámara magmática superficial (arriba), se dan el vacío inferior y el crecimiento en peso del edificio volcánico; así, a la erupción pliniana le sucede el paroxismo volcano-tectónico, que explica la caldera (abajo).

Fuente: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1572> tomado de Booth y Fitch, La inestable Tierra.

Las Calderas son por lo tanto grandes depresiones circulares u ovaladas; a diferencia del cráter, el diámetro supera su profundidad; es un elemento destructivo del relieve; los hay de cuatro tipos:

- De colapso. Llamada estructura vulcanotectónica, si es el resultado del hundimiento a partir de un importante vaciado de una cámara magmática superficial y el consecuente aumento en tamaño y peso del edificio, con lo cual el colapso es inminente, ejemplo, Cerro Bravo.
- Explosivas. Cuando la pérdida del edificio, y en su sustitución la formación de una depresión, se explica por un paroxismo tras el cual los fragmentos de la estructura se han disipado con violencia, ejemplo, el Machín.
- De Erosión. En donde los procesos erosivos son los responsables de la destrucción y pérdida de la acumulación.
- De impacto. Depresiones ocasionadas sobre la superficie por la caída impetuosa de meteoros con gran energía. Posteriormente puede surgir una erupción como evento secundario.

Órdenes de las amenazas

Una lluvia puede generar un deslizamiento, y éste un flujo de lodo. El orden de las amenazas permite establecer la secuencia de los eventos, y según éste, normalmente suelen darse los fenómenos con un nivel de precedencia que responde a esta clasificación:

- Primer orden: sismos, huracanes, volcanes y lluvias.
- Segundo orden: deslizamientos, maremotos, inundaciones.
- Tercer orden: aludes y avalanchas.

Tabla 1. Las erupciones volcánicas aunque de moderada frecuencia, suelen presentar diferentes eventos de alta siniestralidad:

Orden:	Muy alta	... alta	...moderada	... baja
Siniestralidad:	Meteoritos	Erupciones	Sismos	Inundaciones
Frecuencia:	Inundaciones	Sismos	Erupciones	Meteoritos

Tabla 2- Magnitudes de la Amenaza y del Desastre, en caso de erupciones volcánicas

Erupciones	Volcán y año	Volumen km3	Volcán y año	Muertes	Volcánicas
	Tambora , 1915	100	Tambora ,1915	56000	
Cosiguina ,1935	25	Krakatoa ,1883	36400		
Krakatoa ,1883	18	M. Pele, 1902	30000		
M. Katmal,1912	16	V.N. del Ruiz, 1985	23000		
Paricutín,1943	12	Sta María, 1902	6000		



Imagen 13- Columnas eruptivas, nubes ardientes y erupción explosiva de ángulo bajo (blast). Fuentes citadas.

Izquierda: Volcán Redoubt de Alaska y Volcán Mayón de Filipinas, mostrando una columna vertical y otra colapsada originando flujos, en: <http://es.wikipedia.org>

Centro: nubes ardientes, del V. Pinatubo (1991) en Indonesia, en <http://www.coolgeography.co.uk> y del V. Monserrat (1997) en Centro América, en <http://www.mnh.si.edu>

Derecha: Blast del V. Santa Helena (1980) y su impacto a unos de 25 km sobre un bosque de abetos, en <http://elplanetaextremo.blogspot.com>



Volcán Chaitén, en: fognazos.es



Volcán Puyehue, en fayervoyet.com



Ceniza volcánica del Eldfell 1963
Vestmannaeyjar, en <http://icelandreview.com>



Lava del volcán Surtsey 1963-67, de
Islandia, en <http://icelandreview.com>

Imagen 14- Erupciones volcánicas: Vulcanismo andino de tipo explosivo (Izq), y de dorsal o de tipo efusivo en Islandia (Der) Fuentes citadas.

Las lavas de Islandia y Hawái son fluidas, por lo que ese vulcanismo no es explosivo como si lo es el vulcanismo andino, tal cual ocurre con el del complejo volcánico Ruiz – Tolima.

En la imagen anterior de la Izquierda, arriba y abajo, se ilustra el vulcanismo explosivo. No toda erupción se acompaña de tormentas eléctricas, fenómeno asociado a la generación de cargas electrostáticas, muy probables durante erupciones explosivas.

Al lado derecho, se muestra el vulcanismo efusivo, propio de los bordes constructivos de placas tectónicas, con dos imágenes de erupciones en Islandia, así:

Arriba: Eldfell, un cono volcánico de unos 200 m de altura que se formó en la erupción de 1973, generando una crisis que casi provocó la evacuación permanente de la ciudad de Heimaey.

La ceniza volcánica llevada por el viento a un costado de la isla, en virtud de su enorme espesor destruyó cerca de 400 casas, mientras del otro lado del volcán un flujo de lava avanzó hacia el puerto amenazando su infraestructura y la flota pesquera, obligando a una operación exitosa de bombeo del agua del mar que lo refrigeró y pudo detenerlo.

Abajo: derrame lávico del Surtsey, volcán que se formó inesperadamente a partir de una erupción volcánica que se inició a 130 m por debajo del nivel del mar, y que emergió a la superficie el 14 de noviembre de 1963. La erupción duró hasta el 5 de junio de 1967, momento en el que la nueva isla alcanzó su tamaño máximo, de 2,7 km² (270 ha).



Imagen 15- Las cenizas volcánicas: A la derecha, incidencia de la dirección del viento en la columna eruptiva de un volcán de Islandia y en la del Monte Santa Helena (1980). A la izquierda, efectos de las cenizas del Puyehue en Chile.

En la erupción del Eyjafjallajökull (2010): el tráfico aéreo sobre el mar entre Escocia, Noruega, el norte de Suecia, Gran Bretaña y el norte de Finlandia, resultó limitado, a causa de la ceniza expulsada a la atmósfera, tras la erupción de este volcán de Islandia.

La nube de cenizas de la erupción del volcán chileno Puyehue (2011), se extendió a toda la Patagonia norte, lo que provocó interrupción del tránsito en rutas, suspensión de clases y actividades. En Buenos Aires y en Villa La Angostura a 30 km del volcán Puyehue, se cerró el aeropuerto.

Ante la situación el CPE reiteró medidas de prevención, como la utilización de barbijos o trapos humedecidos para proteger las vías respiratorias, de anteojos o antiparras para los ojos, evitar lentes de contacto, permanecer a resguardo, proteger a las mascotas y el alimento que consumen; y de requerirse, donde la capa de ceniza lo permitía, manejar con precaución.

Igualmente, hubo afectación en pasturas y fuentes de agua, que generaron efectos a corto y mediano plazo para el ganado, a mediano y largo plazo para las cosechas y la vida acuática en lagos y ríos de la zona afectada Alpha

La dirección de los vientos resulta definitiva para el manejo de una emergencia volcánica, dado que genera un sesgo espacial que condiciona los planes operativos a la ubicación precisa del escenario afectado. Para nuestro caso, de presentarse tormentas eléctricas, se deben tomar las previsiones del caso teniendo especial cuidado en el diseño de planes de contingencia para mitigar el impacto en las fuentes abastecedoras de agua, e igualmente preparando a la comunidad para sortear eventos asociados a amenazas hidrogeológicas, en caso de presentarse lluvias torrenciales que puedan desencadenar flujos de lodo o deslizamientos de tierra.

El riesgo volcánico

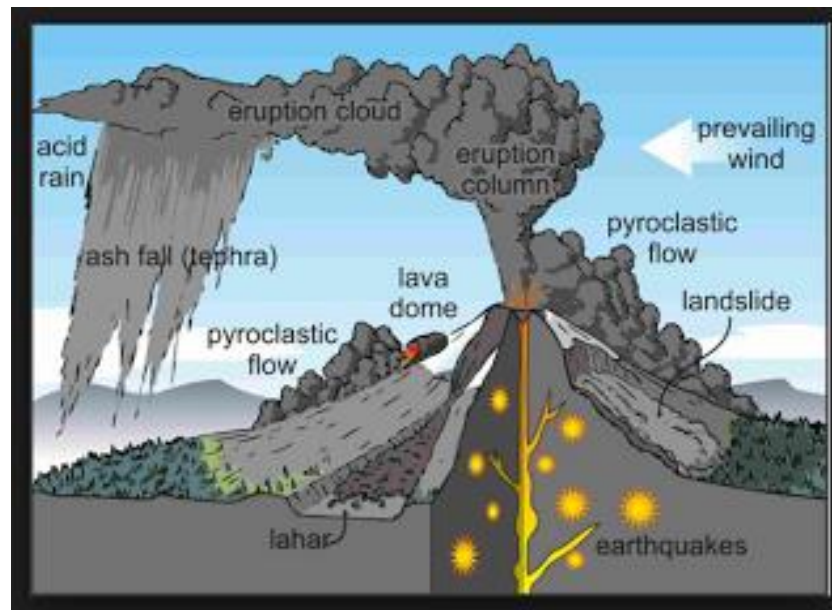


Imagen 16- Peligros asociados a las erupciones volcánicas: Eventos: Caída de ceniza, caída de proyectiles lávicos, flujos de lava, flujos de lodo y nubes ardientes, lluvia ácida, deslizamientos de tierra y gases. Imagen, en: <http://newgeography.weebly.com/hazards.html>

-Riesgo: Posibilidad de afectar significativamente las vidas o bienes a causa de un evento peligroso fuerte, dentro de un período de tiempo y con una probabilidad determinada.

-Amenaza: evento perjudicial con un cierto nivel de magnitud y alcance espacial, que tiene una probabilidad de ocurrencia significativa en un período de tiempo dado.

La relación entre amenaza y riesgo se establece por medio de la expresión:

Riesgo = Amenaza x Vulnerabilidad

Siendo la vulnerabilidad el factor de riesgo que tiene en cuenta la fragilidad de las personas y de los bienes expuestos.

La vulnerabilidad puede ser física, cultural y socioeconómica.

En sismos, erupciones y deslizamientos, por el carácter incierto y aleatorio de los eventos, se obliga a establecer pronósticos. Esto a diferencia de los eclipses, que se pueden predecir.

Cuatro conceptos clave

1- Métodos para atenuar los efectos adversos del desastre

Las medidas de prevención: como mejoras físicas o estructurales, organización eficiente del sistema de su operación y de mantenimiento.

Las medidas de preparación: como planificación de acciones rápidas y eficaces para restaurar los servicios y controlar o mitigar los daños al sistema y los efectos al ambiente.

2- Los factores que definen el estilo eruptivo de un volcán, son: las características de la cámara y del magma, los contactos magmático-hidrotermales, la estructura y morfología del volcán, y la intensidad de los procesos endógenos y exógenos.

3- Dos clases de riesgo:

El Riesgo local o específico, que es de importancia para una persona o elemento expuesto.

El Riesgo total o de cúmulo, que es el de interés para la autoridad territorial.

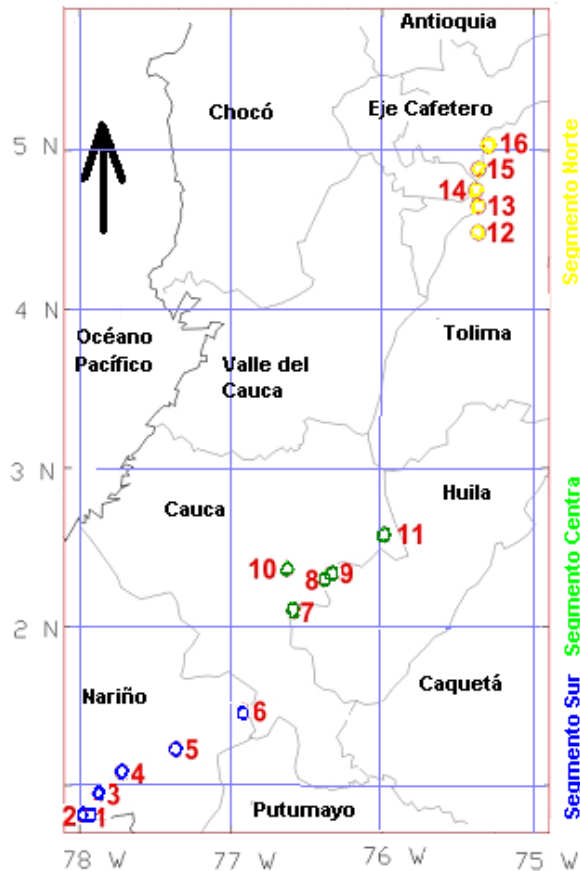
4- Dos niveles del Plan de Emergencias

El Plan Estratégico: a nivel nacional o regional, que debe diseñarse en función del riesgo de cúmulo.

Los Planes Operativos: a nivel local, que deben diseñarse en función del riesgo específico y coordinarse con el anterior.

Colombia y sus volcanes

1. Chiles 2. Cerro Negro 3. Cumbal 4. Azufra 5. Galeras
6. Doña Juana 7. Sotará 8. Pan de Azúcar 9. Coconucos
10. Puracé 11. Huila 12. Machin 13. Tolima
14. Santa Isabel 15. Ruiz 16. Cerro Bravo



En Colombia, el 70% de la población habita la zona andina y el 10% está sometida al riesgo por amenaza volcánica, dado que existen cerca de 15 volcanes activos, entre cerca de medio centenar de estructuras bien identificadas.

Nuestros Volcanes aparecen agrupados en tres segmentos: el del sur localizado en Nariño, donde sobresalen el Galeras y el Azufra; el del centro ubicado en jurisdicción de Cauca y Huila donde se destacan el Nevado del Huila y el Puracé; y el segmento norte, denominado Complejo Volcánico Ruiz – Tolima.

Imagen 17- Segmentos volcánicos de Colombia, según Ingeominas. Cada segmento, cuenta con su observatorio vulcanológico, provisto por dicha institución, con personal altamente calificado y equipos para el monitoreo volcánico.

Fuente: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1685>

Por lo general, el monitoreo volcánico consta de 4 actividades fundamentales cuyo objeto es el pronóstico temporal de los eventos y de su magnitud. Eso mediante : la observación directa de los fenómenos y alteraciones del cráter; la instrumentación sísmica que permitir obtener señales de diferente naturaleza (sismos y tremores); la instrumentación geoquímica para valorar especies gaseosas de diferente nivel de volatilidad (Carbono, Azufre y Cloro), y la medida geodésica de pendientes y deformaciones en el edificio volcánico.

El Complejo Volcánico Ruiz – Tolima



Imagen 18- Basamento granítico al norte del Ruiz y en Cerro Bravo, con lavas de cobertura. Puede apreciarse la menor distancia de Manizales al V. Cerro Bravo, que al V.N. del Ruiz. En la figura, el círculo rojo con centro en el Ruiz, es de 10 km de diámetro. Fuente: Investigación Geotérmica, Chec. Fuente, Mapas de Caldas, en: <https://godues.wordpress.com/2013/03/31/>

La actividad del complejo volcánico Ruiz-Tolima se puede calificar de moderada. Entre los eventos registrados se destacan erupciones plinianas menores de 2 Km³ del Tolima (10.000 aC) y el Quindío (9.000 aC); menores de 1 Km³ del Tolima (1.600 aC) y el Ruiz (1.200 aC y 1.595 dC); la excepción es un flujo piroclástico Holoceno de 5 Km³ asociado al Machín.

Según Thouret, Murcia, Salinas y Cantagrel, Ingeominas 1.991, las últimas erupciones prehistóricas de tipo pliniana y de flujos piroclásticos datadas, son del Cerro Machín, Cerro Bravo, Tolima y Ruiz (900 dC, 1.250 dC y 1.600 dC, en su orden).

Aunque la amenaza del Ruiz no resulte significativa para la ciudad frente a una erupción pliniana comparable a los eventos históricos de 1595 y 1845, salvo una erupción lateral dirigida similar a la contemplada hacia el NE en su mapa de amenazas oficial, como evento poco probable, habrá que empezar a tomar acciones de largo plazo y extremada urgencia frente a la amenaza volcánica de Cerro Bravo, aprovechando su período de calma.



Imagen 19- Panorámica del Complejo Volcánico Ruiz Tolima, desde el sur. En primer plano, el Nevado del Tolima; al fondo el Nevado del Ruiz, el Cráter La Olleta y el Nevado Santa Isabel. Autor, Gustavo Wilches Cháux, en:

<http://wilchesviajerofrequente.blogspot.com/>

Las lavas de Cerro Bravo y Machín, son de coeficiente explosivo moderado alto, mientras las del Ruiz, Tolima y Santa Isabel son lavas del tipo moderado bajo. De ahí que las columnas erupción tengan diferente tendencia: columnas de colapso en el primer caso, o verticales sostenidas en el segundo.

El volcán Cerro Bravo

En Cerro Bravo, al interior de la caldera, el nuevo edificio muestra varios cráteres de tamaño decreciente en el tiempo, lo que permitiría abrigar la esperanza de que la actividad eruptiva del nuevo edificio volcánico de edad holocénica (post-glacial), resultado del vaciado importante de la cámara magmática tras el paroxismo vulcano-tectónico, pueda estar atenuándose.

De este volcán activo y en reposo, localizado a 20 km del aeropuerto La Nubia y a 25 km del centro de Manizales, se han identificado 7 erupciones plinianas de los últimos 4000 años, cuyas fechas, estimadas las edades por radiocarbono, son: 1720 ± 150 , 1330 ± 75 , 1050 ± 75 , 750 ± 150 , 730 ± 75 aC, 1050 aC ± 200 , 1310 ± 150 aC, 4280 aC ± 150 .

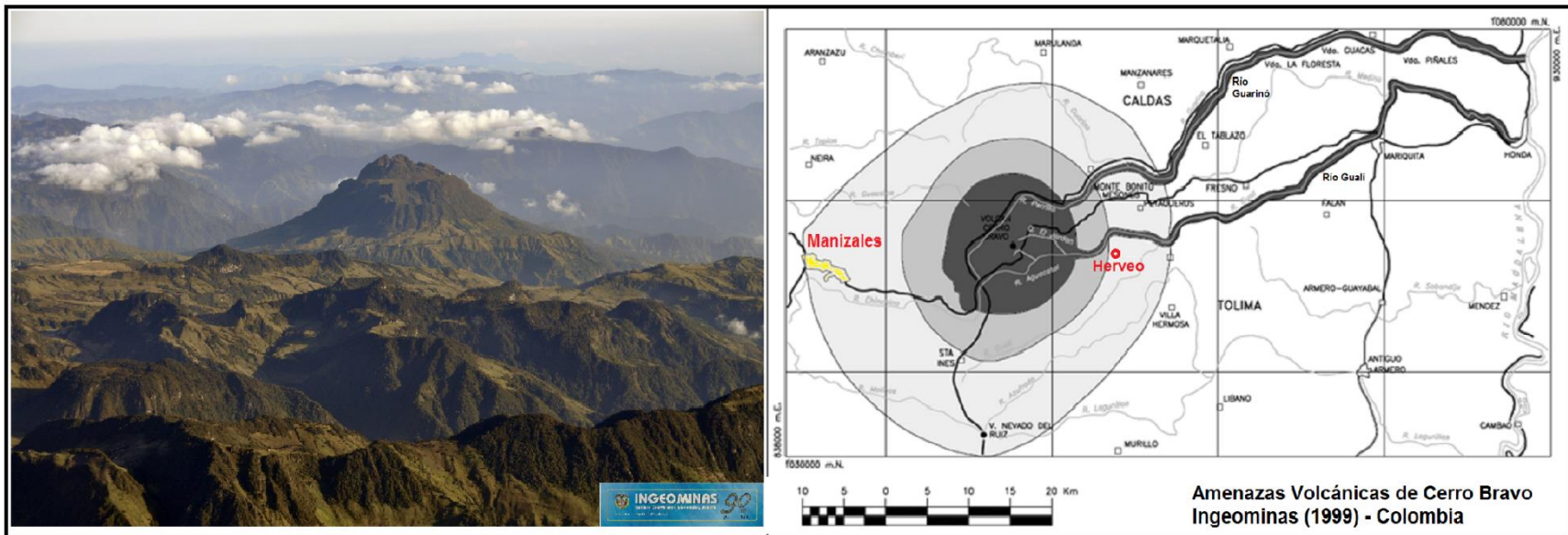


Imagen 20- A la Izq. el edificio de Cerro Bravo visto desde el Sur, mostrando en el perfil, tres niveles de cráteres cada vez menores, donde el emplazamiento de los últimos en medio de los precedentes, además de unas estructuras sin marcas de erosión glacial, permite advertir una actividad que decreció en volumen, y muy reciente (menos de 14 mil años).

Fuente <http://www.ingegominas.gov.co/>

Según Ingeominas, estas son las amenazas de Cerro Bravo:

1- Productos balísticos de caída: Las bombas volcánicas corteza de pan, se encuentran hasta 3 km alrededor de los cráteres del volcán, mientras los fragmentos balísticos de hasta 7cm de diámetro, asociados a eventos plinianos, llegan a 12Km del volcán. La zonificación señala un radio de 8 Km, a partir del cráter para la amenaza alta, y 12 km para la amenaza media.

2- Amenaza por piroclastos de caída: La zona de amenaza alta, hasta una distancia de 14Km, con dirección preferencial sur-suroeste; en una erupción futura pueden acumularse espesores entre 20cm y 400cm, de material piroclástico, en menos de dos horas. La zona de amenaza media comprende un área hasta 18Km, en dirección sur-suroeste, que puede ser afectada por espesores entre 20cm y 10cm.

3- Flujos de lodo: Los Ríos Aguacatal, afluente del Gualí, y Perrillo, afluente del Guarinó, presentan eventos probables que comprometen al Gualí y al Guarinó, hasta sus desembocaduras en el Magdalena. En el Gualí, el depósito del flujo de lodo, se establecería desde Mariquita, y en el Guarinó el depósito final, con una potencia de entre 3 y 5 metros de espesor, se establecería entre la vereda el Llano (Victoria) y la vereda Horizontes ubicada en la desembocadura del Magdalena.

4- Flujos piroclásticos: La pluma eruptiva tiene tendencia al colapso. Se han reconocido al menos nueve flujos de ceniza y pómez (igneslunitas), y tres flujos de ceniza y bloques (ignimbritas). Los depósitos de estas dos clases de nubes ardientes, se observan a distancias que varían entre 6 y 18Km.

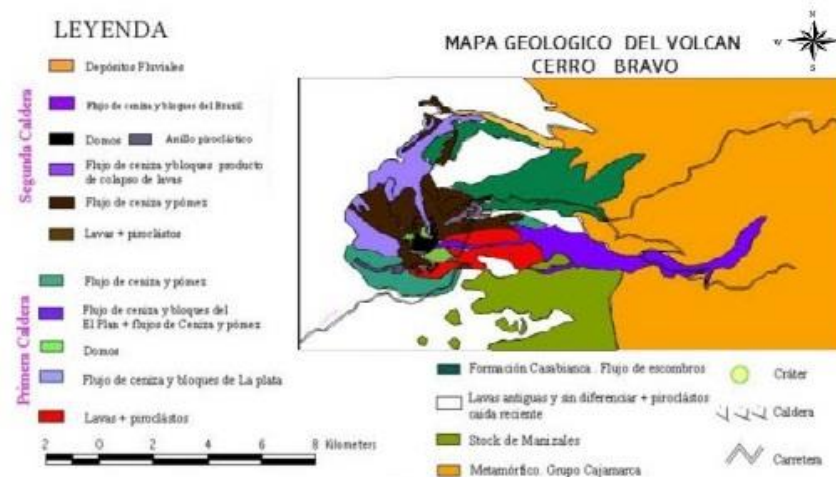


Imagen 21- Geología del Volcán Cerro Bravo, mostrando la primera y segunda caldera. El basamento de Cerro Bravo, es el Stock de Manzales. En negro, vía Manzales-Fresno a lo largo de la diagonal del recuadro, transitando por el costado Este del Volcán, y vía Delgaditas-Herveo. Fuente <http://www.ingegominas.gov.co/>

El Volcán Nevado del Ruiz

El Edificio volcánico de este estratovolcán, que se ha construido desde el inicio del Pleistoceno, muestra tres cráteres controlados por una fractura que corta la gran Falla Palestina de dirección N15°E, alineados de este a oeste, así: La Piraña, el cráter Arenas (Principal) y La Olleta.

El Ruiz suele generar erupciones plinianas, que producen flujos piroclásticos, y estos a su vez lahares (flujos de lodo y flujos de escombros), como los que explican el desastre de Armero, ocurrido en 1985.

Dicha erupción del 13 de noviembre de 1985, apenas alcanzó un volumen de 1/10 de kilómetro cúbico de magma, cuantía ínfima en comparación con los eventos históricos de 1595 y 1845, donde el volumen de magma superó entre 10 y 20 veces esa magnitud; pero estos, con flujos de lodo mayores a los de 1985.

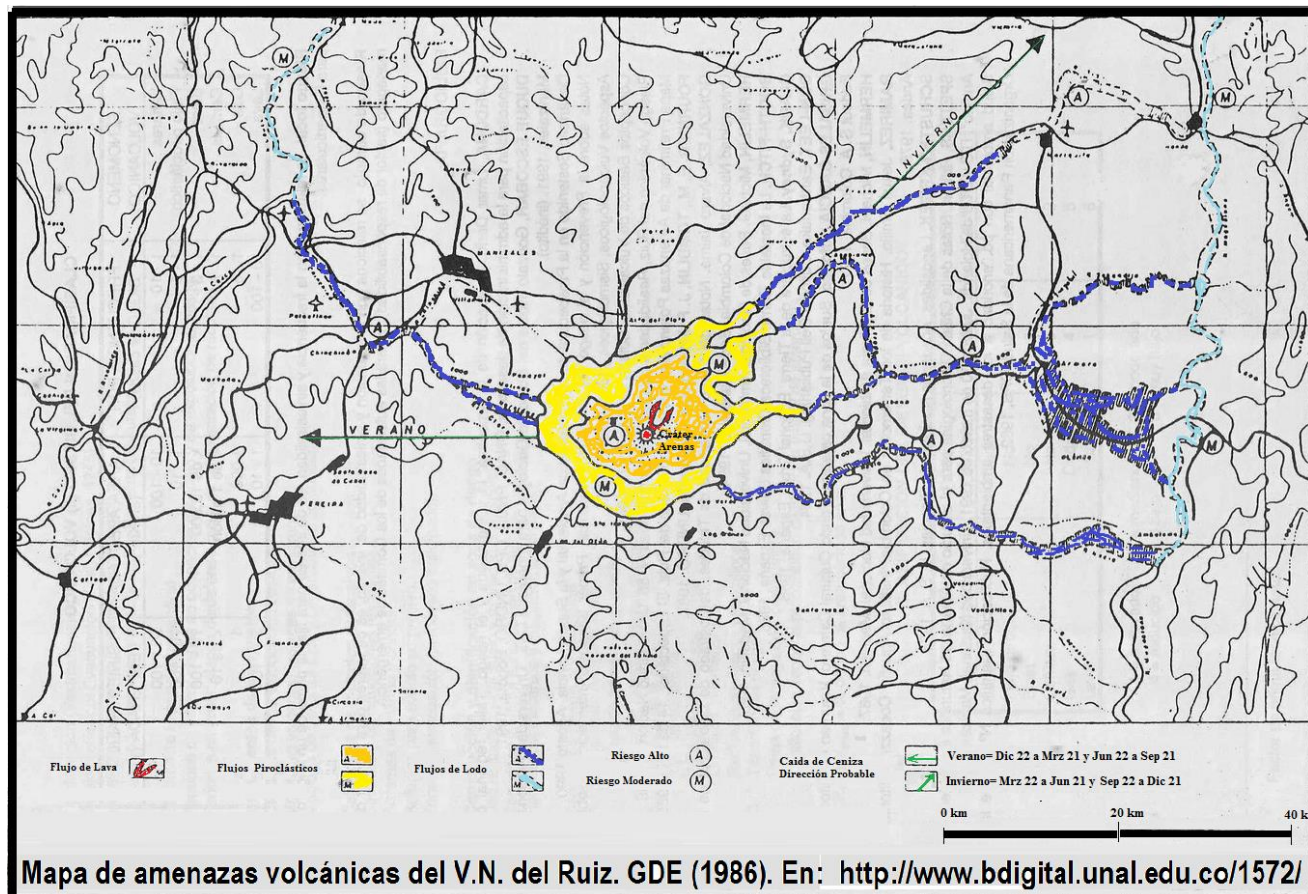


Imagen 22- Mapa de amenazas potenciales del volcán Nevado del Ruiz, no oficial. En Rojo, flujo de lava; en Amarillo, Flujos piroclásticos; en Azul Flujos de lodo; A, nivel alto; B, Nivel moderado. Flechas: Cenizas al NE luego de los equinoccios (Invierno), y al W luego de los Solsticios (Verano). Fuente: <https://godues.wordpress.com>

El mapa de amenazas señala la probabilidad de ocurrencia de lahares, por los ríos Gualí, Azufrado, Lagunillas, Molinos, Rioclaro-Chinchiná y Recio.

También contempla caída de cenizas, así: hacia el NE, lo que resulta probable en invierno, y hacia el Oeste en el verano de la región andina colombiana, cuando la dirección de los vientos cambia.

Este mapa, no oficial, no contempla la erupción lateral de ángulo bajo dirigida (blast) hacia el NE, del mapa de Ingeominas, dado que se trata de un evento poco probable.

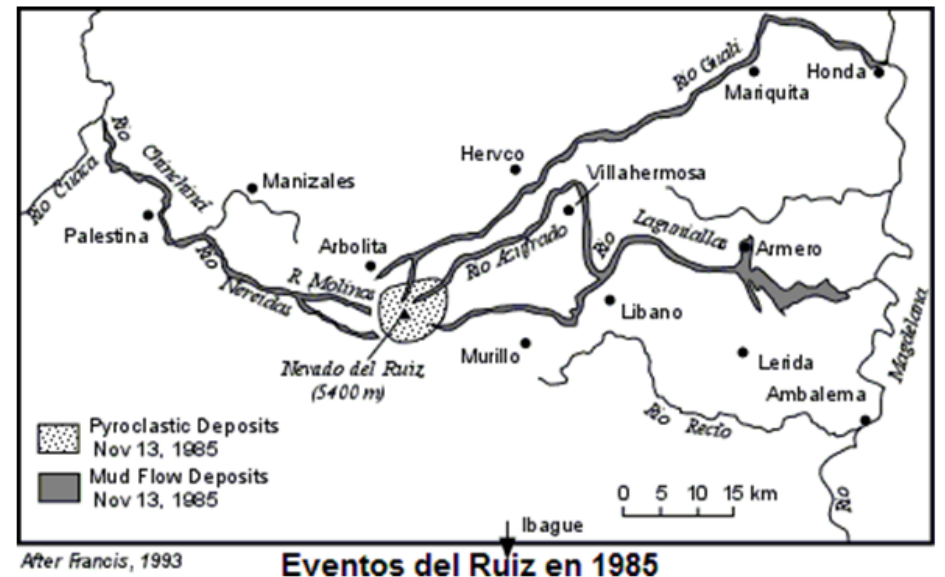


Imagen 23- El desastre de Armero: cerca de dos horas tardaron los flujos de lodo en alcanzar esta población tolimense, ubicada donde el río Lagunillas encuentra el valle de salida, tras recorrer decenas de km anunciándose con ruido en las poblaciones cordilleranas vecinas. www.geology.sdsu.edu

En 1985 la magnitud de los lahares del Ruiz, estimados en cien millones de metros cúbicos, se incrementó por los deshielos dada la fusión de glaciares ocasionada por riadas gasopiroclásticas y por vertimiento de piroclastos: allí agua y sólidos participaron casi por

partes iguales, para conformar flujos de lodo como los que arrasaron a Armero, donde se vertieron 60 millones de metros cúbicos sobre 30 kilómetros cuadrados.

Como resultado de la imprevisión, 23 mil personas perdieron la vida.

Volcán Santa Isabel

En el Santa Isabel, la amenaza más significativa son los flujos de lodo, un tema igualmente importante en el caso del Ruiz y del Tolima; pero igualmente la caída de ceniza con sus fenómenos y consecuencias colaterales.

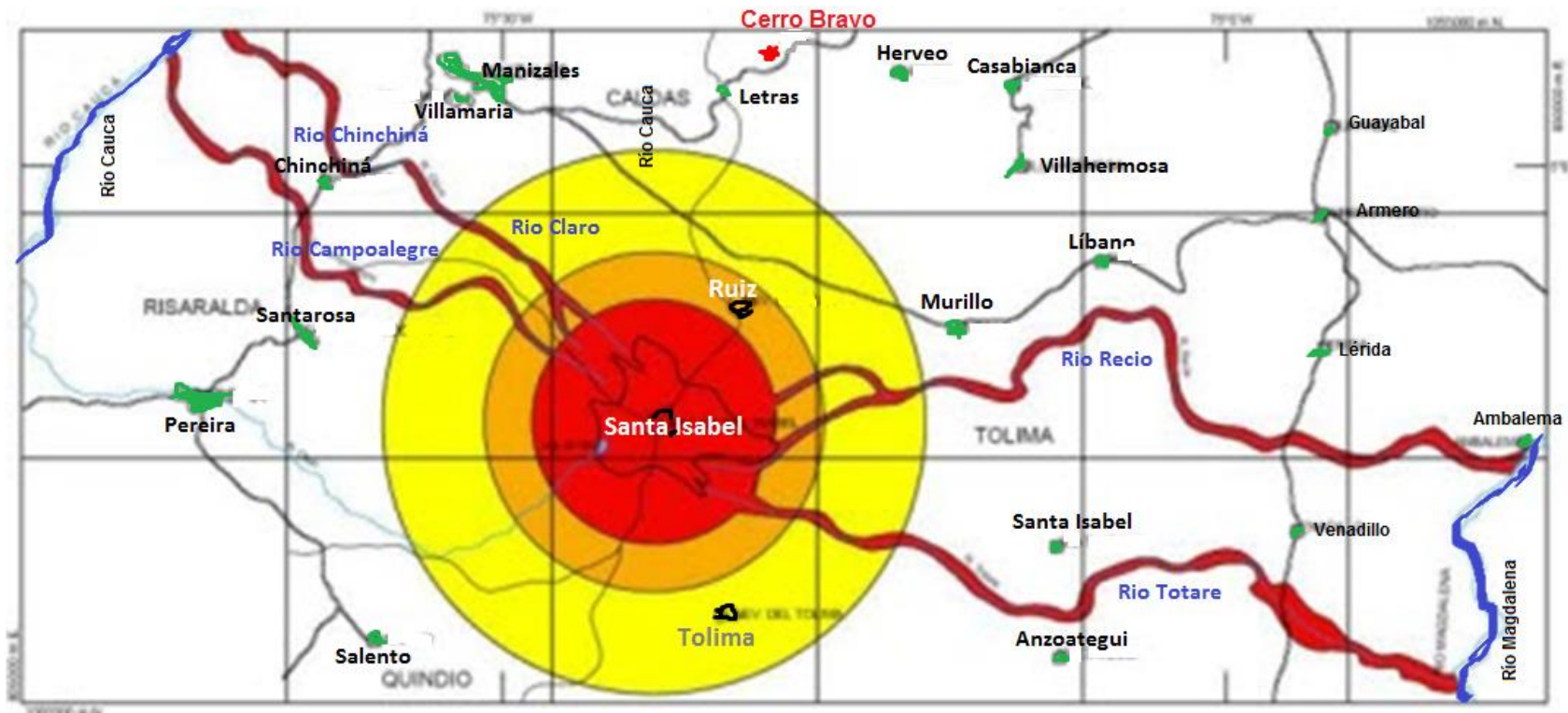


Imagen 24- Mapa de amenazas del volcán Santa Isabel. La distancia Manizales-Pereira es 34 Km y Manizales-Herveo 39 km. Obsérvese el volcán del Tolima al Sur, y los volcanes Ruiz y Cerro Bravo al norte. Fuente: (adaptado) <http://www.ingominas.gov.co/> Las erupciones típicas esperadas serían plinianas a subplinianas, de columna vertical. Los ríos afectados, por el oeste, el Río Claro y Campoalegre, afluentes del Chinchiná; y por el este el Totare y el Recio, llegando los eventos hasta el Magdalena.

Volcán Nevado del Tolima

Señala Ingeominas que tanto el Tolima antiguo de estructura caldéica, como el Tolima moderno como truncado de andesitas, fueron construidos en el Cuaternario. Mientras el primero se ha construido desde el mio-pleistoceno, el Tolima moderno tiene una edad mayor de 14.000 años similar a la del Cerro Bravo actual. La erosión de los glaciares que abandonaron los 4000 msnm hace 14.000 años, ha permitido diferenciar las estructuras más recientes.

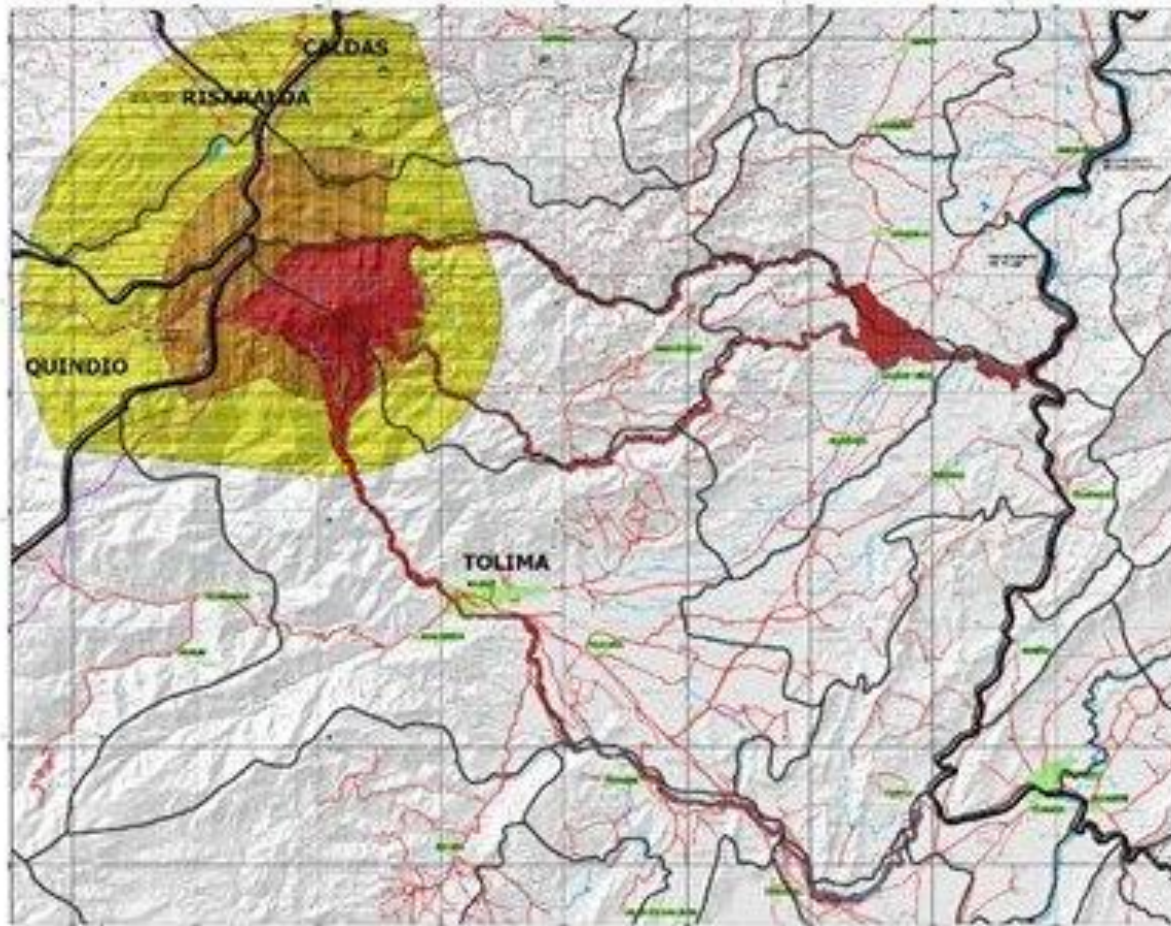


Imagen 25- Mapa de amenazas volcánicas del Tolima. En amarillo quemado y claro, los niveles de amenaza alta y media relacionados con caída de piroclastos. Fuente, Ingeominas en: <http://www.ingegominas.gov.co/>

Las erupciones inferidas por Ingeominas, han sido del tipo plinianas con intensidades entre moderada grande a grande, y columnas eruptivas entre 10 y 18 km de altura. Aunque se prevé la amenaza de lava en la zona proximal (parte alta del edificio volcánico), la mayor amenaza del Tolima se asocia a la ocurrencia de flujos de lodo en la zona distal del Volcán, (más allá de los 9 km a partir del cráter), así: Por el costado sur del Volcán Nevado del Tolima, el cañón del río Combeima afluente del Coello, es el que presenta mayor amenaza por flujos de lodo. Por el costado norte, el drenaje principal es el río Totare.

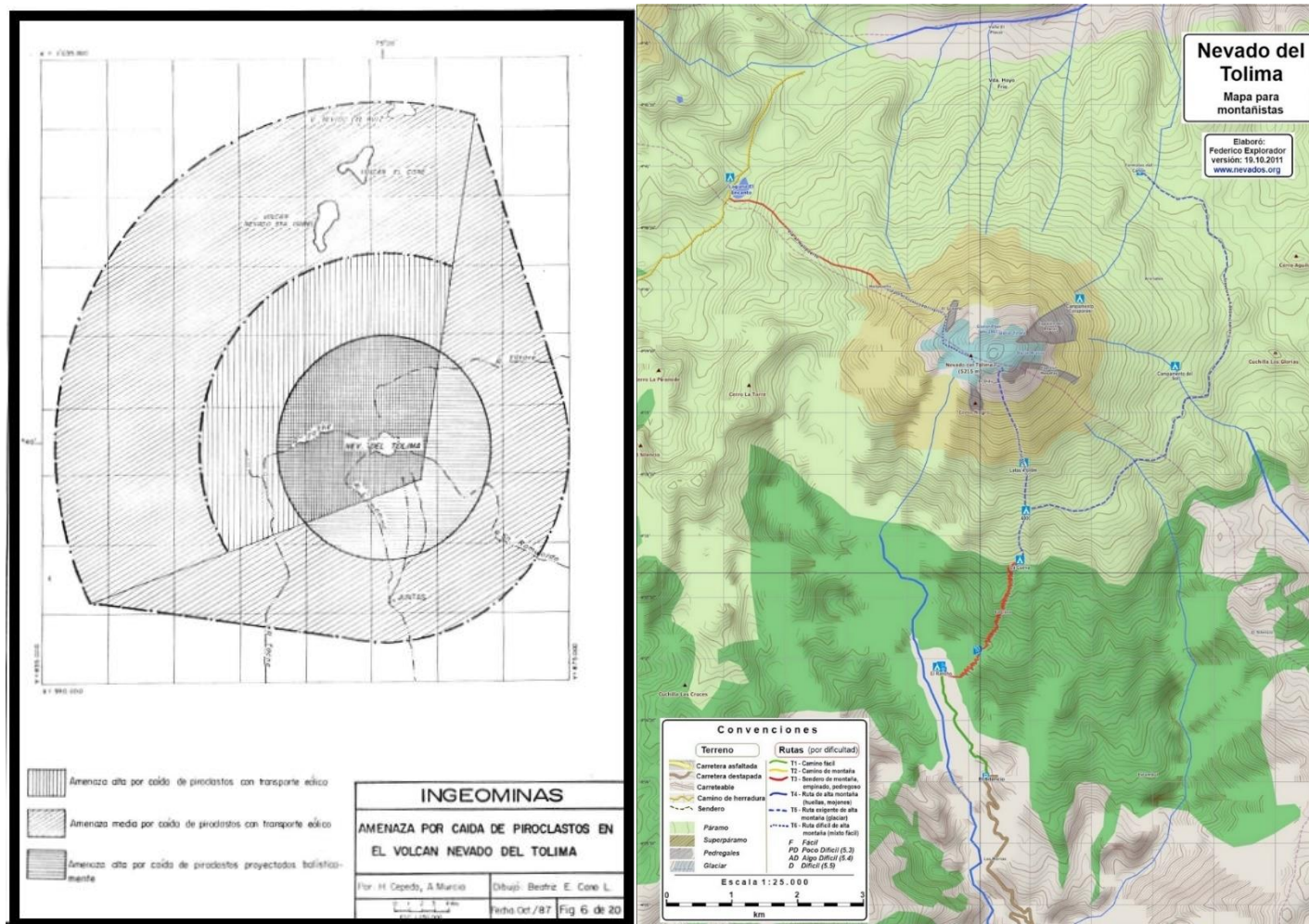
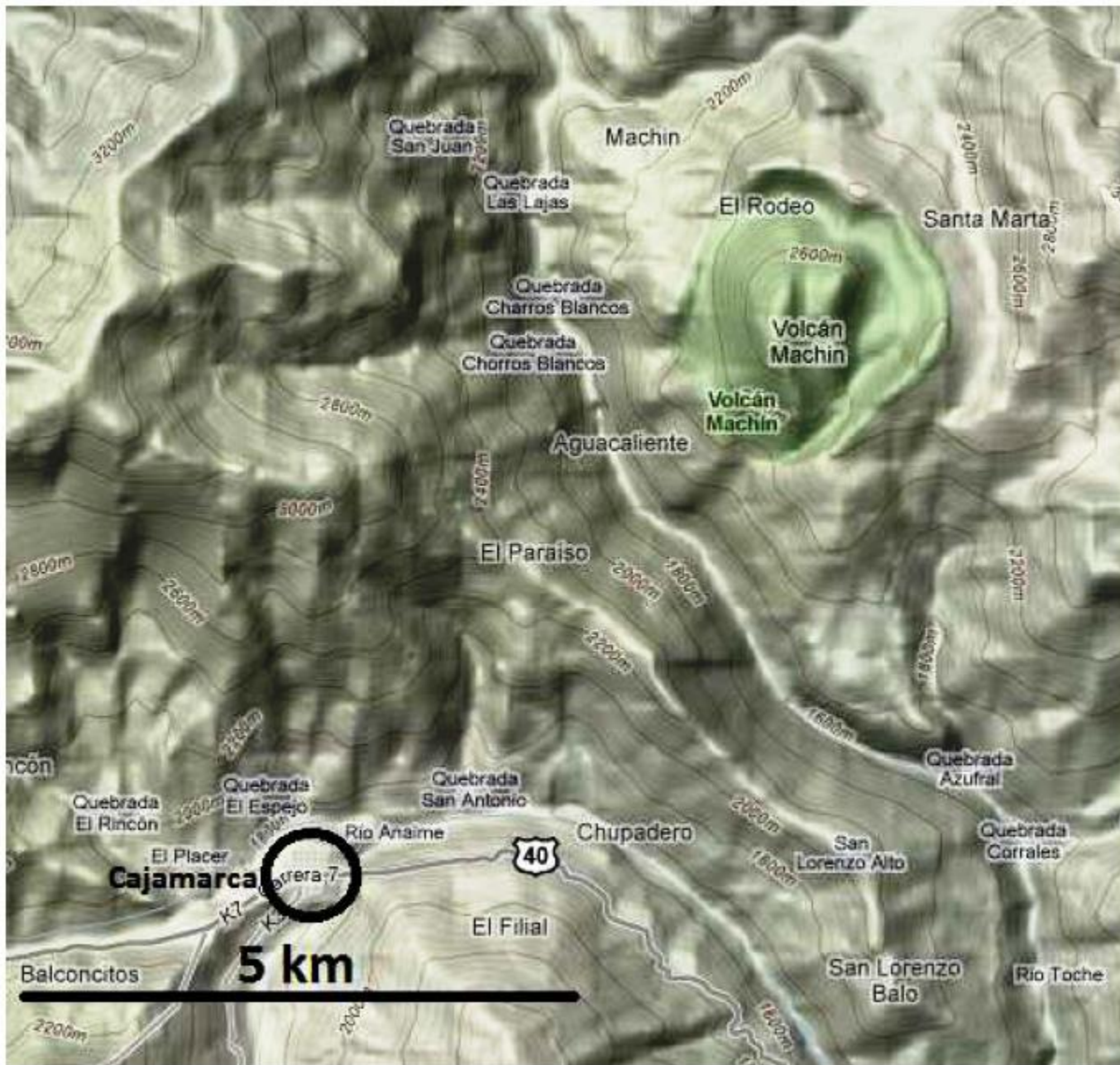
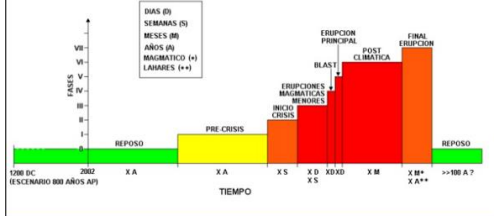


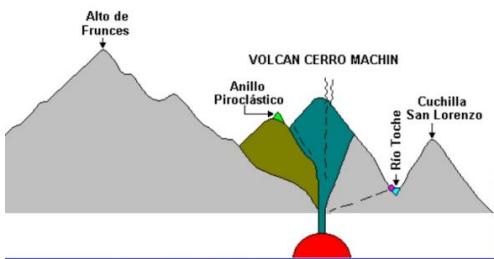
Imagen 26- Amenaza por Piroclastos de caída, en el Volcán Nevado del Tolima. Fuente <http://www.ingegominas.gov.co/> Imagen 27- Volcán Nevado del Tolima; versión para montañistas, en: <http://www.nevados.org>



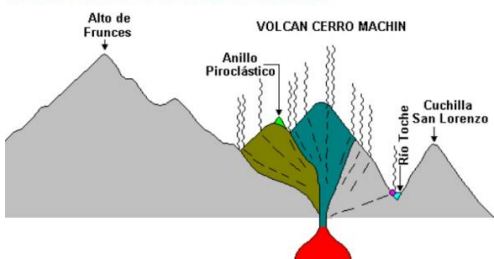
ESCENARIO ERUPTIVO POTENCIAL DEL VOLCÁN CERRO MACHÍN



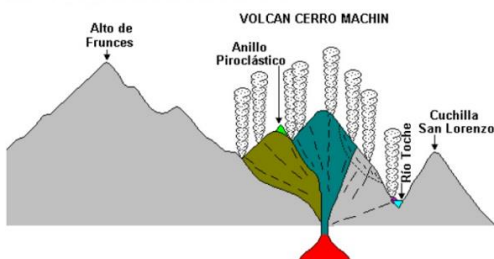
FASE 0: ESTADO DE REPOSO



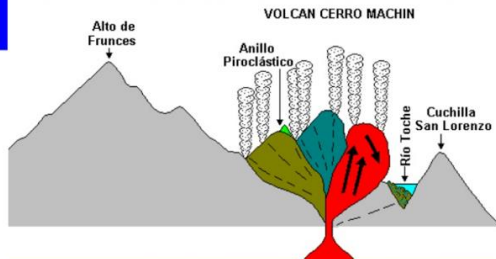
FASE I: ESTADO DE PRECRISIS



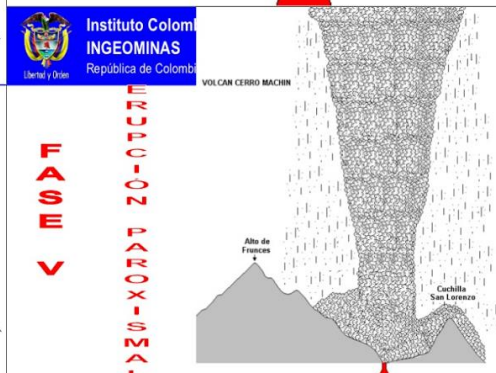
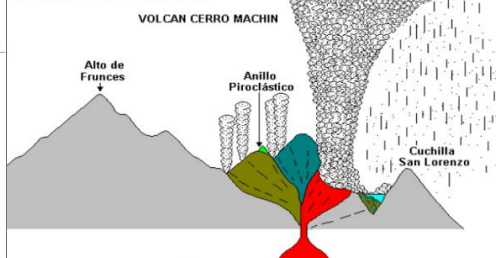
FASE II: INICIO DE CRISIS



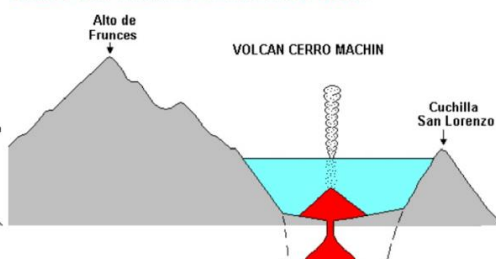
FASE III: ERUPCIONES MAGMÁTICAS MENORES



FASE III: CONTINUACIÓN



FASE VII: FINAL DE LA ERUPCIÓN



Escenarios eruptivos potenciales del Volcán Cerro Machín

Imagen 29- Volcán Cerro Machín. Su última erupción fue hace unos 800 años, pero también registra un flujo piroclástico Holoceno asociado a un evento de 5 Km³ de magma. Imagen de Googol Earth (adaptada). Imagen 30- Escenarios eruptivos potenciales del Volcán Cerro Machín, según Ricardo Arturo Méndez, Gloria Patricia Cortez y Héctor Cepeda. Ingeominas.

Fuente, <http://www.slideshare.net>

A los 25 años del desastre de Armero asociado a la erupción del Volcán Nevado del Ruiz, Colombia ha tenido avances, pero igualmente enfrenta retos como la amenaza volcánica del Cerro Machín, que gravita fuertemente en poblados como Cajamarca y otros más del Tolima: ¿qué hacer y cómo hacerlo? Colombia ha priorizado tres posibles desastres naturales como objetivos de una estrategia de prevención: la erupción del Cerro Machín, un terremoto en Bogotá, y un tsunami del Pacífico.

El Volcán Machín, se encuentra en la ladera oriental de la Cordillera Central, al sur del complejo volcánico Ruiz – Tolima, y a una distancia en línea recta: de 7 Km al nororiente de Cajamarca, de 17 Km al noroccidente de Ibagué, y de 32 Km al suroriente de Armenia. Cajamarca se localiza sobre la vía Ibagué Armenia.

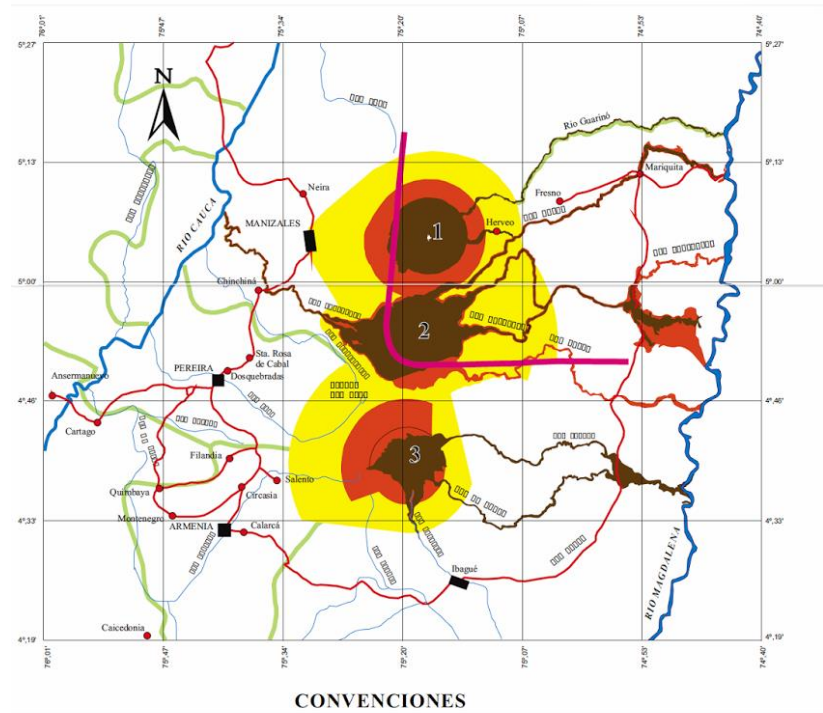
La mayor amenaza volcánica de Colombia, está en el Cerro Machín, donde los poblados vecinos de Cajamarca y Anaime quedarían sin opción frente a eventuales flujos piroclásticos, de conformidad con lo que señala el mapa de amenazas elaborado por Ingeominas.

En caso de erupción, la columna eruptiva sería de colapso como en el caso de Cerro Bravo, dado el coeficiente explosivo intermedio alto de su magma. A lo anterior se suma el alcance espacial de los flujos de lodo del volcán tolimense, que llegarán al valle el Magdalena, así éste volcán de lavas explosivas, no tenga nieve. La caída de ceniza proveniente del Machín, probablemente afectaría el sector occidental, alcanzando varios municipios del Quindío, como Armenia, Pijao y Salento, entre otros.

Epílogo: por una sostenibilidad con la vida

La subregión Centro Sur de Caldas habitada por 500 mil habitantes de cinco municipios, se localiza en el entorno NW del segmento volcánico más septentrional de la Cordillera Central de los Andes colombianos, donde aparecen los volcanes Cerro Bravo, Nevado del Ruiz, Nevado de Santa Isabel, Nevado del Tolima y Cerro Machín. Como respuesta al valioso aporte de los científicos del rioatorio Vulcanológico de Manizales adscrito al Ingeominas, el modelo de ocupación del territorio en esta fracción de la ecorregión cafetera, debe responder ejemplarmente a los desafíos ambientales por el riesgo volcánico que aquí se presenta.

ATLAS PARA LA PLANIFICACION CON RIESGOS
POR FENOMENOS
NATURALES EN LA REGION DE OCCIDENTE



CONVENCIONES

PRODUCTOS VOLCANICOS

- 1 Volcán Cerro Bravo
- 2 Volcán Nevado del Ruiz
- 3 Volcán Nevado del Tolima
- Area de influencia potencial de explosión lateral dirigida de ángulo bajo (Blast), del Volcán Nevado del Ruiz.
- Limites departamentales
- Vías principales
- Capitales de departamento
- Otras poblaciones

AMENAZA

- ALTA
- MEDIA
- BAJA

- Acumulaciones de piroclastos de más de 20 cm de espesor.
- Piroclastos de diámetro superior a 7 cm proyectados balísticamente.
- Flujos de lodo (lahares).
- Flujos piroclásticos.
- Flujos de lava.
- Acumulación de piroclastos entre 10 cm y 20 cm de espesor
- Piroclastos de diámetro inferior a 7 cm, proyectados balísticamente
- Flujos de lodo.
- Acumulaciones de piroclastos de menos de 10 cm de espesor.

Amenaza volcánica Parque Nacional Natural de los Nevados

Mapas de amenaza volcánica digitalizados e integrados en esta figura a partir de trabajos previos, tomado de OSSEO para ECOPETROL-Pln Nacional de Gas (1995). Con base en el Catálogo de los volcanes activos de Colombia (Méndez, 1989, Bol. Ingeominas, 30-3-)

Imagen 31. Mapa de amenazas volcánicas del Complejo Ruiz Tolima conjunto.

Las acciones de prevención y mitigación del riesgo volcánico, deben ir de la mano con una gestión integral del riesgo, en la que entren los temas fundamentales del medio tropical andino. Aunque se reconocen los esfuerzos hechos por mejorar la seguridad de Manizales y de los municipios en el área de influencia del Volcán Nevado del Ruiz, frente a una eventual erupción, definitivamente no estamos preparados para un sismo superficial similar al de Popayán (1983) o el Quindío (1999), y menos para enfrentar los desafíos por la amenaza volcánica de Cerro Bravo.

Lo anterior demanda, además de velar por la solución estructural de los usos conflictivos del suelo en las cuencas, y el reforzamiento sísmico de líneas vitales y edificios públicos, dos escenarios donde se han dado acciones importantes, iniciar un plan de exposición al riesgo volcánico frente a la amenaza de Cerro Bravo.

Para lo anterior, urge intensificar acciones en el marco de una política pública ambiental que considere la gestión integral del riesgo a partir de la planificación anticipada, donde se contemplen además de la amenaza por el calentamiento global y la mitigación de la vulnerabilidad a las amenazas sísmica y volcánica, la investigación e instrumentación de las amenazas naturales, y las acciones para elevar la capacidad de respuesta de las instituciones y de la propia población, partiendo de la capacitación de las comunidades para los asuntos ambientales y el empoderamiento del territorio.

Gracias

La anterior presentación es una adaptación del documento “Sismos y volcanes en el Eje Cafetero: Caso Manizales” (2012), publicado en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/6544/> para ser utilizada con propósitos académico en la divulgación científica, e incorporar en ella elementos relacionados con la amenaza volcánica. Colrosario Neira. Celebración del Día del Medio Ambiente; Neira, 5.06.2013.

Relacionados:

Aspectos geofísicos de los Andes de Colombia. Duque Escobar, Gonzalo (2009) In: 1er Congreso Internacional de Desempeño Humano en Altura, Noviembre 19 de 2009, Manizales. <http://www.bdigital.unal.edu.co/1580/2/gonzaloduqueescobar.200915.pdf>

El desastre de Armero a los 30 años de la erupción del Ruiz. Duque Escobar, Gonzalo (2015) In: Curso de Contexto CTS, Noviembre 11 de 2015, Auditorio Juan Hurtado. – See more at: <http://www.bdigital.unal.edu.co/51222/7/eldesastredearmeroalos30.pdf>

Gestión del riesgo. –Duque Escobar, Gonzalo (2014) Universidad Nacional de Colombia.[Objeto de aprendizaje – Teaching Resource] – See more at: <http://www.bdigital.unal.edu.co/47341/1/gestiondelriesgo.anexo.pdf>

Volcanes... 2012. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo. U.N. de Colombia. (Recopilación de artículos y notas propias) <https://godues.wordpress.com/2012/05/13/volcanes/>

Fuentes bibliográficas



Imagen 32- Volcán Nevado del Ruiz, visto desde La Manuela, en el costado occidental. Fotografía de Jaime Duque.

Amenazas naturales en los Andes de Colombia, Duque Escobar, Gonzalo (2007), en <http://www.bdigital.unal.edu.co/1579/>

Antes que La Colosa a “galerizar” Cajamarca. Duque Escobar, Gonzalo (2010). En <http://www.bdigital.unal.edu.co/2408/>

Armero 25 años... el desastre y la erupción del Ruiz de 1985: las lecciones del Ruiz a los 25 años del desastre de Armero. Duque Escobar, Gonzalo (2010) In: <http://www.bdigital.unal.edu.co/6523/>

Mapa preliminar de amenaza volcánica potencial del Nevado del Tolima, Colombia, S. A. Héctor Cepeda Vanegas y Luis A Murcia. (1988) Boletín Geológico – Ingeominas ISSN: 0120-1425.

Manual de geología para ingenieros. Duque Escobar, Gonzalo. U.N. de Col. Manizales, 1998. <http://www.bdigital.unal.edu.co/1572/>

Cerro Bravo, tras trescientos años de calma volcánica. Duque-Escobar Gonzalo

<http://www.bdigital.unal.edu.co/48771/1/cerrobavotrastrescientos.pdf>

Conmemoración 25 años de la erupción del Ruiz. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. <http://www.bdigital.unal.edu.co/2281/>

¿Dónde está la gestión planificadora del riesgo volcánico? Duque-Escobar, Gonzalo (2008) <https://godues.wordpress.com/2008/11/14/>

El Machín: la mayor amenaza volcánica de Colombia. Duque Escobar, Gonzalo (2008) <http://www.galeon.com/gonzaloduquee/el-machin.pdf>

En el Volcán Nevado del Huila: incertidumbre y éxodo. Duque Escobar, Gonzalo (2007). En: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1598/>

Intimidaciones del Ruiz para un examen de la amenaza volcánica. Duque Escobar, Gonzalo (2012) <https://godues.wordpress.com/2012/03/19/intimidaciones-del-ruiz-para-un-examen-de-la-amenaza-volcanica/>

La amenaza volcánica de Cerro Bravo. Duque Escobar, Gonzalo (2013) La Patria. <https://godues.wordpress.com/2013/06/>

La amenaza volcánica y la gestión del riesgo, en la planeación y ordenamiento del territorio de Colombia. Duque Escobar, Gonzalo (2008) En: <http://godues.blogspot.com/2008/02/la-amenaza-volcnica-y-la-gestin-del.html>

La previsión en la gestión del riesgo volcánico. Duque Escobar, Gonzalo (2012) <http://www.bdigital.unal.edu.co/6367/Manizales>
frente a la coyuntura volcánica. Duque Escobar, Gonzalo (2012) <http://www.bdigital.unal.edu.co/6291/>

Notas sobre sismos y volcanes en Colombia. Duque Escobar, Gonzalo (2012) En: <https://godues.wordpress.com/2012/05/21/>

Una política ambiental pública para Manizales, con gestión del riesgo por sismos, volcanes y laderas. Duque Escobar, Gonzalo (2012) <http://www.bdigital.unal.edu.co/6497/>

Riesgo en zonas andinas por amenaza volcánica, Duque Escobar, Gonzalo (2006), en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1679/>

Riesgo en zonas de montaña por laderas inestables y amenaza volcánica. Duque Escobar, Gonzalo. CISMID – JICA. Lima 1995. En: <http://www.galeon.com/gonzaloduquee/amenaza.pdf>

Rocas ígneas. Manual de geología para ingenieros. Capítulo 07-, Duque Escobar, Gonzalo (2003), en: <http://www.galeon.com/manualgeo/geo07.pdf>

Sismos y volcanes en Colombia. Duque Escobar, Gonzalo (2010) . <http://www.bdigital.unal.edu.co/1685/>

Volcanes.... Duque Escobar, Gonzalo (2012). En: <https://godues.wordpress.com/2012/05/13/volcanes/>

Vulcanismo. Manual de geología para ingenieros. Capítulo 06-, Duque Escobar, Gonzalo (2003), en: <http://www.galeon.com/manualgeo/geo06.pdf>

GOBERNANZA FORESTAL PARA LA ECORREGIÓN ANDINA DE COLOMBIA *



Imagen 13: Selva tropical andina y Guadua de la ecorregión cafetera

A continuación, dos notas verdes asociadas a la regulación hídrica y a la estabilidad de nuestros suelos, sobre nuestro patrimonio biótico, con la idea fundamental de crear conciencia sobre la importancia de avanzar en el desarrollo de una cultura forestal, del suelo y del agua, que abarque a todos los miembros de la cadena forestal, e incluso a los consumidores finales. En relación con los bosques y con el agua, más importante que la cantidad de agua disponible y extensión de las forestas protegidas, lo que importa es su gestión y la conciencia social sobre su valor estratégico para la biodiversidad y la calidad de vida de los colombianos.

Los temas a tratar, son: Primero, para hacer un llamado sobre el deterioro de nuestros bosques andinos y selvas tropicales, consecuencia de la deforestación y del comercio ilegal de la madera, entre otras acciones que se constituyen en severa presión antrópica sobre estos frágiles y vitales ecosistemas. Y segundo, la guadua, planta emblema de caldas y recurso fundamental nativo de la región andina, que por sus múltiples usos en el hábitat rural y urbano, se constituye en un elemento estructurante de nuestra cultura y en una impronta del paisaje de la ecorregión cafetera colombiana. Ambos se han tomado de un par de columnas, surgidas de un ejercicio académico en el que se ha participado con Carder y Aldea Global, para producir un par de textos relacionados con el proyecto de Gobernanza Forestal en Colombia: Ver en: <https://godues.wordpress.com/2014/10/30/>

El ocaso del bosque andino y la selva tropical

Dos problemas estructurales íntimamente ligados, la deforestación y el comercio ilegal de la madera, han sido las causas primeras del gradual ecocidio cometido sobre un patrimonio fundamental para el agua y la biodiversidad, como lo son nuestros bosques andinos y selvas tropicales. Si en Colombia la tasa anual de deforestación en 2013 llegó a valores superiores a 300 mil hectáreas, también en la Ecorregión Cafetera, un territorio biodiverso que alberga al 7% de las especies de plantas y animales del país donde el paisaje estuvo dominado por bosques, ahora solo se conserva menos del 20% de dicha cobertura.

Para el Ideam, mientras la cifra entre 1990 y 2010 llegó a 310 mil hectáreas-año, y en el Chocó se pierde la batalla contra la deforestación: la Región Andina fue la zona más afectada, seguida de la Amazonía. En cuanto a los principales procesos de destrucción de bosques y selvas de Colombia durante los últimos 60 años, Julio Carrizosa Umaña señala la colonización con propósitos de ganadería extensiva cuando se ofrecieron como alternativa a la reforma agraria, luego el uso de estos como protección de grupos armados y más tarde la presión sobre estos ecosistemas como soporte de cultivos ilícitos. Indudablemente, faltarían la expansión urbana, la palma africana y la actividad minera. La tala ilegal en Colombia cuya cuantía alcanzó al 42 por ciento de la producción maderera según el Banco Mundial (2006), cantidad equivalente a 1.5 millones de metros cúbicos de madera que se explota, transporta y comercializa de forma ilegal, evidencia una problemática que amenaza la sostenibilidad de los bosques nativos, y la subsistencia de especies maderables apreciadas en el mercado, como el abarco, el guayacán y el cedro, para lo cual las Corporaciones Autónomas aplican nuevos modelos y ajustan los existentes, para hacerlos más efectivos.

El Eje Cafetero, donde los paisajes están dominados por potreros, cafetales, plantaciones forestales, plataneras y cañaduzales, también la infraestructura y uso de agroquímicos, le pasa factura a los ecosistemas boscosos. Aún más, de un potencial del suelo que es del 4% para potreros, dicha cobertura en 2002 llegó al 49%; de un potencial del suelo para usos forestales del 54%, en 2002 los bosques del territorio solo llegaban al 19%; y de unos usos agrícolas y agroforestales cuyo potencial es del 21% y 20% en su orden, la cobertura agrícola en 2002 subía al 30%. Y respecto a los bosques naturales de guadua, una especie profundamente ligada a nuestra cultura que se expresa en el bahareque, cuyo óptimo desarrollo se da entre 1000 y 1600 msnm, afortunadamente las CAR de esta ecorregión han logrado mitigar la tendencia a su pérdida mediante la implementación de la Norma Unificada para su manejo, aprovechamiento sostenible y establecimiento de rodales y la combinación de dos estrategias: el proceso de Certificación Forestal Voluntaria, cuyo objeto es la apropiación del guadua por parte del propietario para lograr la articulación de los planes de manejo y de cosecha, y la zonificación de las áreas potenciales y el inventario de áreas cubiertas con guadua.

A pesar de los esfuerzos que históricamente se han hecho desde el Estado colombiano para combatir el delito de la ilegalidad forestal y la preocupante pérdida de los bosques naturales, dos flagelos que podrían acabar con los recursos forestales del país en cien años, se requiere avanzar en el desarrollo de una cultura forestal, del suelo y del agua que abarque a todos los miembros de la

cadena forestal, e incluso a los consumidores finales. Para el efecto se requiere fortalecer los aspectos técnicos, normativos, operativos y financieros en los instrumentos y estrategias de las autoridades ambientales responsables del control y vigilancia forestal y del cuidado de los recursos naturales; y desarrollar campañas orientadas al conocimiento de la normatividad sobre legalidad forestal y a la sensibilización sobre la importancia del bosque; y segundo, desarrollar políticas públicas que enfrenten esta problemática como una estrategia de adaptación al cambio climático, con directrices que contemplen el ordenamiento de cuencas, establecimiento de corredores de conectividad biológica e implementación de modelos agroforestales y silvopastoriles, para resolver los conflictos entre uso y aptitud del suelo, lo que obligaría a replantear el modelo agroindustrial cafetero desde la perspectiva ecológica.

Un SOS por la bambusa guadua

Cuando esta “aldea encaramada” de trama urbana reticulada superaba los 10 mil habitantes y soportaba su economía en el café y en la arriería de cientos de bueyes y mulas, tras los pavoroso sismos de 1878 y 1884 que derrumban el templo principal, surge el bahareque al cambiar la tapia pisada por una “estructura temblorera” configurada por una cerca de arboloco y guadua, con paneles de esterilla cubiertos por una mezcla de estiércol de equinos y limos inorgánicos, o por láminas metálicas, arquitectura cuyo mayor exponente era la Catedral de Manizales que se incendia en 1926.

Si en algún lugar de Colombia la guadua ha sido factor fundamental del paisaje natural y del patrimonio arquitectónico nativo, es en la ecorregión cafetera donde la gran riqueza de su construcción vernácula se basa en el uso de esta bambusa, en cuyo estudio se han ocupado la Universidad Nacional de Colombia y la UTP abordando los ámbitos socio-económicos, tecnológicos y arquitectónicos de los sistemas constructivos, como la Universidad de Caldas y la CRQ en las componentes agronómica y biótica de la guadua. Además de la utilidad que presta el rodal como regulador hídrico de las quebradas, en el control de la erosión del suelo y como hábitat de la biodiversidad, este “acero vegetal” liviano de rápido crecimiento, resistencia y manejabilidad, ha servido como material de construcción en formaletas, andamios o como elemento estructural en columnas y vigas, y usado para muebles, herramientas, artesanías, canales de conducción de agua, trinchos, postes, juegos e instrumentos musicales, o para materia prima del papel y leña, entre otros.

Cualquier cafetero por sus vivencias exitosas asociadas a los beneficios cotidianos de la guadua, sabe que en lugar de llevar los cafetales hasta la quebrada debería recuperar los bosques de galería sembrando guaduales para proteger los cauces. Y hoy podría hacerlo soportado en las acciones de las autoridades ambientales orientadas a incidir en un modelo agropecuario y ambiental que reconoce la importancia de la guadua como alternativa económica y cultural para el desarrollo rural, e inspiradas en una política ambiental que busca prevenir la deforestación y propiciar el uso y manejo de los rodales naturales de guadua en el marco de la

adaptación al cambio climático y la problemática del agua. Actualmente las CAR de la región cafetera, han construido y consolidado un esquema de gobernanza forestal, soportado en cuatro elementos: 1) el acompañamiento técnico brindado a los actores forestales, 2) los ajustes normativo para el acceso legal a los aprovechamientos, 3) la atención a los usuarios buscando la reducción del tiempo en los tramites, y 4) el fortalecimiento del mercado legal no sólo de la guadua sino de la madera.

Lo anterior lo consignamos en las “Lecciones aprendidas entorno a la legalidad y sostenibilidad de la guadua” (2012), publicación de la Corporación Autónoma Regional del Risaralda CARDER elaborada en el marco del proyecto Posicionamiento de la Gobernanza Forestal en Colombia, donde se trata la problemática de la legalidad y de la sostenibilidad de esta preciosa gramínea, una de las especies nativas más representativas de los bosques andinos, declarara planta emblema de Caldas según Decreto 1166 de octubre 20 de 1983. Similarmente, la Corporación Autónoma Regional de Caldas CORPOCALDAS y la Cámara de Comercio de Manizales, en el trabajo “Microclúster de la guadua” (2003), su prólogo “El milagro de la guadua” de Mario Calderón Rivera, recuerda que esta especie que formó no solo el hábitat que creó la gesta colonizadora, sino todo un universo cultural, por la captura de CO2 podría jugar un papel de primer plano en el desarrollo del protocolo de Kioto.

Pero, así Jorge Villamíl haya visto los guaduales “danzar al agreste canto que dan las mirlas y las cigarras” y Simón Vélez con el empleo estético en sus notables creaciones arquitectónicas haya exaltado las virtudes sismo-resistentes de la guadua, no hemos sabido valorarla: de conformidad con lo consignado en ambos documentos, en los últimos dos siglos la extensión de guaduales en el país se redujo ostensiblemente: se pasa de unos doce millones de hectáreas a sólo cincuenta mil, de las cuales cerca de 20 mil hectáreas están en la zona cafetera y 6 mil en Caldas.

Referencias:

Legalidad y sostenibilidad de la guadua en la ecorregión cafetera. Duque Escobar, Gonzalo and Moreno Orjuela, Rubén Darío and Ortiz Ortiz, Doralice (2014) Posicionamiento de la Gobernanza Forestal en Colombia. CARDER, Corporación Aldea Global, CAR socias del proyecto. Pereira. *Publicación guadua-final.pdf*

https://drive.google.com/a/alumni.eude.es/file/d/oBzoMIJoBciGtNEVtbzg2al85QUo/view?usp=drive_web

•
Procesos de Control y Vigilancia Forestal en la Región Pacífica y parte de la Región Andina de Colombia. Duque Escobar, Gonzalo and Moreno Orjuela, Rubén Darío and Ortiz Ortiz, Doralice and Vela Murillo, Norma Patricia and Orozco Muños, José Miguel (2014) Posicionamiento de la Gobernanza Forestal en Colombia. CARDER, Corporación Aldea Global, CAR socias del proyecto. Pereira.

<https://drive.google.com/file/d/oBzoMIJoBciGteHN3VU1aUElnclk/view>

BIBLIOGRAFÍA DE COMPLEMENTO

- *A Digital Books and Book Section U.N.: Duque-Escobar Gonzalo* <https://godues.wordpress.com/2012/12/12/a-digital-books-un-duque-escobar-gonzalo/>
- A la memoria de Armero, 30 años después de la tragedia. Duque Escobar, Gonzalo (2015) <http://www.bdigital.unal.edu.co/51218/>
- *Acecha El Niño fortalecido por el calentamiento global*. Duque Escobar, Gonzalo (2014) La Patria . - See more at: <http://www.bdigital.unal.edu.co/12823/>
- Aeropuerto del Café: Dimensión Regional. Duque Escobar, Gonzalo (2015) In: Debate “Verdades y Mentiras del Macroproyecto Aeropuerto del Café”, Lunes 27 de Julio de 2015, Recinto del Concejo Municipal de Manizales. <http://www.bdigital.unal.edu.co/50354/>
- Agua y clima en el desafío ambiental. Duque Escobar, Gonzalo (2016) In: Tercer Encuentro de Responsabilidad Social con El Territorio: Cumbre de Salento, 19 y 20 de Mayo de 2016, Salento, Quindío <http://www.bdigital.unal.edu.co/52380/>
- Albert Einstein. Duque Escobar, Gonzalo (2016) In: Apertura del Contexto en Astronomía Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales. <http://www.bdigital.unal.edu.co/50753/>
- Algunas consideraciones sobre la evolución de los Andes Colombianos. TOUSSAINT, J. & RESTREPO, J. 1974. Boletín de Ciencias de la Tierra N^o4. Universidad Nacional de Colombia. Medellín.
- Anotaciones sobre el riesgo sísmico en Manizales. Duque Escobar, Gonzalo (2012) Ver en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/5949/1/gonzaloduquesobar.201210.pdf>
- Aprendiendo del sismo de Honshu, Japón. Circular 602 de la Red de Astronomía de Colombia RAC (602). – See more at: <http://www.bdigital.unal.edu.co/3304/1/gonzaloduquesobar.201115.pdf>
- Aproximación a la Predicción del Riesgo por la Actividad del Volcán Nevado del Ruiz. BORRERO PENA, CARLOS ALBERTO (1998). Revista Luna Azul ISSN: 1909-2474 ed: Centre Editorial Universidad De Caldas. Colombia.
- Aspectos geofísicos de los Andes en Colombia. Duque Escobar, Gonzalo (2009), en: <http://www.galeon.com/geomecanica/alturas.htm>
- Asuntos del clima andino en Colombia, Duque Escobar, Gonzalo (Recopilación), en: <http://godues.wordpress.com/2011/11/08/>
- Atlas de Amenaza Volcánica en Colombia. Héctor Cepeda Vanegas, Marta L Calvache, Núñez Alberto, Ricardo A Méndez Fajuri, Héctor Mora, Henry Villegas (2000). INGEOMINAS, Colombia.
- Bases de Geología Ambiental. HERMELIN, Michel. Universidad Nacional. Medellín, 1987.

- Caldas en la biorregión cafetera. Duque Escobar, Gonzalo (2014) In: Foro “Por la Defensa del Patrimonio Público, las Fuentes de Empleo y el Bienestar de los Caldenses”, 6 de Noviembre de 2014, Manizales, Caldas, Colombia.
<http://www.bdigital.unal.edu.co/45356/>
- Calentamiento global en Colombia. Duque Escobar, Gonzalo (2011), en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/3673/>
- Cambio climático y pobreza. Gustavo Wilches-Chaux (2008) Programa Conjunto de Integración de ecosistemas y adaptación al cambio climático. <http://www.pnud.org.co/>
- Características del flujo de lodo ocurrido el 13 de noviembre de 1985 en el Valle de Armero (Tol. Col.). MOJICA, Jairo. Geología Colombiana Nº 14. Santafé de Bogotá, 1985. <http://www.bdigital.unal.edu.co/31454/>
- Caracterización climatológica, hidrológica e hidráulica de la cuenca del río Chinchiná. Fundación Profesional para el Manejo Integral del Agua – PROAGUA. TOMO II. Convenio C087 – 2004 – CORPOCALDAS–PROAGUA. Manizales, Diciembre 2005
- Caracterización de depósitos volcánicos en la Cordillera Central. BORRERO, Carlos; TORO, Luz Mary; HINCAPIE, Gustavo. III conferencia colombiana de geología ambiental. Armenia, 1994. .
- Catálogo de Unidades Litoestratigráficas de Colombia: Formación Machín. Ricardo Arturo Mendez Fajury (2002). Revista Ingeominas ISSN: 0121-8425. Colombia.
- Catálogo de Volcanes Activos de Colombia. Ricardo Arturo Mendez Fajury (1989) Boletín Geológico – Ingeominas ISSN: 0120-1425. Colombia.
- Clasificación de Macizos Rocosos. Juan Montero Olarte. Profesor U. N. de Colombia y Miembro de la SCG. Bogotá.
[http://www.docentes.unal.edu.co/jmonteroo/docs/11%20MACIZO%20ROCOSO%20\(2\).pdf](http://www.docentes.unal.edu.co/jmonteroo/docs/11%20MACIZO%20ROCOSO%20(2).pdf)
- Clasificación de Roca Intacta, CORREA, Álvaro. Universidad Nacional de Colombia. Santafé de Bogotá, 1992..
- Clima andino y café en Colombia. Álvaro Jaramillo-Robledo. FNC- Cenicafé. Colombia. 2005.
- Clima andino y problemática ambiental. Duque Escobar, Gonzalo (2016) In: IV Foro Ambiental, Julio 24 de 2016, La Merced, Caldas. - See more at: <http://www.bdigital.unal.edu.co/53169/>
- Clima extremo, desastres y refugiados. Duque Escobar, Gonzalo (2016). La Patria <http://www.bdigital.unal.edu.co/51555/>
- Colombia. RECLUS, Juan Santiago Eliseo. Bogotá. 1853. (Biblioteca Luis Ángel Arango), en: <http://www.lablaa.org/blaavirtual/geografia/colomb/colom0.htm>
- Colombia, país de humedales amenazados. Duque Escobar, Gonzalo (2016).
<http://www.bdigital.unal.edu.co/53346/1/colombiapaisdehumedalesamenazados.pdf>
- Consideraciones geotécnicas en la construcción de llenos de brechas con arenas del Stock de Altavista. DUQUE BERNAL, Julián (2010) In: XIII Congreso Nacional de Geotecnia 2010, Sep 21-24 de 2010, Manizales.
<http://www.bdigital.unal.edu.co/2138/2/julianduquebernal.20102.pdf>
- Consultoría de Contecol Ltda. Mapa Geovolcanológico: Escala del Original 1: 25.000. Mapa base de Ingeominas.

- Control de la Erosión y Corrección de Torrentes. ESCOBAR POTES, Carlos Enrique. VII Congreso Nacional de Geotecnia. SCG. Santafé de Bogotá, 1998.
- Costa Pacífica, Amenaza y Riesgo sísmico. Hans Jurgen Meyer y Andrés Velásquez. OSSO. Desastres & Sociedad. N°1. La Red. 1993.
- Costa Pacífica, Amenaza y Riesgo sísmico. MEYER, Hans Jurgen y VELÁSQUEZ Andrés. OSSO. Desastres & Sociedad. N°1. La Red. 1993. <http://www.osso.org.co/>
- Curso de estabilidad de taludes. GARCIA, Manuel; BELTRAN, Lisandro; GONZALEZ, Álvaro. Posgrado en geotecnia. Universidad Nacional de Colombia. Manizales, 1993.
- Curso de flujo en medios porosos. HERNANDEZ, Félix; BELTRAN, Lisandro. Posgrado en Geotecnia. Universidad Nacional de Colombia. Manizales, 1995.
- Curso de geología del posgrado en geotecnia. CORREA, Álvaro; MONTERO, Juan; HERNANDEZ, Pedro. Universidad Nacional de Colombia. Manizales, 1993..
- Curso de mecánica de rocas. CORREA, Álvaro; HERNANDEZ, Félix; GONZALEZ, Álvaro. Universidad Nacional de Colombia. Manizales, 1994.
- Curso para el módulo de metodología de la investigación: geotecnia y medioambiente. Duque Escobar, Gonzalo (2003) Documento de trabajo. Sin Definir, Manizales, Caldas, Colombia. - See more at: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1704/1/geotecniayma.pdf>
- De la evaluación de amenazas al control de riesgos – la Estadística y las catástrofes naturales. MEYER, Hansjürgen. (2007) OSSO. [http://www.ciencias.unal.edu.co/estadistica/simposio/cursos/Hans Meyer.pdf](http://www.ciencias.unal.edu.co/estadistica/simposio/cursos/Hans_Meyer.pdf)
- Desastre y riesgo: actores sociales en la reconstrucción de Armero y Chinchiná [reseña] María del Rosario Saavedra - Editorial CINEP, Santafé de Bogotá, 1996 - See more at: http://www.bdigital.unal.edu.co/47733/2/desastreyriesgo_resena.pdf
- Desastres & Sociedad. MEYER, Hans Jurgen y VELÁSQUEZ, Andrés. Costa Pacífica, Amenaza y Riesgo sísmico. OSSO. N°1. La Red. 1993.
- Desastres y Desarrollo: Hacia un Entendimiento de las Formas de Construcción Social de un Desastre: El Caso del Huracán Mitch en Centroamérica. Red de estudios sociales en Prevención de Desastres en A.L. Panamá. 2000. <http://www.desenredando.org>
- Diálogos con el Territorio y Gestión del Riesgo Natural. Duque Escobar, Gonzalo en: <https://godues.wordpress.com/2013/05/29/>
- Distribución, Facies y Edad de las Rocas Metamórficas En Colombia. Mario Maya Sánchez (2002) Instituto de Investigación e Información Geocientífica, Minero – Ambiental y Nuclear Ministerio De Minas y Energía Colombia. INGEOMINAS.
- Distritos Mineros: Exportaciones e Infraestructura de Transporte. UNIDAD DE PLANEACION MINERO ENERGETICA ' UPME (2005). Colombia, [http://www.upme.gov.co/Docs/Distritos Mineros.pdf](http://www.upme.gov.co/Docs/Distritos_Mineros.pdf)

- Documentos de la Web de la Unidad de Planeación Minero Energética UPME, del Ministerio de Minas y Energía de la República de Colombia. Consultas en 2014. En: <http://www.upme.gov.co>
- DOCUMENTOS DEL REPOSITORIO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA: GONZALO DUQUE ESCOBAR http://www.bdigital.unal.edu.co/view/person/Duque_Escobar=3AGonzalo=3A=3A.default.html
- Eje Cafetero: elementos para una visión prospectiva. Duque Escobar, Gonzalo (2013) <http://www.bdigital.unal.edu.co/10948/>
- *El agua en la biorregión caldense*. Duque Escobar, Gonzalo (2014) La Patria . - See more at: <http://www.bdigital.unal.edu.co/45357/>
- El Corredor Bimodal Cafetero sobre las rutas del desarrollo de Caldas. Duque Escobar, Gonzalo (2015) In: Foro: Manizales y Caldas Sobre las Rutas del Progreso, Agosto 18 y 20 de 2015, Auditorio Carlos Eduardo Pinzón. Cámara de Comercio de Manizales, Colombia. <http://www.bdigital.unal.edu.co/50604/>
- El desarrollo urbano y económico de Manizales. Duque Escobar, Gonzalo (2015) In: El POT de Manizales: “Colectivo Subámonos al Bus del POT”, Jueves 16 de julio de 2015, Auditorio José Restrepo Restrepo, de la SMP de Manizales. <http://www.bdigital.unal.edu.co/50922/>
- El desastre de Armero a los 30 años de la erupción del Ruiz. Duque Escobar, Gonzalo (2015) In: Curso de Contexto CTS, Noviembre 11 de 2015, Auditorio Juan Hurtado. <http://www.bdigital.unal.edu.co/51222/>
- El ENOS, el clima dominicano y las sequías meteorológicas. COCCO QUEZADA, Antonio. República Dominicana. 2001. <http://www.acqweather.com/ENOSclima.htm>
- El Ferrocarril Cafetero para la competitividad de Colombia. Duque Escobar, Gonzalo (2014 SMP Manizales. <http://www.bdigital.unal.edu.co/45950/>
- El Ferrocarril Cafetero por el Norte del Tolima para la Intermodalidad de Colombia. Duque Escobar, Gonzalo (2016) In: Sesión Conjunta de Asambleas de Caldas y Tolima, Viernes 29 de Abril de 2016, Fresno, Tolima. <http://www.bdigital.unal.edu.co/51663/>
- El futuro de la Ciudad. Duque Escobar, Gonzalo (2015) In: Cátedra de Historia Regional de Manizales “Bernardo Arias Trujillo” Cultura y Territorio, Abril 7 a Diciembre 1 del año 2015, Auditorio Tulio Gómez Estrada. Facultad de Ciencias Jurídicas y Sociales de la Universidad de Caldas. <http://www.bdigital.unal.edu.co/51085/>
- El inestable clima y la crisis del agua. Duque Escobar, Gonzalo (2016) [Objeto de aprendizaje - Teaching Resource] <http://www.bdigital.unal.edu.co/51802/>
- El modelo de ocupación urbano - territorial de Manizales. Duque Escobar, Gonzalo (2015) <http://www.bdigital.unal.edu.co/51221/>

- El Norte de Tolima y el Magdalena Centro, sobre la ruta del progreso de Caldas. Duque Escobar, Gonzalo (2015) In: “Conversatorio Carretera Manizales-Mariquita – alternativa Fresno”, Viernes 3 de Julio de 2015, Fresno, Tolima. <http://www.bdigital.unal.edu.co/50243/>
- El papel de la Amazonía en el clima global y continental: impactos del cambio climático y la deforestación. POVEDA JARAMILLO, Germán. (2011) In: Amazonia colombiana: imaginarios y realidades. U. N. de Colombia. Instituto Amazónico de Investigaciones (IMANI) <http://www.bdigital.unal.edu.co/6769/>
- El reto de la vida. Ángel-Maya, Augusto (2013) Primera edición: 1996. Serie Construyendo el Futuro N° 4. Ecofondo. Bogotá. En: http://augustoangelmaya.com/images/obras/el_reto_de_la_vida.pdf
- EL RÍO ATRATO ES LA MEJOR VIA FLUVIAL DEL PAÍS. Conclusión de los estudios realizados a través del Convenio 2141 de 2011 INVIAS-IIAP. Invías & Instituto de Estudios Ambientales del Pacífico <http://slideplayer.es/slide/1703360/>
- El tsunami de 1979, Costa Pacífica. MEYER, Hansjürgen. Publicación del OSSO, Cali, 2005. pp 17-28. <http://www.osso.org.co>
- EL URABA ANTIOQUEÑO: UN MAR DE OPORTUNIDADES Y POTENCIALIDADES. Perfil subregional. (Sin publicar 2012). Dirección Planeación Estratégica Integral. Departamento de Antioquia. <http://antioquia.gov.co/>
- El vulcanismo moderno en Los Andes de Colombia. Héctor Cepeda Vanegas (1987). INGEOMINAS. I Seminario Gerardo
- Emergencia e imprevisión, Duque Escobar, Gonzalo (2011) en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/4964/>
- En el borde del caos. 2000. WILCHES-CHAUX, Gustavo. Fondo Nacional Ambiental & Fundación para la Comunicación Popular FUNCOP CAUCA, Ed. Casa Pensar (U.J.).
- Escudriñando en los desastres a todas las escalas. Concepción, metodología y análisis de los desastres en América Latina utilizando DesInventar. OSSO / ITDG / LA RED. Cali. 1999- <http://www.osso.org.co>
- Estabilidad de Taludes. VARGAS, Milton. I Congreso Suramericano de Mecánica de Rocas.Sociedad Colombiana de Geotecnia. Santafé de Bogotá. 1982.
- Estratigrafía del Terciario y Maestrichtiano continentales y tectogenésis de los Andes Colombianos VAN DER HAMMEN, T. 1958., Ibid, vol. 6, No. 1-3, 7 pl. f.t., Bogotá. .
- Estudio de Amenazas por Erosión, Deslizamientos y Avalanchas, GARCÍA LÓPEZ, Manuel. 1991. In: Seminario Taller sobre Identificación y Mitigación de Riesgos, 1991, MELGAR. Seminario Taller sobre Identificación y Mitigación de Riesgos. .
- Estudio de la dispersión de sedimentos del río Atrato y sus impactos sobre la problemática ambiental costera del Golfo de Urabá: informe final de investigación. BERNAL FRANCO, Gladys; TORO BOTERO, Francisco Mauricio; MONTOYA JARAMILLO, Luis Javier; GARIZÁBAL, Camilo (2005) U. N. Colombia. <http://www.bdigital.unal.edu.co/2268/> .

- Estudio de la Subcuenca del Río Chinchiná. Geología, Geomorfología, Hidrología y Clima. SODEIC Limitada. Santafé de Bogotá, 1988. . Estudio de las Amenazas Naturales. GARCÍA LÓPEZ, Manuel. 1982. In: V Jornadas Geotécnicas, 1988, BOGOTÁ. <http://manuelgarcialopez.blogspot.com>
- Evaluación de la Amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo. CARDONA, Omar Darío. Taller regional de capacitación para la administración de desastres. ONAD, PNUD, OPS, UNDRO. Bogotá, 1991. .
- Evolución geológica de Colombia. Precámbrico Paleozoico. Jean-François Toussaint (1993). Universidad Nacional de Colombia,
- Evolution of mountainous pipeline design in Colombia. GARCÍA LÓPEZ, Manuel. In: International Conference on Terrain and Geohazard Challenges Facing Onshore Oil and Gas Pipelines, 2004, Londres. 2004. Minería. 2008.
- Exploración del potencial Geotérmico del Ruiz; Investigación. ENEL de Italia y Chec. 1979/83.
- Fallas y Lineamientos Geoestructurales de Manizales. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo. 2007. <https://godues.wordpress.com/2014/11/17/>
- Fase Prospectiva Del Poma De La Cuenca Del Río Guarinó, Duque Escobar, Gonzalo and Ortiz Ortiz, Doralice (2009). Corporación Aldea Global-Corpopaldas. <http://www.bdigital.unal.edu.co/1696/>
- Ferrocarril Interoceánico Verde para Colombia. Duque Escobar, Gonzalo (2014) Documento de trabajo. Manizales. <http://www.bdigital.unal.edu.co/11520/>
- Formaciones del Basamento y Superficiales. BORRERO, Carlos. Mapas y Notas Geológicas del Gran Caldas. Conferencia Sobre la Geología Regional de Caldas, Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. Manizales, Marzo 26 de 1993.
- Foros PDP-MC: Corredor Vial Chinchiná - Mariquita. Duque Escobar, Gonzalo (2015) In: FOROS del PDP-MC: Mesa de análisis, “Proyecto Vía Chinchiná -Mariquita e instalación de nuevos peajes”, Viernes 24 de Julio de 2015, Sala de Juntas de la Vicerrectoría de la Universidad de Caldas. <http://www.bdigital.unal.edu.co/50646/>
- Fotogeología práctica. José Luis Naranjo Henao (2015). U de C – CPG. Ed. Universidad de Caldas.
- Fotoidentificación. MANRIQUE, Antonio; DUNOYER, Mónica. Curso de Posgrado en geotecnia de la Universidad Nacional de Colombia. Manizales, 1994.
- Geomecánica. Duque Escobar, Gonzalo and Escobar Potes, Carlos Enrique (2016) Universidad Nacional de Colombia - Sede Manizales, Colombia. <http://www.bdigital.unal.edu.co/53252/>
- Geodinámica Actual y Reciente de las Vertientes de la Cordillera Central. THOURET, Jean-Claude. Revista CIAF, No 6. Cali, 1981.
- Geología de Manizales y sus alrededores, y su influencia en los riesgos geológicos. NARANJO, José Luis. Revista, U de C, volumen X. Manizales, 1989.
- Geología y amenazas naturales para el plan de ordenamiento y manejo de la cuenca del río Guarinó. Carlos Borrero. Julio de 2009. Documento de diagnóstico para la Fase Prospectiva del POMA de la Cuenca del río Guarinó. CORPOCALDAS.

- Geomecánica de las laderas en Manizales. Duque Escobar, Gonzalo y Duque Escobar Eugenio (2007), en: <http://www.galeon.com/godues/godues.htm>
- Gestión del riesgo en Manizales. Duque Escobar, Gonzalo (2012). En <https://godues.wordpress.com/2012/06/21/>
- Gestión del riesgo natural y el caso de Colombia. Duque Escobar, Gonzalo (2008) Documento de trabajo. <http://www.bdigital.unal.edu.co/1699/>
- Gestión del riesgo. Duque Escobar, Gonzalo (2014) [Objeto de aprendizaje - Teaching Resource] - See more at: <http://www.bdigital.unal.edu.co/47341/1/gestiondelriesgo.anexo.pdf>
- Historia de los terremotos en Colombia. Front Cover. Jesús Emilio Ramírez. Instituto Geografico Agustin Codazi, 1969. http://agata.sgc.gov.co:9090/SismicidadHistorica/d.descarga?doc=DocumentosGenerales_18.pdf
- Inestabilidad de laderas en el trópico andino – Caso Manizales. Duque Escobar, Gonzalo (2012) In: Aplicación de técnicas cartográficas y topográficas al análisis de terrenos con problemáticas geoambientales. Programa de Ingeniería Ambiental., 24 de mayo de 2012, Universidad Católica de Manizales. <http://www.bdigital.unal.edu.co/6655/1/gonzaloduqueescobar.201223.pdf>
- Investigación Geotérmica del Macizo Volcánico del Ruiz. Central Hidroeléctrica de Caldas, CHEC (Marzo de 1983).
- Kagoshima International Conference on Volcanoes. 1988. Kagoshima Prefectural Government. Nira, Jica, Volcanological Society of Japan, IAVCEI.
- La amenaza volcánica y la gestión del riesgo, en la planeación y ordenamiento del territorio de Colombia. Duque Escobar, Gonzalo (2008) En: <http://godues.blogspot.com/2008/02/la-amenaza-volcnica-y-la-gestin-del.html>
- La astronomía en Colombia: perfil histórico. Duque Escobar, Gonzalo (2009) <http://www.bdigital.unal.edu.co/1703/>
- La catástrofe del Eje Cafetero en un país sin memoria. Duque Escobar, Gonzalo and Saavedra A., María del Rosario (1999) Revista Cien días (43). pp. 24-27. <http://www.bdigital.unal.edu.co/1661/1/lacatastrofe.pdf>
- La gestión ambiental en Colombia, 1994-2014: ¿un esfuerzo insostenible?. Ernesto Guhl N y Pablo Leyva (2015). FESCOL-FNA. Bogotá.
- La gestión del riesgo: del deber de la esperanza a la obligación del milagro. Gustavo Wilches-Chaux (2012) In: Perspectivas de investigación y acción frente al cambio climático en Latinoamérica. Desastres y Sociedad. XX Aniversario de LA RED. <http://www.eap.df.gob.mx/sii/images/12.pdf>
- La inestable Tierra. BOOTH-FITCH. Biblioteca Científica Salvat. España, 1986.
- La Infraestructura de Colombia. Alberto Lobo-Guerrero Uscátegui. V Congreso Colombiano de Geotecnia. Geotecnia y Medio Ambiente. Memorias Volumen II. Medellín, Junio 29 - Julio 1 de 1994 http://www.logemin.com/eng/Download/pdf/21_Infraestructura_de_Colombia.pdf

- LA INGENIERIA DE EXPLOTACION INTEGRAL. ENFASIS EN EL CINEMATICO. Correa Arroyave, Álvaro (2011) Ingeniería e Investigación; núm. 38 (1997) <http://www.bdigital.unal.edu.co/23885/1/20970-70954-1-PB.pdf>
- La Luna. Duque Escobar, Gonzalo (2009) [Objeto de aprendizaje - Teaching Resource] - See more at: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1663/1/gonzaloduqueescobar.20096.pdf>
- La navegación por el Magdalena. Duque Escobar, Gonzalo (2008) , Colombia. <http://www.bdigital.unal.edu.co/1664/>
- La neotectónica regional del territorio colombiano y su relación con algunas amenazas geológicas. TOUSSAINT, Jean Francois. III conferencia colombiana de geología ambiental. Armenia, 1994.
- La U.N. en Manizales construyendo Ciudad y Región. Duque Escobar, Gonzalo (2016) [Objeto de aprendizaje - Teaching Resource] <http://www.bdigital.unal.edu.co/51934/>
- La Tierra en movimiento. GRIBBIN, John. Biblioteca Científica Salvat. España, 1986.
- La Tierra planeta vivo. CASQUET-MORALES, Et al. Colección Salvat. España, 1985.
- Lessons from Some Recent Earthquakes in Latin America. ESTEVA, L., RASCON, O y GUTIERREZ, IV Conferencia Mundial de Ingeniería Sísmica. 1969.
- Logros y retos tras 25 años del Observatorio Vulcanológico de Manizales, Duque Escobar, Gonzalo (2011), en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/3390/>
- Los Desastres No Son Naturales. Omar Darío Cardona, en: <http://www.desenredando.org/public/libros/1993/ldnsn/LosDesastresNoSonNaturales-1.0.0.pdf>
- Magdaleneando en el contexto de un territorio estratégico para la paz. Duque Escobar, Gonzalo (2014) <http://www.bdigital.unal.edu.co/40043/>
- Manizales y Caldas sobre las Rutas del Progreso. – Dossier .Duque Escobar, Gonzalo (2015) , Revista Civismo. <http://www.bdigital.unal.edu.co/51247/>
- Manizales: política pública ambiental y gestión del riesgo. Duque Escobar, Gonzalo (2012) <http://www.bdigital.unal.edu.co/6523/1/gonzaloduqueescobar.201218.pdf>
- Manizales: un diálogo con su territorio. Duque Escobar, Gonzalo (2014) SMP Manizales. <http://www.bdigital.unal.edu.co/12209/>
- Manual de geología para ingenieros. Duque Escobar, Gonzalo (2003) Manual de geología para ingenieros. Universidad Nacional de Colombia, Manizales. – See more at: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1572/>
- Mapa de Terrenos Geológicos de Colombia. Fernando Etayo et al. 1983. Publicaciones Geológicas Especiales INGEOMINAS, No. 14.
- Mapa Metamórfico de Colombia. INGEOMINAS 2001 Mario Maya Sánchez y Edgar Vásquez Arroyave INGEOMINAS, 2001. <https://es.scribd.com/doc/164787592/Mapa-Metamorfoico-de-Colombia-INGEOMINAS-2001>

Microzonificación Sísmica de la Ciudad de Manizales. CIMOC -Alcaldía de Manizales, 2002.

http://www.manizales.unal.edu.co/gestion_riesgos/descargas/microzon/informe_final.pdf

- Marmato: desaparecen más de 500 años de cultura por reorientación minera. Duque Escobar, Gonzalo (2008) <http://www.bdigital.unal.edu.co/1701/>
- Mitigación de Desastres en Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario. OPS. Vulnerability of Water Supply Systems to Landslides. PAHO, 1997.
- Modelo de evolución morfotectónica del Sistema de Fallas de Romeral a nivel regional. José Luis Naranjo. Universidad de Caldas. Manizales 2005.
- Modelo dinámico para calificación de la amenaza pluvial y evaluación de la posibilidad de erosión en la sectorización geotécnica de oleoductos y su aplicación en la planeación y toma de decisiones. Oscar Correa Calle. U. N. de Colombia. Bogotá. 2005.
- Museo Interactivo Samoga: 2001-2015. Duque Escobar, Gonzalo (2016) <http://www.bdigital.unal.edu.co/51428/>
- Naturaleza y Dinámica de un flujo piroclástico en la zona de Nereidas. GRAND, Mónica; HANDSZER, Adriana. Caldas. V Congreso Colombiano de Geología. Tomo I. Bucaramanga, 1989.
- Newton. Duque Escobar, Gonzalo (2009) Documento de trabajo. <http://www.bdigital.unal.edu.co/1668/>
- No hay más terremotos, simplemente desastres más grandes. <http://www.bdigital.unal.edu.co/47415/1/nohaymasterremotossimplementedesastresmasgrandes.pdf>
- No todo lo que brilla es oro. Otro. Duque Escobar, Gonzalo (2016) La Patria, Manizales, Colombia. <http://www.bdigital.unal.edu.co/52182/>
- Nuestras aguas subterráneas. Duque Escobar, Gonzalo (2016) La Patria, Manizales. <http://www.bdigital.unal.edu.co/51485/>
- Nueva falla geológica altera mapa de amenaza sísmica en Colombia. Carlos A. Vargas (2011) U.N. Periódico. <http://www.unperiodico.unal.edu.co/dper/article/nueva-falla-geologica-altera-mapa-de-amenaza-sismica-en-colombia.html>
- Nuevo Ferrocarril de Antioquia, para estructurar un sistema férreo en Colombia. Duque Escobar, Gonzalo (2015) In: Martes de la SAI, Martes 9 de Junio de 2015, Sociedad Antioqueña de Ingenieros SAI, Medellín. <http://www.bdigital.unal.edu.co/49381/>
- Organización de los servicios de salud para situaciones de desastre. OPS- Disaster Management Center. University of Wisconsin. Washington 1975.
- PACÍFICO COLOMBIANO. Gonzalo Duque-Escobar (2012) Documento de trabajo SMP de Manizales –U.N. de Colombia. <http://www.bdigital.unal.edu.co/52158/1/pacificocolombiano.pdf>
- ¿Para dónde va el Magdalena?: elementos sobre logística y transporte verde. Duque Escobar, Gonzalo (2015) In: III Foro público. Miércoles 23 de septiembre de 2015., Honda, Tolima. <http://www.bdigital.unal.edu.co/51046/>
- Paramos vitales para la Ecorregión Cafetera. Duque Escobar, Gonzalo (2016) La Patria, Manizales, Colombia. <http://www.bdigital.unal.edu.co/51490/>

- Plan de Acción Inmediato - PAI para el municipio de La Dorada 2010. Duque Escobar, Gonzalo and Ramírez, Alexander and Ortiz Ortiz, Doralice and Dunoyer Mejía, Mónica (2010) Reporte técnico. Corporación Aldea Global, <http://www.bdigital.unal.edu.co/2093/>
- Plan de Acción Inmediato-PAI para el municipio de Marmato 2010. Duque Escobar, Gonzalo and Ramírez, Alexander and Ortiz Ortiz, Doralice and Dunoyer Mejía, Mónica (2010). Corporación Aldea Global, <http://www.bdigital.unal.edu.co/2092/>
- Plan de ordenación y manejo ambiental cuenca del río Guarinó: fase prospectiva. Duque Escobar, Gonzalo and Ortiz Ortiz, Doralice (2009) <http://www.bdigital.unal.edu.co/1696/>
- Plan de ordenación y manejo de la cuenca del río Campoalegre: fase prospectiva. Duque Escobar, Gonzalo and Ortiz Ortiz, Doralice and Riveros Laserna, Rosa Liliana and Dunoyer Mejía, Mónica (2008) Reporte técnico. Manizales, Caldas, Colombia. <http://www.bdigital.unal.edu.co/1695/>
- Planeación preventiva y cultura de adaptación ambiental. Duque Escobar, G. (2011). <http://www.bdigital.unal.edu.co/3458/>
- Prediagnóstico de aspectos geológicos. Michel Hermelín y Andrés Velásquez. Inédito. Plan Integral de Desarrollo Urbano de Manizales. Medellín 1985.
- Principles of Geomorphology. THORNBURY, William D. Wiley International Edition. (Sec. Ed.). New York 1969.
- Procesos Factores y Causas de Inestabilidad de Taludes y Laderas. MONTERO, Juan. Curso de Estabilidad de Taludes. U. Nal-MOPT. Santafé de Bogotá, 1992.
- Programa de Seguridad y Desalojo para Instituciones. Duque Escobar, Gonzalo (1999) [Objeto de aprendizaje - Teaching Resource] – <http://www.bdigital.unal.edu.co/2768/1/gonzaloduqueescobar.1999.pdf>
- Propuesta de un Plan minero-Industrial de Caldas 2006-2016. POVEDA RAMOS, Gabriel. Gobernación de Caldas & Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo. Medellín, mayo de 2006.
- Propuesta Metodológica para los Análisis de Vulnerabilidad. Cardona, Omar Darío; Hurtado, Jorge Eduardo. Informe de Consultoría Proyecto UNDRP/ACDI/ONAD para la Mitigación de Riesgos en Colombia. Inédito. Cali, 1990. Publicaciones Insugeo: Conicet y Universidad Nacional de Tucumán. Argentina. En: <http://www.insugeo.org.ar>
- Pyroclastic rocks. Article By: Tilling, Robert I. Tilling, Geologist, Branch of Igneous and Geothermal Processes, U.S. Geological Survey, Menlo Park, California, en: <http://www.accessscience.com>
- Red Sismológica Regional del Eje Cafetero, Viejo Caldas y Tolima, ISSN 0123-9074, vol. 6, Número 1, año 2001.
- Reflexiones sobre el POT de Manizales. Otro Duque Escobar, Gonzalo (2016) La Patria, Manizales, Colombia. <http://www.bdigital.unal.edu.co/51732/>

- Relación entre la cantidad de lluvia y la ocurrencia de deslizamientos en la carretera Manizales – Chinchiná. LLANO GARCÍA, Jaime Alberto y RESTREPO RIVERA, Jhon Belisario. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. 2.000..
- Relaciones lluvias – deslizamientos y zonificación geotécnica en la comuna dos de la ciudad de Manizales. ARANGO GARTNER, Juan David. Universidad Nacional de Colombia. Facultad Nacional de Minas. 2.000.
- Riesgo en la zona andina tropical por laderas inestables. Duque Escobar, Gonzalo (2000) In: Simposio Sobre Suelos del Eje Cafetero, Proyecto UTP – GTZ, 8 de Noviembre 2000, Manizales. – See more at: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1681/1/Riesgo-Suelos-ZAT.pdf>
- Riesgo en zonas andinas por amenaza volcánica. Duque Escobar, Gonzalo (2006) www.bdigital.unal.edu.co/1679/
- Riesgo en zonas de montaña por laderas inestables y amenaza volcánica. Duque Escobar, Gonzalo (2002). U. N de Colombia <http://www.bdigital.unal.edu.co/45902/>
- Rutas para la Alianza Pacífico: ferrocarriles e hidrovoías clave para Colombia. Duque Escobar, Gonzalo (2014) <http://www.bdigital.unal.edu.co/11857/>
- Seis diálogos con el territorio. Duque Escobar, Gonzalo (2012). En: <https://godues.wordpress.com/2012/05/13/>
- Sismos y volcanes en Colombia. Duque Escobar, Gonzalo (2010) Sismos y volcanes en Colombia. Documento de trabajo. Universidad Nacional de Colombia. – See more at: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1685/1/gonzaloduqueescobar.201019.pdf>
- Sismos y volcanes en el Eje Cafetero: Caso Manizales. Duque Escobar, Gonzalo (2012) [Objeto de aprendizaje - Teaching Resource] - <http://www.bdigital.unal.edu.co/6544/187/gonzaloduqueescobar.201220.pdf>
- Sistema Ferroviario para la Región Andina de Colombia. Duque Escobar, Gonzalo (2015) In: Conmemoración del Día del Medio Ambiente, Viernes 12 de Junio de 2015, Instituto Universitario de Caldas. Manizales, Colombia. <http://www.bdigital.unal.edu.co/49795/>
- Sistema multimodal en la Región Andina: Propuestas para PND 2014 - 2018. Duque Escobar, Gonzalo (2015) In: La Ecorregión Cafetera en el PND 2014 - 2018, 20 de Marzo de 2015, Alma Mater. Universidad Tecnológica de Pereira. <http://www.bdigital.unal.edu.co/47476/>
- Sol, clima y calentamiento global. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2014) <http://www.bdigital.unal.edu.co/39782/>
- Stephen Hawking. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo. (2009) In: Año Internacional de la Astronomía IYA 2009, Julio de 2009, Observatorio Astronómico de Manizales, OAM. Manizales. <http://www.bdigital.unal.edu.co/1686/>
- Stratigraphy of volcanic ashes from Southern Antioquia, Colombia: Possible climatic implications. TORO VILLEGAS. Gloria Elena (1993) Colombia Quaternary Of South America And Antarctic Peninsula. v. 8. ed: Balkema.

- Structural imprints at the front of the Chocó-Panamá indenter: Field data from the North Cauca Valley Basin, Central Colombia. SUTER, F., SARTORI, M., NEUWERTH, R. & GORIN, G. 2008. Tectonophysics, Volume 460, Issues 1-4, pp. 134-157.
- Suelos de la zona cafetera. GRISALES, Alfonso. Fondo Cultural Cafetero, Volumen 4. Ed. Bedout S. A. Santafé de Bogotá, 1977.
- TEMAS DE ORDENAMIENTO Y PLANIFICACIÓN DEL TERRITORIO, GDE. Universidad Nacional de Colombia. Lecturas para el curso de Contexto en CTS. – See more at: <https://godues.wordpress.com/2012/01/27/>
- TEMAS HIDROGEOLÓGICOS Y AMBIENTALES AFINES. GDE. Universidad Nacional de Colombia. Lecturas para el curso de Contexto en CTS. – See more at: <https://godues.wordpress.com/2014/05/16/temas-hidrogeologicos-yambientales-afines/>
- Territorio y Región: Caldas en la Ecorregión Cafetera. Duque Escobar, Gonzalo (2014) In: Celebración de los 102 años de fundación de la SMP de Manizales, Junio 27 y 28 de 2014, Auditorio José Restrepo Restrepo de la SMP, Manizales. <http://www.bdigital.unal.edu.co/39441/1/gonzaloduqueescobar.201425.pdf>
- The great Tumaco, Colombia earthquake of 12 December 1979. HERD, D. G.; YOUNG, T.L.; MEYER, HJ; ARANGO, J.L. and PERSON, W. SCIENCE, Vol. 211, N° 4481, p. 441- 445.
- Topología de áreas no polarizadas. Ángel Ignacio Ortiz y Mario G. Rodríguez. Análisis Geográficos. IGAC. Bogotá.
- Túnel Manizales. Duque Escobar, Gonzalo and Duque Escobar, Eugenio (2010) In: XIII Congreso Colombiano de Geotecnia, SCG – U.N. de Colombia, 21-24 de Sep 2010, Manizales. <http://www.bdigital.unal.edu.co/2046/>
- TÚNELES: videos y documentos. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (Rec) <https://godues.wordpress.com/2014/01/04/>
- UMBRA: la Ecorregión Cafetera en los Mundos de Samoga. Duque Escobar, Gonzalo (2015) <http://www.bdigital.unal.edu.co/50853/>
- Un tren andino para la hidrovía del Magdalena. Duque Escobar, Gonzalo (2015) <http://www.bdigital.unal.edu.co/48024/>
- Una política ambiental pública para Manizales, con gestión del riesgo por sismos, volcanes y laderas, GDE (2012), en <http://www.bdigital.unal.edu.co/6497/1/gonzaloduqueescobar.201217.pdf>
- Volcanes... 2012. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo. U.N. de Colombia. (Recopilación de artículos y notas propias) <https://godues.wordpress.com/2012/05/13/volcanes/>
- Volcanic hazard maps of the Nevado del Ruiz volcano. Héctor Cepeda Vanegas y Eduardo Parra P. (1989) Journal Of Volcanology And Geothermal Research ISSN: 0377-0273. Ed: Elsevier. USA.
- Volcanoes. Gordon A. Macdonald. University of Hawaii. Prentice Hall, Inc 1971.
- Volcanoes. Williams and McBirney. Freeman, Cooper & Co. San Francisco CA USA. 1979.
- ¿Y qué es eso, desarrollo sostenible? Gustavo Wilches-Chaux. (2007) Segunda edición. NBP, In: MinAmbiente. http://biblovirtual.minambiente.gov.co:3000/DOCS/MEMORIA/MMA-0116/MMA-0116_CAPITULO1.pdf
- Zonas hidrogeológicas homogéneas de Colombia. Nelson Omar Vargas Martínez. (2005)- IDEAM

ANEXO: MANUAL DE GEOLOGÍA PARA INGENIEROS. PDF



Duque Escobar, Gonzalo (2003) *Manual de geología para ingenieros*. Universidad Nacional de Colombia, Manizales. <http://www.bdigital.unal.edu.co/1572/>

<u>PDF (Presentación de la obra)</u> –	<u>PDF (Capítulo 6 : Vulcanismo)</u> –	<u>PDF (Capítulo 13 : Rocas metamórficas)</u> –	<u>PDF (Capítulo 20 : Geomorfología)</u> –
<u>PDF (Contenido)</u> –	<u>PDF (Capítulo 7 : Rocas ígneas)</u> –	<u>PDF (Capítulo 14 : Montañas y teorías orogénicas)</u> –	<u>PDF (Lecturas complementarias)</u> –
<u>PDF (Capítulo 1 : Ciclo geológico)</u> –	<u>PDF (Capítulo 8 : Intemperismo o meteorización)</u> –	<u>PDF (Capítulo 15 : Sismos)</u> – Link	<u>PDF (Bibliografía)</u> –
<u>PDF (Capítulo 2 : Materia y energía)</u> –	<u>PDF (Capítulo 9 : Rocas sedimentarias)</u> –	<u>PDF (Capítulo 16 : Movimientos masales)</u> –	<u>PDF (Autor)</u> –
<u>PDF (Capítulo 3 : Sistema solar)</u> –	<u>PDF (Capítulo 10 : Tiempo geológico)</u> –	<u>PDF (Capítulo 17 : Aguas superficiales)</u> –	<u>Mecánica de los suelos</u>
<u>PDF (Capítulo 4 : Tierra sólida y fluida)</u> –	<u>PDF (Capítulo 11 : Geología estructural)</u> –	<u>PDF (Capítulo 18 : Aguas subterráneas)</u> –	<u>Gestión del riesgo</u>
<u>PDF (Capítulo 5 : Minerales)</u> –	<u>PDF (Capítulo 12 : Macizo rocoso)</u> –	<u>PDF (Capítulo 19 : Glaciares y desiertos)</u> –	<u>Manual de Geología</u>

FISIOGRAFÍA Y GEODINÁMICA DE LOS ANDES DE COLOMBIA

Por Gonzalo Duque Escobar * y Eugenio Duque Escobar **

* Ingeniero Civil. U.N. de Colombia. Profesor U.N. <http://godues.webs.com>

** Geólogo. U de Caldas. Profesor U.N. http://scienti.colciencias.gov.co:8081/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0000068284