



## 6

---

# Los suelos: estabilidad, productividad y degradación

---

### **Autores:**

Guillermo Mantilla (suelos y geomorfología), Luz Stella de la Torre (biología del suelo), Carlos Eduardo Gómez (suelos y materia orgánica)\*, Napoleón Ordóñez, Jorge Luis Ceballos (formación superficial, geomorfología y glaciares)\*\*, Christian Euscátegui, Pedro Pérez, Sandra Pérez (morfoestructura geológica), Nestor Martínez, Reinaldo Sánchez (alertas morfodinámicas), Nancy Maldonado (sistema de información), Sandra Pérez (cartografía y SIG), Jorge Gaitán, Leonor Chávez , Clara Chamorro (biología del suelo)\*\*\*, Antonio Flórez (sistemas morfogénicos)\*\*\*\*

---

\* Profesor, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano

\*\* Profesor, Facultad de Economía, Universidad Militar Nueva Granada

\*\*\* Profesora emérita, Facultad de Ciencias, Departamento de Biología, Universidad Nacional de Colombia

\*\*\*\* Profesor asociado, Facultad de Ciencias, Departamento de Geografía, Universidad Nacional de Colombia

### **Con la colaboración de:**

Jorge Hernández (asesor científico), Claudia Cano, Javier Rodríguez, Jacqueline León, Johan Alberto Buitrago

## Introducción

**L**os pedólogos tradicionales han definido los suelos de acuerdo con una serie de variables que tienen que ver básicamente con la historia geológica y los factores ambientales que intervienen en su formación. Si bien esta definición es importante en el desarrollo científico, existe también una visión que los define no sólo por su complejidad bioquímica y geoquímica sino por las funciones, la estructura y los servicios que prestan a la naturaleza y a la sociedad. En esa nueva visión integral trabaja el Ideam.

Bajo esta perspectiva, los suelos no pueden abordarse exclusivamente a partir de la geoquímica y de los complejos minerales u organominerales que los componen, sino, además, teniendo en cuenta los ecosistemas en que están inscritos. Así, el suelo en el trópico húmedo, del cual hace parte Colombia, es un componente más que interactúa sistémicamente con otros componentes externos e internos para mantener una determinada clase de productividad y, sobre todo, para permitir la reproducción de la exuberancia natural, que es propia de estas zonas del planeta.

Generalmente, la mirada clásica sobre los suelos los describe desprovistos de agua, fauna y microorganismos, con niveles freáticos bajos y con unos componentes minerales y orgánicos propios de las zonas templadas del mundo, en donde las aguas ya les han sido retiradas para su adecuación como tierras agrícolas. Esta concepción de los suelos se basa en la necesidad de contar con determinados componentes organominerales y ciertas condiciones de humedad del suelo propicias para el funcionamiento óptimo de la agricultura moderna de alta productividad, que requiere de grandes subsidios, pagaderos tan sólo por los gobiernos de los países desarrollados, y de altas inversiones en herbicidas y plaguicidas para mantener su productividad.

La visión integral del suelo, por el contrario, permite reconocer en Colombia una serie de ecosistemas diferentes y únicos, cuyos componentes internos y externos integrados son los que le dan al suelo determinadas características de productividad y estabilidad y le definen su estado de degradación. A continuación algunos de los ejemplos de los ecosistemas y los suelos más representativos del país.

### Suelos de los páramos

En los suelos de las zonas altas de Colombia (desde los picos nevados y los páramos, hasta la alta montaña andina inestable), independientemente de la composición

geológica y de las influencias volcánicas que los afecten, se puede encontrar ciertas constantes en altitud, clima y cubrimientos florísticos y faunísticos (con presencia de ciertas especies endémicas, especialmente en el plano florístico) que son propias de esos tipos de suelos y esenciales para comprender la función, la estructura y los servicios que le prestan al ecosistema y al hombre que habita en él.

Así los páramos y los altiplanos colombianos, que se observan desde Ipiales hasta el parque nacional natural de Tamá, gozan de una vegetación especial en la que sobresalen los frailejones (*Espeletia spp.*) y los colorados (*Polylepis spp.*), tienen unas temperaturas promedio anuales entre bajas a medias y una distribución de las precipitaciones muy regular, que por lo general no pasa de los 1.500 mm anuales, bien distribuidas, de intensidad suave y de magnitud suficiente para no causar estragos en estos pisos altitudinales. Estas condiciones naturales están acompañadas por una cultura, de raíces prehispánicas, de la papa y las habas, de la ruana y del frío.

Todo este conjunto de componentes actúa entre sí para producir un medio natural único —el del páramo—, que cumple una función sistémica sostenible de la productividad, propia de este tipo de suelos. Esta productividad quizás sea menor, comparada con la de la media o la baja montaña, más aún con la de la selva ecuatorial cálida y húmeda, pero cumple una función ambiental esencial: proteger la biodiversidad, producir, capturar y regular las aguas, además de ofrecer unos paisajes escénicos excepcionales.

Sin embargo, para mantener estas funciones propias de los suelos del páramo se necesita que esas condiciones de vegetación, clima, aguas y materia orgánica mantengan un cierto equilibrio. De lo contrario, las tierras paramunas se convierten en eriales, tal y como está sucediendo en la actualidad por la sobreexplotación agrícola y la llegada de la ganadería extensiva, que depredan las especies endémicas y alteran las condiciones naturales.

### Suelos del Cinturón Cafetero

Al penetrar en un bosque húmedo del Cinturón Cafetero, adecuado para café con sombrero, resalta la hojarasca, conformada por hojas, tallos, ramas caídas de color parduzco a medio descomponer, la presencia de insectos e invertebrados, en general, así como una sensación de frescura y humedad. Son comunes los guamos (*Inga spp.*) y demás leguminosas fijadoras de nitrógeno en el suelo, cuando se logra una inserción adecuada de los arreglos vegetales multiestratificados, incluyendo el café y otros cultivos compatibles con estas condiciones ambientales; general-

mente, la deficiencia de nutrientes no es notoria y la vegetación y sus mosaicos bióticos se muestran sanos. Todo ello permite a la vez, un control biológico para buena parte de las plagas y enfermedades, y asegura la estabilidad del suelo y la sostenibilidad de la productividad.

La zona cafetera está localizada principalmente en las vertientes húmedas cordilleranas, aproximadamente entre los 1.200 y 2.000 msnm, con una cobertura vegetal de bosque andino estratificado, en donde el café hace parte del sistema como sotobosque.

Son suelos jóvenes con características morfológicas y propiedades fisicoquímicas especiales, dadas por cenizas volcánicas con una predominancia de material amorfo en la fracción arcilla, conocida como alófana, lo que los diferencia de suelos originados por otros materiales. Presentan un relieve ondulado o quebrado y buena profundidad, en general; tienen excelentes condiciones físicas y adecuada estabilidad estructural y permeabilidad, lo que los hace resistentes a los procesos erosivos.

En procura de obtener mayores rendimientos del café, se introdujeron variedades que exigen mayor cantidad de radiación solar, lo que ha ocasionado la modificación o eliminación de la estructura de la vegetación, esencial en la sostenibilidad de este agroecosistema.

En los suelos del Cinturón Cafetero concurren el material volcánico alterado, la humedad relativa, la distribución regular de promedios anuales de lluvias apreciables, la biomasa de bajo contenido de lignina y una hojarasca asociada a una macro y mesofauna, así como a una actividad microbiana y complejos organominerales que sostienen los flujos energéticos entre el suelo y la vegetación.

## Suelos de la Orinoquia

Los ecosistemas de la Orinoquia colombiana son tan únicos y específicos que ni siquiera tienen similitud con los de la Orinoquia venezolana, y sus sabanas tampoco son comparables con las africanas, a pesar de estar localizadas ambas en el trópico. Las sabanas de la Orinoquia colombiana, propias de un trópico húmedo en formación, presentan procesos geoquímicos no finalizados y, por consiguiente, no tienen el mismo tipo de evidencias pedológicas que las sabanas más antiguas del mundo, consolidadas como tales. Estas sabanas son de gran fragilidad y están influenciadas drásticamente por todos los componentes del ecosistema, en especial por los bióticos y por los regímenes hidrológicos, incluidos los desbordes de los ríos y las inundaciones a que están sometidas.

Estos ecosistemas tienen un comportamiento muy dinámico en el tiempo, circunstancia que entendieron y manejaron muy bien las culturas prehispánicas, y que aún

conservan las culturas actuales asentadas en estas áreas. En verano o tiempo seco, gran parte de las sabanas orinocenses presenta una vegetación compuesta básicamente por rizomas y por especies que resisten la quema y los incendios, inducidos o naturales; en ellas las matas de monte, los morichales, los raudales, los bosques de galería cumplen una función esencial para el acceso al agua por parte de la fauna y la población humana. En tiempos secos, la importancia de los ojos de agua, de los caños y, en general, de todas las estructuras boscosas protectoras del agua es crucial para la supervivencia de ciertos vertebrados que se protegen o encuentran un 'oasis' en estos pequeños cuerpos de agua durante las largas sequías.

En el momento en que llega la lluvia a la Orinoquia, el panorama es otro. La dinámica de la sabana tiene una cara diferente: no dominan ni los vegetales que resisten las quemas ni las especies animales que encuentran refugios en los ojos de agua. En los tiempos de lluvia, se está frente a una sabana inundada, con desbordes, en donde los aspectos limnológicos y las dinámicas de los recursos hidrobiológicos predominan frente a cualquier otro componente del ecosistema. En esta gran época de inundación, el fitoplancton, el zooplancton y el perifiton son muy importantes para la nutrición de otras especies y comunidades que resisten la abundancia y el exceso de aguas, sean éstas de tipo faunístico o florístico.

El aprovechamiento comunitario y social de la sabana, introducido y creado por las comunidades humanas que habitan la Orinoquia y por la transhumancia ligada a esos cambios climáticos, son elementos de crucial importancia para la sostenibilidad de los ecosistemas en su dinámica temporal, con unas épocas de verano en las que las sequías pueden durar hasta siete meses y otras de humedad, que inundan gran parte del territorio. El avance de la propiedad privada sobre las tierras de estas sabanas podría introducir algunos ingredientes que dificultarían la sostenibilidad de un medio como éste.

## Suelos de la Amazonia

Los suelos de la Amazonia colombiana, al igual que la región de la Orinoquia, tienen una disponibilidad de complejos orgánicos y organominerales de transcendencia en la oferta de nutrientes, que los diferencia de la Amazonia en general. Contienen proporciones apreciables de arcillas con algún grado de saturación de bases; las zonas aluviales han recibido material andino, el cual mejora la oferta mineral para la vegetación. Existe una fase orgánica notable recirculadora de nutrientes, pero no bajo condiciones de escasez, como ocurre en los amplios territorios de la Amazonia brasileña.

El levantamiento de los Andes también afectó estas plataformas, a través de grandes procesos de sedimentación, seguido de una acción morfoclimática intensa y permanente, que no ha permitido una alteración profunda de los minerales, propia de suelos tropicales. Esta es una de las razones por las cuales no se encuentran corazas férricas continuas y horizontes óxicos consolidados y generalizados.

A estos suelos, sin sus altos índices de biodiversidad y las estrategias desarrolladas por las especies para su permanencia, con carencias minerales y condiciones extremas de pluviosidad, brillo solar y temperaturas, no es posible entenderlos.

## Suelos de las llanuras del Pacífico

La llanura del Pacífico con sus componentes ambientales tiene también dinámicas muy complejas que no pueden entenderse bajo la mirada exclusiva de un estudio clásico de sus suelos. A los suelos del Pacífico, sea que correspondan a las vegetaciones de los dominios marítimos, a la confluencia de aguas dulces y saladas o a los sistemas naturales, que se dan esencialmente exentos de salinidad, hay que mirarlos integralmente bajo todos sus componentes climáticos, hidrológicos, bióticos, etc.

En el Chocó Biogeográfico, las interacciones entre las aguas del mar y las aguas dulces, los pantanos y las llanuras de desborde, con toda la biomasa propia de la selva húmeda que está gran parte del tiempo bajo inundación y adaptada a ella, hacen que la nutrición de las masas boscosas cobre un valor muy especial y complejo: allí la vegetación tiene que soportar, además de ese tipo de aguas freáticas y de inundación, cielos encapotados y pluviosidades por encima de los 5.000 mm anuales, que obligan a otorgarle un valor de extrema importancia a la limnología (el zooplancton, el fitoplancton y el perifiton) y a los recursos hidrobiológicos asociados para el mantenimiento de la nutrición y de los elementos nutritivos que sostienen estas masas boscosas tan exuberantes y densas y con una productividad primaria tan elevada.

Los suelos del Chocó Biogeográfico, al igual que los de la Orinoquia, no existen sino en ese lugar del planeta y en esa zona del territorio colombiano. Por eso no se puede hablar de los suelos del Chocó Biogeográfico sino de sus ecosistemas, en los cuales el suelo es sólo uno de sus componentes y sus dinámicas están asociadas a todas esas condiciones ambientales agresivas y difíciles, si se las compara con las de otros ecosistemas del país.

El manejo sostenible de este ecosistema tiene que tener en cuenta la complejidad y multiplicidad de factores

que entran en juego. Si se utiliza sólo un factor, se tendría dificultades en la adaptación de nuevas especies y en el mantenimiento de la productividad, propia de estos ecosistemas. Por ejemplo, ya se ha informado de las graves dificultades que se presentan en el Urabá para el mantenimiento de la productividad del banano, debido a la degradación de los ecosistemas del Chocó Biogeográfico por la desecación de muchos de sus entornos y la destrucción de su vegetación, en especial la del catival, para dar paso a los cultivos de banano.

Desde luego, no se trata de negar la posibilidad de introducir nuevas especies de gran productividad para los mercados actuales, pero sí de llamar la atención sobre la necesidad de tener en cuenta lo que hay al interior de las dinámicas ecosistémicas. El manejo del desarrollo sostenible en estos medios debe buscar 'copiar' las dinámicas del paisaje y no, transformarlas totalmente: hay que dejar por lo menos ciertos tipos de componentes de gran interés que permitan la supervivencia del ecosistema y no, su degradación.

## Los humedales

Los humedales, localizados especialmente en el norte del país, en la alta montaña y en los valles interandinos, son también sistemas naturales de gran significado desde el punto de vista ecosistémico, social e hidrodinámico. Conforman una parte importante del territorio colombiano y corresponden a ciertas dinámicas tectónicas y sedimentológicas que han acompañado el levantamiento del sistema andino con sus correspondientes subsistemas.

Algunas investigaciones han señalado que estos humedales fueron utilizados con gran prudencia y conocimiento por las culturas prehispánicas que habitaron en sus alrededores, logrando una adaptación al medio del humedal que les permitió usarlo para su beneficio sin destruirlo. Por el contrario, en la actualidad, el hombre moderno y aún muchas de nuestras culturas tradicionales actuales consideran estos entornos llenos de agua como un estorbo para el desarrollo urbano y para la labranza moderna.

Así, cuando se ven emplazadas frente a ellos tratan de sacar sus aguas a través de obras costosas, buscando bien sea la expansión urbana (generalmente para vivienda de los sectores de extrema pobreza o para propiciar invasiones ilegales) o bien, la ampliación de la frontera agrícola. Esta costumbre quizás haya sido tomada de las tecnologías adoptadas por los pioneros en adecuación de tierras del país, desarrolladas por lo general en países con condiciones secas, como México e Israel, olvidándose de que

en Colombia priman las condiciones de humedad y no las xerofíticas. Como consecuencia de esta visión, gran parte de los diseños de adecuación de tierras han sido inapropiados porque han causado la degradación de las tierras, con evidencias graves en muchos sitios correspondientes a tierras no productivas, como las del Caribe, y a algunos valles interandinos, como el Valle del Cauca o el Alto Magdalena.

Para la visión integral de los suelos, los humedales permiten la supervivencia de ciertas especies de vegetación y de fauna nativas, que se adaptan perfectamente a los niveles freáticos altos y a los encharcamientos, sirviendo de amortiguación cuando se desbordan los ríos principales en ciertas épocas del año, con grandes regímenes de precipitaciones; cumplen además una función hidrodinámica de retención de sedimentos y contienen las inundaciones en otras áreas, ya que sirven de colchón para estas aguas sobrantes en épocas de inundación o de desborde.

## Colombia, un territorio en formación

Como bien ha sido reconocido por muchos investigadores y un gran número de buenos observadores, los suelos del territorio colombiano están en formación. Y están en formación con la ayuda de unos factores climáticos muy agresivos. Esta formación, que comienza con el levantamiento mismo del sistema montañoso andino, ha permanecido hasta nuestros días y continuará, a través de una doble acción dada por una alteración y por un truncamiento de esa alteración en los suelos. Todos los desprendimientos del suelo que se dan en las zonas altas de las montañas son el material que, más adelante, va a depositarse en las gargantas de las cordilleras o en las depresiones del sistema andino. La mayor parte de las ciudades importantes del país están ubicadas en depósitos que corresponden a esas dinámicas del sistema.

Es esta la razón por la cual el país no cuenta con los perfiles de suelos propios del trópico húmedo, con todos sus componentes de óxidos, de férricos y de aluminio, que conforman corazas o costras de hierro en otras latitudes o bien, llanuras de depresión, en donde se presenta una bioquímica especial que no permite la formación de arcillas expandibles, componente dominante de esos suelos duros que se resquebrajan y que son impermeables, propios de las llanuras de África.

En Colombia no existe ese tipo de alteración tropical de los suelos, en razón de la juventud de todo el sistema y a su permanente renovación. Además, los suelos del país se han visto matizados permanentemente a través

del tiempo por cenizas volcánicas y productos provenientes de las erupciones de los sistemas volcánicos, que le dan otro significado a la productividad del suelo. Gracias a esta combinación de trópico húmedo en formación, con cenizas volcánicas y con condiciones de altitud, se puede contar en el país con unos cinturones cafeteros de gran productividad y con unas estructuras vegetales protectoras que han logrado una sostenibilidad muy importante en los cafetales con sombrío.

Así, el país se encuentra frente al manejo de unos suelos de trópico húmedo muy jóvenes y deleznable, confinados en un sistema cordillerano bajo condiciones climáticas e hidrológicas agresivas, que conforman en conjunto un medio blando con tendencia a arrancarse y a depositarse cada vez más en las partes más bajas, dando lugar a terrazas, valles y deltas donde se localiza una agricultura intensiva y frente a los cuales se debe tomar ciertas precauciones para el mantenimiento de sus capacidades productivas.

Como bien se observa, el territorio colombiano tiene un medio natural de manejo muy complejo, cuyos elementos no pueden abordarse aisladamente porque se pierde la razón de ser del mismo medio natural, con dinámicas asociadas integrales, por no decir ecosistémicas. Hasta el momento, las evidencias, las observaciones, el conocimiento tradicional y el conocimiento científico moderno indican que para entender el funcionamiento de los suelos colombianos es imprescindible construir una estructura investigativa e informativa que considere de manera integral los procesos naturales y sociales.

También se hace evidente que cada país cuando aborda su medio natural lo hace con ciertos principios de autenticidad y de identidad, puesto que a lo largo y ancho del mundo no hay condiciones naturales similares. Esa es la razón por la cual se ha querido construir un método de aproximación a los suelos que, utilizando los sistemas modernos, le permita al país conocer esas estructuras y esas dinámicas superficiales y subsuperficiales de su medio físico, considerando todos los factores ambientales asociados o que influyen a esas dinámicas naturales.

En principio se observó cómo se dispone de un medio blando, tanto en la montaña como en las llanuras; de un medio que se desliza; que se deposita; que se entalla; que forma deltas y llanuras, y que presenta condiciones fisicogeográficas muy especiales, para las cuales se debe construir una forma de observar, de mirar y de sentir que no distorsione la realidad y que permita la creación de una cultura del conocimiento, dirigida a utilizar en forma sostenible estos entornos tan exuberantes pero tan frágiles.

Esta es la razón para introducir en el conocimiento del suelo de Colombia cuatro componentes que se articulan en el tiempo y en el espacio. Ellos son el ambiente de biodegradación, el techo pedológico, la formación superficial y la morfoestructura geológica, como responsables de una estabilidad, una productividad y una degradación enmarcados en determinados manejos y ciertos tipos de ocupación humana.

Bajo esta concepción, la valoración de la productividad de los suelos colombianos tiene que tener en cuenta el ambiente de biodegradación, representado por la macro y mesofauna, por las poblaciones microbiológicas de bacterias y hongos y por las dinámicas orgánicas asociadas con el almacenamiento o la biodegradación de esa materia orgánica, que hacen posible una nutrición vegetal sin subsidios onerosos para la misma reproducción cultural. Hasta el momento se había tenido en cuenta la materia orgánica como un simple porcentaje representado en carbono, sin considerar todo aquello que tiene asociado y que está influenciando esa dinámica orgánica, tanto encima del suelo como en su interior.

Así mismo, bajo esta mirada integral, la estabilidad de los suelos debe valorarse de acuerdo a su geología, a su formación superficial y a los factores ambientales externos a él, llámese coberturas vegetales o grados de antropización de ese suelo. Una visión corriente de esta concepción del suelo puede tenerse fácilmente en una carretera por cualquier lugar del sistema montañoso, donde haya un corte de la vía. En él se puede ver la geología: unas rocas duras que son el basamento de la estabilidad; sobre ellas, un material marrón o pardo, de un metro o varios centenares de metros, que es lo que se denomina formación superficial y que corresponde a la plástica del sistema donde se dan los eventos geomorfobiológicos más importantes; sobre ella está el suelo y sobre él, una hojarasca, una materia orgánica, una vida animal y vegetal que sustenta a la vez a la vegetación superior y protege los estados nutricionales y de estabilidad física actuales. Allí actúa el hombre.

El atraso en materia de manejo sostenible del trópico húmedo se debe quizás a que se han extrapolado tecnologías apropiadas para otras culturas y otros medios naturales y no se ha tenido el tiempo y la visión para pensar y conocer el manejo y las tecnologías que usaron y usan las culturas prehispánicas en su adaptación al medio tropical; para conjugarlas con el propio conocimiento científico moderno y lograr así el aprovechamiento sostenible de las condiciones de trópico húmedo.

Es claro que hay que emplear las tecnologías modernas para mejorar los métodos de subsistencia tradicionales, para hacerlos más productivos y para disminuir los costos ecológicos y ambientales, pero no se deben utili-

zar la tecnología para borrar el acervo del conocimiento tradicional y prehispánico que ha sabido adaptarse a estos medios agresivos y difíciles.

## Definiciones

### Suelos

Los suelos se han formado a expensas de rocas y de depósitos de materiales transportados, los cuales han estado expuestos a procesos de transformación que llegan por lo general a diferenciarlos del sustrato geológico del cual provienen, merced a la acción de conjunto de los factores del medio, tales como clima, roca madre o formación superficial, relieve y vegetación. La intensidad y la naturaleza de la transformación se expresan en una diferenciación vertical de sus capas superficiales, acentuada de acuerdo con su madurez y desarrollo.

Se distinguen tres procesos básicos en la formación de un suelo: en el primero, la descomposición de la roca y la alteración progresiva de minerales llevan a la formación de complejos de alteración; en el segundo ocurren una serie de migraciones de compuestos o desplazamientos de elementos solubles o coloidales, en tanto que en el último puede darse una acumulación de compuestos orgánicos y organominerales.

Para el observador desprevenido, el suelo es fundamentalmente una formación natural capaz de sostener la vida vegetal, entendiéndose como tal desde la película microscópica y superficial de una roca, que da lugar a que en la superficie en contacto con la atmósfera se produzca un ablandamiento y su fractura para el desarrollo de líquenes, hasta los limos aluviales profundos, suficientes para el desarrollo de un bosque frondoso o simplemente de especies agrícolas.

No es así para el especialista, quien está urgido de aplicar tecnologías refinadas, indispensables para conservar y mantener altos incrementos en la producción de los suelos. Para él, el suelo es motivo de estudios de ciencias multidisciplinarias agrupadas alrededor de la pedología, agrología, agronomía, edafología, geografía, geología y biología, entre otras.

El conjunto de propiedades físicas, químicas y biológicas progresivas que adquieren los suelos bajo la acción combinada de los factores del medio, hacen del suelo un medio natural, complejo y dinámico, con caracteres originales que lo convierten en autónomo, y también, una formación continua en constante evolución, soporte de la vida vegetal.

## Geoformas

Con este término se entiende toda aquella figura sólida terrestre (marina, submarina y continental) originada y moldeada sobre la corteza terrestre por agentes endógenos (esfuerzos tectónicos, magmatismo) o exógenos (agua, viento). Encierra entonces toda la variedad del relieve existente sobre la tierra: montañas, volcanes, valles, terrazas aluviales, ciénagas, glaciares, playas, dunas, son algunas formas del relieve terrestre o geoformas. Puede entenderse la gran variedad de geoformas existentes como el resultado de una materia prima, como es la roca, y la acción del factor tiempo; ambos elementos las construyen.

Son necesarios varios millones de años para crear una geoforma, como un continente, una montaña o un sinclinal, o algunos meses, para un volcán, como el caso del mexicano Parícutín: la dinámica terrestre se encarga de ello. En ocasiones basta tan sólo un gran sismo para cambiar u originar en pocos segundos geoformas completas: el sismo en la región colombiana del río Páez en 1994 modificó en segundos el aspecto superficial de las montañas de la región y generó una poderosa avalancha que, al depositarse, originó una geoforma.

En cuanto a tamaño, las hay desde magnitud continental –la misma Tierra podría considerarse una geoforma– hasta pequeñas, como el nido de termitas (termiteros), construido con suelo y excrementos de animales, cuyas columnas tienen dimensiones que varían desde unos centímetros hasta unos pocos metros de altura; también los castores logran modificar la dinámica de un río. Las microformas tienen magnitud milimétrica: por ejemplo, el cráter dejado por el impacto de una gota de lluvia al caer sobre una superficie arenosa, suelta y desprovista de vegetación.

Todas las actividades humanas se llevan a cabo sobre una u otra forma determinada. Una de las condiciones en la elección del lugar adecuado para la construcción de una ciudad, por ejemplo, es la geoforma sobre la cual se va a asentar: el altiplano de Bogotá ofreció a los colonizadores españoles, hace cinco siglos, las condiciones propicias para establecerse y evolucionar hacia un sistema urbano.

Algunas intervenciones humanas sobre las geoformas llegan a alterarlas: en Colombia, la actividad generalizada de la ganadería extensiva en ladera logra generar microrelieves, denominados ‘camino de ganado’, que modifican la superficie de las montañas y degradan los suelos. La construcción de carreteras sobre geoformas costeras, como las ciénagas donde se desarrolla el mangle, logra obstaculizar el flujo y reflujos de aguas salobres y modificar sensiblemente las geoformas fluvio-marinas.

Otro ejemplo son los asentamientos humanos localizados en zonas inestables.

No sobra aclarar que algunas geoformas, como los altos relieves, determinan el comportamiento climático local y condicionan la distribución de las especies. Son diferentes las especies a barlovento que a sotavento de una montaña, por la simple interrupción que ésta hace a los vientos.

## Sistemas morfogénicos

Relacionados con las geoformas, este concepto va mucho más allá de la simple configuración física del relieve y explica el conjunto de procesos que actúan en un espacio determinado. Los procesos son aquéllos que modifican constantemente las geoformas, especialmente por la dinámica externa. Deslizamientos, derrumbes, escurrimientos hídricos superficiales y flujos de lodo son procesos morfogénicos cuya acción está condicionada por la geología del lugar (tipo de roca y actividad sísmica), condiciones climáticas, pendiente del terreno, clase de suelos y formas de ocupación humana.

Así, resultan varias clases de sistemas morfogénicos, dada la diferenciación de geoformas del territorio colombiano. Se tiene, por ejemplo, que la alta montaña, los litorales y la Orinoquia, entre otros, son sistemas morfogénicos, cada uno de ellos con procesos exclusivos que los hacen diferenciables.

Cada gran sistema se divide en varias unidades espaciales menores, de acuerdo con su representatividad en el espacio y por sus procesos. De esta forma Colombia se puede clasificar en una cantidad apreciable de sistemas morfogénicos, que más adelante se explicarán.

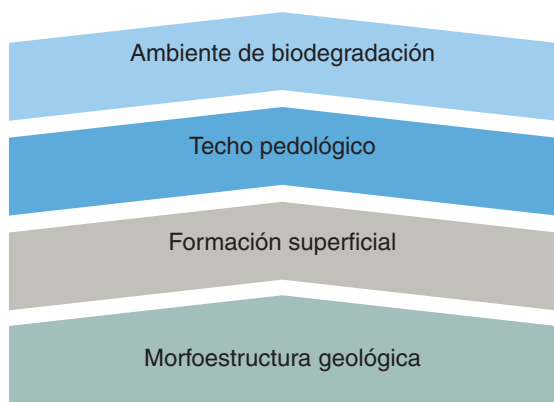
## Marco conceptual

Durante muchos años, la oferta natural se consideró por algunos ilimitada y su calidad, sin posibilidad de mengua alguna. La abundancia de calor, agua, océanos, tierra y biota no permitía, ni planteaba la necesidad, de reflexionar sobre la bondad del método y la tecnología que se empleara para su utilización o para aproximarse al conocimiento del medio socionatural.

Esta mentalidad cultural dio lugar a concepciones equivocadas en relación con el manejo y protección del ambiente. Con la intensificación y densificación de la actividad social y productiva, llegó el uso abusivo y desmedido de los recursos naturales y, por lo tanto, las secuelas de degradación, aniquilamiento y desmejoramiento de su capacidad productora.

Para un mejor conocimiento de los suelos y tierras del país, el Ideam desarrolló un modelo conceptual conformado por una estructura geopedológica y unos parámetros de análisis.

La *figura 6.1* simula la realidad del medio natural, compuesto por las siguientes capas de la superficie de la corteza terrestre: el ambiente de biodegradación u horizonte orgánico, el techo pedológico, la formación superficial y la morfoestructura geológica, denominada 'estructura geopedológica'. Se trata de un desglose físico de capas superficiales y subsuperficiales que han interactuado o interactúan para formar o deformar un suelo, o sea, la disposición actual de componentes biológicos, edafológicos, geomorfológicos y geológicos. Estas estructuras generan procesos internos que se relacionan estrechamente con factores y dinámicas externas, responsables en conjunto de condiciones de productividad, estabilidad y degradación de los suelos.



**Figura 6.1.** Estructura geopedológica. (Fuente: Ideam 1998)

## Conformación de la estructura geopedológica

**Morfoestructura geológica.** Es la capa localizada en la parte inferior de la estructura, compuesta por rocas ígneas, metamórficas, sedimentarias o sus interrelaciones igneometamórficas, etc., que presentan un arreglo de sus componentes con gran significado en la litología, textura y geoquímica de la formación superficial y del suelo.

La morfoestructura geológica puede generar, a partir de la desintegración física y alteración química de sus componentes, una formación superficial, la cual posteriormente, por acción de agentes exógenos, bióticos y geoquímicos, da lugar a un suelo. De igual manera, la morfoestructura geológica puede ser el soporte de un material alóctono, denominado 'formación superficial' y sobre el cual se desarrollará un suelo.

**Formación superficial.** Se define como los mantos de alteración generados a expensas del sustrato y sin transporte apreciable, así como también los materiales transportados y depositados por agentes exógenos sobre la morfoestructura geológica.

El producto de la desintegración física forma el esqueleto del suelo y el de la alteración química, el complejo de alteración. Estos productos son colonizados inicialmente por la microflora (bacterias, algas, líquenes, hongos y vegetales superiores) y luego por la micro y la mesofauna (nematodos, lombrices, insectos), creando un ambiente de biodegradación.

**Ambiente de biodegradación.** Se define como la capa de la estructura geopedológica localizada en su parte superior y que tiene contacto con los factores externos, natural y antrópico. Está conformada por la biomasa que hay sobre y dentro del suelo, incluidas la meso y la microfauna, junto con microorganismos y compuestos orgánicos.

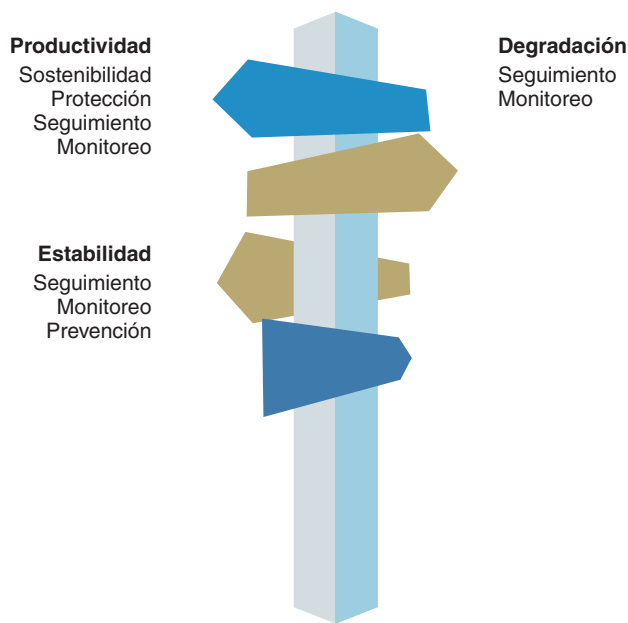
El producto de la descomposición y de la humificación de la materia orgánica orienta la formación del suelo, de acuerdo al clima, al tipo de vegetación y de formación superficial o de morfoestructura geológica, a la altitud, el relieve, la humedad y la historia geopedológica. Posteriormente, por procesos de humectación-deseccación, geoquímicos y bioquímicos, suceden alteraciones y transformaciones del material que pueden incluir migraciones ascendentes o descendentes de elementos solubles o fluidos, determinando en conjunto la identidad de los horizontes que conforman el perfil del suelo.

**Techo pedológico.** Al conjunto de horizontes formados por los procesos citados anteriormente se les ha denominado 'techo pedológico', dentro de la estructura geopedológica, por estar cubriendo las capas subyacentes.

El ambiente de biodegradación se analiza en función de la biomasa y dinámicas biológicas asociadas, factores esenciales en la sostenibilidad de la productividad del trópico y en la nutrición vegetal.

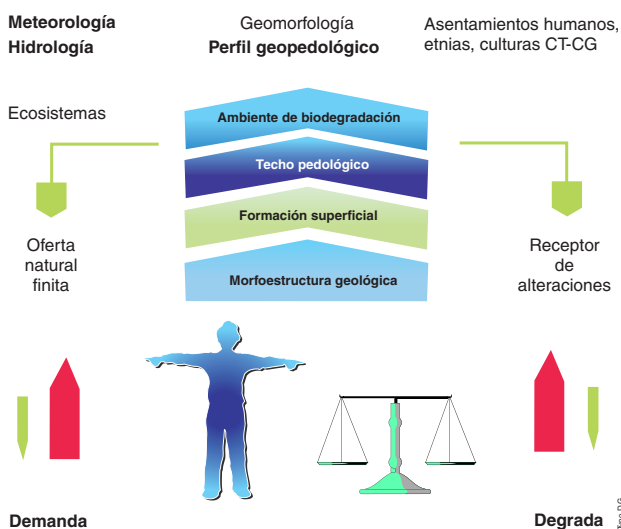
El estudio del ambiente de biodegradación, con todas sus implicaciones sobre el perfil del suelo y sus interrelaciones con la materia orgánica, ayuda al entendimiento de la estructura y la función de los suelos y tierras del trópico húmedo. La vida del carbón orgánico sobre el suelo y dentro de él no puede continuar expresándose como un porcentaje, ya que la variabilidad y la naturaleza de estos contenidos están relacionadas con la geoquímica, altitud, fisiografía, geomorfología y humedad, entre otros.

Los parámetros considerados para orientar el análisis de la información de la estructura geopedológica son la productividad, la estabilidad y la degradación.



**Figura 6.2.** Parámetros orientadores de la información geopedológica. (Fuente: IDEAM, 1998)

Por ello, el Ideam está desarrollando un modelo conceptual para mejorar el conocimiento de los suelos y tierras del país, teniendo en cuenta características predominantes en cuanto a estabilidad, productividad y degradación se refiere. El propósito es diseñar una estructura de información a partir de variables geopedológicas y biológicas, suficientes para entender las dinámicas propias, la oferta, la demanda y las limitaciones, incluidos los niveles de degradación a que están sometidos, y sus relaciones con otros factores naturales y antrópicos que apuntan a lograr el desarrollo sostenible (figuras 6.2 y 6.3).



**Figura 6.3.** Relación de la estructura geopedológica con su entorno. (Fuente: IDEAM, 1998)

## Grandes sistemas morfogénicos del territorio colombiano

Colombia presenta una diferenciación espacial en función de los procesos morfogénicos, los que a su vez están condicionados por la estructura geológica (litología y tectónica), por los elementos y los factores bioclimáticos y edáficos pasados y actuales y por las formas de ocupación de los espacios físicos por parte de los grupos humanos.

En términos del tiempo geológico, el territorio colombiano se considera de formación reciente y en proceso de respuesta a los eventos estructurales y a las modificaciones bioclimáticas generadas y aún en proceso de desarrollo. Esto define unas condiciones geomorfológicas de inestabilidad real y potencial de los diferentes espacios físicos del territorio.

El Ideam, en convenio con el departamento de Geografía de la Universidad Nacional de Colombia, llevó a cabo la identificación y caracterización de los sistemas morfogénicos del territorio colombiano.

De esta manera, en Colombia existen, en general, ocho grandes unidades o macrounidades morfogénicas, cada una con características, comportamiento y procesos diferentes. El *mapa 6.1* muestra estas ocho grandes macrounidades con sus geosistemas correspondientes; es una generalización del mapa nacional a escala 1:500.000, disponible en el Ideam.

### Montaña alta

Bajo esta expresión se agrupan las culminaciones altitudinales del sistema cordillerano andino, o áreas de mayor levantamiento orogénico, y por lo tanto, de mayor energía disponible e inestabilidad real y potencial, que se manifiesta en la transferencia de materiales hacia las áreas bajas, medias y periféricas. Incluye también el contacto inferior de los modelados glaciares afectados por inestabilidad, ligada al cambio abrupto de pendiente, por disección de una red de drenaje concentrada en órdenes mayores y, en general, expuestos a frentes de condensación.

Bajo estas consideraciones, los grandes sistemas morfogénicos definidos en la alta montaña comprenden: Glaciar, Periglaciar, Modelado glaciar heredado y la Montaña alto-andina inestable.

### Montaña media

La montaña media incluye espacios ubicados altitudinalmente abajo de los  $2.700 \pm 100$  msnm. Entre los sistemas morfogénicos más destacados se tiene: altiplanos y sus bor-

des, divisorias de cordilleras, vertientes medias, escarpes tectónicos en retroceso, divisorias de aguas entre cuencas hidrográficas mayores, cañones, valles aluviales controlados y no controlados tectónicamente.

La definición de esta macrounidad se hace por sus características morfoestructurales, entre las que sobresalen:

- La unidad integra desde macizos antiguos, coberturas volcánicas y sedimentarias y complejos metasedimentario-volcánicos.
- Se ubica climáticamente en los pisos andino y subandino, espacios más atractivos para la concentración de la población.
- Se caracteriza por áreas depresionales de origen tectónico, hoy planas y conocidas como altiplanos.

Por criterios de orden geomorfológico, la montaña media presenta características especiales:

- La existencia casi generalizada de alteritas, debido a las condiciones bioclimáticas favorables a la alteración del sustrato.
- Depósitos fluvio-glaciares.
- Los procesos general es se relacionan con la disección y el aporte de sedimentos hacia los piedemontes y llanuras, la torrencialidad de los ríos que ocupan los cañones, la frecuencia de movimientos en masa en las vertientes y la pérdida de suelos por escurrimiento superficial.

## Montaña baja

Se define como montaña baja el conjunto formado por las estribaciones de las cordilleras, la cordillera de la Costa (más conocida como serranía del Baudó-Darién) y algunas de las serranías bajas de La Guajira.

Por ubicación altitudinal, su disponibilidad de energía para desencadenar los procesos ligados a las grandes cuencas hidrográficas es inferior, pero sí reciben sus efectos. Así, una de las características es la ausencia de cañones, pero en cambio se encuentran las gargantas de salida de los cañones (formados arriba) hacia los piedemontes.

La ubicación de las estribaciones de las cordilleras en las partes bajas de las montañas, las hace coincidir con climas cálidos, hecho que implica un potencial alto de alteración fisicoquímica del sustrato. Sin embargo, por causa de la pendiente fuerte, la remoción es rápida y se generan vertientes de retroceso con pendiente cóncava.

Entre los sistemas morfogénicos más importantes dentro de la montaña baja se tiene: los escarpes de retroceso con pendiente cóncava, la precordillera Mandé (Chocó), la cordillera Baudó-Darién, las montañas bajas de La Guajira.

## Depresiones tectónicas intramontanas

Las depresiones tectónicas intramontanas son una macroforma estructural resultante del levantamiento diferencial del sistema cordillerano andino. La orogenia levantó las cordilleras a la posición actual, mientras que las depresiones lo fueron a una altitud menor. Poco antes del levantamiento mayor, en el sistema andino emergían parcialmente las cordilleras y algunas serranías, mientras que los mares interiores (mediterráneos), las ciénagas y los pantanos ocupaban las depresiones hoy conocidas como Magdalena-Cesar, Cauca-Patía, Atrato-San Juan y la llanura de la Costa.

Las depresiones intramontanas bordean paralelamente al sistema montañoso andino y son áreas sedimentarias donde se acumula gran parte de los materiales traídos por los ríos desde los relieves más altos. La sedimentación ha sido un proceso continuo, pero con intensidades diferentes, desde la conformación del sistema andino en el que se identifica en un nivel macro: un sistema de transferencia compuesto por las cordilleras que aportan los sedimentos; la red de drenaje, generalmente encañonada, que los transfiere, y las áreas bajas donde se depositan (áreas de agradación).

Las características geomorfológicas básicas de las depresiones se relacionan con la dinámica fluvial y los depósitos aluviales y aluviotorrenciales correlativos:

- Energía de transporte mínima, por lo tanto dominan los procesos sedimentarios.
- Formación de terrazas y otras formas aluviales.
- La divagación de los ríos define modelados específicos, con ríos trezados (canales anastomosados), ríos meándricos, diques aluviales, cubetas de inundación y ciénagas, entre otros.
- Procesos de disección, escurrimiento superficial y algunos movimientos en masa en colinas, mesas y cerros residuales.
- Por la generalidad de las formas depresionales, los desbordes, difluencias e inundaciones, así como el impacto de los flujos torrenciales procedentes de las montañas, son características esenciales de las depresiones.

En los llanos Orientales, como depresión tectónica lateral al sistema andino, se cumplen en general las condiciones estructurales y morfogénicas señaladas. Sin embargo, se concibe esta unidad bajo el concepto de 'dominio Orinocense' por algunas especificidades relacionadas con las condiciones climáticas del pasado y actuales.

## Litorales

La interacción de los procesos de la dinámica marina y continental hace de los litorales un espacio particular-

mente dinámico de respuesta a los cambios globales, locales y regionales.

El litoral, entendido como interfaz océano-continente, incluye el área de aguas poco profundas, en la que las olas pueden remover los sedimentos, y el área hacia el continente bajo influencia del oleaje, mareas y corrientes de marea, que incluye playas, acantilados, dunas costeras, barras y flechas, entre otras geoformas.

Los litorales colombianos son espacios de alta sensibilidad, relacionada con la orogenia pasada y presente del sistema andino, los efectos neotectónicos (levantamiento, subsidencia, sismicidad), los cambios climáticos (y del nivel del mar), la influencia antrópica tanto en el continente como en el litoral mismo y la dinámica propia del litoral bajo las acciones marinocontinentales.

Como ejemplo, se sabe que durante la última glaciación la costa Caribe estaba 15 km más al norte (Ochsenius, 1981); por lo tanto hubo una mayor amplitud continental del territorio, así como de la extensión insular, pero también, un nivel de base más bajo.

Tanto el litoral Pacífico como el Caribe, se clasifican como 'marginales convergentes' por su ubicación próxima y paralela a los límites de placas litosféricas, hecho que implica movilidad tectónica.

En los litorales se recibe, en gran parte, el efecto del transporte de materiales de la montaña; por lo tanto, es un espacio en proceso de creación por sedimentación. Sin embargo, en los litorales en proceso de levantamiento, las acumulaciones de sedimentos son escasas y dominan los acantilados bajo procesos de abrasión marina.

El litoral Pacífico colombiano muestra condiciones bioclimáticas de ecuatorialidad con alta humedad, mientras que el litoral Caribe evidencia características subtropicales de tendencia seca. Aunque se definieron factores condicionantes de los modelados, ligados a la movilidad tectónica y a las dinámicas convergentes océano-continente, los factores orgánicos inciden en la construcción de modelados específicos, como es el caso de los arrecifes coralinos.

Los grandes sistemas morfogénicos que es posible encontrar en los litorales colombianos son: los acantilados, las terrazas fluvio-marinas, las rías, los estuarios y depósitos litorales recientes, los deltas y el litoral con modelado eólico.

## Dominio Amazónico

Adoptar el concepto de dominio en términos geomorfológicos implica reconocer el funcionamiento de la dinámica externa, ligada en primera instancia a los factores climáticos actuales y estructurales (litología y tectónica) y luego a los factores climáticos heredados.

De otra parte, se entiende la acepción de dominio por la relativa homogeneidad de una macrounidad del tamaño de la Amazonia colombiana y, desde luego, en relación con el tamaño menor de las unidades definidas en los espacios andinos.

Por lo anterior, se caracteriza esta macrounidad como muy húmeda, con valores de precipitación entre 3.000 a 4.000 mm anuales y una temperatura promedio ligeramente superior a 25 °C. Estas condiciones climáticas han permitido el desarrollo de una cobertura vegetal densa, entre los ríos Amazonas y Apaporis, con una variación hacia una selva rala intercalada con sabanas, entre los ríos Apaporis y Vichada, al noreste del dominio considerado.

Los factores citados definen un potencial bioquímico que se traduce en una alteración profunda del sustrato y, por lo tanto, la formación de alteritas que constituyen gran parte de las formaciones superficiales. Todo esto frente a unas acciones mecánicas limitadas y reducidas en extensión. Sin embargo, se exceptúan los afloramientos del Escudo Guyanés en donde, por la escasa cobertura vegetal, las acciones mecánicas son dominantes.

En términos estructurales, la Amazonia puede dividirse en dos grandes unidades: el Escudo Guyanés, con sus afloramientos rocosos hacia el oriente y su prolongación hacia el occidente, cubierto por secuencias sedimentarias que constituyen una plataforma. Al interior de cada una de estas unidades ocurren discontinuidades relacionadas con partes aflorantes del Escudo —'panes de azúcar' o peñoles, entre otros— o relieves levantados de la plataforma que forman mesetas, más conocidas regionalmente como tepuyes.

## Dominio Orinocense

Al igual que cuando se define el dominio Amazónico, se toman: criterios basados en unas formaciones superficiales y modelados heredados, procesos morfogénicos actuales ligados a las condiciones bioclimáticas (autóctonas y alóctonas) actuales y elementos de control estructural, válidos para una superficie de extensión considerable, como lo es la Orinoquia.

Como dominio Orinocense se entiende al espacio comprendido entre los ríos Orinoco (oriente), Arauca-Meta (norte), el piedemonte de la cordillera Oriental (occidente), el río Guaviare (suroccidente) y la divisoria de aguas entre los ríos Guaviare y Vichada (sur).

Climáticamente existen diferencias básicas con el dominio Amazónico: la precipitación anual varía entre 1.500 y 2.500 mm, pero su distribución (régimen monomodal) está concentrado en siete u ocho meses,

hecho que implica un régimen contrastado con un déficit hídrico marcado durante cuatro o cinco meses. De otra parte, la vegetación dominante de sabana y la menor cobertura nubosa permiten una mayor acción de los procesos ligados al escurrimiento superficial y a otros relacionados con los cambios térmicos.

Para el caso específico de los llanos Orientales, la diferenciación de los sistemas morfogénicos, además de los condicionantes estructurales y climáticos pasados y actuales, también está influenciada por la morfodinámica de la cordillera Oriental, con una red de drenaje de tipo torrencial y un transporte importante de sedimentos que, si bien en el presente sólo afecta a los llanos Orientales, en el pasado también afectó gran parte de la altillanura del Vichada-Meta.

Teniendo en consideración lo anterior, grandes sistemas morfogénicos cubren el dominio Orinocense: las geoformas residuales del Escudo Guyanés, la altillanura, los sistemas aluviales de la altillanura, los llanos Orientales y su sistema aluvial.

## Sistemas insulares

El sistema insular colombiano está compuesto por una serie de islas y cayos de diferente composición y origen situados en el océano Pacífico y el mar Caribe.

Los sistemas morfogénicos insulares comparten una dinámica similar a la de los sistemas litorales, excepto que no tienen una comunicación directa con los espacios continentales. Los procesos comunes se relacionan con las acciones marinas (oleaje, mareas, marejadas), tales como la abrasión y los depósitos litorales, así como los acantilados con afloramientos rocosos, playas, terrazas de abrasión y marismas.

Estructuralmente, todas las islas se encuentran cerca de zonas de subducción activas (Pacífico y Caribe), lo que implica la ocurrencia de cambios de nivel y forma, incluso rápidos, relacionados con la tectónica.

En cuanto a la diferenciación por razones bioclimáticas, las islas del Caribe son más propensas a los procesos de escurrimiento superficial y posibilidades de aridización, en comparación con las islas del Pacífico, donde la mayor humedad favorece la formación de alteritas más profundas y un mejor desarrollo de la cobertura vegetal.

En términos de los cambios climáticos globales, vale la pena señalar que durante la última glaciación el mar tuvo un nivel aproximadamente 100 m más bajo que el actual. Esto implicó unas islas más grandes que las del presente y se supone, como ejemplo, que la plataforma sobre la cual están las islas (arrecifes) del Rosario estaría unida al continente.

El sistema insular colombiano está dominado por las islas de San Andrés, Providencia, Santa Catalina, del Rosario, de Barú, de Tierrabomba, Gorgona, Gorgonilla, de Malpelo, Fuerte, de San Bernardo y Tortuguilla; además de numerosos islotes, cayos y bancos de arena.

# Estado actual de los suelos y tierras del país

## Generalidades

### Concepto de zonas ecuatoriales y tropicales

Aunque existen ciertas manifestaciones comunes a estas regiones, tales como la exuberancia, la elevada productividad primaria, las altas temperaturas y regímenes de humedad, los procesos geodinámicos marcan diferencias acentuadas de una región a otra. En el caso de África, la presencia de grandes y antiguas llanuras, relativamente estables en el tiempo, favoreció desarrollos geoquímicos muy marcados. No así en América, donde una tectónica colosal disectó y elevó paisajes, generando un sistema cordillerano de gran elevación, piedemontes, valles interandinos, depresiones, subsidencias y llanuras orientales que, en conjunto, han sufrido una acción morfoclimática muy agresiva, ocasionando una deformación geodinámica de grandes contrastes, recubierta con cierta regularidad por productos de la actividad volcánica. Como resultado, se trata de un dominio de la morfogénesis y una permanente interrupción de fenómenos pedogenéticos por la acción de la erosión y la sedimentación.

En Colombia los regímenes hidrológicos, de precipitación y de variación altitudinal de temperaturas asociadas con materiales geopedológicos muy variados y recientes, moderan la intensidad de los procesos geoquímicos. Esta es la razón por la cual la conformación de suelos ferralíticos y ferruginosos es muy discontinua y localizada, propia de procesos a baja altitud en condiciones cálidas y húmedas.

Además, las temperaturas moderadas y bajas de la media y alta montaña retardan la biodegradación de la materia orgánica, dando lugar a contenidos importantes en el suelo, y la presencia de cenizas volcánicas mejora las condiciones para la acumulación de materia orgánica en el suelo.

Como resultado de no haber sufrido iluviación y lixiviación de los materiales de alteración, es posible encontrar unas existencias apreciables de sustancias nutricionales para las plantas, cuando los materiales y la naturaleza de origen del suelo lo permiten.

## Estados y contrastes orográficos, fisiográficos, geopedológicos y morfogénicos

La dinámica de vertientes, torrencial y fluvial, en sus formas actuales y heredadas, no es simplemente un movimiento de masas de origen gravitatorio y tectónico, facilitado por el agua, sino un trabajo complejo de deformación, acople y consolidación de estructuras geopedológicas, en el que también cuentan la textura, la naturaleza del material coloidal y la geoquímica.

El país está conformado por dos sistemas fundamentales: la región Andina y las llanuras orientales. El primero lo compone, por una parte, la montaña con sus accidentes, tales como los cañones que dan origen a la red de drenajes y a depresiones tectónicas. En ella se suceden procesos de erosión y sedimentación, con predominio de los movimientos en masa y en menor escala, del escurrimiento superficial. Las causas y dinámicas de estos fenómenos son complejas.

La presencia de abanicos, conos de deyección, terrazas, depresiones y cubrimientos de origen volcánico, favorece la acumulación permanente de material fresco y de complejos organominerales suficientes para una adecuada nutrición vegetal. El gradiente de altitud y configuración de la pendiente son factores adicionales para propiciar la estabilidad y acumulación de componentes orgánicos.

Otra parte importante dentro del contexto de región Andina son los litorales, en donde los procesos de erosión, por la dinámica litoral, y los de sedimentación, por la dinámica fluvial, son factores destacados en la estabilidad y productividad de este medio.

Las llanuras Orientales las conforman los dominios de la Orinoquia y la Amazonia. El primero está conformado por geofomas residuales del Escudo Guyanés, la altillanura, los sistemas aluviales de la altillanura y los llanos Orientales. El segundo lo integran las plataformas del Terciario, los sistemas aluviales y algunas geofomas residuales del Escudo.

En las llanuras Orientales, los complejos orgánicos y la dinámica bioquímica asociada a la biota son esenciales en la renovabilidad y productividad de los ecosistemas. Las zonas aluviales con influencias andinas, favorecidas

por procesos de sedimentación y desborde, han sido enriquecidas por minerales retenedores y portadores de elementos básicos para las plantas.

Son muchos los factores que determinan los niveles de productividad en el medio colombiano. Existen diferencias marcadas entre la productividad generada bajo condiciones naturales y aquella dependiente de subsidios, propia de la labranza convencional, en arreglos de una sola especie o monoespecíficos. Los sistemas de producción intermedios han probado ser satisfactorios en la utilización de factores tropicales, generalmente agresivos. A pesar de disponer de medios físicos de formación reciente o en formación, se observa un grado apreciable de estabilidad de formaciones y comunidades vegetales. La pluviosidad, la hidromorfia, la inundación, la salinidad, la escasez de nutrientes, la sequía, la presencia de elementos tóxicos, entre otros, no suelen ser superados en forma sostenible por los agrosistemas de una sola especie. Se requiere adecuar, corregir y agregar nutrientes para obtener rendimientos comerciales.

En condiciones relativamente difíciles para la producción, los vegetales recurren a estrategias de asociación simbióticas, fisiológicas, mutuales, entre otras, para sobrevivir. La adaptación a alta intensidad de brillo solar y a niveles elevados de humedad parece ser básica para las plantas verdes del trópico, y en ausencia de complejos minerales y organominerales, entran en actividad formas de acumulación y reorganización de componentes orgánicos a través de macro, meso y microorganismos que permiten la liberación y captura de elementos básicos en los ciclos de vida de la vegetación.

En la medida que se interrumpen o alteran las alianzas en una comunidad biótica, en especial, aquellas necesarias para la toma, transferencia y transporte de elementos básicos en el trabajo fotosintético óptimo, se da comienzo a una disfunción que afecta la renovabilidad del sistema.

Una comunidad vegetal, a medida que escasean los requerimientos básicos o que no están adecuadamente disponibles, entra en alianza con seres vivos simples y complejos para compensar u obviar las dificultades, o bien, desarrolla estrategias propias que le permitan un funcionamiento fisiológico normal y acorde con códigos biológicos presentes en cada entorno.

El deterioro, la alteración o la interrupción de transferencias energéticas y alianzas entre seres vivos simples y complejos para mantener los ciclos biológicos, es causa de la degradación de los ecosistemas, y su intensidad está directamente relacionada con el grado de afectación de la estructura del sistema natural y de los factores que facilitan su funcionamiento.

Dada la dinámica heredada y actual del territorio colombiano, los espacios y las estructuras físicas están en acomodamiento. Los factores morfoclimáticos y gravitatorios de gran agresividad en presencia de material geopedológico susceptible al arrastre hacen que el dominio morfogénico predomine, en muchos casos, sobre el pedogenético.

Por lo general, se han adoptado formas de evaluación de la estabilidad y la productividad aptas para otros medios y no apropiados para el blando y frágil trópico colombiano. Se tardó mucho tiempo en reconocer procesos dominantes en la dinámica de la erosión, como en el caso de los movimientos en masa. A partir de 1977, éstos comenzaron a aparecer en la información técnica del país, ya que la realidad cotidiana empezó a revelar tendencias marcadas del sistema cordillerano a descolgarse.

Sin embargo, la dinámica orgánica, tan reconocida en la información científica del trópico húmedo, apenas justifica aproximaciones tímidas o insuficientes en Colombia. Es así como se están haciendo esfuerzos por vincular adecuadamente la estructura y el funcionamiento del componente orgánico en los suelos, teniendo en cuenta la edafofauna, los microorganismos y los compuestos orgánicos presentes en el suelo.

## Niveles y factores de productividad

### Ambientes de biodegradación

Hasta hace algunos años no se le daba la importancia suficiente a la dinámica de la materia orgánica del suelo en la sostenibilidad de la capacidad productiva de los sistemas naturales y artificiales: generalmente aparecía tan sólo como un porcentaje de carbón en la caracterización de los suelos y su relación con el nitrógeno. Pero el desarrollo del concepto de la sostenibilidad ha vuelto a revivir el importante papel de la materia orgánica y de los organismos asociados en la conservación y productividad de los suelos.

El tipo de materia orgánica presenta una variabilidad espacial importante de un ecosistema a otro y dentro de cada uno de ellos, tanto horizontal como verticalmente. La composición de la materia orgánica que se incorpora al suelo condiciona su evolución posterior y varía según el tipo de planta, edad y función de cada estructura vegetal. Algunos componentes de la hojarasca activan la vida microbiana, ejerciendo una acción positiva sobre la descomposición, mientras que otros, por el contrario, tienen un efecto negativo.

El contenido, la clase y la composición de la materia orgánica del suelo depende también de factores ambientales (clima, posición geográfica, geoquímica, precipitación, temperatura, uso del suelo, etc.), factores edáficos (humedad, temperatura, pH y aireación, entre otros) y de las funciones bioquímicas de los microorganismos edáficos. Todos estos factores presentan una variabilidad de un suelo a otro: así, en suelos mal drenados, la velocidad de mineralización es lenta, por lo que se presentan contenidos de materia orgánica mayores que los suelos bien drenados. El uso agrícola del suelo implica una aceleración de la mineralización, de tal manera que la materia orgánica preexistente disminuye rápidamente (Rasmusen y Collin, 1991).

Los altos contenidos de materia orgánica y el mecanismo por el cual se acumula están en estrecha relación con la baja rata de mineralización, la cual se ha atribuido a la gran capacidad de los aluminosilicatos amorfos (alófanos) para adsorber los productos húmicos de diferentes grados de polimerización (Malagón, 1975). Esta adsorción y fijación dan lugar a la formación de un complejo muy estable a la biodegradación restringiendo la polimerización de los compuestos orgánicos, impidiendo al mismo tiempo la alteración de la materia orgánica y dando lugar a la acumulación gradual de compuestos orgánicos muy poco o no descompuestos.

Con relación a la productividad de los suelos, la materia orgánica aumenta la fertilidad al regular sus propiedades físicas, químicas y biológicas: con respecto a las primeras, mejora la estructura del suelo favoreciendo la formación de agregados individuales e incrementando la capacidad de retención de agua; en cuanto a las propiedades químicas del suelo, la materia orgánica tiene un efecto muy importante sobre ella al suministrarle elementos nutritivos por medio de la mineralización, ayudándole además a la estabilización de la acidez por su poder amortiguador.

Sobre las propiedades biológicas, la materia orgánica tiene algunos efectos tales como estabilizar la actividad de la flora y la fauna, proporcionar energía y nutrientes a todos los organismos del suelo. Por otra parte, la materia orgánica hace que el suelo sea menos susceptible a la erosión por la mayor agregación y la acción protectora de los residuos vegetales.

Dentro del suelo existe un componente biológico conformado por la mesofauna, la macrofauna y los microorganismos, representados éstos por hongos, bacterias y actinomicetos, asociados a la geoquímica y a las condiciones ambientales de humedad y temperatura para orientar los procesos de biodegradación, de gran significado en los fenómenos de acumulación, producción y transferencia energética de los trópicos.

El componente biótico del suelo constituye una comunidad organizada entre consumidores y descomponedores, todos con funciones relevantes en el proceso de descomposición de la materia orgánica. Es así como la mesofauna – organismos de 100  $\mu\text{m}$  a 1 cm– es la responsable de las microestructuras características de los horizontes H y A<sub>1</sub>, productos de las deyecciones; por su parte, la macrofauna – que incluye a la lombriz de tierra– juega un papel esencial en la estructura de los horizontes A<sub>1</sub> de los Mull activos o poco ácidos y fragmenta la hojarasca incorporándola al suelo mineral. Los anélidos penetran profundamente en los horizontes minerales y devuelven a la superficie parte de las arcillas y de los iones de calcio arrastrados, contribuyendo así al equilibrio y a la permanencia del perfil edáfico.

La mayor intervención de los meso y macroorganismos del suelo tiene que ver con las transformaciones mecánicas, mientras que los microorganismos son responsables de la mayor parte de las transformaciones químicas, correspondientes a los procesos de humificación y mineralización.

## Análisis de las comunidades edafofaunísticas

El Ideam, en convenio con la Universidad Nacional, realizó un trabajo de análisis de las comunidades edafofaunísticas en 13 sitios específicos de tres regiones naturales de Colombia (tabla 6.1). El análisis de este material permite establecer parámetros básicos para entender, no sólo la composición de las comunidades de macroorganismos del suelo, sino también para analizar su participación en los eventos edafogenéticos y antropogénicos en los suelos representativos de cada una de las zonas estudiadas.

## Diversidad bioedáfica

El total de individuos analizados corresponde taxonómicamente a 5 *phyla*, 11 clases, 52 órdenes y 274 familias. Los *phyla* reportados son: Arthropoda, con siete clases (Insecta, Symphyla, Arachnida, Malacostraca, Pauropoda, Chilopoda y Diplopoda), 47 órdenes y 269 familias; al *phylum* Annelida pertenece la clase Oligochaeta con los órdenes Ophistopora, Plesiopora e Hirudinea. Mollusca tiene la clase Gasteropoda, a la cual pertenece la familia representativa Stylommatophora; el *phylum* Nematoda, reportado en varios de los sitios estudiados, cuyas especies no han sido determinadas; Chordata está representado por la clase Amphibia y el orden Anura (tabla 6.2)

Sitios	Phylum	Clase	Orden	Familia
Chisacá	5	7	18	65
Chingaza	5	7	16	52
Monserate	5	7	25	108
Neusa	5	2	15	86
Regadera	5	5	15	57
Monserate B. A.	5	6	16	74
San Luis	5	4	20	85
Caño Limón	5	9	21	123
Puerto Carreño	5	8	20	45
Isla de Gorgona	5	8	24	57
Amacayacú	5	7	18	94
Caquetá	5	6	16	21
Mitú	5	9	30	105

**Tabla 6.1.** Taxa determinados en trece sitios de las zonas andina, orinoquia y de bosque húmedo tropical amazónico. (Fuente: IDEAM-Universidad Nacional, 1997)

La comunidad bioedáfica evaluada en las regiones estudiadas muestra a Diptera y Coleoptera como los *taxa* con mayor riqueza en todos los biotopos. En términos generales, grupos como Hymenoptera, Hemiptera y Homoptera se ubican en un renglón secundario, mientras que el grupo de los Myriapoda (Malacostraca, Chilopoda, Diplopoda, Pauropoda), Oligochaeta y Gasteropoda presentan índices de riqueza sensiblemente bajos.

Phylum	Clases	Órdenes	Familias
Arthropoda	7	47	269
Annelida	1		4
Mollusca	1	1	1
Nematoda	1	0	0
Chordata	1	1	0
Total	11	52	274

**Tabla 6.2.** Diversidad bioedáfica en las zonas andina, orinoquia y de bosque húmedo tropical amazónico. (Fuente: IDEAM-Universidad Nacional, 1997)

Al analizar los resultados de la caracterización de las comunidades edáficas de meso y macrofauna, se observa que el *phylum* Arthropoda es el más diverso y de más amplia distribución geográfica. En la mayoría de los casos la expansión de las especies se debe a las perturbaciones introducidas por el hombre en las características de las comunidades originales; es así como la mayoría de los artrópodos son especies oportunistas o pioneras, y ciertamente se puede argüir que lo que hace a una especie expansiva son sus propiedades genéticas, de las que resulta su adaptabilidad a ecosistemas iniciales, madu-

ros, no intervenidos y, por ello y de forma especial, a áreas perturbadas por el hombre.

Este *phylum* es uno de los más importantes cuantitativamente en la biología del suelo, bien sea por cantidad de individuos, su biomasa y su función trófica o por la variedad de especies que presentan los diferentes grupos. Dentro de este *phylum* los órdenes Diptera y Coleoptera presentan la mayor riqueza en todos los biotopos estudiados; los órdenes como Hymenoptera, Hemiptera y Homoptera presentan una riqueza menor, ubicándose en un renglón secundario, mientras que grupos como Myriapoda (Malacostraca, Chilopoda, Diplopoda, Oligochaeta y Gasteropoda) presentan índices de riqueza sensiblemente bajos.

## Distribución altitudinal de la edafofauna en las regiones estudiadas

Los órdenes taxonómicos más representativos, teniendo en cuenta el número de familias hasta ahora estudiadas, son en su orden: Coleoptera, Diptera, Hymenoptera, Hemiptera, Lepidoptera, Arachnida, Homoptera, Orthoptera, Chilopoda, Diplopoda y Oligochaeta. Todos, a excepción de Lepidoptera, han sido registrados en las sabanas orinocenses; habitan biotopos ubicados a alturas entre 0 y 450 m, en las regiones Amazónica y el andén Pacífico; entre 75 y 350 m, en las sabanas de la Orinoquia y desde 400 hasta 3.500 m, en los valles y montañas de la región Andina.

Coleoptera alcanza su máxima representación en la zona Andina por encima de los 2.800 m, así como en los bosques húmedos tropicales; Diptera, en las zonas de páramo y la Orinoquia (Caño Limón); Hymenoptera, en la zona Andina y en la región de Caño Limón; Hemiptera y Lepidoptera, en el parque natural de Amacayacu (Amazonas); Arachnida, en la región de Puerto Carreño (Orinoquia); Homoptera, en la zona montañosa Andina y en la región Amazónica, y Orthoptera, en la zona Andina, en el bosque pluvial Amazónico y Pacífico, junto con Oligochaeta.

La mayoría de los órdenes presentes en las diferentes zonas estudiadas pertenecen a la clase Insecta, cuya morfología facilita su desplazamiento rápido, ya sea en busca de alimento o en cumplimiento de sus respectivos nichos ecológicos. Este hecho se considera significativo cuando se tiene en cuenta la participación de los organismos como factores activos tanto edafogenéticos, como en su recuperación y conservación en procesos de pérdidas y ganancias, especialmente de materiales orgánicos, transformaciones de elementos minerales y orgánicos y traslocaciones de los mismos en el suelo. El resultado de

tales acciones incide generalmente en el mejoramiento de algunas características físicas, químicas, mineralógicas y biológicas, dejando huellas en el nivel de fertilidad del suelo habitado y laborado por los organismos de la edafofauna.

## Riqueza de las comunidades bioedáficas

Las comunidades bioedafológicas, en diferentes biotopos de las regiones naturales estudiadas, muestran a los bosques húmedos tropicales como los más ricos y diversos, seguidos de las comunidades que habitan los páramos andinos, las sabanas y los bosques de la Orinoquia, así como los bosques altoandinos de la zona central colombiana. La riqueza de las comunidades bioedafológicas analizada en los biotopos de diferentes áreas del país indica que el bosque húmedo tropical presenta el mayor índice de diversidad (0.78), seguido por el páramo (0.72), la Orinoquia (0.52) y el bosque altoandino (0.49). Las diferencias indican la existencia de grupos propios de cada biotopo o de mayor presencia, frecuencia y/o constancia (*tabla 6.3*).

## Niveles tróficos

La evaluación de los niveles tróficos se realizó con base en las categorías propuestas por Wallwork (1970), quien agrupa a los organismos del suelo en saprófagos, omnívoros, herbívoros y predadores. Los resultados se encuentran consignados en la *tabla 6.3*.

Los predadores presentan, en cuanto a porcentaje de grupos, valores desde 37.31% en los páramos hasta 41.38% en la Orinoquia y los herbívoros, desde 32.12% en los bosques húmedos tropicales hasta 36.64% en el bosque alto andino. Los grupos saprófagos representan desde 18.62% en la Orinoquia hasta 23.03% en los bosques húmedos tropicales. Por último, los grupos omnívoros varían desde 4.15% en los páramos hasta 7.59% en la Orinoquia. Dentro del suelo estos organismos ocupan un nivel trófico importante por su acción de control sobre la densidad poblacional de la comunidad bioedáfica. Está constituido en su mayoría por Arachnida, principalmente araneidos, y por Coleoptera, como Staphylinidae, Carabidae y Scydmaenidae; estos organismos son a su vez los más importantes en los diferentes biotopos colombianos y resulta importante destacar el aporte que hacen al medio edáfico a través de sus deyecciones y de sus restos orgánicos, una vez que han cumplido su ciclo vital.

Los herbívoros, eslabón primario de la cadena trófica, presentan a los integrantes de los órdenes Orthoptera

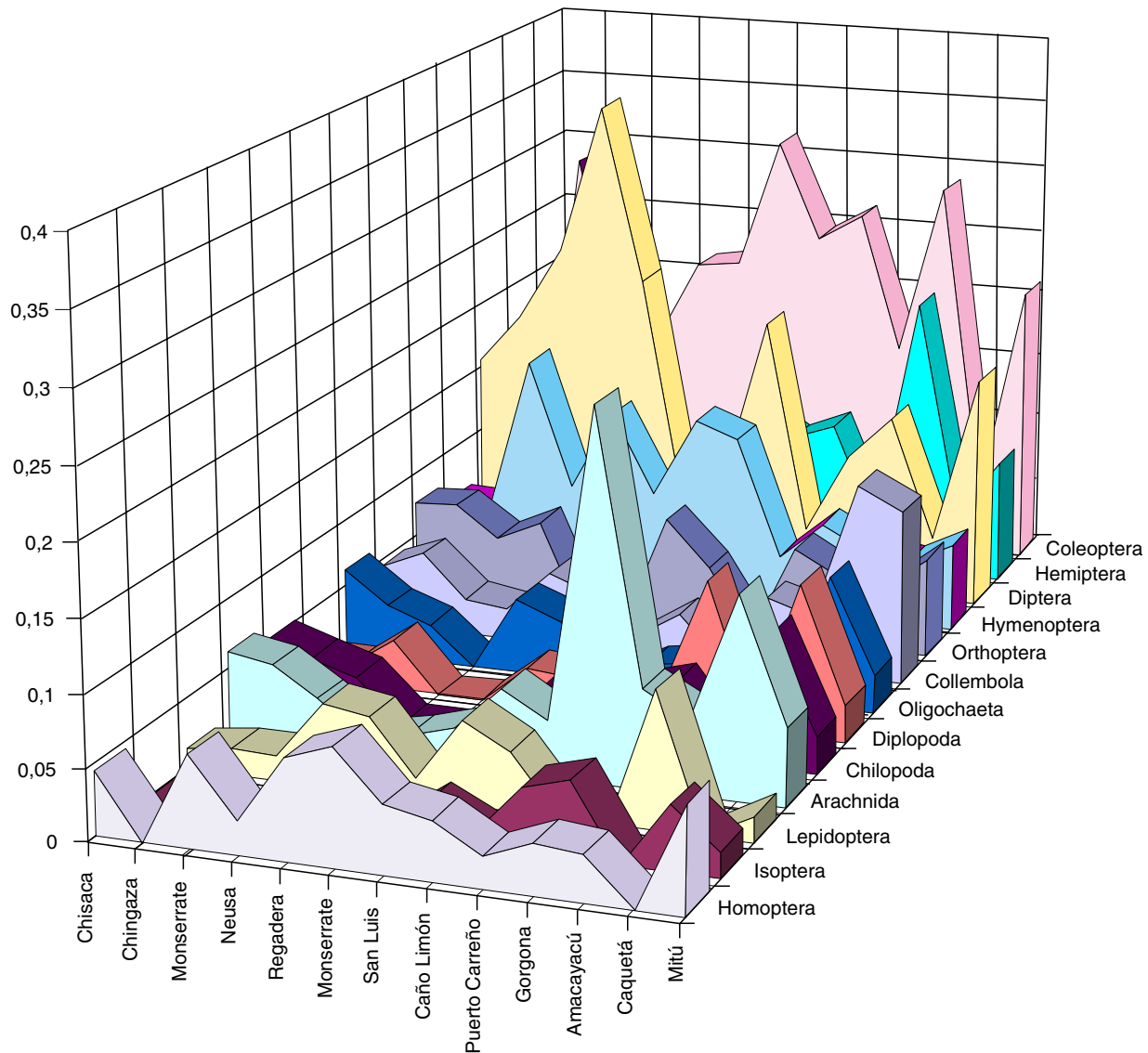
(principalmente organismos saltadores), Coleoptera (primordialmente Carabidae, Chrysomelidae, Cerambycidae, Curculionidae y Scolytidae) y Homoptera (primordialmente Cicadellidae) con alta frecuencia, de la cual depende su importancia en el suelo.

Biotopos	Predadores	Herbívoros	Saprófagos	Omnívoros
Páramo	37,3	36,3	22,2	4,2
Bosque altoandino	41,2	36,6	19,1	6,2
Orinoquia	41,4	32,4	18,6	7,6
Bosque húmedo	38,8	32,1	23,0	6,1
Abundancia	39,2	37,9	17,7	5,1
N° de familias	115	111	52	15

**Tabla 6.3.** Diversidad y riqueza (%) de los niveles tróficos en tres regiones naturales de Colombia. (Fuente: IDEAM-Universidad Nacional, 1997)

Los saprófagos están relacionados principalmente con los procesos de la humificación; tienen organismos como los integrantes del suborden Arthropleona (Poduridae, Entomobryiidae, Hypogastruridae; Collembola; Insecta), Scarabaeidae (Coleoptera; Insecta), gran parte de Acari (Arachnida) y, en general, diferentes especies de Oligochaeta (Annelida), como los organismos edáficos de mayor importancia. Todos estos grupos están bien representados en los suelos estudiados del país.

En cuanto a los omnívoros, son los organismos más abundantes y de mayor incidencia en los procesos dinámicos de circulación de nutrientes en el suelo y al mismo tiempo, los causantes de la disminución de la producción en numerosos agrosistemas; de otra parte, muchos de ellos pueden ser vectores de diversas enfermedades, tanto en animales como en humanos.



**Figura 6.4.** Índice de riqueza para las principales *taxa* en cada sitio de estudio. (Fuente: IDEAM-Universidad Nacional, 1997)

## Frecuencia y abundancia

Por medio de la frecuencia –entendida como la aproximación semicuantitativa del valor de la densidad poblacional– se expresa de forma general la presencia de cada familia y/o gran grupo en los sitios estudiados. La categorización de los resultados se expresa, al igual que para la riqueza, mediante la escala propuesta por Sánchez *et al.* (1992).

Los organismos pertenecientes a las familias (Staphylinidae y Phoridae) son los más frecuentes; les siguen Carabidae, Chrysomelidae y Formicidae; Sminthuridae, Curculionidae y Campodeidae, Poduridae (familia Hypogastruridae), Entomobryidae, Scarabaeidae, Japygidae, Cicadellidae, Acari y Araneae; al igual que Scolytidae, Muscidae, Braconidae, Blattidae (actualmente tratado como orden Blattaria), Gryllidae y Opiliones.

Las altas frecuencias de los organismos citados reflejan el carácter cosmopolita de los artrópodos y más precisamente de los insectos. Por otra parte, los grupos catalogados como altamente frecuentes presentan poca sensibilidad a las restricciones, lo que puede ocasionar cambios desfavorables en las condiciones del medio biofísico que los sustenta; en otras palabras, están mejor adaptados para residir en suelos de diferentes tipos y usos y para resistir a las diferentes condiciones medioambientales que les presenta altitudinalmente la geografía colombiana.

Los organismos catalogados como ocasionales o de baja frecuencia requieren, a diferencia de los altamente frecuentes, condiciones específicas, ya sea en variables de tipo ambiental, edáfico o de alimentación. Sin embargo, el hecho de ser poco frecuentes y, en muchas ocasiones, poco abundantes, no disminuye la importancia que tienen como integrantes de las cadenas tróficas, bien sea de pastoreo y/o como detritívoras, como elementos influyentes en los flujos energéticos y en la circulación de nutrientes.

En cuanto a la abundancia, se observa que las comunidades bioedáficas evaluadas en el país muestran a los *taxa* Collembola, Hymenoptera, Coleoptera, Diptera, Isoptera y Acari con los valores más altos.

Con respecto a lo anterior se puede concluir que:

La comunidad bioedáfica, integrada por miembros poco o muy abundantes, poco o muy frecuentes, controladores de poblaciones o plagas potenciales, con base en sus relaciones y armonía naturales propicia la estabilidad del medio edáfico y la conservación de la utilidad potencial del mismo.

Algunos órdenes como Coleoptera, Diptera, Hemiptera e Hymenoptera son los más frecuentes y

Familias	Zona andina	Orinoquia	Bosque Húmedo Tropical
Blattidae	*		
Pseudococcidae	*		
Pselaphidae	*		
Gryllidae	*		
Oniscidae	*		
Sminthuridae	*		
Campodeidae	*	*	*
Tenebrionidae	*		
Coreidae			*
Formicidae	*		
Phlaeothripidae	*		
Mylabridae	*		
Lumbricidae	*		
Gasteropoda (.)	*		
Anobiidae		*	
Phoridae		*	
Aradidae		*	
Japygidae		*	
Pseudoscorpiones (.)		*	

**Tabla 6.4.** Familias bioedáficas representativas de las zonas andina, orinoquia y de bosque húmedo tropical. (Fuente: IDEAM-Universidad Nacional, 1997)

abundantes; este comportamiento se debe al carácter cosmopolita de los integrantes de estos grupos y además, a la poca sensibilidad a las restricciones que pueden ocasionar cambios desfavorables en las condiciones del medio físico.

## Techo pedológico (perfil del suelo)

Para lograr el desarrollo sostenible es necesario, en primer lugar, conocer los comportamientos o funcionalidad de los activos naturales del país y deducir su manejo sostenible, teniendo en cuenta sus limitaciones y vulnerabilidad frente a las diferentes actividades, tanto antrópicas como naturales.

El suelo es un recurso natural de muy lenta renovación, y en el medio colombiano se caracteriza por ser muy frágil y susceptible a perder su capacidad productiva por degradaciones y contaminaciones, causadas por proyectos de desarrollo, tales como los agropecuarios, viales, energéticos, urbanos e industriales, entre otros.

Con el fin de conocer las bondades y limitaciones de los suelos con relación a los diferentes usos y de contar con unos parámetros que permitan hacer seguimiento sobre niveles de degradación y/o contaminación del recurso, se analizó su información con los indicadores de

productividad, estabilidad y degradación. Esta evaluación se complementará con la productividad y estabilidad de la formación superficial, la litología y los sistemas morfogénicos para tener un concepto integral del perfil geopedológico.

Por capacidad productiva se entiende la disposición natural de un medio dado para producir y mantener la sostenibilidad de acuerdo con la función de los ecosistemas

## Usos y funciones de las tierras y los suelos

Las tierras pueden estar ocupadas o ser parte, entre otros, de:

- Sistemas naturales denominados páramos, de gran significado en la regulación y captación de las aguas que abastecen a las quebradas y los ríos y en la preservación de importantes comunidades vegetales y animales.
- Selvas cálidas, húmedas y superhúmedas, que soportan altos índices de biodiversidad, hoy sometidas a una fuerte presión colonizadora que amenaza su existencia.
- Zonas con estaciones secas marcadas, actualmente muy erosionadas y en vía de recuperación.
- Zonas semiáridas, en ambiente xerofítico, muy intervenidas, las cuales requieren medidas de conservación.
- Sistemas naturales de escasa representación territorial y/o endémicos, tales como el manglar, el catival y el robledal, entre otros.
- Sistemas lagunares, pantanosos y planos de inundación, con funciones de amortiguación de las inundaciones, de protección y reproducción de recursos hidrobiológicos y de generación de bienestar social a las comunidades ribereñas.
- Sucesiones vegetales en zonas donde se removió la vegetación original con diferentes fines, repoblamiento vegetal natural que se puede dirigir, enriquecer y proteger para la defensa de suelos, tierras y recursos naturales conexos.
- Suelos agropecuarios adaptados para sostener cultivos básicos de tipo comercial y tradicional, incluyendo la ganadería. Están presentes en todo el territorio nacional, ocupando las vertientes, los valles interandinos, los páramos, las llanuras costeras y orientales. Por lo general, son sensibles al trato y manejo imprudente a que se les somete.
- Áreas transformadas para servir de anclaje físico a la infraestructura urbana, vial, hidroenergética, de extracción de recursos naturales y en general, a las actividades que traen consigo el desarrollo. Si se toman

las medidas necesarias y se acogen las restricciones ordenadas por las normas y las técnicas se aminorará el efecto de los impactos ambientales negativos y los daños ecológicos podrán ser llevaderos, controlables y/o mitigables.

## Evaluación general de la capacidad productiva de los suelos colombianos

Los suelos y las tierras del país se diferencian ampliamente de aquéllos de otras regiones del mundo. Son muy jóvenes y en su mayor parte reciben influencias tropicales agresivas: altas temperaturas, brillo solar intenso y lluvias abundantes. Son notorios los paisajes montañosos de la región Andina y los paisajes de llanura de la región Oriental.

Los primeros, por lo general, son blandos y con tendencia a la erosión por escurrimiento superficial y a los movimientos en masa. También contienen un complejo organomineral importante que les confiere una relativa estabilidad productiva frente a perturbaciones, incluida la labranza. La firmeza de los entornos es marcada en las zonas tapizadas por cenizas volcánicas y sus alteraciones; lo es además en aquellas zonas donde el régimen de lluvias, el tipo de cobertura vegetal y la naturaleza litológica permiten una escorrentía moderada o de efectos autorregulados.

Los segundos, con una mejor consolidación física, presentan mayor fragilidad biológica ya que su productividad está supeditada a los contenedores biológicos como lo son: la flora, la fauna y la microbiota. En conjunto, la vegetación nativa cumple un papel importante en la conservación y en los fenómenos de biodegradación y estabilidad de contenidos orgánicos en los suelos, fundamentales en la permanencia de la alta productividad primaria. Las consideraciones excepcionales tropicales para la exuberancia y el crecimiento se mantienen si se manejan con prudencia estos procesos. En la medida que la degradación de estos sistemas naturales sea pronunciada, será mayor el esfuerzo de enmiendas y correctivos para mantenerlos en producción y, en esa proporción, será necesario emprender trabajos de control de la erosión y de utilizar cantidades crecientes de agroquímicos.

Los suelos tropicales van de la mano con el clima tropical que los modela y altera, con la vegetación que los protege y con los seres vivos en general que reciclan o simplemente retienen nutrientes. Los suelos tropicales de Colombia deben considerarse como un elemento soporte, en mayor o menor grado, del sistema natural y no, como un cuerpo inerte y aislado.

## Capacidad productiva de un suelo

La productividad de un suelo es la resultante de:

- Condiciones externas, tales como la temperatura, la precipitación, el brillo solar, la duración del día.
- Propiedades físicas, como aireación, humedad, textura, entre otras.
- Propiedades químicas, entre ellas la oferta de nutrientes y el buen funcionamiento de los mecanismos de liberación y de intercambio de las sustancias nutritivas en el suelo.
- Propiedades biológicas, como son: una materia orgánica adecuada y la actividad edafofaunística y microbiológica intensa, participando en el almacenamiento y en la liberación de nutrientes para el crecimiento vegetativo.
- Comportamientos y características de las formaciones o comunidades vegetales.

## Vulnerabilidad

El suelo, cuerpo natural y vivo, por causas antrópicas es susceptible a perder su capacidad productiva. A continuación se presentan algunas de las condiciones esenciales y de alta sensibilidad que determinan el funcionamiento satisfactorio del suelo de varias regiones del país:

### Sabanas del Caribe

- Déficit de agua aprovechable para la vegetación, en el que puede concurrir la precipitación escasa, la distribución irregular de las lluvias, la rata de infiltración alta y la fuerte evapotranspiración y evaporación.
- Existen condiciones ambientales que favorecen la erosión por escurrimiento hídrico superficial.

### La Guajira

- Déficit extremo de precipitación y aguas superficiales.
- Coberturas vegetales fundamentales en la protección de las aguas y los suelos, con estados sucesivos de muy lento crecimiento.

### Cordillera

- Páramos, que conforman sistemas naturales endémicos y de escasa representación territorial. Las condiciones climáticas críticas hacen el desarrollo sucesional muy lento.

- Zonas abrigadas con estaciones secas marcadas, que muestran un crecimiento sucesional muy lento, las cuales, unidas a la escasa presencia de vegetación y a la propensión a la erosión hídrica superficial, son fácilmente desprotegidas.
- Zonas húmedas y muy húmedas, que conforman medios propensos a ‘descolgarse’ bajo condiciones naturales, a través de derrumbes y deslizamientos generalizados. La intervención antrópica sin la adopción de las precauciones geotécnicas debidas acelera estos procesos.
- Los cañones y las gargantas estructurales, desfuegos del sistema cordillerano, que representan amenazas y riesgos que se deben evaluar para disponer de los planes de contingencia necesarios.

La región Andina en conjunto contiene complejos orgánicominales, que se acentúan hacia la media y alta montaña, influenciados por cenizas volcánicas y por sus productos de alteración. Este material es susceptible a degradarse cuando, por cambios bruscos en los arreglos multiestratificados, se afecta profundamente el microclima y la composición biológica y química de la biota.

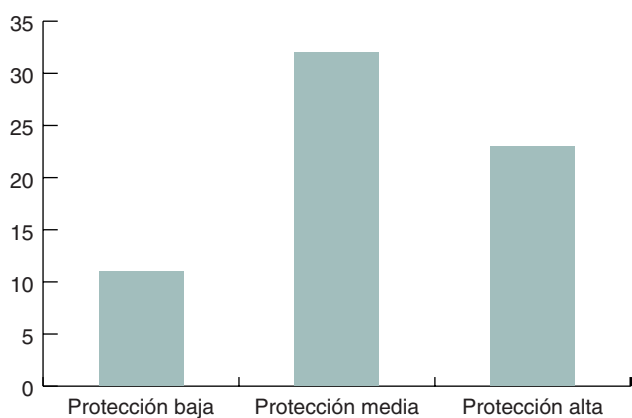
### Llanuras Orientales

- Tanto la Orinoquia como la Amazonia tienen en común complejos orgánicos que retienen y liberan elementos nutritivos esenciales en la renovabilidad de la biota. Estos contenidos son muy limitados y están asociados a la biota edáfica y al microclima generado por los arreglos y estratos vegetales.
- Las llanuras Orientales de la Orinoquia contienen algunas estructuras boscosas, como los bosques de galería, morichales y matas de monte, fundamentales en la conservación de las aguas, los suelos, la fauna y la flora.

### Estado actual de los suelos

El suelo, por ser el soporte natural de la mayoría de las actividades del hombre, está permanentemente expuesto a diferentes tipos de intervenciones que, de alguna manera, alteran el estado natural de equilibrio o de tendencia evolutiva. El estado actual de los suelos depende fundamentalmente del grado, tipo e intensidad de intervención antrópica, tomando como referencia la capacidad de carga y de respuesta natural que tengan las tierras.

La intervención antrópica sobre los suelos puede ocasionar efectos tanto positivos como negativos, los cuales pueden ser inmediatos, en el corto o largo plazo; ser instantánea o progresiva y de carácter reversible o irreversible.



**Figura 6.5.** Áreas de protección de la cobertura vegetal frente a la degradación. (Fuente: IDEAM, 1998)

ble. El estado actual, y por ende la calidad de los suelos, también puede ser afectado por factores naturales lentos, rápidos (fenómenos y catástrofes naturales) o progresivos, por cambios globales naturales o inducidos.

Es importante anotar que los suelos del trópico colombiano deben considerarse como un componente del sistema natural que cumple funciones sistémicas, que se afectan cuando la vegetación natural y su estructura son intervenidas, desequilibrando el sistema e iniciando procesos de degradación. Esto se debe a que al ir perdiendo el suelo su protección, se desestabiliza el ciclo del carbono orgánico y los nutrientes en el conjunto suelo-vegetación, responsables de la acumulación y recirculación de nutrientes, fundamentales en la productividad primaria, así como de los procesos protectores y regeneradores del suelo.

La degradación se manifiesta en:

- Pérdida de elementos protectores y regeneradores del suelo, como lo es la vegetación natural.
- Pérdida de funciones reguladoras y protectoras de las aguas, cuando se elimina la vegetación copiosa y densa en los nacimientos de las aguas y las cañadas.
- Erosión y sedimentación con efectos negativos en suelos agropecuarios y en el deterioro físico de la infraestructura de desarrollo, con la mengua de los servicios que presta.
- Suelos compactados por empleo excesivo de maquinaria pesada y por el uso continuado de riego por inundación.
- Áreas contaminadas por desechos y aguas negras urbanas, por residuos industriales tóxicos o bien, por agroquímicos que los inhabilitan para usos convencionales.
- Salinización, por efectos de diseños y operaciones inadecuados de distritos de adecuación de tierras.
- Desestabilización de vertientes, por perturbación o modificación imprudente de las formaciones super-

ficiales, de los fenómenos de escorrentía y de vertimientos en general, con consecuencias en la operación vial, los asentamientos humanos y la actividad social en general.

- Pérdida de suelos productivos al instalar en ellos ciudades, industrias, embalses.

Para el conocimiento del estado ambiental de los suelos en el territorio colombiano se tomaron como referencia los estudios “Coberturas vegetales, uso y ocupación del territorio” (Ideam, 1996), “Procesos de erosión y sedimentación en Colombia” (Ideam, 1998), “Evaluación de los sistemas de producción agrícola en áreas de agricultura intensiva del país; degradación de suelos y aguas por efectos de plaguicidas” (Ideam, 1996).

## Grado de protección de los suelos según la cobertura vegetal

De acuerdo con la *figura 6.5*, en el país existen, en la actualidad, unas áreas de protección por la cobertura vegetal frente a procesos erosivos, esas áreas se han dividido para el país en tres grandes grupos: protección baja, protección media y protección alta.

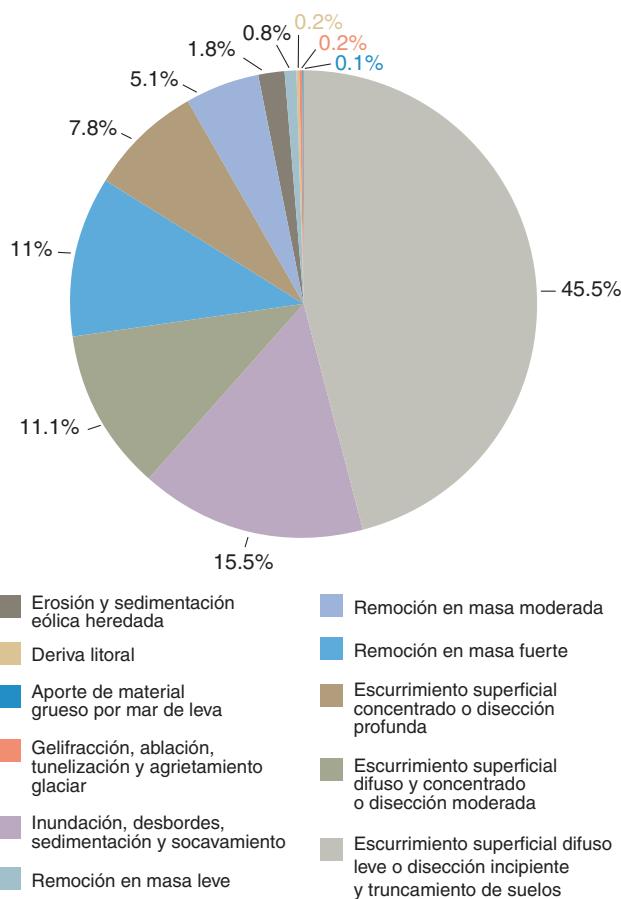
Dentro del grupo de protección baja se encuentran las coberturas vegetales clasificadas como ‘muy escasas’ (o ‘de porte bajo’) y la ‘escasa’; en el grupo de protección media, las clasificadas como coberturas vegetales ‘discontinuas’ y ‘en grupo’; finalmente, dentro de las de protección alta se incluyen las coberturas vegetales ‘semicerradas arbustivas’ y las ‘continuas’.

La figura mencionada permite deducir que, en el país, las coberturas vegetales clasificadas como de protección media representan 32%, frente a 23% de las de protección alta (sin considerar la protección amazónica) y 11% de las de protección baja.

Existe una diferencia marcada a la modificación o eliminación de la cobertura y su estructura, que controla el clima y la susceptibilidad del suelo. Los suelos de la alta montaña, con déficit hídrico, con complejos orgánicos predominantes y en pendientes fuertes, tienen mayor vulnerabilidad a la desprotección.

## Degradación de suelos en áreas de agricultura intensiva

Se considera como área de agricultura intensiva a las zonas planas o de pendientes suaves, mecanizables, a veces con programas de adecuación de tierras –distritos de riego y drenaje públicos y particulares–, destinadas en general a cultivos agroindustriales o a ganadería intensiva o semintensiva; son exigentes en agroquímicos, como



**Figura 6.6.** Procesos de degradación por erosión y sedimentación. (Fuente: IDEAM, 1998)

fertilizantes y pesticidas. Igualmente hacen parte de esta categoría los suelos de la zona Cafetera localizados en las vertientes cordilleranas en una franja altitudinal entre los 1.000 y 2.000 msnm.

Sin contar la zona Cafetera, en agricultura intensiva el área total es de 4'364.467 hectáreas, localizadas en las llanuras del Caribe, valles interandinos de los ríos Cauca y Magdalena, altiplanos cordilleranos de la región Cundiboyacense, Nariñense, Santandereana y en el piedemonte Llanero (tabla 6.5).

Cuando se habla de degradación física de estos suelos se hace referencia especialmente a dos procesos: el primero se relaciona con la desmejora de la estructura y sus efectos negativos en la producción, por los siguientes hechos:

- Reducción o restricción del área de toma de nutrientes, agua y anclaje del cultivo
- Reducción de la tasa de infiltración, la cual fomenta encharcamientos
- Reducción en el intercambio gaseoso que debe darse en el suelo y la planta
- Reducción en el desarrollo radicular, afectando las densidades de población y en general la productividad de la planta

- Reducción de las características adecuadas para una buena actividad de la flora y fauna del suelo, en el proceso de hacer de la materia orgánica un dispensador de nutrientes y coloides, mejoradores de las características fisicoquímicas y biológicas del suelo

El segundo proceso es la erosión, o pérdida de suelo, bien sea por el viento en tiempo seco y suelos desprotegidos de cobertura vegetal o por el arrastre superficial del suelo a las corrientes, por el agua lluvia que escurre.

Las causas principales de la degradación física son los tipos, patrones de mecanización y labores culturales no adecuadas. Se manifiesta con la compactación de los primeros centímetros de suelo, conocida como capa de arado, la pérdida de la estructura y el afloramiento de horizontes no aptos para usos agropecuarios.

En estas zonas de agricultura intensiva existe contaminación de suelos y aguas por el manejo y sobredosis de agroquímicos, llámense fertilizantes o pesticidas, ocasionando impactos ambientales a nivel del desarrollo de los organismos del suelo, responsables de procesos biológicos, que mantienen una oferta biogeoquímica en los suelos del trópico colombiano.

No.	Zonas productivas	Departamento
1	Zona Bananera (Urabá)	Antioquia
2	Planicies del Atlántico y Bolívar (Canal del Dique)	Atlántico y Bolívar
3	Distrito de Prado y Sevilla	Magdalena
4	Valle de los ríos Cesar y Ariguaní	Cesar
5	Valle del río Sinú	Córdoba
6	Altiplano de Rionegro	Antioquia
7	Valle del río Zulia	Norte de Santander
8	Valle del río Lebrija	Santander
9	Valle de Samacá	Boyacá
10	Valle del río Chicamocha	Boyacá
11	Altiplano Cundiboyacense	Cundinamarca-Boyacá
12	Zona Tocaima-Girardot	Cundinamarca
13	Llanuras del Tolima (río Magdalena)	Tolima
14	Piedemonte Llanero	Meta
15	Valle del río Cauca	Valle del Cauca
16	Llanuras del Huila (río Magdalena)	Huila
17	Altiplano Nariñense	Nariño
18	Ábrego	Norte de Santander
19	Aquitania	Boyacá
20	Sibundoy	Putumayo

**Tabla 6.5.** Áreas de agricultura Intensiva en pendiente suave en Colombia. Fuente: IDEAM, 1996.

No.	Cultivos	Área (ha)	Degradación física compactación				Degradación química y biológica					Total
			Alta	Media	Baja	Subtotal	Contaminación por agrotóxicos			Subtotal	Salinización	
							Alta	Media	Baja			
1	Banano, plátano	118.780			1	1			1	1		2
2	Arroz, sorgo, maíz, tomate, yuca,	302.280	3			2	3			2	3	7
	Palma africana y plátano				1				1			0
3	Arroz, sorgo	289.512	3			2	3			2	3	7
	Palma africana y banano				1				1			0
4	Arroz, algodón, sorgo	1'506.458	3			2	3			2	3	7
	Palma africana				1				1			0
5	Arroz, algodón, sorgo	308.679	3			3	3			3		6
6	Papa, frijol, flores	23.264			1	1	3			3		4
7	Arroz, sorgo	26.202	3			2	3			2		4
	Palma africana				1				1			0
8	Arroz, sorgo	471.014	3			2	3			2		4
	Palma africana				1				1			0
9	Cebolla	2.484	3			3	3			3		6
10	Hortalizas	14.570			1	1			1	1		2
11	Papa, flores, cebada, trigo	181.246	3			3	3			3	3	9
12	Arroz, algodón, sorgo	33.061	3			3	3			3	3	9
13	Arroz, algodón, sorgo	315.770	3			3	3			3	3	9
14	Arroz, maíz, sorgo	173.701	3			2	3			2		4
	Palma africana				1				1			0
15	Algodón, sorgo, vid	410.326	3			2	3			2	3	7
	Caña de azúcar				1				1			0
16	Arroz, maíz, sorgo	48.245	3			3	3			3		6
17	Papa, cebada, trigo	115.105		2		2	3			3		5
18	Cebolla, frijol	6.087		2		2	3			3		5
19	Cebolla, papa	6.292	3			3	3			3		6
20	Frijol	10.394		2		2			1	1		3

**Tabla 6.6.** Degradación de suelos en áreas de agricultura intensiva de pendientes suaves. (Fuente: IDEAM, 1998)

La acidificación y la toxicidad, por el mal manejo de los fertilizantes y pesticidas, y la salinización, especialmente por diseños, operación y mantenimiento deficientes de los distritos de riego y drenaje, son otras de las causas de la degradación de los suelos.

En la *tabla 6.6* se dedujeron las áreas más afectadas por compactación, intoxicación por agroquímicos y salinización de suelos, a partir de información obtenida y procesada por el Ideam (1996) sobre una evaluación de los sistemas de producción agrícola y su relación con la degradación de los suelos; por lo tanto, los resultados son una aproximación indirecta que refleja un bosquejo del estado de la degradación de los suelos.

La degradación por compactación se obtuvo a partir del análisis de: tipo de cultivo, si es perenne o transito-

rio; implementos de labranza utilizados y su efecto en el daño de la estructura del suelo. La contaminación por agroquímicos se dedujo del producto, ingrediente activo, categoría de toxicidad y dosis por cultivo, y la salinización se generalizó por región a partir de la información de los estudios de suelos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

En la *tabla 6.6* se presentan los niveles alto, medio y bajo de degradación por compactación, agroquímicos y salinización, siendo alto 3, medio 2 y bajo 1. Para cada región se hace un promedio de sus ponderaciones y la suma de los promedios da un valor de importancia de la degradación del suelo.

De acuerdo con la información de la *tabla 6.6* se concluye que todas los suelos en agricultura intensiva de zona

plana presentan degradación física, química y biológica. Las áreas más afectadas por compactación, contaminación por agroquímicos y salinización, son: la altiplanicie Cundiboyacense, la zona Tocaima-Girardot y las llanuras del Tolima.

En cuanto a los suelos más afectados por compactación, se encuentran en las áreas del río Sinú, llanuras del Tolima, Aquitania, llanuras del Huila, zona Tocaima-Girardot y altiplano Cundiboyacense.

Los suelos más afectados por contaminación con agrotóxicos corresponden al altiplano de Rionegro, altiplano Cundiboyacense, llanuras del Tolima, llanuras del Huila, zona Tocaima-Girardot, río Sinú, Aquitania, valle de Samacá y Ábrego.

Las tendencias a la salinización se presentan en las planicies de Atlántico y Bolívar, zona de Ciénaga y Fundación, valles de los ríos Cesar y Ariguaní, altiplano Cundiboyacense, zona de Tocaima - Girardot, llanuras del Tolima y en el valle del Cauca; una extensión aproximada de 3'038.653 ha presenta alguna susceptibilidad a procesos de salinización en áreas de agricultura intensiva.

Los suelos de la región Cafetera cubren un área de 1'009.000 ha, de las cuales 60% está bajo sombrero y 40%, sin sombrero. La degradación de suelos en cafetales de sombra o tradicional es mínima, en comparación con los cafetales que requieren máxima exposición solar; la interrupción de la dinámica ecosistémica los ha vuelto más dependientes del hombre, quien tiene que recurrir a los agrotóxicos y a sobrecostos en insumos para mantener la productividad.

Como degradación física predomina la erosión hídrica, especialmente en suelos sobre rocas metamórficas, con pendientes superiores a 75 %, longitudes largas con presencia de cascajo, incluso recubiertas con capas de diferentes espesores de cenizas que, aunque le imprimen estabilidad estructural, presentan movimientos en masa por discontinuidad litológica.

Los suelos cafeteros sobre rocas ígneas ácidas son arenosos o pedregosos, de superficiales a medianamente profundos, con baja retención de humedad y localizados en pendientes mayores de 60% y longitudes largas, lo que los clasifica como altamente susceptibles a la erosión.

Los suelos cafeteros de origen sedimentario se localizan principalmente en la cordillera Oriental; por lo general son arcillosos, con pedregosidad sobre y a través del perfil, baja capacidad de retención de humedad, drenaje interno deficiente, llegando a encharcamientos en áreas planas que limitan su uso y en pendientes fuertes, a un déficit de agua para el cultivo. Por esta razón, la Federa-

ción Nacional de Cafeteros recomienda en estas zonas el cultivo con sombrero.

## Degradación de suelos en áreas con alta densidad de infraestructuras

El desarrollo socioeconómico del país se ha centrado en su gran mayoría sobre la región Andina, con sus cordilleras y accidentes de características inestables determinadas por la influencia de una estructura geopedológica blanda, aunadas a la variabilidad y agresividad del clima propio del trópico. Sobre estas áreas inestables se ha hecho necesario construir una amplia red de infraestructura, especialmente vial, la cual en muchos casos ha interrumpido el equilibrio natural al realizar cortes de suelos y formaciones superficiales que cumplen funciones de drenaje hipodérmico, concentrando las aguas de escorrentía y originado muchas veces procesos de remoción en masa. Otro de los efectos ocasionados por los cortes de taludes (vías) es la interrupción o pérdida de las líneas de infiltración o circulación de aguas subsuperficiales, alterando la dinámica hídrica natural.

Las zonas inestables con mayor proporción de procesos de remoción en masa sobre los ejes viales del país se localizan: en la región Andina, principalmente en los pasos transversales de las cordilleras; en la cordillera Oriental, donde se destacan la vertiente centro-oriental, interceptada por los ejes viales que comunican al Llano, y la cuenca del río Chicamocha, con la infraestructura vial que conduce de Duitama a Bucaramanga, Pamplona y Cúcuta; la vertiente occidental de la cordillera Oriental en el occidente de Boyacá y Cundinamarca, en los ejes viales que atraviesan la cuenca de río Negro y Minero (autopista Bogotá-Medellín y Chiquinquirá-Puerto Triunfo). En lo que respecta a la cordillera Central, los sectores más afectados se localizan en el Eje Cafetero, en los departamentos de Antioquia, Tolima y en la parte centro-oriental de los departamentos de Cauca y Nariño. En la cordillera Occidental se destaca la vertiente occidental localizada sobre los departamentos de Nariño, Valle del Cauca, nororiente del Chocó y occidente de Antioquia.

De igual manera, se destaca el aniquilamiento de los suelos ocasionado por la expansión de las ciudades y las zonas de préstamo con explotaciones intensivas de materiales para construcción.

En la costa Atlántica y en los valles del Bajo Magdalena, especialmente en áreas cenagosas, por el paso obligado de vías se construyen rellenos y se cambian drenajes, lo que produce efectos negativos en las características fisicoquímicas de los suelos, muchas veces, de carácter irreversible.

## Niveles y factores de estabilidad

Estudios realizados en el país sobre estabilidad de los suelos y tierras demuestran la influencia marcada de los componentes morfoestructurales y geoquímicos en la firmeza de los paisajes naturales. Las evidencias de este comportamiento se manifiestan con mayor fuerza en los sistemas montañosos. De esta manera la estabilidad está afectada por cinco grandes procesos:

- Movimientos en masa
- Esguerramiento superficial
- Dinámica fluvial
- Torrencialidad
- Flujos de lodo en la alta, media y baja montaña

Los paisajes tropicales del país presentan diversos grados de estabilidad, que dan origen a limitaciones que pueden condicionar el uso social y el manejo técnico. Como característica básica se señala la blandura y la tendencia a la erosión, aún en condiciones naturales. En el sistema montañoso húmedo y muy húmedo predominan los movimientos en masa, generalizados en muchos sectores, mientras que en las zonas con estaciones secas marcadas es notorio el esguerramiento superficial. La actividad de la montaña se manifiesta en las zonas bajas, representadas por gargantas, valles y depresiones que, en conjunto, soportan procesos de sedimentación. La torrencialidad afecta el sistema de drenaje montañoso andino y la dinámica fluvial es muy agresiva en el entalle del Cuaternario por parte de los principales cursos de agua, fenómenos que repercuten en los procesos deltáicos y de colmatación de sistemas lagunares.

En la estabilidad del medio físico interviene un factor histórico de formación de los paisajes, determinado por procesos heredados de alteración, denudación, pedogénesis y acumulación. Los fenómenos actuales están regulados, en su orden, por los componentes: morfoestructural, formación superficial, techo pedológico, ambientes de biodegradación y cobertura vegetal. La capacidad de este arreglo frente a la acción morfoclimática determina el mayor o menor grado de estabilidad.

## Marco geodinámico nacional (estabilidad de la morfoestructura geológica)

Al igual que desde el punto de vista biológico, Colombia es variada en características mineralógicas, litológicas y tectónicas. El hecho de estar emplazada en la convergencia de tres placas tectónicas –Caribe, Nazca y Suramericana, las dos primeras de tipo oceánico y la úl-

tima, continental–, hace que el país se comporte como una especie de cuña sujeta a las fuerzas de choque entre estas estructuras. Como resultado se tiene un sistema orográfico formado a través de varios millones de años, concretamente el gran levantamiento u orogenia de los Andes, que se inició hace cinco a siete millones de años (Van der Hammen *et al.*, 1973, citado por Flórez, 1995) y continúa hoy día. Los sismos, los deslizamientos, los volcanes activos, las inundaciones son ejemplos de un relieve dinámico y en formación.

Aquellos grandes movimientos tectónicos lograron construir en esta esquina noroccidental del continente Suramericano cuatro cordilleras (Oriental, Central, Occidental y Baudó o de la Costa), valles interandinos que separan las cordilleras (valles de los ríos Magdalena, Cauca, Atrato-San Juan y Patía) y que reciben los sedimentos provenientes del sistema montañoso. Al oriente, extensas llanuras rellenas de depósitos recientes sobre rocas antiguas y estables (Orinoquia y Amazonia). Al relieve se suman algunos sistemas montañosos aparentemente independientes, como la Sierra Nevada de Santa Marta y la serranía de la Macarena, ambos extraordinarios: el primero es el macizo litoral más alto del mundo y el segundo, un sistema compuesto parcialmente de rocas muy antiguas (Paleozoico y Precámbrico) que alberga una biodiversidad única en el mundo.

El gran levantamiento de los Andes colombianos, a varios kilómetros de altitud (las cordilleras Oriental, Central y la Sierra Nevada de Santa Marta sobrepasan los 5.000 msnm), trajo consigo alteraciones en el sistema climático regional. Las montañas han servido desde su formación de barrera a los vientos, afectando su circulación local y regional y condicionando, por ejemplo, el desarrollo de ecosistemas como el caso de las actuales vertientes del piedemonte Llanero o del Pacífico, cuyas fuertes precipitaciones sustentan una vegetación densa, única en estas áreas. Igualmente, las fuertes pendientes aumentan el potencial hidrogravitatorio de las aguas corrientes y con ello, la inestabilidad del sistema andino.

La diversidad geológica es tal que es posible encontrar desde formas eólicas fósiles en los llanos Orientales, resultado de paleoclimas fríos pero secos, hasta casi el centenar de estructuras volcánicas de todo tipo en la cordillera Central. Este último aspecto resulta de gran interés ya que, desde la formación del relieve colombiano, el magmatismo ha sido elemento activo, como así lo demuestran algunas rocas del Escudo Guayanés al oriente colombiano, los macizos en la cordillera Oriental (macizos de Garzón, Quetame, La Floresta y Santander), las rocas de la Sierra Nevada de Santa Marta y otras tantas en la cordillera Occidental y del Baudó.

El magmatismo, a través de su manifestación externa, el volcanismo, sigue estando presente sobre el territorio colombiano mediante la manifestación de sus volcanes activos. Grandes depósitos de material volcánico yacen ahora sobre las vertientes de las cordilleras, en especial de la Central, en donde los suelos derivados de las cenizas volcánicas son aprovechados en la agricultura (Eje Cafetero, por ejemplo). Del casi centenar de volcanes sobre la cordillera Central, 20 entran en la clasificación de activos y muy peligrosos por su explosividad. El Galeras ha sido declarado el volcán de la Década.

Como resultado de estas conclusiones, se tiene diferentes grados de estabilidad morfoestructural, que se observan en el *mapa 6.2*.

La cordillera Central es una clásica combinación entre rocas oceánicas y continentales (rocas ígneas y metamórficas), indicando que en el pasado fue una zona de subducción o choque de placas tectónicas. Su configuración topográfica presenta pendientes abruptas, afectadas por actividad sísmica y volcánica reciente, que en conjunto confieren alta inestabilidad al medio superficial.

Por su parte, la cordillera Occidental está conformada por rocas volcanosedimentarias, con intrusiones granodioríticas que le imprimen las mayores altitudes a la cordillera (cerros Tatamá y Caramanta y Farallones de Cali, que superan los 3.900 msnm). Este sistema montañoso sirve de barrera a los vientos húmedos del Pacífico, dando origen a una de las zonas más lluviosas del mundo y por ende, a una alta inestabilidad en sus vertientes, ayudadas por la presencia de la zona sísmica de Murindó (Noroeste Antioqueño).

Por su parte, las zonas andinas montañosas de la cordillera Oriental son moderadamente estables y están constituidas principalmente por rocas sedimentarias plegadas formando sinclinales y anticlinales y con depósitos volcánicos locales (parte de los suelos del altiplano Cundiboyacense se derivan de lluvias de ceniza volcánica procedentes del eje de la cordillera Central). El borde oriental de la cordillera (piedemonte Llanero) es una de las zonas sísmica y tectónicamente más activas del país, hecho que podría interpretarse como una evidencia del continuo crecimiento y levantamiento del relieve: de hecho, la población de Villanueva (Casanare), por ejemplo, está sobre una terraza aluvial levantada un poco más de 100 m.

Los valles interandinos que separan las cordilleras son verdaderas depresiones tectónicas limitadas por fallas y rellenos de sedimentos Terciarios y Cuaternarios, por donde drenan los principales ríos del país. En algunos sectores de estos valles interandinos, como los del Magdalena y Patía, los sistemas montañosos adyacentes hacen que los vientos circulen sin detenerse, formando

ambientes secos donde actúa muy bien la erosión por medio de los escurrimientos hídricos superficiales. Sobre los depósitos recientes de ambiente fluvial y lagunar, las corrientes de agua cambian de curso provocando desbordes periódicos.

El fuerte potencial hidrogravitatorio de las vertientes y la actividad volcánica y sísmica dieron origen a que en sus piedemontes se desarrollaran conos de deyección aluviotorrencial; allí, por estar formados de sedimentos de poca consolidación y relativa buena fertilidad, se asientan importantes actividades agrícolas y centros urbanos. Por ser un relieve resultante de eventos tectónicos, es de esperar un gran fracturamiento y fallamiento de las estructuras, que, en general, tienen sentido sureste-noreste con fallas menores este-oeste, aprovechadas por la red de drenaje para instalarse y aumentar el poder de disección por parte de los ríos.

Sobre las llanuras Orientales, un sustrato sedimentario poco consolidado, de edad Terciaria, ha permitido la configuración de un modelado de disección incipiente en la plataforma de los departamentos de Caquetá y Putumayo, con actividad sísmica intermedia y fallas con actividad reciente; un conjunto de factores que condicionan alta inestabilidad para el área.

En la región Amazónica dominan las rocas del Terciario inferior, las cuales constituyen una plataforma entre moderada y profundamente disectada, constituida por sedimentos arenosos y arcillosos con estructura tabular horizontal a subhorizontal con plegamientos suaves. Los sedimentos arcillosos son de poca consolidación y permiten su fácil remoción, en una zona donde la precipitación anual es mayor a 3.000 mm y hay una marcada disección debido a la red de drenaje dendrítica.

El afloramiento de rocas ígneas y metamórficas del Escudo Precámbrico se presenta en los departamentos de Guaviare y Caquetá bajo procesos de degradación y mesetas levantadas (tepuyes), constituidas por rocas sedimentarias muy antiguas, caracterizadas por un modelado eólico residual, que conforma paisajes muy estables. Estructuralmente es un área estable con amenaza sísmica baja.

De otra parte, las rocas sedimentarias del Cretáceo y Terciario que conforman terrazas y colinas, afectadas por una red de drenaje divagante y sedimentación continua por el acarreo de materiales desde la cordillera y del entalle de la llanura de desborde, configuran una zona moderadamente estable en el sector comprendido entre el piedemonte oriental de la cordillera Oriental, el río Meta y la frontera con Venezuela.

Sobresalen en los llanos Orientales algunas zonas estables, en sectores de Vichada y Meta, conformadas por los peñoles del Escudo, con procesos de desagregación,

pedimentos tallados en el Escudo muy degradados y la altillanura plana, ondulada y disectada.

En los sistemas aluviales, tanto de la Amazonia como de la Orinoquia, la inestabilidad está dada por la ocurrencia de periodos de inundación y sedimentación.

El litoral Pacífico colombiano puede caracterizarse en dos dominios geológicos –norte y sur–, de acuerdo principalmente con sus características tectónicas y estructurales, pero también con base en sus rasgos litológicos, morfológicos y sísmicos.

El sector norte comprende la franja desde la ensenada de Catripe hasta Panamá, cuyo dominio tectónico corresponde a un fragmento de corteza oceánica levantada y acrecentada al continente. Litológicamente se caracteriza por rocas máficas y ultramáficas y sedimentitas intercaladas con basaltos, en tanto que desde el punto de vista sísmico es considerada como una zona de alto riesgo, con una fuente de sismos asociada en general a fallas locales. La morfología litoral dominante es de costas acantiladas, con presencia común de deslizamientos.

El sector sur, que comprende desde la ensenada de Catripe hasta el límite con Ecuador, tiene un dominio tectónico de relleno de cuenca formada por colisión y acreción al continente y está constituido principalmente por rocas sedimentarias. El riesgo sísmico en la zona es considerado alto, con sismos asociados principalmente a la zona de subducción, y fenómenos de *tsunami* en el litoral. La morfología de sus costas se caracteriza por el amplio desarrollo de zonas de manglares y planos aluviales y deltáicos recientes.

En la costa Pacífica se considera que la mayor actividad sísmica se produce en la zona del Darién, seguida en menor intensidad por el sector Cauca-Nariño y finalmente, en Buenaventura, con un grado inferior.

En el litoral Caribe, las llanuras aluviales están formadas por depósitos recientes de ambiente fluvial, marino y lagunar y surcadas por cauces que cambian de curso, provocando desbordes ocasionales. Las llanuras inundables se caracterizan litológicamente por sedimentos finos de origen fluvial y lacustre del Pleistoceno, en tanto que los conos, terrazas, y relieves tabulares o plegados adyacentes a los valles inundables se han desarrollado sobre sedimentitas del Terciario superior de origen marino, fluvial y lacustre.

En sectores de serranías costeras bajas de Córdoba, Sucre y Bolívar, se ejemplifica zonas de relieve tabular o plegado disectado o en vías de degradación, constituidas por rocas sedimentarias consideradas como estables, sometidas a bajos promedios de lluvias y a una amenaza sísmica intermedia.

Los macizos residuales de La Guajira, constituidos en general por rocas sedimentarias y metamórficas de alta consistencia, presentan baja amenaza sísmica, y según sus características estructurales, son de bajo riesgo y muy estables.

La región insular de San Andrés y Providencia se considera muy estable, dados su relieve bajo, la moderada precipitación y la presencia de rocas sedimentarias moderadamente consolidadas e ígneas volcánicas estables.

## Formaciones superficiales

El término formaciones superficiales ha sido utilizado en el área de las ciencias de la Tierra para referirse, como lo indica su nombre, específicamente a la parte superior de la superficie terrestre, donde afloran la roca ya alterada y los diferentes depósitos o acumulaciones resultantes de la erosión y su transporte. En consecuencia, las formaciones superficiales están constituidas por el conjunto de materiales entre el suelo y la roca sana, es decir, la roca, no en su estado natural, sino alterada o degradada por efectos físicos, químicos, biológicos y/o climáticos; así mismo, son también formaciones superficiales, todo tipo de depósitos de diferente origen (glaciar, aluvial, coluvial y eólico). La posición de las formaciones superficiales hace que ellas estén siempre expuestas a procesos bioclimáticos y antrópicos, mientras que el sustrato (roca sana) no lo está más que en forma eventual (Campy, 1989).

Las formaciones superficiales se dividen en dos clases: autóctonas y alóctonas. Las primeras son producto de la alteración (desintegración y descomposición) de las rocas *in situ*, cuyo material no ha sido removido y/o transportado por algún agente natural. Al material resultado de estos procesos se le denomina alterita (*figura 6.7*). El tipo de alteración y su intensidad dependen de la naturaleza de la roca –principalmente de su porosidad y permeabilidad, que permiten, por ejemplo, el acceso del agua a la roca y facilitan la desagregación– y del ambiente bioclimático en que se encuentre.

Una arenisca, por ejemplo, es por naturaleza dura y se resiste a su alteración, pero puede ser atacada finalmente en su material cementante desagregando los granos de arena; su componente principal –el cuarzo– puede permanecer inmune por su propia dureza. Es posible observar a lo largo de la cordillera Oriental grandes escarpes de arenisca formando relieves altos y abruptos, que indican su dureza y resistencia a la alteración.

Las lutitas (roca sedimentaria) poseen poco cuarzo y tienden a descomponerse formando alteritas arcillosas, muy inestables en climas húmedos.

Casi todas las rocas ígneas tienen como componentes minerales olivinos, piroxenos y anfíboles, todos ellos fácilmente alterables. Por lo tanto, una roca ígnea, como un granito, en un clima húmedo se alterará más fácil y rápidamente que si lo estuviera en un ambiente seco. Si la roca tiene alta proporción de cuarzo y feldespato, formará una alterita de textura gruesa, de fácil lixiviación, y en clima cálido-húmedo su fertilidad será baja y media en climas más fríos. Los granitos presentes en la cordillera Central en zonas muy lluviosas están convertidos en alteritas, generalmente de mucho espesor, y en la superficie presentan una alta inestabilidad.

Las cenizas volcánicas, muy frecuentes en la cordillera Central, son fácilmente alterables, con un desarrollo relativamente acelerado, convirtiéndose así en un material poroso y permeable. El Eje Cafetero colombiano está sobre gruesas acumulaciones de ceniza volcánica que le imprimen buena fertilidad a estos suelos.

Las formaciones superficiales alóctonas, por el contrario, son las resultantes del arranque, transporte y depósito de materiales detríticos por agentes como el agua, viento, hielo, etc.; en cuanto a las acumulaciones, como es el caso de las morrenas, provienen del arranque y transporte por parte del hielo. Las diferentes acumulaciones, como planicies de inundación y terrazas aluviales, pertenecen a las formaciones superficiales alóctonas de origen aluvial, y los conos o abanicos fluviotorrenciales o los lahares comunes en los piedemontes de las cordilleras colombianas, cuyos materiales provienen de grandes remociones en partes altas y medias de las cordilleras, son de origen aluviotorrencial.

Como se puede deducir, las formaciones superficiales en Colombia son, tanto un componente importante en la evolución del paisaje, el entendimiento de la erosión y de la dinámica de vertientes (deslizamientos, derrumbes, etc.), como un elemento sobre el cual crece la vegetación y se desarrollan casi todas las actividades humanas.

## Estabilidad de las formaciones superficiales en el país

El territorio colombiano, especialmente la zona Andina por su propia naturaleza, es en su mayoría inestable. Su relieve y la influencia tectónica, asociados a otros aspectos como el clima, los procesos de alteración física y química de las rocas, la retención de la humedad y la pendiente, inciden y condicionan en mayor o menor grado la estabilidad de las formaciones superficiales del país.

La estabilidad de estas formaciones se muestra en el *mapa 6.3*, que representa las grandes unidades de estabilidad de acuerdo con la potencialidad y severidad de los procesos morfodinámicos que afectan las formaciones superficiales.

Esta apreciación cualitativa permite predecir las zonas con mayor grado de susceptibilidad a la inestabilidad y será además un punto de partida para visualizar en conjunto el comportamiento de la misma en el país. Según este mapa se tiene:

## Zonas muy inestables

En general, en Colombia se aprecia una gran inestabilidad en las zonas de cañones de las cordilleras; es decir, en las depresiones profundas por las que corren ríos torrentosos. Las fuertes pendientes, en unas alteritas muy deleznable, evidencian el sentido de desequilibrio: fue el caso de la avalancha del río Páez (1994), en donde un sismo sacudió vertientes con alteritas ya saturadas de humedad en un cañón que condujo todo el material desprendido.

Los cañones son muy inestables debido a que se encuentran generalmente sobre líneas de falla y fracturas con control parcial de la red de drenaje. Tienen una profundidad de 100 m hasta 1.000 m, en relación con las divisorias y, por lo general, sobre pendientes muy fuertes. En estas zonas predominan procesos erosivos importantes, como los desplomes, derrumbes frecuentes y flujos torrenciales.

Otras áreas particulares, calificadas como muy inestables son:

- El piedemonte Caqueteño y parte del piedemonte del departamento del Meta
- El suroccidente de Santander
- Los cañones en la serranía de San Lucas
- Los cañones del departamento de Antioquia y en la Sierra Nevada de Santa Marta.

## Zonas inestables

Las áreas calificadas como inestables se refieren a vertientes conexas a los cañones, en las que tienen presencia grandes procesos de remoción en masa. Estas vertientes medias, con y sin cobertura de productos volcánicos, reflejan una inestabilidad debido a que presentan alteritas espesas y arcillosas con pendientes medias. Allí se desarrolla una disección acelerada con deslizamientos rotacionales y una inestabilidad permanente de la red vial. Entre algunas áreas inestables se tienen en Colombia:

- Las vertientes onduladas de la cordillera Central, por conformar flujos volcanodetríticos cubiertos por gruesas capas de cenizas volcánicas, en las que es común la disección profunda, los deslizamientos y los flujos torrenciales.

Clase	Origen	Tipo
Autóctonas	Orgánico y bioquímico	Depósito de turba (turbera)
		Tierra diatomea
		Arrecife coralino
		Evaporita
	Orgánico y bioquímico	Depósito de bauxita
		Depósito calcáreo (caliche)
		Depósito ferralítico
		Depósito níquelífero
		Paleosuelo
		Otro
		Alterita arenosa
		Alterita arcillosa
		Alterita limosa
		Alterita arenoarcillosa
		Alterita arenolimosa
		Alterita limoarenosa
		Alterita limoarcillosa
		Alterita arcillolimosa
		Alterita arcilloarenosa
Alóctonas	Antrópico	Relleno
		Relleno sanitario
		Botadero
	Glaciar	Depósito glaciar
		Masa de hielo y nieve
	Aluvial	Depósito aluvial
	Eólico	Depósito de arena
		Depósito de limo (loess)
	Lacustre y palustre	Depósito lacustre
		Depósito palustre
	Litoral	Arena marina
		Lodo marino
		Depósito de conchas
		Depósito marino
	Denudacional	Depósito coluvial
		Depósito de talus o derrubio
		Depósito de movimiento en masa
	Volcánicos	Depósito de ceniza volcánica
		Depósito piroclástico heterométrico
		Depósito de lapilli
Diapírico	Depósito de lodo	
Mixtos	Lahar	
	Depósito fluvio-glaciar	
	Depósito fluvio-torrencial	
	Depósito glaciolacustre	
	Depósito fluvio-lacustre	
Otro		

**Figura 6.7.** Clasificación general de las formaciones superficiales (Fuente: Ideam, 1998)

- Los flancos del río Patía y sus afluentes, ya que se encuentran sobre capas volcanosedimentarias falladas con divisorias cóncavo-convexas en afloramientos rocosos, cubiertos parcialmente por cenizas volcánicas, con un clima de tendencia seca y fuerte incidencia de escurrimiento superficial, que implica un alto grado de amenaza por desertización.
- Los cañones en condiciones de tendencia seca y el sistema Güaitara-Patía, por corresponder a pliegues y fallas, formando cañones profundos inestables en los que predominan los flujos torrenciales frecuentes, algunos derrumbes ocasionales y el escurrimiento superficial difuso y concentrado.
- Los cerros y las mesas muy degradadas en los valles interandinos, por formar mesas residuales cubier-

tas por material de desagregación bajo un clima con tendencia seca; presentan un escurrimiento superficial difuso y concentrado con formación de surcos y cárcavas, que evolucionan hacia una desertización.

- En los piedemontes (altos de los ríos Mira y Patía) en donde se encuentran conos formados por flujos fluviovolcánicos de pendientes medias a fuertemente inclinadas, con predominio de movimientos en masa, del tipo derrumbe, ligados a la deforestación.
- Las llanuras aluviales en estado avanzado de deterioro en la Depresión Momposina que, bajo un clima ecuatorial, se disectaron moderadamente y son una amenaza hacia una mayor degradación.
- En los sistemas aluviales de la altillanura, la terraza derecha del río Meta, con una configuración irregular y discontinua por socavamientos laterales.
- Y por último, en los sistemas aluviales de los llanos Orientales, la llanura aluvial actual presenta ríos trenzados y meándricos inestables por su constante divagación, aluvionamiento, socavación lateral, desbordes e inundaciones periódicas.

## Niveles y factores de degradación

### La erosión en Colombia

En sentido estricto, la erosión es el arranque de los materiales sustraídos al terreno; en sentido amplio abarca el transporte aluvial y la sedimentación (Inderena, 1977). Son variadas y complejas las causas, formas y dinámicas de la erosión del suelo en Colombia.

El relieve y la naturaleza de las formaciones superficiales y geoformas, así como la influencia tectónica, asociados a otros aspectos como el clima, los procesos de alteración, la retención de la humedad y la pendiente, inciden y condicionan en mayor o menor grado los diversos tipos de erosión que se manifiestan en el país.

Mediante la caracterización de los sistemas morfogénicos de Colombia (Ideam-Universidad Nacional, 1996), se determinaron los procesos erosivos y de sedimentación de cada unidad, los cuales fueron representados espacialmente (*mapa 6.4*). De esta manera, a través de una apreciación cualitativa, es posible conocer la dinámica de los factores de la erosión, un punto de partida para visualizar en conjunto su comportamiento.

Para la representación geográfica de los procesos, éstos se agruparon en los mapas de acuerdo con el grado de intensidad, frecuencia y génesis, no siendo en ningún

caso una clasificación teórica de los mismos, pero sí una ordenación de acuerdo con la presencia y potencialidad del fenómeno en cada sistema morfogénico.

La cuantificación de los procesos corresponde al área total de las unidades morfogénicas, en las que se presenta o es potencial el proceso, y no indica el área real del fenómeno.

Los principales tipos de procesos erosivos y sedimentógenos que actúan (y/o son potenciales) sobre los grandes sistemas morfogénicos colombianos son:

### Erosión hídrica superficial

- Esgurrimiento superficial difuso leve o disección incipiente y truncamiento de suelos
- Esgurrimiento superficial difuso y concentrado o disección moderada
- Esgurrimiento superficial concentrado (surcos y cárcavas) o disección profunda

### Remoción en masa

- Remoción en masa fuerte (derrumbes frecuentes y/o deslizamientos, flujos torrenciales)
- Remoción en masa moderada (soliflucción profunda, desplomes frecuentes, derrumbes y deslizamientos ocasionales)
- Remoción en masa leve (soliflucción moderada, sufusión, tunelización y golpes de cuchara)

### Erosión fluvial

- Socavamiento

### Erosión glaciár

- Gelifracción, ablación, tunelización y agrietamiento glaciár

### Procesos litorales

- Aporte de material grueso por material de leva
- Deriva litoral

### Inundaciones y desbordes

- Aluvionamiento y sedimentación

### Erosión eólica

- Deflación

Procesos	Totales (ha)	%
Esgurrimiento superficial difuso leve, o disección incipiente y truncamiento de suelos	51.588.306	45,5
Esgurrimiento superficial difuso y concentrado, o disección moderada	12.564.047	11,1
Esgurrimiento superficial concentrado o disección profunda	8.848.434	7,8
Remoción en masa fuerte	12.440.010	11,0
Remoción en masa moderada	5.797.737	5,1
Remoción en masa leve	899.492	0,8
Inundación, desbordes, sedimentación y socavamiento	17.591.229	15,5
Gelifracción, ablación, tunelización y agrietamiento glaciár	264.378	0,2
Aporte de material grueso por mar de leva	130.351	0,1
Deriva litoral	269.223	0,2
Erosión y sedimentación eólica heredada	2.043.306	1,8

**Tabla 6.7.** Procesos de erosión y sedimentación predominantes en Colombia (IbEAM, 1998).

Como se puede apreciar en la *tabla 6.7*, se deducen las siguientes observaciones:

- Sobre casi la mitad del territorio colombiano actúa o es potencial algún tipo de esgurrimiento hídrico superficial.
- Las remociones en masa (flujos torrenciales, deslizamientos, desplomes, derrumbes, soliflucción), consideradas como un proceso grave, ocupan 16% de la superficie nacional. Las zonas identificadas con procesos de remoción en masa, inundaciones y desbordes, aunque presentan menor extensión, por lo general son las que generan mayores impactos negativos en pérdidas humanas, el recurso suelo y la infraestructura.

En el *mapa 6.4* se localizan los diferentes procesos de erosión y sedimentación en las diferentes regiones del país, y manifiesta el estado actual de éstos en Colombia. De manera muy general, los principales procesos por regiones son:

Los fuertes procesos de remoción en masa, que se concentran en la región Andina por sus características topográficas, geomorfológicas y litológicas, coincidiendo con la región donde se concentra la población.

Los esgurrimientos, que se encuentran en todas las regiones naturales como consecuencia de factores topográficos como la pendiente, la pérdida de cobertura vegetal y/o una casi constante precipitación. En las regiones Amazónica y Pacífica, a pesar de una cobertura vegetal casi extendida, actúa un esgurrimiento leve. Caso contrario sucede en la Orinoquia donde, por la cobertura vegetal baja y escasa, actúa con mayor intensidad el esgurrimiento, al igual que en la región Caribe.

Los procesos de gelifracción, ablación (fusión del hielo) y tunelización, que afectan a los glaciares en la alta montaña, considerados un proceso natural.

## Glaciares colombianos: expresión del cambio climático global

### Glaciares colombianos como relictos de la última glaciación

Los cambios climáticos han sido elemento común durante el Cuaternario (periodo geológico actual, que comenzó hace aproximadamente dos millones de años); descensos y aumentos de temperatura trajeron como consecuencia glaciaciones, redistribución de especies vegetales y animales, sedimentación y cambios del nivel del mar.

Hace aproximadamente 116.000 años la temperatura del planeta comenzó a descender (Van der Hammen, 1985; Flórez, 1992). Pero fue sólo hace 70.000 años aproximadamente cuando ocurrió un descenso térmico pronuncia-

do que generó sobre las cimas de las montañas colombianas un fuerte crecimiento en sus glaciares. Este fue el inicio de la última glaciación sobre el territorio colombiano.

La máxima extensión de los glaciares en Colombia alcanzó los 3.000 msnm ( $\pm 200$  m) hacia los 35.000 años AP (Van der Hammen, 1985), ocupando una superficie de 17.109 km<sup>2</sup> (Flórez, 1992); para aquel entonces la Sabana de Bogotá tenía vegetación de páramo. La temperatura continuó disminuyendo hasta aproximadamente 20.000 años AP, y más tarde su tendencia al aumento generó una deglaciación de las masas de hielo (fusión). Este ascenso continuó hasta un óptimo térmico entre 6.000 y 7.000 años AP. Se ha promediado los 10.000 años AP como fin de la última glaciación y comienzo del interglacial o época actual. A partir de aquel óptimo térmico la temperatura ha descendido gradualmente, pero con descensos y ascensos cortos como el actual, que tal vez tenga influencias antrópicas.

El último avance glacial (formación de hielo) ocurrió entre 1600 y 1850 d.C., conocido como la Pequeña Edad Glacial o Neoglaciación, periodo en el cual los glaciares colombianos se recuperaron un poco con un límite inferior del hielo que alcanzó los 4.200 msnm cerca al ecuador, 4.400 msnm en la parte central de los Andes colombianos y 4600 msnm en la Sierra Nevada de Santa Marta (Flórez, 1992). De aquellos años hacia el presente, los glaciares han ido en



**Figura 6.7.** Comparación de dos fotografías aéreas, a escalas similares, del volcán nevado Santa Isabel entre 1959 (izquierda) y 1996 (derecha), que evidencia la disminución de área glacial. Las flechas rojas indican puntos importantes de comparación. En la foto del 1996 se observa además la aparición de afloramientos rocosos en la cima del glaciar. (Fuente: IGAC, 1959 e IDEAM, 1996)

pleno retroceso. En la década de los cuarenta se presentó una anomalía térmica mundial que se reflejó en los glaciares colombianos; así lo demuestran investigaciones realizadas por E. Kraus en la Sierra Nevada del Cocuy, quien observó un fuerte retroceso entre 1948 y 1958.

Por consiguiente, los glaciares colombianos son tan sólo restos de la última glaciación y con tendencia a desaparecer rápidamente si persisten las actuales condiciones climáticas, que no dan lugar a la existencia y crecimiento del hielo (*figuras 6.7*).

En el planeta tan sólo tres regiones presentan actualmente glaciares cerca al ecuador: Nueva Guinea, África Oriental y Suramérica. Estas masas glaciarias se catalogan como glaciares de montaña por su ubicación topográfica culminando la alta montaña o como glaciares cálidos o intertropicales por tener temperatura próxima o igual al punto de fusión (Flórez, 1992).

## Glaciares colombianos actuales

En Colombia existen actualmente seis glaciares o nevados (mapa 6.5):

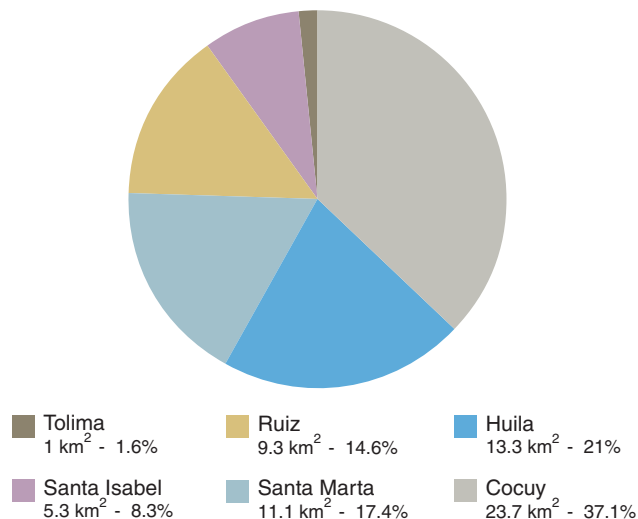
- Sierra Nevada de Santa Marta (altitud máxima de 5.775 m)
- Volcán Nevado del Ruiz (cordillera Central, 5.400 m)
- Volcán Nevado Santa Isabel (cordillera Central, 5.110 m)
- Volcán Nevado del Tolima (cordillera Central, 5.280 m)
- Volcán Nevado del Huila (cordillera Central, 5.655 m)
- Sierra Nevada del Cocuy (cordillera Oriental, 5.490 m)

De los seis, cuatro están sobre estructuras volcánicas clasificadas como activas (volcanes-nevados) y los dos restantes, sobre rocas no volcánicas (sierras nevadas de Santa Marta y El Cocuy). En la actualidad y debido a condiciones exógenas (cambio global) y endógenas (volcanismo), los nevados en Colombia presentan un balance glaciar de masas negativo, es decir, mayor pérdida que crecimiento de hielo. La *figura 6.8* representa las áreas actuales de acuerdo con los cálculos más recientes.

## Investigación sobre glaciares en el territorio nacional

La observación, el monitoreo y la captura de información estrictamente glaciológica y climatológica de los glaciares o nevados colombianos ha sido poca, pero suficiente como para lograr interesantes conclusiones y plantear algunas hipótesis.

Las masas glaciares actuales de Colombia, relictos de la última glaciación, son de gran interés científico. En la



**Figura 6.8.** Extensión actual de los glaciares en Colombia; área total: 63.7 km². (Fuente: *Estudio de la alta montaña colombiana*. Ideam-Universidad Nacional, 1997)

actualidad el Ideam realiza estudios en el nivel de glaciología en el volcán nevado Santa Isabel y en la Sierra Nevada del Cocuy, por ser dos áreas que presentan condiciones distintas con relación al sustrato rocoso: el primero se encuentra sobre un volcán catalogado como activo (cordillera Central) y el segundo, sobre rocas sedimentarias (cordillera Oriental).

Los estudios glaciológicos en Colombia presentan dificultades para su desarrollo, debido a que el acceso a estas áreas de alta montaña es difícil y no siempre las condiciones de tiempo atmosférico son las mejores para realizar su monitoreo. Debido a ello, la época óptima para visitarlos es tan sólo a finales y comienzos de año, dependiendo siempre de la posición de la Zona de Confluencia Intertropical.

El cálculo de las áreas glaciares se realiza con base en interpretación de fotografías aéreas, cuya información es transferida a bases cartográficas. El volumen exacto de hielo de los glaciares colombianos sigue siendo incierto y es tema de investigación. El método más exacto y directo consiste en la utilización de técnicas de prospección geofísica, que hasta el momento sólo Ingeominas intenta llevar a cabo en el nevado del Ruiz. Mediante estos métodos geofísicos y desde la superficie del hielo se puede conocer con exactitud su profundidad o espesor. Conociendo la profundidad en varios puntos y el área, es posible calcular el volumen.

## Recesión de los glaciares

En Colombia los glaciares están siendo sometidos a una fuerte deglaciación, provocada por causas naturales y

Glaciar o nevado	Año	Localización latitud-longitud	Departamento
Volcán Puracé	1940	2°19'-76°24'	Cauca - Huila
Volcán Galeras	1948	1°14'-77°22'	Nariño
Volcán Sotará	1948	2°06'-76°36'	Cauca - Huila
Volcán Chiles	1950	0°50'-71°56'	Nariño
Volcán Pan de Azúcar	1960	2°16'-76°21'	Cauca-Huila
Volcán Quindío	1960	4°43'-75°23'	Risaralda - Tolima - Quindío
Volcán del Cisne	1960	4°51'-75°21'	Caldas - Tolima
Volcán Cumbal	1985	0°58'-77°54'	Nariño

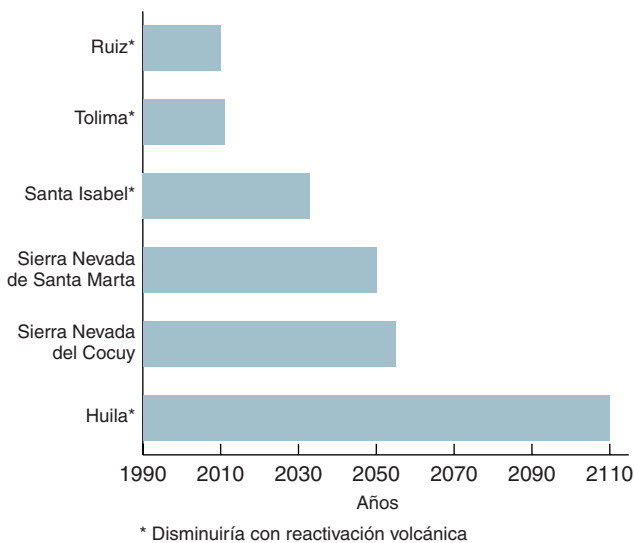
**Tabla 6.8.** Glaciares colombianos desaparecidos en el presente siglo.

acelerada por el hombre a través de sus actividades (efecto invernadero).

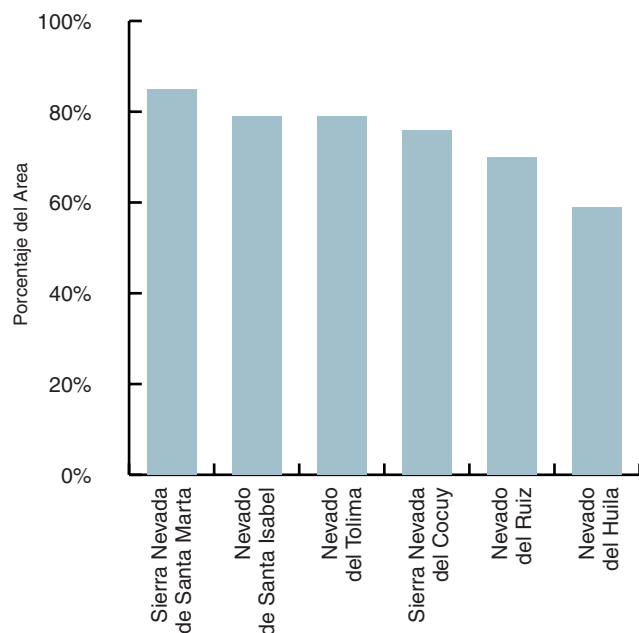
Como ya se explicó los glaciares tienden a desaparecer en el corto y mediano plazo, tal como se ha evidenciado y registrado en la desaparición de varios de ellos (tabla 6.8).

En total, ocho pequeños nevados han desaparecido en el presente siglo, bien sea por efectos atmosféricos o por reactivación volcánica (el Galeras, por ejemplo), aunque en épocas de lluvia éstos y otros picos altos se cubren temporalmente de nieve, pero sin formación de hielo. Con base en las huellas dejadas por el hielo al final del neoglacial (1850), fotografías aéreas de varias décadas y datos recientes de campo, se ha calculado la posible desaparición de los glaciares colombianos, expresándose de manera aproximada el plazo de su existencia (figura 6.9).

Vale la pena aclarar que es poca la observación sobre los nevados con relación a su larga historia, pero, a medida que se desarrolle su investigación y se tenga más



**Figura 6.9.** Análisis de la información de campo e interpretación de fotografías aéreas, que permitió establecer una época aproximada para la desaparición de los glaciares en el país. (Fuente: *Estudio de la alta montaña colombiana*. IDEAM-Universidad Nacional, 1997)



**Figura 6.10.** Pérdida de área de los glaciares desde 1850.

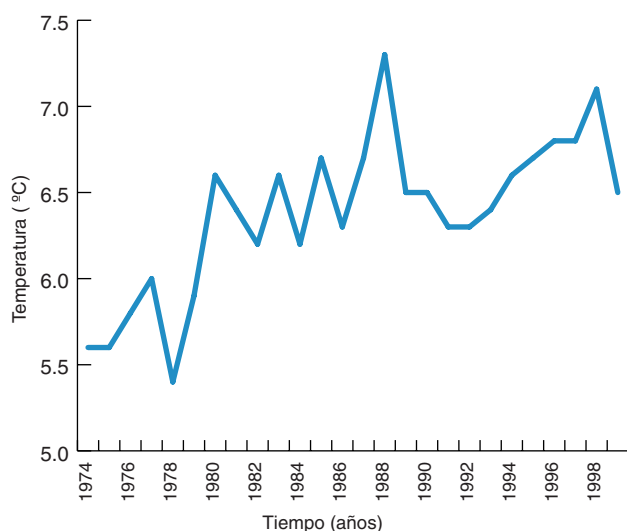
registros, se conocerá mejor sus comportamientos, en especial, la información que ellos puedan aportar al entendimiento de los cambios climáticos.

Los análisis realizados a través de los resultados obtenidos con la interpretación de fotografías aéreas han permitido conocer aproximadamente la pérdida de área para cada nevado desde 1850 (final del neoglacial) hasta la actualidad (figura 6.10); en general, está entre 60% y 80%.

Las causas de la rápida deglaciación convergen hacia factores que en el nivel mundial afectan la dinámica de la atmósfera, como es el caso de los efectos del desarrollo de la industrialización sin control de emisiones.

Glaciares semejantes a los de Colombia, como el Lewis (monte Kenia) en África Oriental, experimentaron un rápido decrecimiento entre 1920 y 1930 debido a una reducción de la precipitación, al incremento en la nubosidad, el decrecimiento del albedo y el calentamiento de unas pocas décimas de grado centígrado. Estos factores, generados en las dos últimas décadas del siglo XIX, fueron consideradas como causas para el inicio de la recesión glacial en África Oriental. No se deben excluir causas naturales como las ya explicadas, pero el conocimiento actual impide por el momento plantear conclusiones sólidas.

Al comparar las pérdidas de los glaciares en Colombia con la información de temperaturas medias anuales de algunas estaciones de alta montaña con registros largos (figura 6.11), es posible observar una tendencia al aumento en unas cuantas décimas de grado desde mediados de la década de los setenta, cuyas causas no son conocidas, pero probablemente están relacionadas con el calentamiento global.



**Figura 6.11.** Temperatura media anual (1974-1994). Estaciones El Cocuy (3.716 msnm), Güicán (Boyacá)-quebrada Lagunillas. (Fuente: Ideam)

Llama la atención el aumento de la temperatura media entre 1986 y 1988 que, de ser cierta la tendencia en el nivel nacional (investigación en curso), posiblemente afectará los glaciares en los próximos años debido a que las masas de hielo tienen un ‘tiempo de respuesta’, que es la medida en tiempo (años) que tarda un glaciar en ajustarse a los cambios climáticos. Para Colombia este tiempo es desconocido, pero se puede comparar *a grosso modo* con el de los glaciares africanos, que puede ser del orden de una o dos décadas. Sin embargo, la ocurrencia del último Fenómeno Cálido del Pacífico afectó fuertemente los nevados, experimentándose para el caso de la Sierra Nevada del Cocuy retrocesos de hasta 30 m, en promedio, entre enero de 1997 y enero de 1998, cuando los normales son de 10 a 15 m por año. La nubosidad casi nula aumentó el tiempo de exposición del hielo a la radiación, lo que dio origen a su rápida fusión.

## Características actuales de los glaciares en Colombia

### Sierra nevada de Santa Marta

#### Localización geográfica

Los glaciares actuales de la Sierra Nevada de Santa Marta se ubican entre las coordenadas 10° 47' y 10° 52' de latitud norte y 73° 34' y 73° 44' de longitud oeste, ocupando las cumbres de la Sierra, el macizo litoral más alto del mundo.

El área glaciaria hace parte de los municipios de Riohacha y San Juan del Cesar, en el departamento de La Guajira, Santa Marta y Aracataca, en el Magdalena, y Valledupar, en el Cesar.

#### Evolución reciente (1850-1995)

Durante la Pequeña Edad Glaciaria o Neoglaciaria (1500-1850), el hielo en la Sierra alcanzó a cubrir 82,6 km<sup>2</sup>, con un volumen aproximado de 2.223 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> y un límite inferior del hielo entre los 4.400 y 4.700 msnm.

A partir de 1850, el retroceso glaciario y la pérdida de área y volumen ha sido la característica más sobresaliente. Desde 1939 se ha venido monitoreando el fenómeno gracias a un cubrimiento aerofotográfico decadal continuo. Las particularidades en 145 años de la dinámica glaciaria en la Sierra Nevada de Santa Marta se pueden resumir en: (FUENTES)

1. Al finalizar la Pequeña Edad Glaciaria sólo tres grandes masas conformaban el piso glaciario.
2. Para 1954 (un siglo después), la masa había perdido 76% de su área y se había dividido en 50 glaciares de diferente tamaño.
3. Entre 1954 y 1995 (41 años), 17 masas de hielo, entre 3 y 10 ha, desaparecieron debido a estas condiciones de poco tamaño y nula alimentación. Para 1995, la Sierra estaba conformada por 43 glaciares.
4. Las principales lenguas glaciares han retrocedido en estas cuatro últimas décadas entre 6 y 17 m por año aproximadamente, dependiendo de la alimentación y la topografía subyacente al glaciar.

#### Morfología y tendencia actual

Los 11,1 km<sup>2</sup> actuales de hielo (1995), se reparten en 43 masas independientes con áreas que van desde una hectárea hasta 300. Debido a la fuerte deglaciación, varios aspectos morfológicos definen hoy a la Sierra:

El fenómeno es generalizado y afecta tanto a su límite inferior –que retrocede continuamente– como a las cimas que presentan numerosas cornisas de roca ya desnuda, en donde el hielo, por falta de alimentación, no puede sostenerse en aquellas fuertes pendientes en las que culmina la Sierra. Como resultado, nueve picos ya no están glaciados: Parra Lleras, Menders, Ruiz Wilches, Ojeda, Tulio Ospina, Codazzi, nevado Ramírez, Tairona y Guardián.

Un aparente estado caótico o desordenado de los glaciares en grupos diseminados, muchos de ellos sin alimentación y ocupando generalmente el pie de las cornisas. Esto se debe en parte a las condiciones topográficas

(pendientes fuertes) que limitan la permanencia, el flujo y la alimentación del hielo.

Un aspecto interesante sigue siendo la vertiente hacia la cual están presentes las masas de hielo: el análisis de fotografías aéreas demuestra una acumulación preferencial hacia los flancos con exposición norte y noroeste. Esto indicaría, o bien, condiciones climáticas (vientos) favorables a la formación de hielo o topográficas que facilitan su acumulación.

## Sierra Nevada del Cocuy

### Localización geográfica

La Sierra Nevada del Cocuy se localiza sobre las cumbres más altas de la cordillera Oriental, entre las latitudes 6° 21' y 6° 34' y entre los 72° 15' y 72° 20' de longitud oeste, siendo la única área glaciaria actual sobre esta cordillera. Administrativamente, la Sierra pertenece a los municipios de Chita, El Cocuy y Güicán, en Boyacá, y a los de La Salina, en Casanare, y Tame, en Arauca.

### Evolución reciente (1850-1994)

La Sierra Nevada del Cocuy siempre ha sido, incluso en la actualidad, el área glaciada más extensa del país, al menos desde el final del Neoglacial. La disposición del sustrato (arenisca), que forma planos estructurales (reveses) subhorizontales, ha facilitado la formación de los glaciares. Para 1850, según registros morrénicos, el Cocuy ocupaba 43% de los nevados (148.7 km<sup>2</sup>); posterior a esa fecha, el fenómeno ha sido el del constante retiro o deglaciación, traducido en pérdida de área y volumen.

Dentro del periodo observado se destaca para la Sierra:

1. Entre 1850 y 1955 (105 años), la Sierra perdió 76% de su área y entre 1955 y 1994 (39 años), un 39%.
2. El soporte estructural de la Sierra ha condicionado la acumulación y flujo glaciario: las capas sedimentarias buzaban hacia el oeste, siendo consecuentes con las pendientes (revés), mientras que al este afloran las capas cortadas y con inclinación opuesta a la pendiente del terreno, por lo que se forman cornisas abruptas (frentes). Como consecuencia, los glaciares prevalecen sobre dos reveses de la Sierra: sobre el flanco occidental se ha acumulado la mayor parte de los glaciares, flanco que justamente está expuesto a la vertiente de condiciones secas (Chicamocha) comparado con la vertiente oriental más húmeda (Ilanos Orientales). Esto, como se menciona, es por razones estrictamente topográficas.

3. Se ha monitoreado el retroceso de una decena de lenguas glaciares; según estas observaciones y mediciones de campo, la velocidad del retiro es de 15 m por año.

### Morfología y tendencia actual

La Sierra Nevada del Cocuy es la masa glaciaria más extensa del país y ofrece un paisaje espectacular a pesar de su disminución. Las 34 masas glaciares actuales (1994) ocupan un área aproximada de 23.7 km<sup>2</sup>. El 80% se encuentra ubicado sobre el revés del escarpe y expuesta al oeste se halla una mínima parte, aún sobre los frentes con una pendiente subvertical, que imposibilita la acumulación de hielo.

Además de esto, la Sierra Nevada del Cocuy se caracteriza por:

- División de las masas glaciares: la división consiste en ruptura del glaciar por no poder soportar fuertes pendientes y por la disminución en su masa.
- La exposición del área glaciada hacia la vertiente de condiciones menos húmedas (Chicamocha) podría tener algún grado de importancia, pero se contraponen al hecho de que los glaciares hacia el oriente tienen retrocesos similares. La falta de información climática no permite hacer mayores planteamientos.
- El resultado de la pasada acción erosiva del hielo sobre los estratos sedimentarios ha formado escalones de 4 m de alto en promedio sobre la arenisca. Por este efecto topográfico, el hielo actualmente ha disminuido de espesor, tratando de seguir los escalones, razón por la cual se agrieta o se desploma en bloques. Esto aumenta el área de exposición y lógicamente, la fusión.
- Las fuertes pendientes son mayores a medida que se asciende. Para el hielo es cada vez más difícil sostenerse sobre las paredes, se fractura y cae periódicamente, quedando la roca expuesta localmente.
- Se ha observado localmente túneles subglaciares de 1 m a 1.5 m de alto y ancho y de 5 m a 15 m de longitud aproximadamente, productos de la concentración y del escurrimiento de las aguas de fusión glaciaria.

## Volcán nevado Santa Isabel

### Localización geográfica

El punto central del nevado corresponde a las coordenadas geográficas 4° 48' de latitud norte y 75° 23' de longitud oeste. La mayor altura que alcanza es 5.020 m aproximadamente y sus máximas alturas coinciden con

la divisoria de aguas de la cordillera Central. Este volcán nevado corresponde político-administrativamente a los municipios de Santa Isabel y Murillo, en el departamento del Tolima, a Villamaría, en Caldas, y a Santa Rosa de Cabal y Pereira, en Risaralda.

## Evolución reciente (1850-1997), morfología y tendencia actual

La dinámica reciente del volcán-nevado Santa Isabel se puede sintetizar así:

1. Entre 1959 y 1995 (36 años), el Santa Isabel perdió 44% de su área, comportamiento similar al analizado para otros glaciares (volcánicos y no volcánicos).
2. Así como en algunos glaciares de las sierras nevadas de Santa Marta y El Cocuy, el receso ha afectado tanto su límite inferior como las cimas. Para el caso del Santa Isabel, desde hace pocos años se ha venido despejando varios afloramientos rocosos cerca a la cima, dejando ver algunos domos que caracterizan al volcán.
3. Los monitoreos de campo demuestran una velocidad aproximada de retroceso glaciar, o pérdida de hielo en longitud, entre 10 y 15 m/año, valores similar para la Sierra Nevada del Cocuy.
4. El área glaciar actual es de 5.3 km<sup>2</sup>.

## Volcán nevado del Ruiz

### Localización geográfica

El conocido volcán del Ruiz, también llamado por los primeros pobladores indígenas, Cumanday o Tamá, se ubica en las coordenadas geográficas 4° 54' de latitud norte y 75° 19' de longitud oeste (punto central del volcán) y alcanza una altitud de 5.310 m en el borde noroccidental del cráter Arenas, sobre el eje de la cordillera Central. Es el glaciar y el volcán activo más septentrional de esta cordillera. Pertenece a los municipios de Villamaría (Caldas), Casabianca, Villahermosa y Murillo (Tolima), además de ser parte del parque nacional natural Los Nevados.

### Evolución reciente (1850-1997)

No sólo el receso generalizado y global ha afectado a los glaciares, sino que también la actividad volcánica en este caso ha acelerado el retiro. Los reportes históricos de actividad después de la Pequeña Edad Glaciar (1845, 1934, 1984-1990) seguramente aceleraron la fusión glaciar.

Los eventos de 1845 y 1985 se reseñan brevemente más adelante para explicar las amenazas y riesgos inherentes a la relación glaciar-volcán, menores en la actualidad pero de todas maneras potenciales.

Es de destacar que, a pesar de la actividad volcánica, la velocidad de deglaciación ha sido similar no sólo a la de otros volcanes-nevados sino a la de las sierras nevadas, lo que llevaría a pensar en la fuerte incidencia exógena.

### Morfología y tendencia actual

La mayor parte de los actuales 9,37 km<sup>2</sup> (1997) del hielo del Ruiz cubre la meseta superior que caracteriza al volcán. Una menor porción del hielo actual desciende por los fuertes escarpes del volcán, especialmente hacia el sur y sureste. El límite inferior glaciar, o frente de ablación, se ubica entre los 5.000 msnm al sur y los 5.200 msnm al norte.

El receso desde 1959 ha afectado en particular a las largas lenguas que caracterizaban al Ruiz, como Las Nereidas, Recio y La Cabaña, actualmente inexistentes. Es común también para el Ruiz la presencia de túneles subglaciares, resultados de la concentración de aguas de fusión y calentamiento endógeno.

En la actualidad, el Ruiz posee en la meseta una masa glaciar continua de 8,44 km<sup>2</sup> aproximados y dos masas independientes catalogadas como hielo muerto (sin alimentación), correspondientes a restos de las lenguas más largas que tuvo: Las Nereidas (0,68 km<sup>2</sup>) y Regio (0,25 km<sup>2</sup>).

## Nevado del Tolima

### Localización geográfica

El volcán nevado del Tolima hace parte del complejo volcánico Ruiz-Tolima. El glaciar yace sobre la parte superior del cono volcánico, estructura que por su buen estado de conservación –casi simétrico, que indica actividad holocénica– y actividad fumarólica en su pequeño cráter e hidrotermal en la base, es clasificado como activo. El volcán nevado, con una altitud de 5.250 msnm aproximadamente en su cumbre, no se ubica sobre el eje de la cordillera Central como el Ruiz o el Santa Isabel: la estructura volcánica se halla sobre el flanco oriental y todos los drenajes corren hacia el río Magdalena. Hace parte de los municipios de Ibagué y Anzoátegui, en el departamento del Tolima.

## Evolución reciente (1850 - 1997)

Entre 1850 y 1958 (108 años), el volcán perdió 71% de su área y entre 1958 y 1997 (39 años), un 60%, el valor más alto respecto a los demás glaciares para este periodo; esto se debe principalmente a que por su área reducida cualquier pérdida eleva porcentualmente el dato. El receso en las últimas décadas se debe no sólo a los pequeños cambios térmicos, sino a la fuerte pendiente en la parte superior del cono volcánico.

## Morfología y tendencia actual

Una pequeña masa de hielo ocupa la cumbre del volcán y de esta descienden algunas lenguas de hielo. También de la cumbre bajan flujos de lava holocénica que el glaciar no logró erosionar. El límite inferior del hielo se ubica entre un amplio rango, desde 4.850 msnm (SW) hasta 5.100 msnm (NE), debido al descenso fuerte de algunas lenguas.

La persistencia del hielo debido a la altitud y a las condiciones de humedad permiten mantener cierta acumulación, por lo menos en la cima del volcán.

## Volcán nevado del Huila

### Localización geográfica

El volcán nevado del Huila se localiza a los 2° 56' de latitud norte y 76° 02' de longitud oeste (punto central del volcán), siendo el más meridional y alto de la cordillera Central. Con base en cálculos fotogramétricos (Flórez, 1992) se calcularon los cuatro puntos más altos del volcán-nevado, de sur a norte: 5.655 msnm, 5.469 msnm, 5.631 msnm y 5.516 msnm. Administrativamente, el nevado ocupa las jurisdicciones de los municipios de Teruel (Huila), Planadas (Tolima) y Belalcázar (Cauca).

En el área del nevado del Huila existen vestigios de que el hielo alcanzó los 3.000 msnm y los 2.800 msnm, como también de sistemas morrénicos o alturas superiores (estadios), pero al respecto no se ha realizado una cronología de los eventos ni su correlación con los de otras áreas del país.

## Morfología y tendencia actual y evolución reciente (1850-1996)

1. Durante la Pequeña Edad Glacial, el Huila cubría 33,7 km<sup>2</sup> y el borde inferior llegaba a 4.250 msnm ( $\pm 100$ ).

2. La masa glaciaria sigue la configuración alargada del volcán de sentido norte-sur (6,5 km). Los 13,4 km<sup>2</sup> de hielo para 1996 (Ingeominas) lo hacen el segundo glaciar más grande del país, aunque poco comparable con el área del Cocuy: el Huila es un poco más de la mitad del Cocuy).
3. A pesar que su altitud parece favorecer la alimentación del glaciar y reducir su deglaciación y de haber sido el nevado con los índices más bajos de pérdida areal, el aspecto que ofrece actualmente es sorprendente: es uno de los nevados más agrietados por todos sus flancos, característica que indicaría su estado senil sin mayor alimentación y con fuerte receso en volumen. También cabe anotar que el fuerte sismo del 4 de junio de 1994, que desató una avalancha sobre la cuenca del río Paez, debió aumentar el sistema de grietas del glaciar.

## Riesgos y amenazas geomorfológicas

La gran dinámica de los paisajes andinos colombianos obliga a asociarlos a amenazas y riesgos sobre la población, a sus obras y sus actividades, como consecuencia de la actual formación del relieve. Desde la alta montaña se comprueban los débiles grados de estabilidad de las formaciones superficiales, y no es casual, por ejemplo, encontrar vertiente abajo las mayores concentraciones de poblaciones en áreas seriamente inestables. El sistema de relieve colombiano debe entenderse como tal, como un sistema completo sin ninguna de sus partes desligadas; así, por ejemplo, un deslizamiento en la media montaña tendrá consecuencias en la baja montaña y en los valles aluviales.

Las montañas actúan como un sistema de transferencia en donde existe movilización de materiales desde las partes altas hacia las bajas. La razón lógica de todo esto radica en que el territorio colombiano se encuentra en una región de colisión de placas tectónicas que, como una de sus violentas consecuencias, produjo el gran levantamiento de los Andes (proceso que continúa), generando, junto con un clima más húmedo que el actual, un gran potencial hidrogravitatorio de las masas montañosas. El relieve dispuesto en cordilleras y depresiones a lo largo de fallas (algunas aún activas), conforma además un sistema de plegamientos y fracturamientos que constituye debilidades estructurales, en donde se instaló la red de drenaje, facilitando la remoción de materiales.

Estos fenómenos de rebajar vertientes y buscar la pendiente de equilibrio mediante remociones en masa con-

tinúan en la actualidad como respuesta al fuerte levantamiento orogénico. Los asentamientos humanos, las construcciones y las actividades no deben ser ajenos al proceso de conformación del paisaje.

Existen varios ejemplos, claros y evidentes, de la relación entre las geoformas, resultantes de eventos catastróficos, y la ocupación del relieve. Uno de ellos es el hecho de que el hombre colombiano buscó establecerse preferiblemente en acumulaciones relativamente suaves, a veces acodadas contra vertientes, que le asegurasen suelos prósperos para sus actividades; acumulaciones que generalmente provienen de eventos catastróficos que se suceden en el tiempo, como respuesta a esos grandes eventos tecto-orogénicos. Poblaciones como Valledupar, Yopal, Villavicencio, Ibagué, Armero, Mariquita, Pereira, Chinchiná, Chitagá, Chaparral, El Espino, entre muchas otras, son casos de emplazamientos sobre conos torrenciales (fluvioglaciares y/o fluviovolcánicos), producidos por fuertes transferencias de materiales desde la montaña alta y media, iniciadas por eventos volcánicos, sísmicos, hidroclimáticos y/o la combinación de éstos. La avalancha del río Páez se produjo cuando las fuertes vertientes saturadas de agua, después de la época de lluvias, fueron sacudidas por un sismo, en tanto que la de Armero se debió a la combinación de actividad volcánica y glaciaria. Eventos como éstos se han sucedido varias veces en la conformación del relieve colombiano.

La influencia del hombre en este proceso puede ser dramática; la sola intervención en una vertiente en proceso de ajuste, como puede ser la construcción de una vía, acelera los fenómenos de remoción en masa, como en el caso de la vía Bogotá-Villavicencio.

Al correlacionar las grandes unidades morfogénicas que definen el paisaje colombiano con la ocurrencia de grandes movimientos de tierra, se puede observar que ellos se concentran sobre tres unidades: valles e interfluvios controlados por plegamientos y por fallas menores, superficies de aplanamiento residual con o sin cobertura volcánica y vertientes húmedas de la cordillera Occidental con alteritas profundas. Estas unidades se caracterizan por ser altamente inestables con formaciones superficiales generalmente profundas y fáciles de remover, valles abruptos y profundos controlados estructural y tectónicamente, en donde la red de drenaje hace su papel de transferir los materiales vertiente abajo.

**Las inundaciones.** En los valles aluviales se siente la actividad generada en la media y alta montaña. La descarga en las áreas planas está normalmente confinada al lecho menor del canal, pero ocasionalmente los canales son incapaces de contener dicha descarga; por lo tanto, agua

y sedimentos son vertidos en superficies adyacentes, llamadas planicies aluviales o de inundación, las cuales han sido creadas específicamente por el propio sistema aluvial para acomodar los más grandes y menos frecuentes caudales máximos. Por esta razón, debe entenderse que un río no solamente es agua fluyendo por un canal natural, sino que el sistema fluvial se compone básicamente de un lecho menor por donde drenan las aguas de estiaje, un lecho mayor mucho más ancho que es capaz de recibir periódicamente las aguas altas y de una planicie de inundación –con o sin ciénagas– que amortigua las grandes crecidas y generalmente posee un doble sentido de circulación de las aguas.

En Colombia, los sistemas aluviales están en evolución. Un ejemplo claro es el caso de la depresión inundable del río Magdalena (Depresión Momposina) que corresponde básicamente a un bloque hundido, limitado por fallas, que continúa hundiéndose en la actualidad. Allí el promedio de acumulación anual es de 3,8 mm (Martínez, 1981), indicando una subsidencia tectónica muy alta y convirtiéndola en especial en una región de acumulación de sedimentos.

Pero no todas las planicies inundables corresponden a bloques subsidentes: por lo general, son desarrolladas por ríos amplios con cuencas receptoras de importancia, entre otras, la de los ríos Sinú, San Jorge (que pertenece a la del río Magdalena), San Juan, Atrato, Patía, Arauca y la mayoría de los ríos de los llanos Orientales y de la Amazonia. En teoría cualquier curso de agua tiene la probabilidad de desbordarse periódicamente.

Con las características así descritas, es comprensible una planicie de inundación como un sistema natural de amortiguación desarrollado por el mismo río y en donde el hombre ha decidido intervenir, en muchas ocasiones sin éxito. De esta manera, lo importante del proceso de una inundación es conocer en qué lugares del país se sucede, para luego establecer su extensión mínima y máxima, los volúmenes de desborde, la frecuencia y duración, apoyados sobre análisis multitemporales, con base en productos de sensores remotos, que indiquen la historia –al menos reciente– del río (paleocauces, sitios de avulsión, tendencias de curso, áreas palustres, etc.) Es claro que las observaciones deben complementarse con los grados de intervención de las áreas inundables. Esta información debería ser suficiente para planificar la convivencia con el fenómeno.

Otros eventos complementarios amenazantes, que han ocasionado históricamente más tragedias, son las avalanchas en los piedemontes. En Colombia, debido a su relieve joven, los ríos están en proceso de entalle, por lo cual remueven con rapidez materiales de las vertientes

y los depositan, a veces catastróficamente, en los piedemontes interiores y exteriores de las cordilleras. Por lo tanto, dentro de los planes de investigación geomorfológica, se incluye la identificación y evaluación de cuáles torrentes son los más agresivos y amenazantes.

**Amenaza sísmica y volcánica.** En Colombia, los procesos dinámicos expresados a través de la actividad sísmica y volcánica han ocasionado en diferentes partes del país grandes desastres ecológico-ambientales, humanos y económicos, y continúan teniendo un impacto en el medio ambiente y en la comunidad en general.

El país se encuentra, como ya se mencionó, en una región de alta actividad tectónica, lo cual permite obtener un registro cronológico de los eventos ocurridos, así como indicadores y métodos geomorfológicos de actividad neotectónica, a través de los cuales se puede hacer comparaciones con los eventos sísmicos pasados y mostrar la tendencia a presentarse de nuevo en una región específica.

Es así como los eventos sísmicos ocurridos y reportados en Colombia desde 1566 hasta la fecha se encuentran asociados a los diferentes sistemas de fallamiento, incluidos en 32 macrosistemas sismogénicos, según el mapa de amenaza sísmica del último Código colombiano de construcciones sismoresistentes (1995), que divide el país en tres zonas de actividad sísmica: alta, intermedia y baja. Las zonas con actividad sísmica alta, en donde se han presentado sismos con magnitudes mayores a 6,0 grados en la escala de Richter, se ubican principalmente en los departamentos de Nariño, Cauca, Chocó, Antioquia, Caldas, Casanare y Santander; estos sismos se encuentran localizados geomorfológicamente en la montaña media, hacia los valles e interfluvios controlados por plegamientos y fallas, en las superficies de aplanamiento residuales con y sin cobertura volcánica, en las vertientes húmedas de la cordillera Occidental con alteritas profundas y en conos y terrazas. Estas unidades morfogénicas presentan una gran disección por parte de las quebradas y ríos, los cuales desequilibran las formaciones superficiales en los bordes de los interfluvios donde ocurren deslizamientos y derrumbes, generando inestabilidad en las vertientes. Estos procesos pueden ser acelerados por los continuos movimientos sísmicos que se presentan en estas áreas del país.

Desde el punto de vista geomorfológico, en estas zonas existen indicadores de actividad neotectónica que permiten identificar y seleccionar diversas áreas de Colombia, importantes por los procesos geodinámicos que se pueden generar a partir de sismos o eventos volcánicos. Algunos de estos indicadores geomorfológicos son:

- Emergencia de arrecifes coralinos
- Terrazas basculadas

- Deformación de conos aluviales
- Estructuras cavernosas fracturadas
- Escarpes de falla en depósitos aluviales
- Variaciones en el régimen fluvial
- Inestabilidad lineal en laderas

**Impactos ocasionados por la actividad sísmica.** Son muchos los daños que se generan por eventos sísmicos y volcánicos; dentro de los principales impactos ocasionados se encuentran:

## Impactos ecológico-ambientales

- Destrucción y arrastre de la cobertura vegetal por deslizamientos y desprendimientos de las formaciones superficiales
- Aporte masivo de sedimentos a los drenajes, represamientos y cambios en el régimen hidrológico
- Licuefacción de suelos, produciendo el agrietamiento y deterioro de canales de drenaje y afectando a los sistemas productivos
- Procesos de deformación de suelos blandos en zonas de ciénaga y agrietamiento en las riberas de los ríos
- Vulcanismo de lodo, que puede emitir gases inflamables y generar movimientos en masa cuando las condiciones son húmedas
- Ascenso del nivel freático, que puede llegar a afectar localmente zonas de cultivo
- Disparo y reactivación de deslizamientos
- Flujos de lodo

## Impactos en las vías de transporte

### Fluvial

- Disminución de la sección del río por el aporte de arenas, gravas y otros objetos provenientes de los deslizamientos
- Bloqueo total de la corriente, obligando al río a buscar nueva salida e inundando en mayor proporción la tierra aguas abajo
- Taponamiento de caños

### Terrestre

- Derrumbe
- Hundimiento de la banca
- Agrietamiento
- Avería de puentes

## Impacto sobre los asentamientos humanos

- Edificaciones afectadas por grietas y fisuras en muros
- Inclinación y colapso de construcciones deficientes, especialmente en el área rural
- Poblaciones ubicadas sobre abanicos aluviales afectadas por avalanchas torrenciales

**Áreas prioritarias de investigación en Colombia.** Las áreas de interés nacional que justifican una investigación más detallada, por los posibles impactos ecológico-ambientales, humanos y económicos que se pueden generar a partir de diferentes procesos geodinámicos, son:

- Cordillera Central: Por su actividad volcánica reciente y los procesos fluvioglaciovolcánicos, son importantes los departamentos de Tolima, Quindío, Risaralda, Cauca, Huila y el Macizo Colombiano.
- Piedemonte Llanero: Por procesos neotectónicos, principalmente desde Villavicencio a Yopal.
- Valle del Sinú: Por su dinámica fluvial y deltáica, es importante la zona de Tierralta-Tinajones.
- Valle de San Juan-Baudó: Por los procesos litorales y fluviales.
- Putumayo-Nariño: Por remoción masal, volcanismo y dinámica fluvial.
- Valle del Cesar-Perijá: Por procesos erosivos en laderas.

Respecto a la actividad volcánica, ésta ha estado y estará presente en la conformación del paisaje andino, afectando las actividades humanas. Existen numerosos estudios de los volcanes y de la actividad volcánica en Colombia, pero hasta el momento todavía es incierto – aun en países con alto grado de investigación en vulcanología– cuándo se presentará con certeza la próxima erupción violenta que ponga en riesgo poblaciones enteras. Se ha adelantado lo suficiente en cartografía de amenazas volcánicas (Ingeominas) para los edificios volcánicos mejor conocidos, amenazantes y con más reportes de actividad (Puracé, 23; Galeras, 20; Ruiz, 14; Tolima, 5, y Cumbal, 2), pero en todo el territorio colombiano existen cerca de un centenar de volcanes, muchos completamente erosionados, sin ningún indicio de actividad reciente y difíciles de reconocer en aerofotografías, por su avanzado estado de destrucción.

En cambio, existe una veintena de volcanes poco conocidos, cuya morfología indica reciente construcción o reconstrucción (holocénicos) y que deben ser clasificados como activos sin necesidad de que tengan en la actualidad actividad fumarólica o sulfatárica. Algunos ejemplos son: Cerro Bravo (Tolima), El Machín (Tolima),

Pan de Azúcar (serranía volcánica de los Coconucos, Cauca-Huila), Gualí (Caldas), Santa Isabel (Caldas-Risaralda-Tolima), Sotaró (Cauca-Huila), Azafatudo (Cauca), Granates (Huila), Doña Juana (un reporte histórico, Cauca-Nariño), Chiles (un reporte histórico, Ecuador-Nariño) y Mujundinoy, Cerro Estero y Guamués (Nariño). Todos son volcanes con edificios volcánicos más o menos bien conservados y presentan una disección incipiente. La actividad volcánica más reciente se caracteriza por flujos lávicos y piroclásticos rellenando los valles laterales. Por estas características, estos focos volcánicos se consideran como potencialmente activos (latentes), aunque no presenten un reporte histórico de erupción.

La amenaza volcánica se ve incrementada cuando yace un glaciar sobre los edificios volcánicos, debido al rápido aporte de grandes cantidades de agua de fusión por el aumento geotérmico, lo que genera usualmente avalanchas del tipo lahar. Eventos así han sido comunes durante el Cuaternario y en épocas históricas. De los seis glaciares colombianos, cuatro están sobre volcanes activos (Ruiz, Santa Isabel, Tolima y Huila), lo que indica sin duda una alta amenaza y riesgo ya que, asociados a estos volcanes, existen valles o cañones que conducen fácil y rápidamente un eventual flujo lahárico, y a los valles, asentamientos y obras humanas, por lo común en su límite inferior.

La actual deglaciación conlleva a una disminución de aporte de agua y, por lo tanto, disminuye la amenaza por generación de flujos de lodo.

## Alertas para eventos por remoción en masa

El Ideam, a través del Servicio de Información Ambiental y con el apoyo de la subdirección de Geomorfología y Suelos, realiza el seguimiento en tiempo real de las áreas propensas a fenómenos de remoción en masa, con el fin de minimizar sus efectos sobre asentamientos humanos, infraestructuras, áreas de uso agropecuario y de interés ecológico, mediante la elaboración de pronósticos, comunicados, avisos y alertas que se envían a las diferentes entidades del Sistema Nacional de Atención y Prevención de Desastres.

Las características intrínsecas de la estructura geopedológica, asociadas al comportamiento climático agresivo y sorpresivo del trópico y a la alta concentración de actividades antrópicas en zonas de vertiente, hacen que estas áreas sean las de menor estabilidad en el territorio colombiano y las de mayor susceptibilidad a los fenómenos remoción en masa.

Movimientos en masa				Afectación ambiental de los componentes						
Tipo	Localización			Biótico		Abiótico		Socioeconómico		
	Municipio	Departamento	Fecha	Flora	Fauna	Suelo	Agua	Asentamientos humanos	Infraestructura	Sectores de la producción
Deslizamiento	Pereira	Risaralda	4/03/1997			X		X	Vivienda	Residencial
Derrumbes, deslizamientos y avalanchas	Ituango	Antioquia	10/03/1997	X	X	X	X		Acueductos, puentes	Servicios, pesquero
Deslizamiento	Cajamarca	Tolima	19/03/1997			X			Vías	Vial
Deslizamiento	Cajamarca	Tolima	20/03/1997			X			Vías	Vial
Deslizamiento	Algeciras	Huila	1/03/1997		X	X		X	Acueducto	Servicios, agropecuario
Deslizamiento	Ricaurte	Nariño	21/03/1997			X		X	Vías	Vial
Deslizamiento	Medellín	Antioquia	27/03/1997			X			Vías	Vías
Deslizamiento	Cali	Valle del Cauca	31/03/1997			X		X	Vivienda	Residencial
Deslizamiento	Líbano	Tolima	1/04/1997			X				Varios
Deslizamiento	Bucaramanga	Santander	7/04/1997			X			Acueducto	Servicios
Deslizamiento	Boavita	Boyacá	1/05/1997			X			Acueducto, distrito de riego	Servicios, agropecuario
Deslizamiento	Argelia	Cauca	1/05/1997			X			Vías	Vial
Flujo de lodo	Tello	Huila	1/05/1997			X			Vivienda	Residencial
Deslizamientos	Roncesvalles	Tolima	12/05/1997			X	X	X	Vías	Vial
Derrumbe	Sandoná	Nariño	3/06/1997			X			Vías	Vial
Derrumbes y deslizamientos	Santuario	Antioquia	12/06/1997			X			Vías	Vial
Avalanchas	Villanueva	Casanare	5/07/1997			X	X		Cultivos, vías	Agropecuario, vial
Derrumbes y deslizamientos	Tenza	Boyacá	5/07/1997			X	X		Vías, fábricas, colegios	Transporte, industria, educación
Derrumbes y deslizamientos	Quetame	Cundinamarca	5/07/1997			X			Gasoducto, vías	Transporte, servicios
Deslizamientos y avalancha	Quetame	Cundinamarca	13/07/1997			X			Carreteras, viaducto	Transporte, servicios
Deslizamientos	Guatave	Boyacá	15/07/1997			X			Vías	Vial
Derrumbe	Ituango	Antioquia	24/08/1997		X	X	X			Pesquero
Deslizamiento	Andes	Antioquia	10/11/1997			X		X	Asentamientos	Residencial
Deslizamiento	Algeciras	Huila	14/11/1997			X		X	Asentamientos	Residencial
Deslizamiento	La Sierra	Cauca	18/11/1997			X		X	Asentamientos	Agropecuario, servicios
Deslizamiento	Santuario	Risaralda	22/11/1997			X			Vías	Agropecuario, vial
Deslizamiento	La Virginia	Risaralda	22/11/1997			X			Vías	Transporte
Avenida torrencial	Bucaramanga	Santander	7/02/1998			X	X	X	Asentamientos, vías	Residencial
Deslizamiento	Ituango	Antioquia	8/04/1998		X	X	X		Hidroeléctricas	Pesquero

**Tabla 6.9** Eventos por remoción en masa ocurridos durante el Fenómeno Cálido del Pacífico 1997-1998. (Fuente: adaptados de DNPAD-Cruz Roja Colombiana)

En la actualidad, siguen interactuando factores que originan una amplia gama de procesos morfodinámicos, como eventos tectónicos, sísmicos y de remoción en masa (derrumbes y deslizamientos), los cuales han afectado y

seguirán afectando al medio físico y a las diferentes infraestructuras y actividades socioeconómicas que se concentran justamente en áreas de vertiente. Por esta razón se hace necesario implementar métodos, modelos y tec-

Eventos				Afectación ambiental de los componentes												
Tipo	Localización y fecha		Fecha	Biótico		Abiótico		Corporales			Infraestructura			Hidroeléctricas		
	Municipios afectados	Departamento		Flora	Fauna	Suelo	Agua	Asentamientos	Personas afectadas	Familias afectadas	Muertes	Vías	Acueductos		Viviendas	Centros educativos
Deslizamiento	19	Antioquia	1994-1998	•	•	•	•	12	422	332	13	8	22	45	1	1
Deslizamiento		Atlántico	1995		•			1	3					3		
Deslizamiento	2	Bolívar	1994-1996		•			1		16						1
Deslizamiento	32	Boyacá	1994-1998		•	•	•	12	262	800	7	11		75		1
Deslizamiento	6	Caldas	1994-1995		•			5		93	8	0		7		
Deslizamiento	2	Caquetá	1994-1997		•			1		600	3	2				
Deslizamiento	1	Casanare	1994		•			1		11						
Deslizamiento	18	Cauca	1995-1998		•	•	•	12	1230	264	10	41	2	48	5	2
Deslizamiento	1	Cesar	1996		•						9					
Deslizamiento	1	Córdoba	1997	•	•											
Deslizamiento	8	Cundinamarca	1994-1996		•			6		229	5	10	3	9		
Deslizamiento	6	Chocó	1994-1996		•			6		27		1		22		
Deslizamiento	3	Huila	1997		•			3	184	30		1	1	7		
Deslizamiento	1	Magdalena	1996		•											
Deslizamiento	8	Meta	1994-1997		•			5	396	116	4	3		8	1	
Deslizamiento	14	N. de Santander	1994-1997		•			8	500	489	7	7	3	122	2	3
Deslizamiento	16	Nariño	1994-1997		•			3	542	191	2	6	1	59		3
Deslizamiento	1	Putumayo	1997		•			1	350	70				2		1
Deslizamiento	2	Quindío	1997		•			2	39	7		2		5		
Deslizamiento	10	Risaralda	1994-1997		•			8		1017		13	1	18		
Deslizamiento	11	Santander	1994-1998		•	•	•	6		357		7		9		
Deslizamiento	1	Sucre	1997		•											
Deslizamiento	14	Tolima	1994-1998		•			10	549	255		5	1	71	2	2
Deslizamiento	7	Valle del Cauca	1997-1998		•			2	641	139	3	3	1			1
		Total					6	105	5115	5046	71	120	35	510	11	14
																2

**Tabla 6.10.** Eventos por remoción en masa ocurridos en Colombia de enero de 1994 a mayo de 1998. (Fuente: adaptados de DNPAD-Cruz Roja Colombiana)

nologías para el conocimiento, seguimiento, monitoreo y predicción de la ocurrencia de fenómenos de remoción en masa, como caídas de rocas (derrumbes), avalanchas y deslizamientos, considerados como los de mayor impacto en áreas tradicionalmente inestables.

## Eventos por remoción en masa ocurridos durante el Fenómeno Cálido del Pacífico (1997-1998)

Durante el periodo entre marzo de 1997 y marzo de 1998, el territorio colombiano se vio afectado por eventos geomorfológicos por remoción en masa, del tipo de derrumbes y deslizamientos, originados por lluvias locales intensas y persistentes sobre geofomas jóvenes e inestables de las vertientes del sistema montañoso andino.

Los eventos se concentraron en la región Andina (alta, media y baja montaña), principalmente en los departamentos de Antioquia, Boyacá, Casanare, Cundinamarca, Huila, Meta, Nariño, Risaralda, Santander, Tolima y Valle del Cauca.

El mayor número de eventos por remoción en masa, del tipo de los derrumbes y deslizamientos, ocurrió en los meses de marzo y julio, destacándose por su intensidad y magnitud los ocurridos en marzo en Algeciras (Huila), Ituango (Antioquia), los cuales ocasionaron emergencias ambientales de gran magnitud. Los eventos por remoción en masa ocurridos en el piedemonte Llanero (13 de julio de 1997) sobresalen por la influencia que tuvieron en el sector vial y de servicios públicos, como fue la interrupción del suministro de gas para la capital de la República. Los demás eventos afectaron en su mayoría y en variada intensidad y magnitud al sector vial, agropecuario, residencial y de servicios.

Para el primer trimestre de 1998 (enero-marzo), y como consecuencia de la época seca normal aunada a los efectos del Fenómeno Cálido del Pacífico, el comportamiento de la precipitación fue afectado negativamente, disminuyéndose la actividad de los fenómenos de remoción en masa en gran parte del territorio nacional. A causa de los incrementos abruptos de la precipitación ocurridos en la primera semana de febrero de 1998, se presentaron avenidas torrenciales en Girón y Bucaramanga (Santander) que afectaron al sector vial y a algunos asentamientos humanos localizados sobre el plano aluvial del río de Oro.

En la *tabla 6.9* se presenta el resumen de los eventos ocurridos durante el Fenómeno Cálido del Pacífico (marzo de 1997 a marzo de 1998). En él se tiene en cuenta aspectos como el tipo de remoción en masa, la localización, los componentes afectados y la fecha de ocurrencia. En el componente biótico se destaca la afectación de la cobertura vegetal en los eventos ocurridos en Ituango (Antioquia); en lo que respecta a la fauna acuática, fue la de mayor afectación por los deslizamientos que alcanzaron los cauces de los ríos (Ituango, Algeciras). La mayoría de los eventos se produjeron y coincidieron con las temporadas de máxima precipitación, normales en las diferentes regiones del país.

Movimientos en masa Afectación ambiental de los componentes

En la *tabla 6.10* se presenta el resumen de los eventos por remoción en masa del tipo de derrumbes y deslizamientos ocurridos en Colombia desde enero de 1994 hasta mayo de 1998. La mayoría de los eventos se originó por lluvias intensas y/o persistentes ocurridas sobre geoestructuras tradicionalmente inestables. De los componentes ambientales más afectados se destacan los corporales, con 71 muertos y 5.048 familias afectadas, así como la infraestructura, principalmente vías, viviendas, acueductos, hidroeléctricas y centros educativos.

## Glosario

**Ablación:** fusión del hielo por agentes endógenos o exógenos.

**Acantilado:** ladera montañosa con pendiente desde fuerte hasta vertical, resultado de la erosión litoral mediante socavación, deslizamiento y desplome (Ideam, 1997).

**Acrecionar:** proceso por el cual un cuerpo de roca incrementa su tamaño por la adición externa de partículas nuevas. Término aplicable a pequeños cuerpos –como estromatolitos– o grandes cuerpos –como playas o continentes– (Ideam, 1997).

**Adsorción:** fenómeno de superficie mediante el cual un cuerpo se adhiere a otro.

**Albedo:** relación entre la radiación luminosa reflejada por una superficie y la total e incidente. La nieve puede llegar a tener un 0,8 o 0,9 (80%, 90%) de albedo, una de las mayores de la naturaleza.

**Anfíbol:** mineral compuesto de sílice, magnesio, cal y óxido ferroso, de color verde o negro y brillo nacarado. Común en rocas máficas (*Diccionario Ilustrado de la Geología*, 1982).

**Anticlinal:** pliegue de las rocas de la corteza terrestre, en el cual las capas se inclinan en dirección opuesta desde una cresta. Su núcleo está compuesto por rocas estratigráficamente más antiguas (*Diccionario Ilustrado de la Geología*, 1982)

**Avulsión:** proceso aluvial por el cual una corriente de agua abandona intempestivamente su curso o lecho formando uno nuevo. La salida de su curso se debe a un aumento en el nivel del agua que rompe los causes naturales. El fenómeno se presenta en las llanuras aluviales inundables (Ideam, 1998).

**Basaltos:** roca ígnea básica de grano fino que consta esencialmente de plagioclasa cálcica y piroxeno. El basalto es más o menos equivalente al gabro. Los basaltos se encuentran principalmente como lavas (*Diccionario Ilustrado de la Geología*, 1982).

**Bocana:** término común en la costa Pacífica colombiana para designar a los estuarios con forma de embudo, resultado de las fuertes corrientes de marea y redistribución de los sedimentos litorales (Ideam, 1997).

**Cordón litoral subreciente:** cordón litoral alejado de la línea de costa, indicador de progradación de la línea de costa firme (Ideam, 1997).

**Cordón litoral:** acumulación de sedimentos arenosos de playa en forma sucesiva y paralela a la costa (barras de playa) (Ideam, 1997).

**Deflación:** proceso de arranque y transporte de partículas finas por el viento.

**Deglaciación:** reducción importante y generalizada de las masas de hielo, como consecuencia de un aumento de la temperatura (Flórez, 1992).

**Delta:** acumulación de sedimentos en la desembocadura de un río, de forma variable, como resultado de la pérdida de energía y la interacción con aguas más tranquilas del mar y afectado por el oleaje y la marea (Ideam, 1997).

**Deriva litoral:** proceso de transporte de sedimentos arenosos a lo largo de la costa en la zona de playa y de rompiente; es generado por la refracción de las olas oblicuas en cercanía de las playas (Ideam, 1997).

**Deslizamiento:** erosión mecánica producida por el movimiento ladera abajo de materiales superficiales, suelo y roca bajo la fuerza gravitatoria, comúnmente influenciado por las condiciones de humedad (Inderena, 1977).

Erosión de la línea de costa: se denomina así al proceso de pérdida de playas y destrucción de acantilados que causa un retroceso neto de la línea de costa. Este efecto fue observado principalmente en sedimentos deltáicos poco consolidados y expuestos al ataque del oleaje (Ideam, 1997).

Estuario: entrada costera relativamente estrecha influenciada por los procesos fluviales y de marea. (Ideam, 1997).

Feldespatos: grupo mineral constituido por aluminosilicato de potasio, sodio o calcio. Es el constituyente más importante de todas las rocas ígneas (*Diccionario Ilustrado de la Geología*, 1982).

Formaciones superficiales alóctonas: formaciones resultantes del arranque, transporte y depósito de materiales detríticos por el agua, el viento, hielo, etc. (Ideam, 1998).

Formaciones superficiales autóctonas: formaciones producto de la alteración física, química y/o biológica de las rocas *in situ*, cuyo material no ha sido removido y/o transportado por algún agente natural. Comprende las formaciones generadas por acumulaciones *in situ* de origen orgánico (Ideam, 1998).

Formaciones superficiales: mantos de alteración generados a expensas del sustrato y sin transporte apreciable, así como también, los materiales transportados y depositados por agentes exógenos, que actúan en los diversos sistemas morfogénicos (Ideam, 1998).

Gelifracción: fragmentación o desagregación de la roca por la acción del hielo/deshielo del agua contenida dentro de sus fisuras. El agua al congelarse aumenta su volumen y logra fracturar la roca. Se presenta en ambientes periglaciares (altitudes superiores a 4.200 m). Sinónimo: crioclastia.

Glaciación: tiempo en el que, bajo condiciones climáticas glaciales, se facilita la acumulación y extensión de las masas de hielo. Una glaciación coincide con un periodo glacial, pero no todos los periodos glaciales implican una glaciación (Flórez, 1992).

Glacial: tiempo en el que las temperaturas descienden por disminución de la energía solar (Flórez, 1992).

Glaciar: masa de hielo en movimiento. Incluye detritos rocosos (Flórez, 1992).

Golpe de cuchara: movimiento de remoción en masa empleado para designar pequeños deslizamientos superficiales, a menudo angostos y alargados. El término es una traducción literal del francés (Inderena, 1977).

Interglacial: periodo de temperatura alta entre los valores medios entre máxima y mínima –10% de una glaciación– (Flórez, 1992).

Islote rocoso: isla menor con topografía muy abrupta, resultado de la erosión litoral y generalmente asociada con una antigua línea de costa, también llamado pináculo litoral (Ideam, 1997).

Manglar: asociación vegetal variable, tolerante a diferentes grados de salinidad en los pantanos costeros (Ideam, 1997).

Marisma: área baja próxima a la costa y afectada por las variaciones del nivel de las mareas, que en el trópico está generalmente cubierta por asociaciones de mangle –zona intermareal– (Ideam, 1997).

Modelado: conjunto de formas y de formaciones superficiales resultantes de los procesos ligados a la dinámica externa. Las formaciones superficiales deben entenderse como correlativas de los procesos que las generaron (Ideam-Universidad Nacional, 1996).

Morfoestructura: porción cualquiera de la corteza terrestre que presenta una homogeneidad relativa y ofrece un arreglo o disposición de sus componentes de gran significado en la estabilidad y productividad (Ideam, 1997).

Nevado: sinónimo de glaciar (Ideam, 1998).

Olivino: mineral constituido por silicato de hierro y magnesio, de color verde oliva y brillo vítreo. Ocurre en rocas máficas y ultramáficas (*Diccionario ilustrado de la Geología*, 1982).

Paleoacantilados: riscos degradados, subparalelos a la costa actual. Presentan formas lineales con pendientes moderadas entre los 20° y 30°, reliquias de un antiguo acantilado formado por la erosión litoral con un nivel del mar más alto (Ideam, 1998).

Paleocauces: antiguos cursos de los ríos principales, abandonados en el proceso de migración lateral del río en su valle aluvial.

Pequeña Edad Glaciar o Neoglaciación: estadio que generó en el nivel mundial el avance glaciar más reciente del interglacial actual. Ocurrió entre los años 1600 y 1850 (Ideam, 1997).

Piroxeno: mineral constituido por silicato ferromagnesiano, de estructura fibrosa. Es un constituyente importante de rocas máficas (*Diccionario Ilustrado de la Geología*, 1982).

Playa: acumulación de sedimentos, generalmente de grano tamaño arena, en equilibrio dinámico con el oleaje y el aporte de sedimento (Ideam, 1998).

Polimerización: proceso de agregación de moléculas de uno o más tipos para conformar macromoléculas de alto peso molecular (Boner y Castro, 1982).

Relieve: se entiende como el conjunto de formas resultantes de las fuerzas internas de la Tierra; es decir, es un concepto estructural, en sentido geológico, en el que a su vez se diferencia la litología y la tectónica.

Remoción en masa: movimiento hacia abajo de un volumen apreciable del terreno bajo la influencia de la gravedad, solo –desprendimiento– o combinado con la humedad –soliflucción–; puede ser un flujo rápido –derrumbe– o lento –reptación– (Inderena, 1977).

Retroceso glaciar: pérdida en longitud de las masas glaciares, por diversos agentes (Ideam, 1998).

Rocas ígneas: rocas formadas a partir de la cristalización del magma (Igac, 1995).

Rocas máficas: rocas ígneas caracterizadas por presentar una composición principalmente de plagioclasa y minerales máficos –piroxenos y olivino– (Igac, 1995).

Rocas metamórficas: rocas ígneas o sedimentarias que han sufrido cambios en su textura y composición debido a factores como presión, temperatura y fluidos químicamente activos que transforman la roca original (Igac, 1995).

Rocas sedimentarias: rocas formadas por la acumulación de sedimentos o materiales –fragmentos de rocas y minerales–, remanentes de organismos y productos de acción química o de evaporación o mezcla de éstos (Igac, 1995).

Rocas ultramáficas: rocas ígneas que se caracterizan por tener minerales esenciales máficos con menos del 10% en minerales félsicos (Igac, 1995).

Sedimentación: depósito de materiales transportados por el agua o contenidos en suspensión o solución; puede ser marina, lacustre fluvial y eólica.

Sedimentitas: término empleado recientemente para referirse a las rocas sedimentarias (*Diccionario Ilustrado de la Geología*, 1982)

Sinclinal: pliegue de las rocas de la corteza terrestre en el cual la inclinación de los flancos es convergente hacia abajo. El núcleo está compuesto por rocas estratigráficamente más jóvenes. (*Diccionario ilustrado de la Geología*, 1982).

Sistema morfogénico: conjunto de procesos interdependientes que generan un modelado específico en un espacio determinado. Los procesos que funcionan en un espacio definido y que integran el sistema morfogénico están condicionados por factores –atributos– como la estructura geológica –litología y tectónica–, las con-

diciones bioclimáticas, la pendiente, los modelados heredados y las formas de ocupación antrópica (Ideam, 1996).

Soliflucción: movimiento lento y masivo del suelo y subsuelo en topografía suave, causado por la saturación acuosa del terreno. Origina ondulaciones, sin ruptura de la capa superficial o con rupturas aisladas o menores. Si se agrava el fenómeno, puede dar lugar a deslizamientos.

Subducción: proceso por el cual una placa oceánica subduce o se encaja bajo una placa continental, que permanece encima o en la superficie. Sucede en los sectores de la tierra donde ocurren movimientos tectónicos convergentes (Inderena, 1977).

Terraza marina: superficie plana a casi plana resultante de la erosión litoral durante un periodo en el cual el nivel del mar estuvo relativamente más alto (Ideam, 1997).

*Tsunami*: término japonés empleado para designar una ola de gran periodo causada por cualquier perturbación de gran escala en el piso del océano y de corta duración, tal como una erupción volcánica o un terremoto. Sinónimo: maremoto (Ideam, 1997).

Tunelización glaciar: acción erosiva del agua de fusión del hielo que, al escurrir debajo de éste, forma túneles de diversas magnitudes (Ideam, 1998).

Ultramáfica (roca): roca ígnea de contenido de sílice menor al 45% del total de la roca. Compuesta predominantemente por minerales ferromagnesianos y con índice de color mayor a 70 (*Diccionario Ilustrado de la Geología*, 1982).

Volcanes de lodo: estructuras puntuales de origen diapírico, producto del ascenso lento de flujos de lodo de baja densidad a través de las capas superficiales poco consolidadas. El lodo construye edificios en la forma de conos, de diámetro variable. El nombre volcán se deriva de su semejanza morfológica con los volcanes de lavas efusivas, pero genéticamente no tienen ninguna relación (Ideam, 1998).

\_\_\_\_\_ 1978. Capacidad de uso actual y futuro de las tierras de la Orinoquía colombiana; un enfoque ecológico. Instituto Geográfico Agustín Codazzi: Bogotá

Cortés, A y Malagón, D, 1984. Los levantamientos agrológicos y sus aplicaciones múltiples. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano: Bogotá

Chamorro, C y M García, 1993. Características edafofaunísticas. Aspectos ambientales para el ordenamiento territorial del occidente del departamento del Caquetá. 2, cap. VIB, sec-

- ción 5. Instituto Geográfico Agustín Codazzi-IGAC, Programa Investigaciones para la Amazonia-INPA. Tercer Mundo Editores: Santafé de Bogotá
- Chamorro, C, O Torres *et al.* 1989. "Estudio bioedafológico preliminar de la isla Gorgona". *Acta Biológica Colombiana*, 1(5). Departamento de Biología, Universidad Nacional de Colombia: Bogotá
- Dillon, E y L Dillon, 1972. *A manual of common beetles of Eastern North America*. Dover Publications, Inc.: New York
- Duchaufor, PH, 1987. *Manual de edafología*. Ediciones Masson: Barcelona
- FAO. 1965. Reconocimiento edafológico de los llanos Orientales. 1-3 Roma
- Flórez, A. 1995. "Tectoorogénesis, disección e inestabilidad de vertientes en los Andes colombianos", *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Exact. Fis. Nat.* 19 (74)
- \_\_\_\_\_ 1992. "Los nevados de Colombia: glaciales y glaciaciones", *Análisis Geográficos* N° 22. Instituto Geográfico Agustín Codazzi: Santafé de Bogotá
- García, M 1987. La edafofauna del bosque alto-andino en una región de Monserrate. Tesis de Biología. Universidad Nacional de Colombia: Bogotá
- Hastenrath, S, 1984. The glaciers of Equatorial East Africa: Holland
- Herd, DG, 1982. Glacial and volcanic geology of the Ruiz-Tolima complex. Cordillera Central, Colombia. Publ. Geol. Esp. Ingeominas, 8. Bogotá
- Huguett, A, Mosquera, F y C Molano. 1989. Memoria explicativa del mapa hidrogeológico de Colombia. Ingeominas. Bogotá
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam) y Universidad Nacional de Colombia, 1997. Geosistemas de la alta montaña. Inédito: Santafé de Bogotá

---

## Referencias bibliográficas



Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 1995. *Elaboración de los mapas de amenaza sísmica de la nueva versión del Código Sísmico. Seminario sobre microzonificación sismogeotécnica y vulnerabilidad de ciudades*. Universidad de los Andes: Santafé de Bogotá

Bernal, A y G Figueroa, 1980. Estudio ecológico comparativo de la entomofauna en un bosque alto-andino y un páramo localizado en la región de Monserrate, Bogotá. Tesis de Biología. Universidad Nacional de Colombia: Bogotá

Borror, D, D. Delong y C Triplehorn, 1992. *An introduction to the study of insects*. Saunders College Publishing: USA

Botero, P et al. 1996. Inestabilidad de los paisajes en Orinoquia-Amazonia. ORAM, VII Congreso Colombiano de Geología, II Seminario sobre el Cuaternario en Colombia: Santafé de Bogotá

Brunnschweler, D, 1981. "Glacial an periglacial form system of the Colombian Quaternary". *Revista CIAF*, 6 (1-3)

Burges A y F Raw, 1971. *Biología del suelo*. Ediciones Omega: Barcelona

- \_\_\_\_\_ 1997. Manual de aporte para la caracterización y clasificación de unidades de roca para la base de datos de la subdirección de Geomorfología y Suelos: Santafé de Bogotá
- \_\_\_\_\_ 1997. Morfodinámica, población y amenazas naturales en la costa Pacífica colombiana. Documento Ideam. Inédito: Santafé de Bogotá
- \_\_\_\_\_ 1996. Caracterización bioedafológica de las regiones naturales de Colombia: Santafé de Bogotá
- \_\_\_\_\_ 1996. Sistemas morfogénicos del territorio colombiano. Inédito: Santafé de Bogotá.
- \_\_\_\_\_ 1996. Informe del estado del medio ambiente en Colombia: Santafé de Bogotá
- \_\_\_\_\_ 1996. Informe técnico de la comisión efectuada a los volcanes nevados Santa Isabel y Ruiz: Santafé de Bogotá
- IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Subdirección de Agrología), 1995. Los suelos de Colombia: Santafé de Bogotá
- \_\_\_\_\_ 1995. Suelos de Colombia: Santafé de Bogotá
- \_\_\_\_\_ 1982. Los suelos de las cordilleras Andinas y su aptitud de uso. Bogotá
- \_\_\_\_\_ 1982. Los suelos del Valle del Cauca. Bogotá
- \_\_\_\_\_ 1980. Capacidad de uso de los suelos de la llanura del Caribe. Bogotá
- \_\_\_\_\_ 1979. La Amazonia colombiana y sus recursos. Proyecto Radargramétrico del Amazonas-PRORADAM: Bogotá
- IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi), 1995. Proyecto caracterización de los glaciares colombianos, informes finales. Inédito: Santafé de Bogotá
- \_\_\_\_\_ 1994. Proyecto Geodinámica y amenazas naturales. Informe técnico de avance. Inventario de la actividad sísmológica nacional. Inédito: Santafé de Bogotá
- Inderena (Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente), 1977. La erosión de tierras en Colombia: Bogotá
- Infante, J, 1987. Influencia del uso del suelo sobre la mesofauna edáfica en el páramo de Chingaza, Cundinamarca. Tesis de Biología. Departamento de Biología, Universidad Nacional de Colombia: Bogotá
- Ingeominas (Instituto Geológico y Mínero), 1988. Mapa geológico de Colombia. Escala 1: 1.500.000: Bogotá
- \_\_\_\_\_ Banco de datos hidrogeológicos: Bogotá
- Khobzi, J y P Usselman, 1974. "Problemas de geomorfología en Colombia", *Bull. Inst. Fr. et And.* 3 (4)
- Kraus, E y T van der Hammen, 1960. Las expediciones de glaciología del AGI a las sierras nevadas de Santa Marta y del Cocuy. IGAC: Bogotá
- Mantilla, G, 1988. "Contribución al conocimiento y conservación de las tierras y los suelos en Colombia", *Trianea (Acta científica y tecnológica Inderena)* 2: 445-495: Bogotá
- Mantilla, G y P Leyva, 1982. Diagnóstico del recurso suelo. Ed. OPSA, IICA, Inderena: Bogotá
- \_\_\_\_\_ 1997. La estructura geopedológica en la productividad, estabilidad y degradación de suelos y tierras en Colombia. Ideam-Subdirección de Geomorfología y Suelos
- Martínez, LJ, 1996. Base de datos y caracterización de los suelos de la Orinoquia colombiana. Ideam: Santafé de Bogotá
- Medina, A, 1990. Estudio de las poblaciones de entomofauna y observación de algunos aspectos de su dinámica en un bosque húmedo tropical ubicado en el Parque Nacional Natural de Amacayacu, Comisaría del Amazonas (Colombia). Tesis de Biología. Departamento de Biología, Universidad Nacional de Colombia: Bogotá
- Naranjo, M y M Peñaranda, 1995. Composición y variaciones de la edafofauna en un oxisol (Acroperox Petroférrico) del Complejo Migmatítico de Mitú, bajo tres usos diferentes del suelo. Tesis de Biología. Universidad Nacional de Colombia: Santafé de Bogotá
- Ochsenius, C, 1981. "Ecología del Pleistoceno tardío en el Cinturón Árido Caribeño", *Revista CIAF* 6 (1-3): Bogotá
- Oerlemans, J, 1987. *Glacier fluctuations and climatic change*: London.
- Oppenheim, V, 1940. "Glaciaciones Cuaternarias en la cordillera Oriental de la República de Colombia", *Rev. Acaobo Colomb. Cienc. Ex. Fís. y Nat.* 4 (13): Bogotá
- Ordoñez, N, 1989. "Evaluación de degradación de suelos en el área de colonización de San José del Guaviare, Corporación Colombiana para la Amazonia, Araracuara", *Colombia Amazónica* 4 (1)
- Ortiz, L, 1996. Identificación y caracterización de posibles procesos de degradación de suelos en zonas de uso intensivo. Ideam-Subdirección de Geomorfología y Suelos. Suelos (documento inédito): Bogotá

- Parisi, V, 1979. Biología y ecología del suelo. Editorial Blume: Barcelona
- Reyes, P, J Molano y F González *et al.* 1995. “El páramo: ecosistema de alta montaña”. En: *Montañas tropandinas*. 1. Ecoandes: Santafé de Bogotá
- Rodríguez, E y J Zuluaga, 1985. Influencia de la reforestación con pino, *Pinus patula*, sobre las poblaciones de insectos en el embalse La Regadera. Tesis de Biología. Universidad Nacional de Colombia: Bogotá
- Salamanca, N, 1988. Contribución al conocimiento de la edafofauna del páramo de Monserrate, sector Hacienda Santa Barbara, Cundinamarca, Colombia. Tesis de Biología. Universidad Nacional de Colombia: Bogotá
- Sánchez, H, G Arenas y D Zuluaga, 1992. Estudio bioedafológico del área petrolera de Caño Limón (Arauca-Colombia). Tesis de Biología. Universidad Nacional de Colombia: Santafé de Bogotá
- Sánchez, J, 1996. Evaluación de los sistemas de producción agrícola, en áreas de agricultura intensiva del país, degradación de suelos y aguas por efecto de los plaguicidas. Informe final. Ideam - Subdirección de Geomorfología y Suelos: Santafé de Bogotá
- Van der Hammen, T, 1985. “The Plio-Pleistocene climatic record of the tropical Andes”, *Journal of the Geological Society of London*, 142
- Zerda, M, 1988. Influencia del uso del suelo en la fauna edáfica en el páramo de Chisacá, Cundinamarca, Colombia. Tesis de Biología. Universidad Nacional de Colombia: Bogotá