

CARACTERIZACION DE LA METODOLOGIA GEOMORFOLOGICA ADAPTADA POR INGEOMINAS

Documento interno sometido a discusión y a modificaciones

**Propuesta por: José Henry Carvajal
Geólogo**

RESUMEN

El presente documento producto de consulta bibliográfica y experiencia del autor consigna los conceptos más importantes de la geomorfología tendiente a adoptar o definir la metodología más apropiada para Ingeominas. Producto del consenso al interior del grupo de geomorfología de Ingeominas, se propone la adaptación de la metodología desarrollada por el ITC con algunas modificaciones producto de las experiencias obtenidas por Ingeominas en trabajos adelantados en el país.

INTRODUCCION

La geomorfología es la descripción, y el estudio de la génesis, clasificación, procesos y evolución de las formas antiguas y actuales del terreno (tanto terrestres como submarinas) y su relación con las estructuras infrayacentes. Es la ciencia que está enfocada al análisis de la superficie de la tierra donde interáctuan la litosfera, la hidrosfera, la atmósfera y la biosfera.

Las geoformas son la expresión morfológica superficial del terreno que dependen de los tipos de material constituyentes de las mismas y su disposición estructural, de los procesos geomórficos que interactúan de acuerdo al ambiente morfogenético en particular, y el tiempo de duración de la acción de los mencionados procesos. (GREGORY 1978 EN KELLER Y ROCKWELL 1984 – ROBERTSON, 1990).

GEOFORMA = MATERIALES + PROCESOS + TIEMPO.

Esta concepción de la geomorfología permite establecer como ciencias o ramas afines la geología (Litología y sedimentología – estructural), geoquímica, geofísica, climatología, edafología, técnicas de datación del Cuaternario, neotectónica, sensores remotos, ecología y geografía.

ASPECTOS DE LA GEOMORFOLOGIA

Según Verstappen (1987) la geomorfología involucra los siguientes aspectos que en su orden cronológico han definido la evolución del concepto:

? **LA FORMA DEL TERRENO:** Descripción cualitativa y cuantitativa de las formas del terreno (Geomorfología estática). Prevalece antes del siglo XVII.

- ? **PROCESOS:** Trata de los cambios de las geoformas a corto plazo (Geomorfología dinámica. Finales del siglo XVII y comienzos del XVIII).
- ? **GENESIS:** Desarrollo a largo plazo de las geoformas (Geomorfología genética). Desde mitad del siglo XIX.
- ? **MEDIO AMBIENTE:** Involucra la relación entre el paisaje y la ecología (Geomorfología ambiental). Concepto aplicado desde mitad del siglo XX.

Recientemente se ha tenido en cuenta la acción del hombre como modificador de las características geomorfológicas de un lugar, y de otro lado con la evolución que han tenido las técnicas de percepción remota y el procesamiento digital de imágenes de satélite, se ha concebido la visión macro del terreno (Megageomorfología) en el análisis geomorfológico, ver Short and Blair (1986).

APLICACIONES DEL ANALISIS Y EL MAPEO GEOMORFOLOGICO

El análisis y el mapeo geomorfológico permiten la reconstrucción de la historia, antigua, presente y futura (Génesis, procesos y edad) del relieve de una localidad. En ese sentido, informa sobre la distribución y correlación de geoformas que permiten la definición de zonas homogéneas que facilitan el análisis y los cálculos en los sistemas de información geográfica S.I.G.

Tal situación hace que los mapas geomorfológicos se constituyan en documentos integradores de otras variables tales como litología, suelos y minería entre otros, que permiten el análisis de amenazas y riesgos geológicos. Adicionalmente permiten la definición de sectores territoriales estructurantes, básicas para la toma de decisiones y evaluación del geopotencial de una región. En ese sentido el análisis y la cartografía geomorfológica es aplicable al manejo de tierras, zonificaciones geotécnicas y sísmicas de ciudades, planificación del desarrollo de recursos, planificación del uso de tierras, planificación de proyectos y a la política de riesgos naturales (SLAYMAKER, 2001).

La caracterización geomorfológica contribuye ostensiblemente en la planeación y construcción de obras de ingeniería. Factores del análisis geomorfológico tales como relieve, procesos morfogenéticos, tipos de suelo generados y la localización de obras entre otros aspectos, son tenidos en cuenta en el proceso de ubicación y construcción de obras como carreteras y presas.

La cartografía geomorfológica involucra los siguientes aspectos:

- ? **MORFOLOGIA:** Trata de la apariencia y forma del relieve en general.
- ? **MORFOGRAFIA:** Descripción cualitativa de las geoformas.
- ? **MORFOMETRIA:** Trata de los aspectos cuantitativos de las geoformas. Medidas, dimensiones, valores.
- ? **MORFOGENESIS:** Estudia el origen y evolución de las formas del terreno.

- ? **MORFOESTRUCTURA:** Pasiva cuando trata de los materiales involucrados y su disposición, y activa cuando esta relacionada con la dinámica endógena (volcanismo, plegamientos, tectonismo fallado).
- ? **MORFODINAMICA:** Trata de los procesos activos en el presente ó aquellos que se pueden activar en el futuro. Se relaciona con la dinámica exógena relacionada con la actividad de los agentes como el viento, agua, hielo, remoción en masa.
- ? **MORFOCRONOLOGIA:** trata de la edad relativa o absoluta de las geoformas.

FACTORES A TENER EN CUENTA PARA ESCOGER UN SISTEMA METODOLOGICO.

- ? Deben ser para uso multidisciplinario.
- ? Debe ser aplicable a diferentes niveles de detalle
- ? Debe permitir definir unidades homogéneas tanto en fotos aéreas como imágenes de satélite.
- ? Debe permitir la fácil extrapolación y generalización de las unidades definidas.
- ? Debe permitir el análisis genético de las geoformas, el paisaje y la toma de parámetros (Morfografía, morfometría, morfogénesis y morfocronología).
- ? Debe facilitar la inclusión y tratamiento de la información en los Sistemas de información geográfica.
- ? Debe ser de conocimiento mundial y compatible con otras metodologías.

ESTRUCTURA DE LA JERARQUIZACIÓN GEOMORFOLOGICA

La diferenciación de unidades geomorfológicas esta intimamente relacionada con la escala y los procesos de generalización de polígonos en un SIG. Según Howard y Mitchell 1980 en Hayden (1996), la más simple y clara base de clasificación es la definición de unidades homogéneas fáciles de mapear a la escala requerida en una región en particular. Una jerarquía de unidades de terreno (geomorfológicas) se puede identificar con facilidad en muchas regiones, dependiendo de la escala de mapeo.

De acuerdo con Hayden (1986), la unidad geomorfológica debe ser cuidadosamente seleccionada para que sea homogénea e indivisible a la escala de trabajo que se requiera. En ese sentido se ha definido el término unidad geomorfológica como una geoforma individual y genéticamente homogénea producida por un proceso geomorfológico construccional o destruccional (Acumulación o erosión).

Un gran número de métodos y jerarquizaciones se han propuesto a través de la evolución histórica de la ciencia geomorfológica y de la fisiografía, con el objetivo de zonificar el terreno. Particularmente Ingeominas en sus estudios de evaluación del medio ambiente y ordenamiento territorial ha utilizado una adaptación de metodologías tales como las de (Abdón y Malagón, 1981 - Zink, 1984 - IGAC 1995, y Florez 1988 en Velásquez (1999), Villota (1997, ITC (VAN ZUIDAM, 1985).

Producto de un análisis de las clasificaciones a nivel mundial y las anteriormente mencionadas, Velásquez (1999), ha propuesto una jerarquización de las geoformas relacionando la escala de trabajo con la subdivisión geomorfológica, la cual ha sido utilizada por Ingeominas en sus trabajos de evaluación ambiental, con adaptaciones menores dependiendo de la región estudiada (INGEOMINAS, 1999).

Retomando y modificando estas jerarquizaciones geomorfológicas se proponen los siguientes rangos de clasificación de mayor a menor:

Zona geoestructural, Provincias geomorfológicas, región geomorfológica, Unidad y subunidad geomorfológicas y componente geomorfológico, ver esquema (Figura 1 y tabla1).

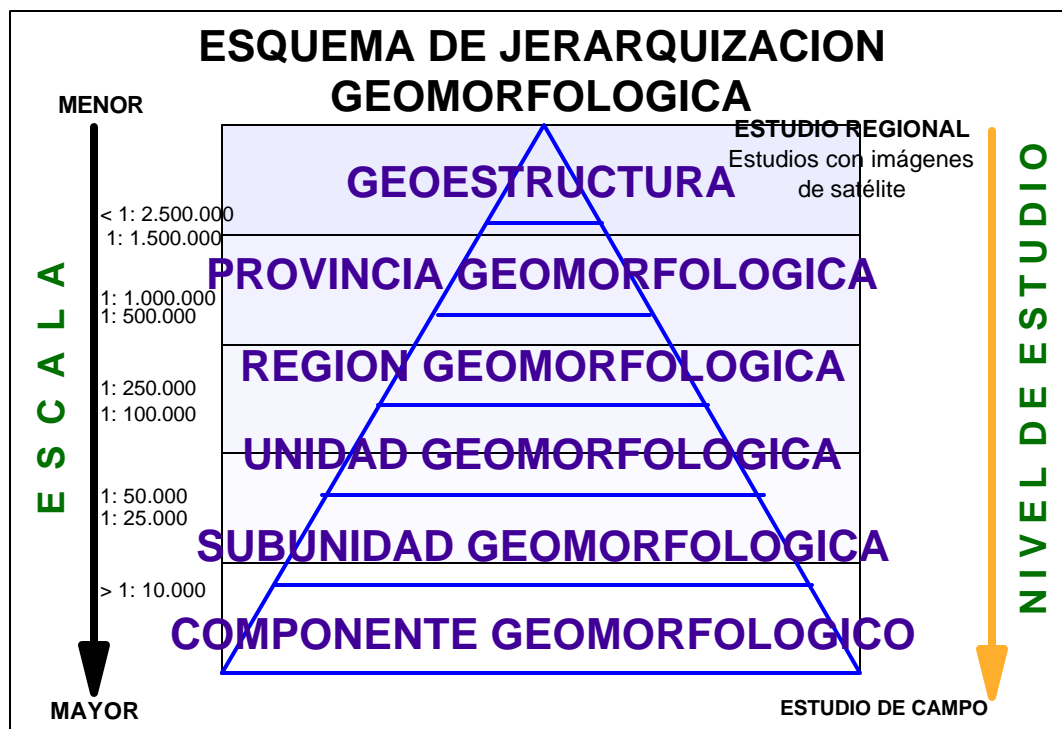


FIGURA 1: Esquema de jerarquización geomorfológica propuesto para Ingeominas. Tomado y modificado de Velasquez (1.999) e Ingeominas (2.000).

- ? **ZONA GEOESTRUCTURAL:** Está referido a grandes áreas o amplios espacios continentales o intracontinentales caracterizados por estructuras geológicas y topográficas regionales tales como las cordilleras, escudos y geosinclinales. Corresponde a escalas de trabajo menores de 1: 2.500.000.
- ? **PROVINCIAS GEOMORFOLOGICAS:** Corresponde a conjuntos de regiones con geoformas parecidas y definidas por un macrorrelieve y una génesis geológica

similar. Localmente se corresponden con las regiones naturales y con los terrenos geológicos de Colombia los cuales están demarcados por el trazo de megafacturas y suturas definidas o inferidas (INGEOMINAS 1986).

Se definen en términos tales como cinturones montañosos, serranías, plataformas continentales, llanuras, cuencas sedimentarias, y se definen para escalas entre 1: 1.000.000 – 1.500.000.

- ? **REGION GEOMORFOLÓGICA:** Es la agrupación de paisajes y geoformas relacionadas genética y geográficamente. Están definidas por los ambientes morfogenéticos y geológicos afectados por procesos morfogenéticos parecidos. La escala de trabajo está definido entre 1: 250.000 y 1: 500.000.

Los ambientes morfogenéticos son:

1. **AMBIENTE MORFOESTRUCTURAL:** Corresponde a las geoformas generadas por la dinámica interna de la tierra, especialmente las asociadas a plegamientos y fallamientos.
2. **AMBIENTE VOLCANICO:** Definido para las geoformas generadas por la extrusión de materiales fundidos procedentes del interior de la tierra.
3. **AMBIENTE DENUDACIONAL:** Determinado por la actividad de los procesos erosivos hídricos y pluviales y de fenómenos de transporte y remoción en masa en geoformas pre existentes.
4. **AMBIENTE FLUVIAL:** Corresponde a las geoformas generadas por los cursos de agua tales como rios, quebradas, caños.
5. **AMBIENTE MARINO PROFUNDO Y COSTERO:** Determinado por las geoformas construidas o esculpidas por la actividad de las corrientes y procesos del mar.
6. **AMBIENTE GLACIAL:** Definido por las geoformas originadas por los glaciares tanto de los casquetes polares como de las altas montañas.
7. **AMBIENTE EOLICO:** Geoformas formadas por la acción de los vientos en zonas desérticas principalmente.
8. **AMBIENTE KARSTICO:** Definido por las formas producto de meteorización y dilución en rocas y materiales de fácil dilución en ambientes húmedos, tales como las calizas y sal.
9. **AMBIENTE ANTROPOGENICO:** Morfologías formadas por la actividad del hombre que modifica la superficie del terreno.

- ? **UNIDAD GEOMORFOLOGICA:** Se refiere a las geoformas definidas por un proceso geomorfológico en un ambiente morfogenético en particular. Está definido con criterios genéticos, morfológicos y geométricos en función de la escala de trabajo. Escala de trabajo de 1: 50.000 a 1:100.000.

- ? **SUBUNIDAD GEOMORFOLOGICA:** Esta categoría esta determinada fundamentalmente a contrastes morfométricos que relacionan el tipo de roca y la

correspondiente topografía del terreno. Igualmente está relacionada con el contraste de las formaciones superficiales asociadas a procesos morfodinámicos erosivos o de

Tabla 1
Jerarquización geomorfológica y aspectos generales de las unidades correspondientes a cada división o jerarquía

ZONA GEOESTRUCTURAL	PROVINCIA GEOMORFOLOGICA	REGION GEOMORFOLOGICA	UNIDAD GEOMORFOLOGICA	SUBUNIDAD GEOMORFOLOGICA	COMPONENTE GEOMORFOLOGICA
SISTEMA MONTAÑOSO CRATONICO SISTEMA MONTAÑOSO EUGEOSINCLINAL PLEGADO	ORINOQUIA AMAZONIA	Ambiente. Estructural Altiplanicies	Espinazo Plataforma Cuesta Volcán de lodo	Ladera estruct. Flancos Lomo d presión Loma d obturac	Escarpe estructural Escarpe de falla Sag ponds Cornisa estructural
		Ambiente Volcánico Montaña volcánica	Cráter Cono volcánico Flujo de lava Campo ceniza	Cráter con lago Tunel de lava Tap.volcánico Ladera volcán	Borde de cráter Cuello Volcánico Ladera int. Cráter Cono parásito
	CINTURON MONTAÑOSO DE SAN JACINTO O SINU	Ambiente Denudacional Superficie denudacional	Glacis Deslizamiento Inselberg Cerro residual	Glacis erosión Coluvión deslíz Carcavas Talus escombro	Barranco Escarpe ppal desl. Terraceta surcos
		Ambiente Fluvial Llanura aluvial	Ll. inundación Delta arcuado Terraza fluvial Abanico fluvial	Basines Albardones Vertedero lat. Meandro	Orillares Escarpe de terraza Banco fluvial Canal de rio
		Ambiente Marino Llanura costera	Terraza marina Isla barrera Llanura costera Playón	Plataforma Abr Playa Duna costera P. intermareal	Acantilado Cresta de playa Aban. Sobrelavado Pináculo
	SERRANIA DEL BAUDO DARIEN CORDILLERA OCCIDENTAL VALLE INTERCODILLERANO DEL MAGDALENA	Ambiente Glacial Montaña Glaciaria	Morrenas Valle glacial Arista glaciaria Kames	Morrena Lat. Drumlim Lago glacial Aban. Fglacial	Circo glacial Esker Bloque errático Estría glaciaria
		Ambiente. Eólico Planicies deserticas	C. de Dunas D. pedregoso Pl. de deflación Salar	Nebkha Yardangs Hoyo deflación Wadis	Surco deflación Valle interdunar Tafoni Hoyo deflación
		Ambiente. Kárstico Montañas Karsticas	Polje Torre kárstica Uvalas Valle desploma	Dolina Ponor Cerro pepino Fondo pl polje	Lad. cañada Karst Puente Ntral Entrada deCaverna Depresión Karstica
		Ambiente. Antropogénico Planos Antrópicos?	C. basura C. escombros Embalses Terraza agrícol	Flancos Cantera Presa industrial Minas	Canales Espolones Rompeolas Banca caminos

acumulación bien definidos o determinados. La escala de trabajo está definida entre 1: 10.000 y 1: 25.000.

? **COMPONENTE O ELEMENTO GEOMORFOLÓGICO:** Estas subdivisiones corresponden a los rasgos del relieve determinados por la morfometría del terreno

en sitios puntuales (Formas de ladera, pendientes, escarpes. Este tipo de división geomorfológica se utiliza en trabajos de detalle en escalas mayores de 1: 10.000). Se deben tener en cuenta a esta escala factores como amplitud del relieve (Relieve interno), patrones y densidad del drenaje, forma de los valles, y formas y pendientes de ladera o escarpe, consultar Damen (1990).

ADAPTACION DE LA METODOLOGIA DEL I.T.C CARACTERISTICAS DEL METODO

Según Verstappen y Van Zuidam (1992), el objetivo de llevar a cabo un mapeo geomorfológico esta centrado en proporcionar información concisa y sistemática sobre las formas del terreno y los procesos geomorfológicos que actúan sobre ellas. Para tal efecto no solo es necesaria la delineación de unidades mediante polígonos coloreados con rasgos geomorfológicos mediante símbolos lineales, sino que es fundamental el análisis de la información tendiente a reconstruir la historia geomorfológica de una región con base en los factores endógenos (geológicos) y exógenos (Climáticos), y complementada con información morfodinámica, morfocronológica y ambiental (Suelos, hidrología y vegetación). La información mencionada se puede desplegar mediante un mapa o puede ser almacenada en una base de datos mediante un S.I.G.

TIPOS DE MAPAS GEOMORFOLOGICOS

Según el objetivo de los levantamientos geomorfológicos, la metodología ITC define tres tipos de mapas:

- ? **MAPAS GEOMORFOLOGICOS ANALITICOS:** Estos mapas dan información sobre formas del relieve y procesos con énfasis en la morfogénesis y la morfocronología. Incluyen información geológica (Litológica y estructural). Estos mapas son el producto de estudios geomorfológicos monodisciplinarios. Por ser estos los mapas básicos de la cartografía geomorfológica aplicada, se considera que este tipo de mapa es el que debe adoptar y perfeccionar el Área de Georeconocimientos de Ingeominas. Estos mapas contienen la siguiente información en orden jerárquico: La Morfogénesis, Morfoestructura (litología), Morfometría y morfocronología.

La morfogénesis se representa en forma de unidades geomorfológicas (Polígonos coloreados y rotulados con letras) si esta es cartografiable a la escala de estudio dada, o por medio de símbolos lineales si las formas son demasiado pequeñas.

Las unidades morfogenéticas por ser por ser el más alto nivel del sistema de mapeo y de la leyenda van coloreados de acuerdo al ambiente morfogenético así:

1. Formas de origen estructural (Púrpura) - **Púrpura**
2. Formas de origen volcánico (Rojo) - **Rojo**
3. Formas de origen denudacional (Marrón) - **Marrón**

4. Formas de origen fluvial (Verde) - **Azul**
5. Formas de origen costero y marino (Azul oscuro) - **Verde**
6. Formas de origen glacial (Azul Claro) - **Grisés**
7. Formas de origen eólico (Amarillo) - **Amarillo**
8. Formas de origen Kárstico (Naranja) - **Naranja**
9. Formas de origen Antropogénico / biológico (Negro - gris) **Negro**

Los colores en negrillas son los adoptados y propuestos en este documento.

De otro lado las geoformas de origen transicional se pueden incluir donde sea más conveniente de acuerdo al criterio del cartógrafo. Un listado de los símbolos de las geoformas propias de cada ambiente morfogenético es presentado como anexo de este documento. Corresponde a los objetos geomorfológicos que se cree pueden ser cartografiados a escala 1: 100.000 y que son adoptados en su mayoría de la metodología del, ITC.

La litología se indica por medio de las tramas adoptadas para la cartografía geológica en colores apagados. De acuerdo con la metodología del ITC cuando es importante hacer resaltar la litología, o cuando se desea subdividir unidades geomorfológicas muy grande con base en la composición de los materiales constituyentes, se recomienda elevar jerárquicamente la información litológica mediante el empleo de símbolos areales coloreados y nombrarlas en la leyenda como unidades litogeomorfológicas.

La morfometría se representa por medio de símbolos (Ver anexo) o utilizando varios matices de color. Cuando se caracteriza cada unidad con información de campo esta información puede ser anexada por medio de tablas amarradas a cada polígono en particular. Otro tanto se puede hacer con la información morfocronológica o representarla por medio de letras como lo recomienda el sistema ITC.

Adicionalmente con la utilización de un SIG mediante el uso de tablas se puede adicionar información complementaria tal como perfiles de meteorización, tipo de suelos, propiedades mecánicas de los materiales y clima. En los mapas propiamente dicho, esta caracterización de las geoformas se puede incluir resumidamente en la leyenda.

- ? **MAPAS GEOMORFOLOGICOS SINTETICOS:** Estos mapas dan una información general y sintética del terreno como base en estudios multidisciplinarios. Tienen en cuenta la expresión del terreno (morfología) y su relación con otros factores como el relieve, litología, **clima**, , **suelos**, **hidrología y vegetación**. Este tipo de análisis del terreno no se describe en detalle porque se considera va mas allá de los alcances de Ingeominas, por ser responsabilidad de otras instituciones de acuerdo con las competencias en el medio ambiente físico, ver figura 2 (NAVAS Y FORERO 2001). No obstante lo anterior, la información plasmada en los mapas analíticos propuestos es la base fundamental de estudios geomorfológicos y fisiográficos mas profundos y especializados. Para mayor

información consultar la metodología del ITC (VERSTAPPEN Y VAN ZUIDAM 1992).

- ? **MAPAS GEOMORFOLOGICOS PRAGMATICOS:** Son los mapas producto de investigación geomorfológica con un propósito definido por ejemplo evaluación de amenazas y riesgos naturales o planificación territorial. Para tal efecto se usa tanto

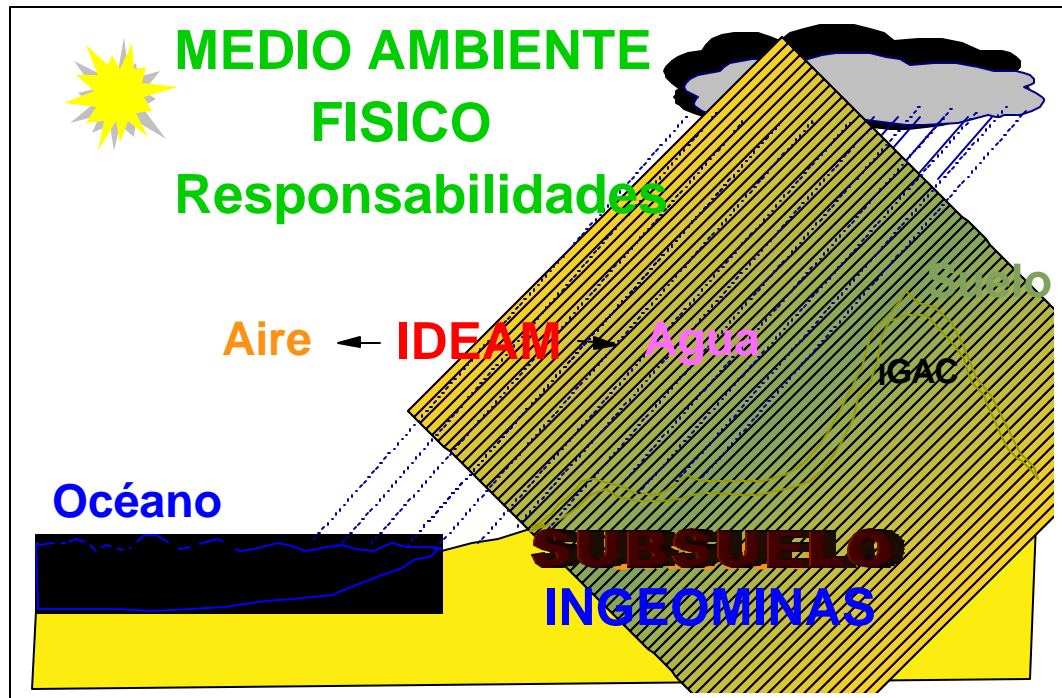


FIGURA 2: Competencia de las Instituciones del Estado en la evaluación del medio ambiente físico.

la información de los mapas geomorfológicos analíticos como sintéticos que según los autores son complementarios.

La elaboración de este tipo de mapa la puede adoptar las Areas de Geoamenazas y Georecursos, retomando la información básica generada y propuesta para el Area de Georeconocimientos, de acuerdo con las escalas propuestas en la jerarquización expuesta previamente. En trabajos de detalle y particularmente en las zonificaciones de ciudades la información plasmada corresponde a los componentes geomorfológicos con información morfométrica tomada en campo. Ejemplos de mapas geomorfológicos regionales y de detalle llevados a cabo en otras latitudes pueden ser analizados en Verstappen y Van Zuidam (1992) y en Klimaszeuski (1982).

REFERENCIAS CONSULTADAS

DAMEN, M. C. J., 1990. Terrain classification using aerospace imagery. Selected qualitative and (semi) quantitative methods. Revista ITC . Holanda.

HAYDEN, ROBERT., 1986. Geomorphological mapping. Geomorphology from the space. Chapter 11. NASA. EEUU.

INGEOMINAS., 1983. Mapa de terrenos geológicos de Colombia. Publicaciones geológicas especiales del Ingeominas, N° 14 – 1. Pp 1 – 235. Bogotá.

INGEOMINAS., 1999. Evaluación del potencial ambiental de los recursos suelo, agua, mineral y bosques en el territorio de jurisdicción de CARDIQUE. Informe de Ingeominas para Cardique, convenio interadministrativo N° 095/98. 285p. 1999. Bogotá.

KELLER, E AND ROCKWELL, T., 1984. Tectonic geomorphology, Quaternary chronology, and paleoseismicity. Developments and applications of geomorphology. Edited by J. E. Costa and P. J. Fleisher. Springer verlag Heilderberg. Pp 41 – 76. Berlin.

KLIMASZEUSKY, M., 1982. Detailed geomorphological maps. ITC. Vol 3, Pp 265 – 271. Holanda.

NAVAS, O Y FORERO H., 2001. Plan estratégico de geomorfología. Nodo Colombiano de geomorfología. Documento de trabajo sujeto a modificaciones. Bp. Ingeominas. Bogotá.

ROBERTSON, KIM., 1990. Unidades de levantamientos rurales y forestal – Ecología. Guías de análisis de terreno. Geomorfología aplicada. Subdirección de Docencia e Investigación. IGAC. Notas de clase. 84p. Bogotá.

SHORT NICOLAS AND BLAIR ROBERT., 1986 Geomorphology from the Space: A global overview of regional landforms. NASA. EEUU.

SLAYMAKER, OLAV., 2001 The role of remote sensing in geomorphology and terrain analysis in Canadian Cordillera. JAG, volume 3- issue 1. Department of Geography, University of British Columbia. Canada.

VAN ZUIDAM, ROBERT., 1985 Aerial photointerpretation in terrain analysis and geomorphological mapping. International Institute for Aerospace survey and earth Science. ITC. 442p. Smits Publishers. The Hague. The Netherlands.

VELASQUEZ, ELKIN., 1999. Contribution méthodologique a la prise en compte du milieu physique dans la planification environnementale du territoire en zone montagnense de Colombie. Tesis de PHD. Université de Grenoble, 310 p. Francia.

VERSTAPPEN, HERMAN., 1987. Geomorfología aplicada al estudio de los riesgos naturales. Apuntes de clase ITC. Holanda.

VERSTAPPEN AND VAN ZUIDAM., 1992 El sistema ITC para levantamientos geomorfológicos. Publicación ITC N° 10. Villanueva de Huerva.

VILLOTA, HUGO., 1997. Una nueva aproximación a la clasificación fisiográfica del terreno. Revista CIAF, volumen 15, N° 1. Pp 83 - 115. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá.