



# Colombia Alto Andina y la Significancia Ambiental del Bioma Páramo en el contexto de los Andes Tropicales: una aproximación a los efectos de un tensor adicional por el Cambio Climático Global (*Global Climatic Tensor*)

Por Carlos Castaño-Uribe

Director General del IDEAM

## Introducción

Existen determinadas características y realidades geobióticas evolutivas que hacen de los Andes Tropicales uno de los sitios más significativos del planeta y realzan su papel estratégico global. Así lo reconocen registros científicos y manifestaciones políticas desde el punto de vista no solo de su extraordinaria oferta ambiental (bienes y servicios ambientales geoestratégicos) sino también su grado de amenaza y determinación a transformaciones altamente inconvenientes para la región y para el orbe. Estas condiciones de la región, por supuesto, son reconocidas en la actualidad como los indicadores de relacionamiento “oferta-demanda” de sus recursos naturales y por lo tanto, del rótulo de “*HotSpot*” que se nos confiere por la doble condición biodiversidad/amenaza, lo cual permite, además, nuestro encabezamiento entre las 10 áreas mundiales más amenazadas a nivel planetario (Mittermaier 1999, 2001), respecto de otros territorios igualmente frágiles y vulnerables como las regiones de Sonda, Madagascar, Mata Atlántica, Indo-Birmania, Filipinas y el Caribe Insular. (Ver cuadro 1)



**Cuadro 1** Andes tropicales. Extremismos en vertebrados y plantas en los principales *HotSpots* del mundo

<i>HotSpots</i>	Plantas nivel mundial %	Vertebrados nivel mundial %
Andes Tropicales	6.7	5.7
Región de la Sonda	5.0	2.6
Madagascar	3.2	2.8
Mata Atlántica	2.7	2.1
Caribe	2.3	2.9
Cuenca Mediterránea	4.3	1.9
Indo -Birmania	2.3	1.9
Filipinas	1.9	1.9

Fuente: Mittermaier 1999, CI.

Esta posición *HotSpot*, definida por la doble condición de estar considerados países megadiversos y territorios con altos índices de destrucción de la biodiversidad es contundente pero aún distante, en su amenaza verdadera para el futuro, pues incorpora tan solo y de forma muy particular las tasas de deforestación y macrovectores de desarrollo que inciden en la transformación antrópica del territorio. Esta doble situación, de hecho, se vuelve más adversa, compleja y desafortunada para los Andes Tropicales –como en ningún otro sitio del planeta– cuando se incorpora una variable sobresaliente de las variables de “*Hot Condition*”, como lo puede ser el Cambio Climático Global (Global Climatic Change – GCC), que se convierte, al tenor de nuestros estudios (IDEAM, 2001) en el tensor más dinámico y letal de todos, en las próximas décadas.

De hecho. El GCC, nos someterá en un escenario  $2xCO_2$ , con serias y severas consecuencias para el futuro inmediato, de continuar las condiciones de emisión de gases efecto invernadero. El pronóstico para Colombia  $-15\% + 15\%$  en precipitación y el aumento de la temperatura en  $1.5^{\circ}C$

$\pm 3.5^{\circ}C$  para los próximos 50 años, sumado a los cambios climáticos ya ocurridos durante los últimos 30 años ( $0.8^{\circ}C$  de aumento medio anual), permiten augurar una traslocación altitudinal de los ecosistemas colombianos que tendrán un muy fuerte y definitivo impacto en la mayoría de los ecosistemas de Alta Montaña, posiblemente, hasta niveles de desaparición total para algunos biomas. En este sentido, no se tratará solamente de un problema de pérdida de la biodiversidad, sino un problema de seguridad nacional relacionado con la pérdida de buena parte de los bienes y servicios ambientales, en particular, el agua, entre otros, pues la parte más importante de la “Estructura Ecológica de Soporte Nacional”, para garantizar el recurso hídrico del país y los países circunvecinos es, sin lugar a dudas, la que está hoy determinada por la interrelación de los biomas Glaciar/Páramo/Bosque de Niebla que podrían desaparecer o verse disminuidos en enorme proporción, directa e indirectamente por el cambio climático global. Esto será, entonces un factor definitivo para exponenciar geométricamente la amenaza sobre la biodiversidad y sobre

las poblaciones humanas asentadas en los Andes Colombianos y el resto del norte de los Andes.

En tal sentido, la vulnerabilidad actual por transformación antrópica local (nacional y regional) que caracteriza el concepto *HotSpot* se podría acentuar en una proyección geométrica o exponencial por las variaciones y modificaciones que el cambio climático global, impondrá pues esta variable está y seguirá determinando un efectivo manifiesto sobre los ecosistemas naturales y antrópicos haciéndolos más propicios para el cambio en el uso del suelo y permitiendo el advenimiento definitivo de expansión de las transformaciones del paisaje de los biomas silvestres en las altas cumbres tropicales. Tal amenaza, de no tomarse los correctivos y las estrategias de política internacional, nos pondrá en una condición ***HotSpot & Global Climatic Tensor***.

Este artículo pretende demostrar el carácter estratégico y la amenaza del bioma páramo dentro de los de la Estructura Ecológica de Soporte Nacional en caso que los procesos de cambio climático global sigan ocurriendo. Para ello, se hará un breve recuento de la significancia actual de este ecosistema y el preámbulo para analizar los alcances de una condición *HotSpot & Global Climatic Tensor* para el país.

## 1.1 Antecedentes

### 1.1.1 Sobre los ecosistemas globales de Alta Montaña

En los últimos años, a medida que la población mundial aumenta, a un ritmo exponencial y los procesos de adaptación humana se vuelven más generalizados como agentes de transformación de los ambientes naturales – prácticamente hoy inexistentes en su versión – los ecosistemas de Alta Montaña se vuelven más significantes y definitivos para la supervivencia del hombre y para los demás ecosistemas planetarios que están necesariamente interrelacionados e interdependientes en relación con las subseries inferiores del gradiente altitudinal continental y oceánico. Una simple observación de la ley gravitacional nos indica que todo lo que cae de arriba tendrá algún efecto

abajo. Pero la trascendencia de esta observación no solo puede ser medida por la ley de Newton, sino por un conjunto muy especial de condiciones que caracteriza a estos ecosistemas de Alta Montaña: el efecto Penn House Environmental. Es decir, su condición especial como cabecera generadora-reguladora de los más importantes y valiosos recursos hídricos de superficie continental en el norte de los Andes; en otras palabras, genera, regula y recarga el agua –líquida, sólida y gaseosa– que requieren las cumbres, glaciares, valles, vertientes, terrazas basales, litorales, plataformas continentales y, por acción sucesional, las fosas oceánicas.

La Alta Montaña tiene una naturaleza tridimensional que abarca un conjunto diferenciado de ecosistemas, vertientes, cinturones altitudinales de corta distancia, exposiciones climáticas diversas y extremas que se relacionan permanentemente con procesos de erodabilidad, acción tectónica – ocasional – y susceptibilidad a daños locales y regionales, según la conjunción de eventos.

Generalmente, la biota de las montañas es particularmente vulnerable a los cambios climáticos de larga duración, pues su rango adaptativo se realiza con especiales particularidades en los ciclos diurno-nocturno y se radicalizan más y más desde las franjas templadas hasta el trópico.

Las montañas Alto Andinas, son además, el último refugio de muchas plantas y animales que en las tierras bajas han desaparecido o que tienen tal grado de adaptabilidad a la franja altitudinal de cumbre, que guardan un nivel muy alto de especificidad en las especies (endemismo), y cuya variabilidad biológica es claramente más alta a medida que se localiza sobre el eje ecuatorial. En algunos casos, estas cumbres se convierten en refugio insular, es decir, en islas biológicas sin conectividad y corresponsabilidad genético-biológica con ecosistemas idénticos, y por ello están muy determinados por la correlación con otros ecotonos, particularmente con el bosque alto andino y/o bosque de niebla.

Igualmente, pueden ser estos sitios, los únicos lugares donde a partir de las transformaciones alti-

tudinales, notorias hasta cierta cota más apta para el establecimiento óptimo de los asentamientos humanos, existe aún la posibilidad de encontrar una continuidad (corredor) biológica en sentido horizontal que dependiendo de su magnitud o tamaño, permite garantizar determinados procesos de expansión y flujo genético y, por supuesto, la localización y distribución de biomas con altas tasas de especies raras, endémicas o insuficientemente conocidas. De otra parte, existe una alta concentración de valores escénicos y atractivos turísticos y de contemplación que, en algunos casos y para determinadas culturas, están asociados con aspectos sagrados de la naturaleza humana y hacen parte de la cosmogonía cultural más importante de un territorio o una región.

Muchos de los más recientes estudios indican las severas amenazas que se ciernen sobre los ecosistemas de montañas en el mundo entero (en esa casi última frontera), pero especialmente los daños se han calificado de extremos y significativos en la Alta Montaña tropical del planeta y de forma más destacable en el norte de los Andes.

En razón a lo anterior, estrategias internacionales y nacionales han ido aunando esfuerzos importantes por proteger y conservar el patrimonio natural de los ecosistemas montañosos del mundo. No es gratuito, pues, que el año 2002 haya sido considerado el Año Internacional de la Alta Montaña y que de las 7120 áreas protegidas de orden nacional a nivel mundial (más de 6.000.000

Km<sup>2</sup>), 480 estén protegiendo los ecosistemas de Alta Montaña más importantes (Vg. Kilimanjaro, Elbruz, Lorentz, Monte Kinabulu, Alpes Suizos, Taranaki, Monte Apo, Pirineos, Great Smokies, Glaciares de Patagonia etc.), lo que equivale a unos 574 millones de hectáreas en su conjunto y la protección –muchas veces eficiente- de los criterios internacionales propuestos en las últimas dos décadas de proteger como mínimo una parte de cada cordillera o *continuumos montañosos*.

### 1.1.2 La significancia de los Andes Tropicales

La parte septentrional de Sudamérica se caracteriza, principalmente, por poseer una serie de particularidades que están asociadas a su condición bioclimática. Esta condición, a su vez, está determinada por su localización respecto al eje ecuatorial y a la franja tropical del planeta. Las condiciones especiales, están, entonces, compartidas sobre el globo con no más de 12 países del mundo (que son interceptados por la línea ecuatorial, entre ellos 4 suramericanos y tres pertenecientes a los Andes norte. Las particularidades de este último territorio, están definidas –respecto de sus condiciones únicas y maravillosas– por poseer un gradiente altitudinal superior a los 3.000 metros de altura sobre el nivel medio del mar. (Ver cuadro 2)

Los Andes, como es bien sabido es, como sistema geomorfológico, un conjunto de unidades de diverso origen, pero agregadas como estructura en

**Cuadro 2** Andes tropicales. Biodiversidad y endemismo

Taxa	Nº especies	Endemismos
Anfibios	830	604
Reptiles	479	218
Aves	1666	677
Mamíferos	414	68
Vertebrados Terrestres	3389	1567
Plantas Vasculares	45000	20000

forma muy recientemente (en términos geológicos) cuando placas continentales y oceánicas se estrellan finalmente para producir el levantamiento de los Andes desde finales del Plioceno (entre 7 y 5 millones de años atrás). Este levantamiento, sin embargo, no fue inmediato y abrupto. Ha sido un proceso muy dinámico que aun sigue ocurriendo y se manifiesta desde el punto de vista tectónico, en forma permanente. Lo que sabemos es que muchos de los ecosistemas del norte de los Andes han ido cambiando paulatinamente a medida que las variaciones climáticas se “estabilizan” o se “dinamizan” y a medida que las poblaciones biológicas logran una adaptabilidad a las condiciones, que en el fondo, han sido extremadamente variables en los últimos siglos, ya bien por la dinámica geológica de la tierra, ya bien por los eventos naturales y mas recientemente, por la aparición del hombre con su gran gesta adaptativa.

Se estima que por lo menos el 50% de las especies del Neotrópico (México-Argentina) están en los Andes y el 56% de las planta vasculares de los Andes Norte son endémicas. Igualmente, se sabe que por lo menos un 18% de las aves del mundo se encuentran en esta misma región. Los Andes poseen, por ejemplo, la herpetofauna más rica de América del Sur (727 especies de las 2250 reportadas y de las 462 anfibias y 265 reptiles, el 83% es endémico).

El bioma páramo, puede considerarse, en el contexto de los Andes, el más reciente de los ecosistemas formados, pues su formación y colonización a las condiciones particulares de la cumbre andina no tiene más de 3 millones de años, lo que significa un tiempo extremadamente corto respecto a todas las demás formaciones vegetales del continente, e incluso del Neotrópico. Su aparición como un conjunto diferenciado y característico de las demás formaciones del continente fue, entonces, especialmente determinada por algunos aspectos relacionados con los andes tropicales:

- Condiciones altitudinales superiores a los 3.000 m.s.n.m.
- Localización geográfica e incidencia respecto a la radiación solar

- Condiciones específicas de humedad y precipitación tanto horizontal como vertical.
- Condición central y neurálgica de la zona norandina en el corredor biológico hemisférico desde Alaska hasta la Patagonia que desde hace 5.2 millones de años, en que el Istmo Centroamericano une a norte y Sudamérica, permitió el intercambio genético mas importante del planeta de especies separadas y altamente diferenciadas en términos evolutivos.

En otras palabras, estamos nuevamente ante uno de los pocos eco sistemas endémicos de la región y su existencia confinada, en parte, al “determinismo” climático imperante desde el Pleistoceno y su variantes holocénicas, para lo cual, este bioma ha tardado mas de 3 millones de años en adaptarse biológica y fisiológicamente. Estas determinantes hacen, por lo tanto, que los páramos, en su concepción más estricta de comunidad biótica asociada *Espeletium-Calamagrostis*, solo se presente plenamente en tres países del mundo (Venezuela, Colombia y Ecuador), y en una pequeña porción de los andes norteños del Perú. Además, permite que elementos de origen genético altamente diferenciado se congreguen, finalmente, en este sitio para consolidar a partir de los diferentes espasmos climáticos de finales de la Era Terciaria y, lo que va corrido del Cuaternario, como un nicho ecológico donde confluyen elementos Laurásicos: Holárticos y Templados (Polo Norte, zona Boreal de Alaska y Canadá, y bosques subtropicales de Norte América), y elementos claramente Gonduaneses: Australo-antárticos, Andino tropicales y subtropicales.

A medida que estos elementos se han venido consolidando y adaptando a las condiciones propias de la porción más húmeda de los Andes, las características más importantes que ha surgido de este enclave biológico son:

- Alto rango de adaptabilidad a condiciones tan extremas de los ciclos diurnos nocturnos (muy diferentes a los rangos estacionales (cuatrimestrales o semestrales) del resto del planeta).

- Fragilidad a variaciones climáticas, ya que la fisiología de casi todas sus plantas y de algunos animales es altamente especializada.
- Restricción en la distribución de sus especies, es decir su nivel de endemismo (las tasas en muchas de las especies en anfibios, reptiles, aves, mamíferos, vertebrados terrestres y plantas vasculares muestran índices de endemismo mayores que en cualquier otro lugar del planeta y, por ende, del resto de las áreas *Hotspot* de Rusell Mittermaier,(2001).

De otra parte, es importante señalar que en este territorio se denota una mayor preocupación por el grado de amenaza y una mayor predisposición a la vulnerabilidad biológica en razón a: la restricción de distribución de las especies; a la ocurrencia frecuente de espasmos de extinción que se han venido sucediendo desde el pleni-glaciario; a la destrucción masiva de los hábitat naturales (más del 70% del área ha perdido su cobertura original) y el aumento demográfico la población humana).

### 1.1.3 La significancia de la Colombia Andina

Más allá de que más del 17 % de todas las especies del planeta estén en la cordillera Andina y que buena parte de estas a su vez estén localizadas en el norte de los Andes, la porción Andina perteneciente al territorio Colombiano, muestra una serie de características muy importantes entre las cuales están íntimamente ligadas a una intrincada topografía, resultado de una orogénesis compleja y accidentada.

El país de hecho es considerado uno de los pocos sitios denominados **Punto Triple** en el mundo, es decir, un sitio de confluencia de tres placas tectónicas a la vez. Sin embargo, considerando nuestra plataforma oceánica, podríamos incluso decir que somos un país **Punto Cuádruple**, pues confluyen en nuestro territorio la placa Suramericana, la placa Nazca, la placa Cocos y la placa Caribe en interacción con la Placa Atlántica. Igualmente podríamos incluir la existencia del Escudo Guayanés de la formación Roraima y parte de la placa Amazónica, como elementos geodinámicos muy distintivos.

Es claro, pues, que todos estos segmentos geológicos, jugaron un papel definitivo en la conformación final de la morfología de esta porción septentrional del Continente Suramericano. Así, la cordillera de los Andes, al sur del país en límite con Ecuador, se consolida en el Nudo de los Pastos y luego hacia el sur se trifurca en ramales, claramente diferenciados y separados por dos valles interandinos (Magdalena y Cauca) y dos llanuras basales (pacíficas y Amazonía / Orinoquía).

A pesar que el levantamiento final de los Andes en nuestro territorio es relativamente reciente (mediados del plioceno) existen ya notorias diferencias entre las diversas formaciones vegetales o bióticas de estas áreas que van más allá de las obvias diferencias altitudinales que imprime la cordillera de los Andes, cuyas cúspides más altas llegan a los 5.600 m.s.n.m. (nevado del Huila en la cordillera Central o serranía de Chitas y Cocuy en la cordillera Oriental).

No obstante, existen elementos florísticos y faunísticos con algunas relaciones biogeográficas aledañas que dan e imprimen el status más variable a la diversidad de los Andes. En tal sentido encontramos relaciones singulares entre el Chocó biogeográfico y las selvas del Magdalena medio, o sitios como la serranía de la Macarena donde confluyen elementos biológicos de la Orinoquía, la Amazonía y Los Andes al tiempo.

Este panorama se completa y complejiza aún más con la existencia de un gran conjunto de unidades estructurales geológicamente diferenciadas de Los Andes, definidos en trabajos anteriores como el “Sistema Montañoso Periférico” (Castaño Uribe 1999, 1992, 1998, 2000) del cual hacen parte la serranía de las Cocinas, la Sierra Nevada de Santa Marta, la Serranía de la Macuira, la Serranía del Chiribiquete, la del Tunay, Naquen, entre otros. Dentro de la propia cordillera de los Andes colombianos, se pueden encontrar algunos pasos más bajos inferiores a los 2000 m.s.n.m. tal como es el caso de la depresión Colombia en la cordillera Oriental (departamento del Huila) o la depresión del Cesar en la misma cordillera al norte del país. Estos pasos, han servido desde mucho

tiempo atrás no solo como corredores obligados de migraciones de especies de fauna y flora, sino también, desde siglos más recientes, a comunidades humanas que remontaron los Andes desde las zonas bajas de la Amazonía y la Orinoquía.

La cordillera Andina Colombiana es por lo tanto un corredor biológico natural tanto en las cotas horizontales norte-sur como en el gradiente vertical. Así se explica la confluencia de los elementos holárticos, antárticos, austrálicos, además de los propios elementos tropicales de las tierras bajas como de las altas y, solo así se explica, la interrelación explosiva de los diferentes modelos fitogeográficos en la interrelación árboles / bejucos, por un lado, y el epifitismo, arbustos, palmitos, por otro, cuya mayor especiación se inicia en el plioceno.

Para Gentry, 1992, por ejemplo, en los bosques tupidos de Colombia entre el 20% y 25% de las especies de angiospermas presentan altos índices de endemismo. Cleef, opina que en la flora vascular en los paramos de Colombia, más del 50% tiene origen tropical y por lo menos un 33% viene de bosques temperados. Todo ello, además con altos niveles de especialización y endemismo por encima de un 17% dentro de los páramos colombianos, que dicho sea de paso es un bioma que representa más de un 64% de la superficie total a nivel mundial y que tienen una formación tan reciente que puede ser considerada, en equivalencia, una 1/3 parte de la evolución del tiempo de los bosques subandinos.

La mayor concentración de especies de plantas vasculares tanto en árboles como en lianas leñosas con d.a.p. > ó = a 10 cm. están ubicados en los bosques de piedemonte de las cordilleras (bosques de ceja). Así mismo, la mayor diversidad de epífitas en bosques tupidos se encuentra entre 1.000 y 2.000 mts., sin perder de vista que la mayor densidad esta entre los 2000 y 2500 mts. (Gentry – Dodson, 87). De los 300 géneros de plantas briófitas para Colombia (más de 1.500 especies) sabemos que por lo menos del 93% se encuentra en las cordilleras Andinas y particularmente en la cordillera Oriental, presentando, igualmente, el

mayor nivel de endemismo con musgos y hepáticas; por el contrario más del 10% de las plantas vasculares son epífitas y de ellas más de un 50% pertenecen a una sola familia de orquídeas.

La información de la que disponemos hoy, nos permite comprender que las cordilleras del país no solo han servido como corredores de flujo de información genética -que bajo determinadas circunstancias ambientales y naturales han permitido a determinadas regiones montañosas convertirse en un centro de hibridación, distribución y especiación biológica muy importante- sino han actuado como una barrera infranqueable para determinados organismos y comunidades, especialmente aquellas que se ven incapacitadas para remontar las cordillera o poder adaptarse a circunstancias específicas que alteren las variables y características de zonas bajas tropicales. (Ver cuadro 3)

Una rápida evaluación de los niveles y rangos de diversidad, endemismo y variabilidad entre las cordilleras del país andino, nos muestra parámetros algo diferenciados entre ellas pero, especialmente, demuestra la significancia de la cordillera Oriental como la más sobresaliente en hábitat, número de refugios pleistocénicos, centros de endemismo, aves de páramo, herpetofauna, diversidad de género Satyridae (mariposas), número de especies de árboles y bejucos, vegetación vascular de páramo, número de especies de Espeletia, número de mamíferos, y posiblemente, número de primates (Van Velzen,91; Rodríguez 95; Salamanca 85).

De otra parte, en peces de agua dulce sobresalen en esta porción de los Andes, más de 18 especies conocidas del género *Chaetostomus* (bagres acorazados) característicos de aguas rápidas y frías y una amplia oferta en especies de la familia *Trichomycteridae*.

Entre los elementos netamente altoandinoides aparecen entre otros, *Mauria*, *Gaiadendron*, *Bucquetia* y *Chinchona*. Entre los elementos Holárticos representados aparecen el Roble (*Quercus*), Laurel (*Myrica*), Nogal (*Juglans*), Aliso (*Alnus*) y Espino de Oro (*Berberis*). Finalmente, elementos



**Cuadro 3** Comparación diversidad cordilleras en Colombia

<b>Elementos</b>	<b>Cordillera</b>	<b>Oriental</b>	<b>Central</b>	<b>Occidental</b>	<b>Nudo de los Pastos</b>
Arboles y Bejucos		1	SN	SN	1
Veg. Vascular Páramo		1	SN	SN	SN
Spp.Espeletia		1	2	3	SN
Mamíferos		1	2	3	4
Primates		SN	SN	SN	1
Aves exóticas		4	3	2	1
Aves Páramos		1	2	3	--
Herpetofana		1	2	3	4
Satyridae		1	2	3	--
Hábitats		1	3	2	2
Ref. Pleistocénicos (secos y húmedos)		1(6)	3(4)	4(3)	2(6)
Centros Endemismo		1(6)	4(4)	3(5)	2(6)

Claves: 1: Muy alto 2: Alto 3: Medio 4: Moderado SN: Sin información suficiente

de origen Australo Antárticos tales como los Encenillos (*Weinmannia*), el canelo (*Deymis*), Uvas de monte (*Pernettya*), el Chilco colorado (*Escallonia*), Romero (*Diplostegium*), el Palo Colorado (*Polepis*), carretillos (*Calceolaria*), el Espino (*Desfontania*) y el Yolombó (*Panopsis*).

Es claro que la información existente no permite tener un cuadro completo de la significancia y la caracterización de la región andina, no obstante la información existente es lo suficientemente confiable como para realizar los estimativos generales que se han indicado. De hecho los avances logrados en la última década por parte de los investigadores de las Corporaciones Autónomas regionales, los investigadores holandeses y los Institutos de Investigación biológica como el Alexander Von Humboldt e IDEAM permiten de antemano considerar a los Andes colombianos como una de las áreas más biodiversas y complejas del planeta. Tenemos la fortuna, así mismo de contar con un largo historial paleoecológico que

ha venido estructurándose a partir de las amplias investigaciones realizadas por el profesor Thomas Van der Hammen y su equipo, así como con otra gran cantidad de especialistas nacionales que han podido identificar la secuencia completa del pleistoceno y sus cambios ecosistémicos en la sabana de Bogotá en los últimos 3 millones de años.

La investigación realizada demuestra una larga secuencia de eventos climáticos y ecológicos con profundas modificaciones en la composición vegetal de la región Alto Andina, donde de forma muy particular han incidido los fenómenos glaciares con sus picos más fríos y húmedos, por un lado, y los más secos y cálidos por otro. Se destaca, la expansión de los páramos hasta cotas realmente sorprendentes de hasta varios cientos de metros altitudinales más abajo del nivel actual (1900 m.s.n.m.) y por el contrario una constricción hasta los límites actuales en los momentos más secos y calientes del último millón de años (Van der Hammen).

Un mosaico, realmente sorprendente, se exhibe sobre el territorio andino de Colombia, para conformar, en términos muy generales, bosques tropicales de zonas bajas (0-1.000 m.s.n.m.), bosques tropicales andinos y subandinos (1.000-2.300m.s.n.m.), bosques tropicales andinos (montes superiores) (2.300 y 3.200-3.900 m.s.n.m.), bosques Alto Andinos (3.000-3.500\ 3.900 m.s.n.m.), páramos (sub, centro y súper páramo, 3.200-3.900 en adelante) y remate de cumbres nivales a partir de los 4.300 m.s.n.m.

## 1.2 Los factores climáticos actuales del páramo, sin la condición GCT (1 x CO<sub>2</sub>)

### Generalidades

Por encontrarse el territorio colombiano en la zona de bajas latitudes posee un clima tropical afectado por variaciones altimétricas, de tal forma que el sistema montañoso es el principal determinante del clima de cada lugar del país, haciendo que la temperatura disminuya a medida que se asciende en elevación a razón de 1 °C por cada 187 m en promedio; en otras palabras, el valor medio vertical de la temperatura aumenta o disminuye 0,0625 °C cada 100 m. De esta forma se tendría una temperatura de 16,9 °C a 2.000 m.s.n.m. y 10,7 °C a 3.000 m.s.n.m. Acorde con lo anterior, la isoterma de 0 °C se presenta en nuestro país aproximadamente a los 4.700 m.s.n.m. (IDEAM, 2001).

Son también factores condicionantes los vientos alisios y locales. El relieve influye decisivamente en el régimen de distribución de lluvias y en las condiciones de humedad ambiental, nubosidad, etc. No obstante, se requiere, así mismo, evaluar la dinámica de estos factores en el contexto general, primero, y luego en la particularidad de los sistemas montañosos andinos, más específicamente los colombianos, para poder entender el significado de las transformaciones que se han empezado a dar a partir del *Global Climatic Change* (GCC) que ya ha empezado a operar en los páramos. Este apartado, pretende describir la situación de caracterización y vulnerabilidad sin considerar aún las características propias de un escenario con alteraciones ya propias del cambio climático global.

### 1.2.1 El clima general en las zonas de montaña

Las montañas tienden a tener condiciones climáticas diferentes del clima zonal donde se encuentran, debido a un descenso de la temperatura con la altura. El gradiente térmico negativo promedio en el mundo es de 0,5-1 °C cada 100 m, lo cual supone un aumento de la humedad relativa del aire y la presencia de lluvias orográficas abundantes en la vertiente de barlovento, así como también una condición de precipitación menor en la vertiente de sotavento. La orientación con respecto a los vientos dominantes y al Sol es de trascendencia vital. También reciben una mayor insolación y un régimen de vientos específico, que permite crear un topoclima diferenciado. Sin embargo, los centros de acción, las masas de aire y los frentes que le afectan son los mismos que en el clima zonal.

El efecto que tienen estas diferencias de temperatura y humedad en la distribución altitudinal de la vegetación es trascendental. En la cliserie se suelen diferenciar cuatro pisos: *basal*, *montano*, *subalpino* y *alpino*, situados a diferentes alturas y con diferentes espesores según las distintas montañas y orientaciones. En realidad la cliserie es la sustitución de una comunidad de plantas por otra debido a un cambio en las condiciones del clima. Se puede producir en un mismo lugar a lo largo del tiempo, o por los cambios que introduce en el clima la altitud de una montaña.

Este hecho hizo creer a muchos geógrafos y naturalistas que el clima observable en altura, en una montaña cualquiera, era reflejo local de la variedad climática latitudinal. Sin embargo, al tenor de algunas investigaciones, en los últimos años, se puede indicar que esto no es necesariamente cierto. Hay que tener en cuenta que los procesos morfogénéticos de unos pisos interfieren en los otros, sobre todo en los inferiores, pudiendo borrar las huellas de esta gradación. Lo que sí parece observarse es que el descenso de temperatura y el aumento de la humedad con la altura, provoca una cliserie en la que están representadas progresivamente las especies menos termófilas y con mayores exigencias de agua, que permite la

biocenosis zonal en la que se encuentra enclavada la montaña. Pero también las especies adaptadas a los peores suelos, ya que la pendiente genera fenómenos de migración de los coloides, empobreciendo los suelos en altura.

Las montañas que se encuentran en climas de transición, o entre dos biocenosis, presentan en su cliserie, especies de ambas biocenosis y, generalmente, se reparten los suelos orientados a solana y umbría. También es cierto que las variaciones climáticas del pasado conllevan una distribución de la biocenosis diferente y han podido quedar, de manera residual, en los lugares montañosos más favorables, enclaves de una biocenosis en otra. Estos enclaves se mantienen de forma precaria alimentándose a sí mismos, y una ligera degradación del entorno puede hacerlos desaparecer sin posibilidad de recuperación (Pernetta J., 1991, M. f. Price, 2000).

### **1.2.2 El escalonamiento térmico vertical en los trópicos americanos**

Como es bien sabido la cordillera de los Andes es un factor que trastorna en América del Sur todos los esquemas clásicos en relación con las zonas climáticas tradicionales que se dan en la distribución horizontal de polo a polo sobre el globo terráqueo, afectando la zona tropical, las zonas templadas y las zonas frías. Por esta razón actualmente se prefiere hablar de (1) pisos climáticos, (2) escalones climáticos, (3) escalonamiento térmico o de (4) alternación climático-hipsométrica en contraposición a la sucesión o alternación horizontal planetaria de los climas. Los diversos pisos climáticos altitudinales comienzan con la tierra caliente o cálida, continúan con la tierra templada, la tierra fría, la tierra helada y la tierra nevada.

### **1.2.3 El factor altitud en relación con el promedio o la media térmica anual**

Como ya se explicó el ascenso vertical en la zona tropical afecta notablemente la media térmica anual y debe saberse que por cada 100 metros de ascenso vertical se pierden aproximadamente 0,5° Celsius de temperatura promedio. Este aspecto tiene consideraciones propias que serán analizadas más adelante.

### **1.2.4 El factor altitud en relación con la amplitud térmica anual**

Cuando se habla del escalonamiento climático en la América tropical, se piensa invariablemente en que los climas tropicales son más agradables a mayor altitud. Es conveniente recordar que la característica de los climas tropicales horizontales radica en la reducida variación térmica anual.

### **1.2.5 El factor altitud en relación con la amplitud térmica diaria**

La variación térmica diaria es la que varía indudablemente en la forma más notoria a medida que aumenta la altitud en la zona tropical. Este fenómeno, sin embargo, no es exclusivo de los pisos verticales térmicos de este tipo de zona. En regiones sudamericanas subtropicales es también un hecho incuestionable la variación térmica diaria en relación con la altitud. Por las características expuestas, muchos geógrafos hablan de los climas térmicos diarios en contraste con los climas térmicos estacionales en los que están presentes las cuatro estaciones y que son típicos de los países boreales y templados.

### **1.2.6 El factor altitudinal en relación con el límite inferior y superior de los páramos**

La disminución térmica con la altitud determina, junto con otros factores, los límites del área de páramo y los componentes constitutivos de la vegetación y la biota en general. Por esta razón, se habla del límite climático inferior y superior para los páramos, del límite superior del bosque alto-andino y del límite inferior de las nieves o el estrato nival, por mencionar solo algunos ejemplos. Los pisos térmicos constituyen normalmente una unidad de paisaje y se pueden reconocer más o menos a simple vista sobre la base de su composición vegetal.

La tierra caliente, o piso térmico cálido, va desde los 0 a los 1.000 m, aproximadamente; la tierra templada, o piso térmico templado, se extiende hasta los 2.000 m; la tierra fría, o piso térmico frío, se eleva hasta los 3.000 ó 3.500 m y la tierra helada, o piso térmico del páramo, se

eleva desde los 3.000 ó 3.500 m hasta el límite de tierra nevada o nieves eternas.

Todo lo anterior, sin embargo, es muy aproximado porque los factores analizados en el componente 2.2 demuestran la gran variabilidad existente en el país, y por lo tanto la enorme heterogeneidad sobre el factor del límite actual. Esto necesariamente se vuelve más incierto si se miran los procesos de cambio macro, meso y microclimáticos que han venido ocurriendo en el Cuaternario y que claramente hoy empiezan a expresarse por factores de intervención antrópica en escalas y años geológicos humanos (menores a una generación).

### 1.2.7 Factores secundarios que determinan los pisos térmicos y su composición vegetativa

Entre estos factores figuran:

- La exposición a los rayos solares,
- La altura de las montañas,
- Las lluvias orográficas
- Los agentes antropógenos
- Los vientos
- Los suelos

En relación con el primer factor es necesario tomar en cuenta la insolación de las laderas. Como las montañas latinoamericanas tienen en su mayoría dirección norte-sur, la insolación es de menor importancia que en los Alpes, por ejemplo, cuyo emplazamiento va en el sentido de los paralelos.

Con respecto a la altura o gradiente de las montañas es preciso subrayar que los límites de los pisos térmicos o climáticos alcanzan alturas mayores en el interior de las montañas, en sus llanuras o altiplanos, que en sus laderas externas. Es posible explicar parcialmente, mediante este factor, el límite de la tierra caliente en América Central, donde a los 700 m está ya se da paso a la tierra templada.

Una explicación de las lluvias orográficas es de tal complejidad, en este tema, que debemos contentarnos con soslayar su tratamiento, diciendo

que, en general, aumentan con la altitud. Las laderas occidentales, por ejemplo, de la cordillera Occidental de Colombia tienen el récord americano y mundial de las precipitaciones anuales medias, es decir, casi 14 m anuales. En estas laderas llueve más de trescientos días al año.

Igualmente complejo es el factor antropógeno puesto que explicarlo implica describir todas las áreas donde el ser humano ha transformado el manto vegetal natural, ya sea para instalar sus cultivos o para posibilitar sus actividades ganaderas, industriales o silvícolas. Estos daños ecológicos no dejan de influir en los valores térmicos y pluviométricos de los diversos pisos climáticos.

### 1.2.8 Los diversos pisos térmicos

Conviene advertir que no todos los países latinoamericanos poseen todos los pisos térmicos y que muchos de estos países no poseen ninguno de ellos, pues no se encuentran en la zona tropical como es el caso de Chile, Argentina, Paraguay, Uruguay y parte de Brasil. Por este motivo las tierras frías tropicales solo están disponibles en algunos países solamente y los ecosistemas de Alta Montaña tropical y bioma paramuno, solo están presentes en un muy reducido número de naciones que tienen este ecosistema como un endemismo muy particular.

Las tierras heladas y el piso térmico del páramo se extienden entre los 3.500, 4.500 ó 5.000 m de altitud. Sus promedios o medias anuales fluctúan entre los 10° (11° a 9°) aproximadamente. Las fluctuaciones diurnas son enormes puesto que alcanzan valores del orden de los 20 ó 40 grados. Las heladas nocturnas son frecuentes y diarias a partir de los 4.700 m en América del Sur. Las áreas cubiertas por las nieves eternas cuyo límite inferior varía en la zona tropical: su mayor altitud se observa entre los paralelos 20° y 30°, mientras que en la zona ecuatorial -que es la faja que se extiende 10° al N y S del Ecuador- el límite inferior de las nieves no es tan alto. Así pues, si en el norte de Chile el límite inferior es de 6.750 m, en la zona ecuatorial el límite inferior desciende en el Chimborazo (6.310 m) a los 4.900 m y en Colombia incluso a los 4.800 m.

Como lo anota Hedberg (1964) y Medina Mena (2001), en el norte de los Andes todos los sitios tienen climas tropicales, pero por el paralelismo entre la altitud y la latitud, algunos climas parecen templados o polares. La diferencia entre la zonación latitudinal y altitudinal es básica y determina el tipo de clima, animales y plantas que pueden vivir en uno u otro sitio. Los paralelismos que se producen en las formas de vida que ocupan los diversos niveles latitudinales y aquellas que están en los diferentes niveles altitudinales pueden entenderse como similares pero no lo son. Una diferencia incontrovertible es que al alejarse del ecuador hacia los polos, las zonas van adquiriendo una estacionalidad anual, mientras que al alejarse hacia arriba desde el nivel del mar lo que aparece es una estacionalidad diaria. Esto determina que en el norte de los Andes se tenga, por así decirlo, unas condiciones de verano durante el día y unas condiciones de invierno durante la noche. En tal sentido encontramos fenómenos de adaptación animal tan sorprendentes como que "hibernan" no durante meses enteros sino durante la noche y parte de las horas más frías del día (v.g. colibrí *Oreotrochilus chimborazo*, del Ecuador, en Medina y Mena, 2001:4).

### **1.2.9 Las particularidades de un bioma endémico del norte de los Andes desde el punto de vista adaptativo**

La estacionalidad diaria, como se pudo detallar anteriormente, es muy particular en sus manifestaciones dentro del planeta y determina entre tantas otras cosas una serie de comportamientos fisiológicos y adaptativos por parte de las especies de fauna y flora que los hacen únicos y exclusivos, pero al mismo tiempo, muy vulnerables a los posibles cambios de las condiciones climáticas y medio ambientales.

La estacionalidad diaria que existe en los ecosistemas de Alta Montaña tropical en el norte de los Andes, determina condiciones de frío intenso, no solo durante la noche, sino también en algunas horas del día. El promedio de la temperatura, en toda la extensión de los páramos, varía entre 1 y 10 °C, con cambios notables a lo largo del

día entre menos (-) 5 °C y 20 °C, en razón de que la capa de la atmósfera en este piso climático es menos gruesa que la que tienen los pisos más bajos y, por lo tanto, la pérdida de calor sin la presencia directa del sol es mayor. Algunos autores llaman a este fenómeno de pérdida de calor, el "efecto invernadero natural" (Christopherson, 2000, en Mena, *et al*, 2001).

Otro aspecto que parece muy crítico es la alta irradiación ultravioleta pues su impacto sobre las cumbres más altas de montaña es mucho más notorio que en otras. Este fenómeno es de otra parte más intenso sobre la franja tropical, pues los rayos solares están perpendiculares y no oblicuos al resto de las zonas del planeta. De hecho, la delgada capa de la atmósfera en esta franja bioclimática no puede filtrar los rayos ultravioleta (UV) en la misma proporción como en el caso de la temperatura (calor), los rayos entran con toda intensidad, pero no funciona como techo invernadero, motivo por el cual los rayos pueden hacer mucho daño y producir efectos de quemadura severa (*op.cit.* 10). En razón de lo anterior, las plantas y los animales han desarrollado mecanismos propios de adaptación para su protección como el poseer hojas, coberturas o pelajes densos que no solo guardan más adecuadamente el calor, sino que los protegen contra la exposición de los rayos solares.

Igualmente, la baja presión atmosférica parece tener una fuerte incidencia sobre este bioma, en razón nuevamente a las características muy delgadas de la capa atmosférica y por ende de la presión presente. Esta situación se manifiesta en adaptaciones particulares de los seres vivos, pues la falta de oxígeno atmosférico hace que la fisiología cambie radicalmente en muchos organismos, permitiéndoles una capacidad incrementada de saturación de oxígeno en algunos animales a través de los glóbulos rojos y las proteínas específicas reforzadas en la hemoglobina (Cabrera y Yepes, 1960, en *op. Cit.*: 11).

Los páramos en Colombia tienen condiciones especiales, no solo por estar localizados en una zona céntrica entre Ecuador y Venezuela, sino

también por sus características propias entre la altura y la latitud en el hemisferio americano. Esto hace que los corredores montañosos (cordilleras Andinas y serranías del Cinturón Periférico Andino (v.g. Perijá, Sierra Nevada) contengan los páramos más húmedos del norte de los Andes, lo cual constituye una particularidad adicional que debe ser bien manejada desde el punto de vista adaptativo. Las altas nubosidad y precipitación son dos aspectos interrelacionados a través del fenómeno de intercepción (precipitación horizontal) que puede ser tanto o más alta en niveles porcentuales que la propia precipitación vertical en el papel del balance hídrico del régimen paramuno. En estos casos la vegetación actúa como un catalizador fundamental del aprovechamiento de humedad gaseosa, ubicada en la atmósfera a través de nubes y nieblas que es condensada en gotas de agua por las superficies y texturas de la vegetación. Claramente este proceso no solo permite sobreponerse fisiológicamente a las limitaciones del agua ácida de los suelos (conocido como fenómeno del "desierto fisiológico", es decir estar como planta en un sitio saturado de humedad en el suelo pero no todo el tiempo o sitio aprovechable por las limitaciones químicas del agua).

Tal como lo describe Hofstede (2001), la descomposición de la materia orgánica en el páramo es muy baja a causa de la alta humedad y principalmente de las temperaturas, que en promedio tienden a ser muy bajas la gran parte del tiempo. Por este motivo los suelos son humíferos y de color negro muy intenso, lo cual demuestra su participación con altos contenidos orgánicos. En muchos casos los suelos de páramo están asociados a altos contenidos de cenizas volcánicas y esto determina una disposición mayor a la lentitud de los procesos de descomposición, puesto que la gran cantidad de materia orgánica puede absorber agua por una suave carga eléctrica y por eso aumentar su capacidad de retención de agua (saturación y adsorción).

En opinión de este mismo autor (op.cit:163), que se ha especializado en investigaciones sobre los efectos antrópicos y cambios de uso del suelo en los páramos, las características anteriores hacen

que los suelos de este bioma retengan muchos nutrientes dentro de su estructura, pero que no puedan ser aprovechados necesariamente por la vegetación. Esto pasa específicamente con el caso del fósforo, que no se encuentra de forma soluble.

#### **1.2.10 La adaptación y vulnerabilidad general a las condiciones extremas y prevalecientes del páramo**

El páramo es un área que contiene un conjunto de comunidades y especies específicas -ya descritas anteriormente- y que se caracteriza por su adaptación increíble a condiciones muy extremas, determinadas por la altitud y la latitud, entre las que sobresalen (Castaño-Urbe, 1997): la baja disponibilidad de oxígeno en el aire (escaso aprovechamiento del oxígeno debido a la baja presión atmosférica); cambios abruptos de temperatura en las fases noche-día; acidez muy alta de los suelos, a tal punto de impedir la eficaz absorción radicular de las plantas (ósmosis adversa) y tener que tomar el agua de la humedad relativa del ambiente por "intercepción"; la lenta descomposición de la biomasa muerta (debido a la escasa disposición de oxígeno y a la temperatura promedio) que impide una adecuada incorporación de nutrientes al suelo; la desmineralización de los suelos, debido a la acidez; los fuertes vientos, inclementes y con bajas temperaturas ocasionando severas quemaduras a las plantas y, finalmente, la irritación solar muy tenue en períodos de nieblas y lluvias, o muy directa y extrema en días despejados o soleados.

A pesar de todas estas limitaciones, el páramo puede considerarse el ecosistema más sofisticado para el almacenamiento de agua y su filtración debido a la gran acumulación de materia orgánica, que permiten aumentar los espacios de almacenamiento de agua, por un lado, y a la morfología característica de las plantas del páramo, que actúan con "efecto esponja" por la necesidad de beber agua dulce proveniente de la lluvia o de la niebla. Por tal motivo, la estructura de las plantas, las hojas y su disposición sobre el terreno tienen un valor adaptativo sorprendente: los vellos y felpas de muchas de las plantas del páramo, atraen gotas de rocío que atrapan directamente de las nubes que pasan horizontalmente; las plan-

tas cojín forman verdaderas represas debido a la intrincada trama de sus unidades permitiendo el aumento de la superficie de contacto con el medio húmedo y, por ende, la retención de agua, lo cual indica necesariamente su carácter protector.

Igualmente, debe destacarse la fragilidad y la vulnerabilidad de las especies allí establecidas, ya que la estructura y composición de la biota son, en especial, particulares y no encuentran parámetros de adaptabilidad parecidos en ningún otro bioma del amplio rango altitudinal del país. La variedad de la oferta biótica es muy alta debido al aislamiento geográfico de los páramos. Los tipos de irradiación y los cambios bruscos de temperatura determinan una alta frecuencia de mutaciones, lo cual implica necesariamente que la rareza, el grado de endemismo y la limitada cantidad de individuos por especie, debería ser uno de los indicadores más importantes en el ordenamiento territorial de la zona andina y del territorio paramuno a fin de propiciar su carácter intangible y protector. (Ver cuadro 4)

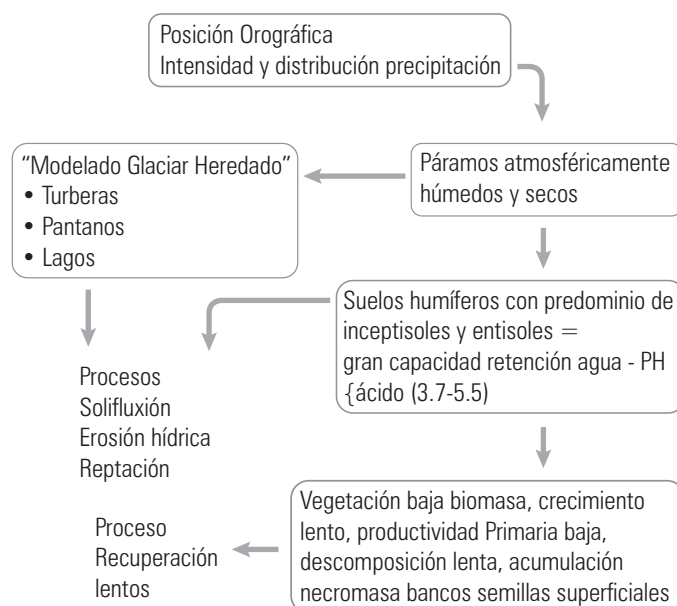
Debería tenerse en cuenta que más de un 60% de sus plantas vasculares son endémicas, y esto las convierte en algunas de las más vulnerables del país. Se sabe, en tal sentido, que una

de las causas más frecuentes de destrucción del páramo, la constituyen los incendios antrópicos o inducidos que a través de las conflagraciones realizadas al fin de los períodos secos con el propósito de habilitar pasturas, eliminan anualmente entre el 6 y 8% de la superficie de los páramos en Colombia.

Entre las consecuencias más evidentes de la destrucción se encuentra la desecación de pantanos y turberas, acelerando el proceso de desertificación y pérdida de retención de agua; el incremento de los problemas de soliflucción y erosión eólica; el aceleramiento de los problemas de sedimentación de caudales de ríos y quebradas; la eliminación de la necromasa de macollas y frailejonales, incrementándose, por lo tanto, las gramíneas palatales; la destrucción de los micro hábitat de la fauna, de la cual un 60% vive en la superficie del suelo; la alteración de los ciclos de nutrientes que mantienen un equilibrio global, ya que la necromasa juega un papel muy importante y la eliminación del aislante térmico de los frailejones y otras especies como las macollas y puyas (*op.cit.*).

De otra parte, se encuentra la práctica de la ganadería extensiva con ganado vacuno, ovinos,

**Cuadro 4** Caracterización páramo



equinos, y en menor proporción los caprinos. En todos estos casos, uno de los perjuicios más grandes es el efecto causado por cascos y pesuñas en el suelo, que en invierno producen encharcamientos y cambio en la morfología de la superficie, lo cual implica anoxia húmica y cambios en la estructura hidráulica del suelo, y en verano la compactación y aterrazamiento heterogéneo de laderas. De otra parte, el consumo intensivo de retoños y plántulas herbáceas disminuye el rango poblacional y la diversidad de las especies, además de desplazar a las pocas poblaciones de grandes mamíferos silvestres (venados, osos, dantas, etc.) que encuentran en el páramo su último refugio natural.

### **1.3 Los ecosistemas alto andinos frente a los escenarios de cambio climático global actual y futuro y los tensores de transformación**

#### **1.3.1 Las particularidades del cambio ocurrido en Colombia durante los últimos 30 años.**

Durante el último semestre, el IDEAM trabajó intensamente en una observación muy detallada de identificación y valoración de los cambios del uso del suelo ocurridos en el país y, en particular, en los biomas de Alta Montaña utilizando imágenes satelitales de los últimos 30 años. Se parte de una cota aproximada y homogénea correspondiente a 2.744 m.s.n.m, a fin de modelar la información sobre páramos y ecotonos asociados (9.000 pies de la Carta Digital del Mundo a escala 1:1'000.000).. Por tal razón, se tomó esta curva como límite inferior del área de estudio, la cual cubre una extensión aproximada de 4'210.000 hectáreas, cerca de un 3,7% de la superficie continental del país. (Ver anexo mapas 1 y 2 desplegados). Aunque este trabajo trata sobre las coberturas de Alta Montaña, el énfasis está dado sobre los cambios de coberturas en los páramos entre las décadas del 70 y el 90. Por esta razón, el área de estudio se subdividió siguiendo la clasificación en Sectores y Distritos de la Provincia Norandina propuesta por Hernández-Camacho et al. (1992) y ajustada por Van der Hammen. (Ver anexo mapa 3 desplegado.)

Para ello se logró una clasificación supervisada de mosaicos obteniendo la resolución espec-

tral de cada rasgo y se efectuó la extracción que ubica cada uno de los píxeles en él. Así mismo se depuró la información obtenida y se transformo la composición de estructura raster a vector. Una vez clasificadas y homogenizadas (especialmente) las clasificaciones digitales de las diferentes décadas se analizaron espacial y temporalmente los productos, mediante el uso de relaciones de intersección (overlay), para lo cual se realizó un cambio de estructura física de los datos (raster-vector), una vez transformadas las clasificaciones digitales se estructuraron topológicamente, preparándolas para eliminar los polígonos cuya área fuera inferior a la unidad mínima mapeable (UMP, adoptada en 16 ha). Posteriormente, se suavizó el contorno de los polígonos generados por las clasificaciones, ya que estos heredan los contornos de los conjuntos de píxeles de las clasificaciones digitales. Por último se actualizan las relaciones topológicas de las coberturas vectoriales sobre coberturas vegetales y las de uso del suelo (IDEAM, 2002).

Este trabajo permite entonces una primera aproximación al análisis de coberturas y a la identificación de los posibles cambios de uso del suelo, con cierto grado de certeza superior al 80%. De hecho, el margen de incertidumbre para todo el análisis en la década de los 70 (sobre 4.677.284 ha) equivale a un 17% y el de la década de los 90 a un 19.7%.

El resultado final del análisis que se publica detalladamente en este mismo ejemplar (Capítulo 4) permite observar y analizar los cambios más importantes ocurridos entre las décadas 70 – 90 en relación con los cambios de uso del suelo en materia de las cobertura de bosques y las coberturas vegetales Alto Andinas, determinando cambios y transformaciones muy importantes, principalmente, en los departamentos de Cundinamarca, Boyacá, Santander, Cauca, Nariño y sur del Tolima, donde se encuentran importantes asentamientos humanos del país. Esta situación obviamente acelera el proceso de degradación de los páramos y bosques.

Se destaca igualmente que el fenómeno denominado proceso de *paramización* (Van der



Hammen, 1997), en el sentido del reemplazo de la vegetación boscosa por vegetación abierta de “tipo páramo”, que trae serios problemas de clasificación de la información, motivo por el cual se procede a depurar las unidades de interpretación de imágenes de satélite. En realidad, como se explica en el capítulo detallado los procesos antrópicos de uso de los suelos que ocasionan cambios en las coberturas vegetales tanto de los páramos como de los bosques alto andinos están conduciendo a la *praderización* de los ecosistemas de Alta Montaña y no a una paramización, ya que no se están formando páramos de origen antrópico ni los páramos naturales están aumentando su cobertura. Las imágenes y el estudio final permite, entonces separar los páramos como los bosques alto andinos de las áreas intervenidas, que de hecho son diferentes y excluyentes, permitiendo observar como se están reduciendo, fragmentando y degradando los ecosistemas naturales. (Ver mapa 1 y 2)

Este análisis por ejemplo permite ver en el distrito de Boyacá, con una extensión superficial de 1.043295 hectáreas divididas en agroecosistemas, cuerpos de agua, arbustos de páramo, bosques alto andinos, superpáramos (cobertura muy pobre en vegetación), nieves perpetuas, páramo propiamente dicho y unas superficies que no presentan información (nubosidad, sombras de relieve o sombras de nubes). (Ver mapa 4 y 5 desplegados anexos). Así, los agroecosistemas observados en la secuencia 70-90 sufren un incremento del 29% al 33%, esto es una ganancia de 41.294 hectáreas que significan o miden la presión que están soportando los ecosistemas alto andinos por el sector agrícola y pecuario, principalmente debido a factores de (tenencia de tierra) minifundio en constante expansión, tala de bosques en áreas de páramo para cultivar papa, incendios forestales en estas coberturas con el fin de ofrecer pastos al ganado en épocas de sequía, tala selectiva del bosque Alto Andinos con fines de obtener leña para combustible de hornillas caseras y de la pequeña industria (alfarería, artesanía y fabricación de alimentos) y fabricación de carbón vegetal, entre otros. Los cuerpos de agua muestran, por ejemplo, un decremento en sus espejos de agua, lo cual debe tomarse

con cuidado, pues bien puede obedecer a situaciones momentáneas en la toma de las imágenes o a la presencia de nubes sobre los mismos. Esta unidad pasa de 6.534 ha en la década de los 70 a 3.041 ha en la década de los 90.

De otra parte, y como quedó ya consignado, estos ecosistemas de páramo poseen características que les confieren una importante función hídrica, y localización en zonas de clima frío, lo cual significa una evapotranspiración y evaporación menores. Se encuentran igualmente zonas de condensación cerca al límite altitudinal del bosque y el fenómeno de niebla es frecuente. Es decir, la neblina y el rocío desempeñan un papel definitivo como generadores de aumento en el volumen de aguas de precipitación y escorrentía, este aporte de agua recogido en estos sistemas boscosos contribuyen al caudal de los ríos a veces hasta en un 80%, dejando el volumen restante a la lluvia. Los ecosistemas de la Alta Montaña son, por lo tanto, estratégicos debido a su gran potencial de almacenamiento y regulación hídrica, ser recarga de acuíferos y nacimiento de los principales sistemas hídricos que abastecen cabeceras municipales y otros asentamientos humanos. De acuerdo con los estimativos realizados a partir del balance hídrico, el ecosistema de Alta Montaña tiene un área de 4'686.751 hectáreas, y cuenta con un volumen 66.5 Km<sup>3</sup>/año, que corresponde a un caudal de 2.109 m<sup>3</sup>/seg., esto representa el 3% del total nacional. En tal sentido, se pueden documentar en el análisis 40 las cabeceras municipales localizadas por encima de los 2.750 m.s.n.m., en el ecosistema de Alta Montaña, lo que corresponde aproximadamente el 4% de las cabeceras del país, que se concentran en los departamentos de Boyacá, Nariño y Cundinamarca, y se abastecen de pequeñas fuentes originadas en el ecosistema de páramo (IDEAM,2002).

Respecto de los cambios en la temperatura del aire y de la precipitación en los páramos es posible observar las tendencias de la temperatura del aire en tres puntos diferentes del área de estudio. Se observa la tendencia al ascenso de la temperatura del aire en treinta años de 1.0, 1.4 y 0.9 respectivamente para los páramos de Cundinamar-

ca, páramos de Boyacá y los páramos de Tolima-Huila. Esto arroja un ritmo de crecimiento de entre 0.3 y 0.4°C por decenio en esas regiones. En el caso de la precipitación, las tendencias de la precipitación media son decrecientes en los tres casos. En los treinta años la precipitación se ha reducido en cerca de 10, 10 y 5 milímetros mensuales respectivamente para los distritos de los páramos de Cundinamarca, páramos de Boyacá y los páramos de Tolima-Huila. Esto arroja un ritmo de disminución de los volúmenes de precipitación de 2-3 milímetros decenio (IDEAM, 2002).

Se tienen estimaciones igualmente de cuanto podría afectar una duplicación del dióxido de carbono a los páramos; pero resulta importante conocer también cuales han sido los cambios durante los últimos decenios generados por el calentamiento global. Las últimas estimaciones concluyen que globalmente la temperatura media del aire se ha incrementado en 0.6 +/- 0.2 °C durante los últimos cien años (*Houghton y otros, 2001*) y en el territorio nacional algo así como 0.1-0.2°C por decenio en los últimos treinta años.

### 1.3.2 Las particularidades del cambio futuro

Un análisis serio del futuro de los ecosistemas de Alta Montaña del país, debe descansar fundamentalmente sobre las variables más importantes de origen y desarrollo de estos biomas, desde su génesis a finales del Plioceno.

Un estudio pormenorizado de las condiciones actuales de los biomas de Alta Montaña demuestra que tanto la topografía como las condiciones climáticas han sido variables fundamentales para el nivel de desarrollo y caracterización de estos ecosistemas, pero también es importante señalar que han estado permanentemente sujetas y deben su origen a las fluctuaciones climáticas que las han influenciado desde entonces. La preocupación actual no puede ser enfocada entonces en los procesos de cambio, sino en las escalas en las que se están dando estos cambios por parte de las actividades humanas.

Como es bien sabido los cambios climáticos han estado operando particularmente para estos

biomas desde el Pleistoceno, pero hasta hace muy poco tiempo los cambios eran naturales y determinados por los ciclos orbitales astronómicos de la Tierra y del sistema solar en su conjunto. Las escalas de tiempo en los que se producían estos cambios determinados por una resolución geológica que duraba varios miles de años en producirse y no como ahora determinados por una especie biológica (humana), en periodos de tiempo extremadamente cortos y a partir de variables totalmente artificiales.

En la actualidad se sabe que existe un aumento de la temperatura promedio mundial de 0.8 °C (última parte del siglo XX); las heladas han descendido a alturas menores de lo que originalmente ocurría; los relictos pleistocénicos glaciares han sufrido una pérdida significativa en los Andes del norte. Y se sabe, por supuesto, de un incremento en el calentamiento más rápido esperado en los altiplanos andinos (Bioma, 2001) y un aumento mayor de la temperatura nocturna que la diurna en algunas zonas de la región suramericana, lo cual modifica el sistema interfase día-noche (verano-invierno diario), característico de esta porción geográfica de los Andes.

Los cambios más importantes en el mundo se están dando en forma real y evidente. Las investigaciones realizadas por el IDEAM demuestran variaciones y alteraciones climatológicas en los últimos 30 años, que son los registros más completos existentes y confiables por los datos de las estaciones meteorológicas, sinópticas, climáticas, hidrológicas y también por los análisis de las imágenes de sensores remotos (satélite), tanto visuales como digitales. En ellos claramente se muestran los cambios importantes, no solo en el uso del suelo y en las alteraciones ecosistémicas por los macrovectores de transformación que se llevan a cabo en el país, sino también por las variaciones en temperatura y precipitaciones globales, así como aumento de niveles actuales del océano Pacífico y Caribe. De hecho, los estudios realizados recientemente como parte de la Primera Comunicación Nacional demuestran variaciones importantes en la temperatura por encima y por debajo de la media multianual en el país de hasta

$\pm 2$  °C, y variaciones de  $\pm 15\%$  en la precipitación (IDEAM, 2002).

Estas variaciones globales han traído como consecuencia varios tipos de alteraciones y susceptibilidades al cambio climático meso y micro regional, que sin lugar a dudas se constituyen en uno de los más importantes tensores de transformación, a los cuales los organismos y los ecosistemas difícilmente pueden estar adaptando, entre otros por la escala de tiempo transcurrido.

Aunque los estudios apenas empiezan en el país sobre esta materia, es muy probable que puedan presentarse ya alteraciones climáticas importantes. Entre las alteraciones abióticas y bióticas más contundentes, que permiten documentarse como consecuencia del *Global Climatic Tensor* (GCT), están: Aumento de la temperatura del aire por encima de lo normal; aumento de la temperatura del suelo; aumento de la radiación solar ultravioleta; aumento y anomalías en la distribución y volúmenes de los ciclos de lluvia; disturbio del régimen isomegatérmico anual y alternancia térmica diaria; disminución de la capacidad de la biosfera como reguladora de los procesos energéticos y como autorreguladora de los frentes de niebla, bruma y atmosfera saturada de agua en estado gaseoso; cambios y constreñimiento de superficies en algunos biomas y ecosistemas; disminución en la oferta hídrica y alteraciones en los balances hídricos y escurrentía general, entre otros.

Las consecuencias de todo lo anterior podemos encontrarlas en los cambios sufridos en las áreas de distribución de algunas especies y ecosistemas; cambios en la abundancia y en la sincronización de eventos fenológicos (reproducción temprana, migraciones tardías); y, sin lugar a dudas, cambios en la composición de las comunidades y las interacciones bióticas, donde claramente los ecosistemas más vulnerables resultan ser los de Alta Montaña y, en particular, los páramos.

Así mismo parece haber evidencia en el país para inferir posibles alteraciones y cambios resultantes del GCT en la fragmentación de algunos ecosistemas de Alta Montaña y ascensos en el gradiente altitudinal; intensificación de procesos de aclareos

en las comunidades florísticas más húmedas de páramo, afectación y disminución en algunos géneros y especies de reptiles por acción de rayos ultravioleta, disminución de densidades y volúmenes en cinturones de niebla, aumento de insularidad ecosistémica, alteraciones en la capacidad de adaptación de algunas especies, disminución de la capacidad de colonización de estirpes, disminución en el papel de especiación e hibridación genética, y disminución de la diversidad alfa y beta.

Es posible que en algunos casos existan conjuntos grandes de especies capaces de adaptarse al cambio global, por migración y cambio de su área de distribución. Sin embargo, las tasas de ocurrencia del calentamiento global exceden la capacidad de migración de la mayoría de ellas. De hecho, las especies capaces de resistir pueden ser invasoras, por lo cual el efecto neto sería de pérdida y homogeneización de la biodiversidad global (Bioma, 2001).

Los estudios realizados recientemente por Colombia demuestran que en la medida en que avanza el cambio climático, se producirían pérdidas de tipos de ecosistemas y hábitat o disminución de los mismos, con gran pérdida de biodiversidad.

Las evaluaciones hechas para el IDEAM, por Van der Hammen, (Bioma, G. Andrade, *et al.*, 2001) indican que entre mayor sea la conectividad entre ecosistemas (y del hábitat natural de las especies), mayor sería la capacidad de adaptación de la biota al cambio climático y de las regiones que en el pasado no han sido sometidas a la presencia de glaciares -o perturbaciones similares-, podrían verse afectadas de manera desproporcionada, dado que las especies que contienen no estarían (pre) adaptadas a cambios forzados en su distribución geográfica.

Como lo indican estos autores en los capítulos subsiguientes, aún los escenarios más optimistas de cambio climático resultan particularmente severos frente a la limitada capacidad de adaptación de la diversidad biológica.

Es claro que a pesar de la falta de investigaciones específicas y de largo plazo en el país para este tipo de valoraciones, las observaciones relaciona-

das con el cambio de la distribución de especies individuales, si bien son muy escasas, en conjunto son muy sugestivas de la posibilidad de ocurrencia del cambio. En especial con especies que presentan “respuestas tempranas” en su distribución, como las aves o las mariposas. La evidencia actual en el área de Bogotá con relación a las aves, apunta a que los cambios locales en el meso-clima de la ciudad estarían produciendo un cambio en la avifauna, con la invasión de especies propias de niveles altitudinales menores. Faltaría probar que esta es una tendencia más general en la estructura vertical de la avifauna andina, para sustentar mejor una hipótesis en escala global. Este tipo de monitoreo ambiental podría iniciarse mediante el seguimiento de especies o comunidades sensibles a las condiciones ambientales que serían modificadas por el cambio global; un caso muy promisorio en este sentido sería el seguimiento de la vegetación y flora del superpáramo andino (capítulo de monitoreo y Bioma, 2001: 45).

Los cambios en las zonas de vida Alto Andinas previstos por el modelo de desplazamiento de las Zonas de Vida de Holdridge y coberturas vegetales de Colombia (IDEAM, 2001) afectadas por el cambio climático a  $2xCO_2$  señalan, en general, un desplazamiento hacia condiciones de zonas de vida de condiciones más secas y más cálidas. El modelo aplicado por Gutiérrez (2001), plantea que solo permanecería el 29.38% del bosque pluvial Montano Bajo (bp-MB), el 9.39% pasaría a bosque Muy Húmedo Montano Bajo (bmh-MB), un 45.73% a condiciones de bosque pluvial Pre Montano, y un 15.49% a condiciones de bosque Muy Húmedo Pre Montano (bmh PM). Lo anterior quiere decir que el 61.22% de su extensión actual quedaría bajo la línea de escarcha o temperatura crítica. Para el bosque Muy Húmedo Montano Bajo (bmh-MB) actual, se conservaría solo el 31.12% del original; en un 14.47% se pasaría a condiciones de bosque Húmedo Montano bajo (bh-MB), un 37.87% a condiciones de bosque Muy Húmedo Pre Montano (bmh-PM), y un 16.64% pasará a condiciones de bosque Húmedo Pre montano (bh-PM).

En este caso, el 54.51% del territorio actual bajo estas condiciones quedará bajo la línea de

escarcha o temperatura crítica. En las zonas de vida bajo la línea de escarcha o temperatura crítica, identificadas como Pre Montanas, en el modelo presentan cambios. El bosque Pluvial Pre Montano permanecería en un 34.16% del actual; en un 14.21% pasaría a bosque Muy Húmedo Pre Montano (bmh-PM), un 1.23% pasaría a condiciones de bosque Pluvial Tropical (bp-T), un 35.93% a condiciones de bosque Muy Húmedo Tropical (bmh-T) y un 14.47% a condiciones de bosque húmedo Tropical (bh-T), por mencionar tan solo algunos de los aspectos de variación Alto Andina (IDEAM, 2001:54).

Análisis adicionales realizados por Van der Hammen para el IDEAM permiten inferir el aumento de temperatura por el efecto del incremento de los gases invernadero hasta  $2XCO_2$  cálculo para el país con base del modelo de síntesis Hulme, 2000. El resultado global es un aumento de temperatura entre 2.5 y 3°C y una disminución de precipitación alrededor de 10 hasta 20%. Esto significaría un ascenso de los límites de las zonas de vegetación (de la serie bosque-subpáramo; subpáramo-páramo; páramo-superpáramo y superpáramo-nival) en el orden de 400 hasta 500 m, así como las comunidades zonales -determinadas por la precipitación- y las azonales -que dependen de un alto nivel del agua en o sobre el suelo-, disminuirían. En áreas de páramo propiamente, en superpáramo y el estrato nival, disminuirían de la superficie actual (respectivamente de 323.000 hectáreas, 40.500 hectáreas y 45.500 hectáreas a sólo 84.500, 6.000 y 1.800 hectáreas), es decir, se reducirían hasta dejar únicamente el 25%, 15% y 5% respectivamente de las superficies actuales. Es de advertir que el  $2xCO_2$  es un valor también 2x más grande que el máximo alcanzado durante los interglaciares de los últimos 500.000 años. La reducción de la precipitación causaría una disminución del área cubierta con pantanos (con las turberas de *Sphagnum*, *Plantago rígida* y *Distichia*) pero no es posible prever en que medida.

El cambio climático en perspectiva histórica, analizado en diferentes estudios e investigaciones de Van der Hammen permite ver la situación climática extrema durante la última glaciación, una

situación que se presentó como diez veces durante el último millón de años. Este escenario Pleniglacial, que se presentó por última vez entre aproximadamente 25.000 y 15.000 años AP es determinado por una temperatura al nivel del mar de aproximadamente  $4 (\pm 1) ^\circ\text{C}$  más bajo que hoy día, un gradiente térmico de  $0.7 ^\circ\text{C}$  por cada 100 m de altitud, y una reducción general de la precipitación de unos  $40 \pm 10\%$ . Estos factores representan un impacto muy fuerte, y una restricción considerable de las zonas de páramo y del hielo y de los tipos de vegetación más secos. (Ver gráfico 1).

Alteraciones climáticas conocidas en la actualidad como la del fenómeno El Niño-La Niña, causada por la Oscilación del Sur medido como SOI (Índice de la Oscilación del Sur), permiten así mismo conocer, aunque de forma parcial, posibles anomalías a los ecosistemas del país. Esta ciclicidad se da en el orden de tres a seis años, y representa una amplitud en el orden de 20-90% de desviación del promedio anual de precipitación (disminución y aumento). En la descarga de agua del río Magdalena (en promedio anual de  $\text{m}^3/\text{seg}$ ), la amplitud correspondiente es en el orden de 30-35% más y 30-35% menos. Mientras la resiliencia o resistencia de la mayoría de los ecosistemas naturales es tal, que el Niño actual de ciclo corto no tiene efectos de cambio fundamental en ellos (parecen estar adaptados al fenómeno), aunque un escenario a El Niño perpetuado y estable durante decenas de años o varios siglos, debe tener un impacto importante. Así por ejemplo, la precipitación en las áreas de reducción disminuiría en forma drástica, con un efecto también drástico sobre la disponibilidad de agua y sobre los ecosistemas.

Un análisis espectral de los paleodatos disponibles, realizado a partir de los estudios de Van der Hammen, permiten inferir probables periodicidades de 150, 200, 350, 500, 600 y 1.100 años, que son ciclos detectados repetidamente en el análisis de curvas paleo-climáticas. Los períodos más cortos están aparentemente relacionados con ciclos de manchas solares, correspondientes a cambios en la radiación solar y al aumento del viento solar. Este aumento del viento solar hace disminuir la radiación cósmica que llega a la Tierra; el efecto de estos cambios está correlacionado con cambios en

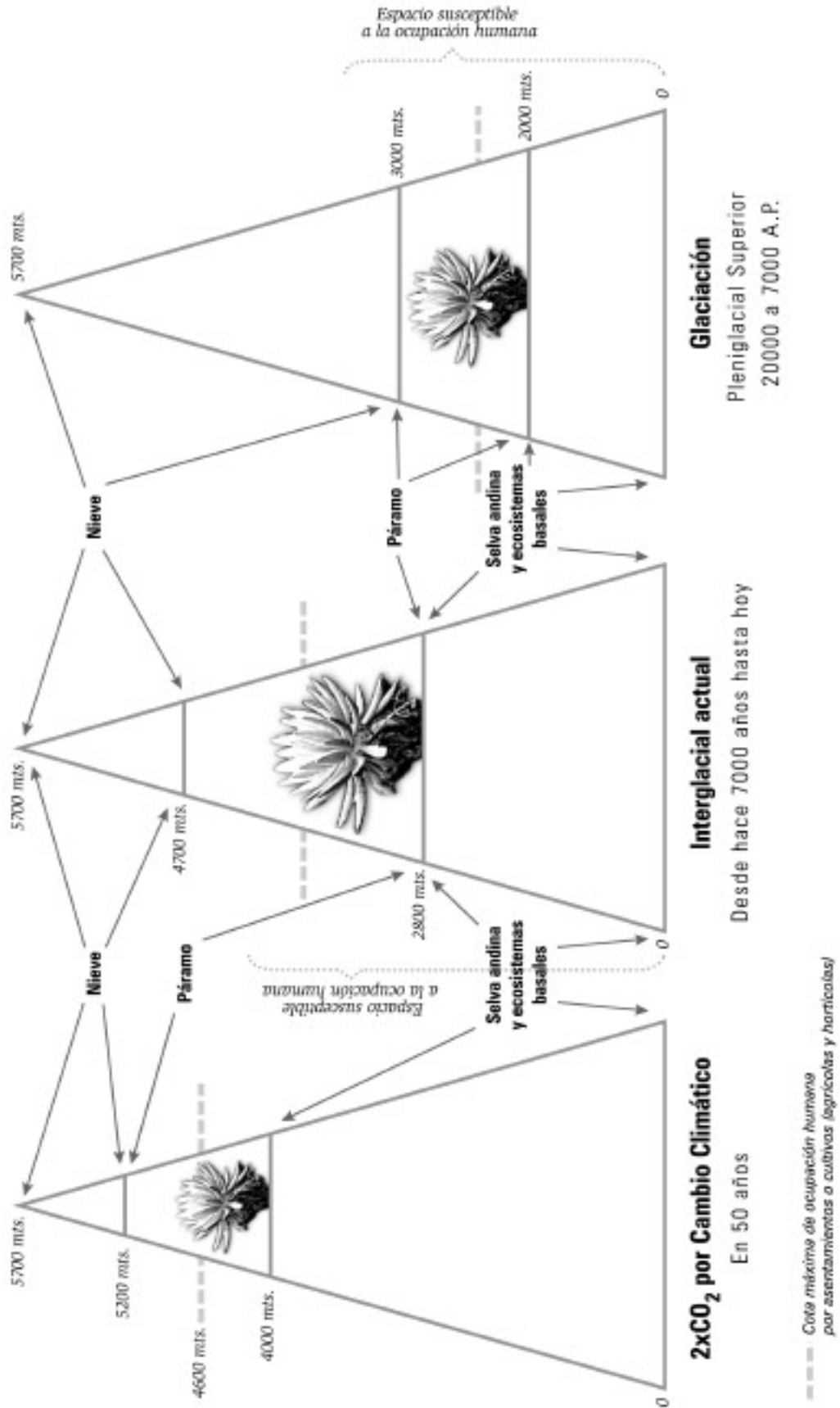
la nubosidad [con efectos en la precipitación y la temperatura] (Van der Hammen & Cleef, 1992).

El análisis preliminar de vulnerabilidad de los ecosistemas de Alta Montaña en Colombia realizados por el IDEAM, así como los realizados por el IDEAM y los expertos consultores, permite inferir que el aumento de  $\text{CO}_2$  en el aire tiene (junto con otros gases invernadero) un efecto sobre la temperatura y puede también tener un efecto más directo sobre el crecimiento de las plantas y sobre la competencia de ellas por el espacio. Durante la última glaciación el  $\text{CO}_2$  en el aire era considerablemente reducida (mínimas entre 150 y 225 ppm; durante el interglacial y Holoceno máximas, entre 250 y 300 ppm). Ciertas plantas tienen en parte sistemas fisiológicos diferentes para la absorción y uso del  $\text{CO}_2$ . Dos grupos importantes a este respecto son las llamadas plantas  $\text{C}_3$  y plantas  $\text{C}_4$ . Con un bajo contenido de  $\text{CO}_2$  del aire, plantas  $\text{C}_4$  pueden tener una ventaja sobre plantas  $\text{C}_3$ .

Al parecer de Van der Hammen, *et al.*, (2001: sn) muchos géneros andinos de *Poaceae* (gramíneas) sólo tienen especies  $\text{C}_3$ , como por ejemplo: *Carex*, *Rhynchospora*, *Aciachne*, *Agrostis*, *Calamagrostis*, *Chusquea*, *Cortaderia*, *Dentonia*, *Festuca* y *Lorenzochloa*. No obstante, se encontraron tres especies  $\text{C}_4$ : *Muehlenbergia cleefii*, *Paspalum bonplandianum* y *Sporobolus lasiophyllus*. De las *Cyperaceae*, dos géneros tenían especies  $\text{C}_4$ : *Bulbostylis junciformis* y *Bulbostylis tropicalis*, *Cyperus brevifolia* y *Cyperus giganteus* (Boom *et al.*, 2001). *Sporobolus* forma macollas como *Calamagrostis*. Los expertos (Van der Hammen & Cleef, 1992) han sugerido que durante la última glaciación, la primera podría haber tenido una ventaja sobre la segunda, y la podría haber parcialmente reemplazado, y concluyen que es posible que la vegetación de *Arcytophyllum* y *Sporobolus* -restringida hoy día a áreas secas pedregosas en el páramo- sea un "relicto glacial". Al aumentar más el  $\text{CO}_2$  en el aire, las especies  $\text{C}_4$  podrían llegar a una situación negativa de competencia todavía más extrema, y existiría la posibilidad que desaparecieran del todo.

Tal como se sugiere en los estudios detallados, que se expondrán en este mismo documento mas

Gráfico 1 Esquema de variaciones, anomalías y translocacionalidad del gradiente ecosistémico (aproximado)



adelante, es importante tomar en cuenta que la vulnerabilidad de los ecosistemas de Alta Montaña frente al aumento de temperatura causado por el incremento de CO<sub>2</sub> en el aire, registraría un efecto comprimido con probable ascenso de las zonas bioclimáticas y sus límites, hasta de unos 400 a 500 m, en un tiempo relativamente corto. Estas partes de las zonas de vida bioclimáticas (según Holdridge) que sufrirían la transición a otra zona, serían las más vulnerables, de acuerdo a las condiciones zona por zona.

La zona de superpáramo desaparecería de las áreas y de los picos de menos de 4.600 m. Así, la vegetación y las especies endémicas de superpáramo bajo que se encuentran en el tope del cerro del Sumapaz (c. 4.200 m) estarían destinadas a desaparecer. La misma reducción del área hasta sólo 15% de su extensión actual, conducirá probablemente a extinciones de especies y tipos de vegetación (Van der Hammen, *et. al.*, 2001: sn).

El bioma de páramo tenderá a desplazarse hacia arriba casi en su totalidad y se reducirá fuertemente (hasta una cuarta parte de su extensión actual). Es de esperar que varias especies tengan problemas para encontrar en el antiguo superpáramo su ambiente propio, zonal o azonal. Se puede esperar que especialmente las especies, todas endémicas y frecuentemente de requerimientos ecológicos especiales, de los géneros *Espeletia* y *Espeletopsis*, correrán peligro de extinción. (*op. Cit.*). En otras palabras, podemos indicar una fuerte reducción del área de las zonas bioclimáticas altoandinas y su ascenso en unos 400 o 500 m en altitud. Eso de por sí es asegurar con el tiempo -de una o dos generaciones humanas- una extinción masiva muy probable, no únicamente de las especies, sino también del mismo bioma.

De otra parte, y más allá de las implicaciones en materia de pérdida de la biodiversidad, el posible descenso de la precipitación podrá tener influencia en la extensión relativa de áreas pantanosas, en general, y de turberas; además el páramo húmedo sufrirá cierta reducción en comparación relativa con el páramo menos húmedo. En cuanto a lo anteriormente expuesto, se puede decir que existe el mismo

aspecto de reducción de superficie que aumenta el peligro de extinción; aunque el aspecto de la reducción general de zona bioclimática domina. Un aspecto puede en cambio ser favorable en cuanto a las turberas de *Sphagnum*; éstas dependen en parte de la morfología (modelado) glaciar y existen también en la zona del bosque alto-andino húmedo (especialmente arriba de los 3.000 m). Algo similar puede pasar con ciertos tipos de vegetación acuática de las lagunas de origen glaciar, que se encuentran encima de los 3.000 m y que, en parte, tal vez no cambiaría fundamentalmente si se encuentra en el páramo o en la zona de bosque alto-andino (Van der Hammen, 2001).

Entre los factores de riesgo y vulnerabilidad generados por el GCT se puede, por supuesto, también considerar las alteraciones severas en los regímenes hídricos de las aguas superficiales que pueden producir tensionantes severos que impiden el mantenimiento de las condiciones de los ecosistemas acuáticos. La severa perturbación de los regímenes hídricos puede tensionar o alterar irreversiblemente los ecosistemas de humedales (Naranjo *et al.*, 1999). Esto puede darse por el cambio de la cantidad y frecuencia de disponibilidad de las aguas superficiales. También la alteración severa de la calidad del agua (contaminación) puede afectar severamente a los ecosistemas acuáticos.

Igualmente, se consideran las alteraciones de la regulación meso y microclimática, que pueden afectar severamente el ecosistema local. El cambio del clima puede darse en diferentes escalas espaciales. El microclima de una selva tropical puede cambiarse por clareo o fragmentación y afectar especies poco tolerantes a la sequía o la luz. Así las cosas, el cambio climático global podrá ser a la vez consecuencia de cambios ecosistémicos generalizados (emisiones de CO<sub>2</sub>) y causa de nuevos e impredecibles cambios en el mismo ámbito, que es uno de los factores que tendremos que entrar a estudiar más en el país para poder determinar hasta dónde el cambio climático global incide sobre las transformaciones de los ecosistemas y las especies, y hasta dónde influye sobre los procesos de transformación humana, generando así un efecto dominó, tensionante dentro de las diferentes regiones alto-andinas del país.

Entre los aspectos que ya se mencionan en estudios más detallados y extensos sobre la vulnerabilidad ecosistémica, en este mismo documento (Bioma, 2001) se menciona cómo la vulnerabilidad de un ecosistema está ligada con su resiliencia; esto es, la capacidad de retornar a un estado de equilibrio similar (energético y trófico) después de una perturbación. En tal sentido, cuando un ecosistema es sometido a un régimen de perturbación alterado en cuanto al tipo, magnitud, intensidad y frecuencia de ocurrencia de las perturbaciones (tal como los regímenes antrópicos), la resiliencia del sistema tiende a cero (máxima vulnerabilidad) y tiene la probabilidad de derivar hacia un estado de equilibrio diferente (degradación, ecosistemas de reemplazo, etc.).

Por tal motivo, como ha quedado documentado en este informe, el cambio climático, por calentamiento global, se presenta como un factor adicional de perturbación que entra a modificar sustancialmente los regímenes naturales, alterados por perturbación de los ecosistemas. Y los ecosistemas, como los alto andinos, que ocurren en condiciones ambientales especializadas, tienden a ser considerados como más vulnerables y, por lo tanto, podrían ser usados como sistemas indicadores del cambio ambiental.

Las implicaciones ambientales a través del GCT dependerán de varias variables que el país tendrá que evaluar y monitorear a futuro. Entre otros: la rapidez de la tasa de cambio climático en los próximos 50 años; la capacidad de resiliencia y adaptabilidad de estos biomas; la capacidad de conformación de nuevas asociaciones y comunidades de especies; la capacidad de migración ante el cambio de condiciones ambientales. Y ante todo, el grado de afectación de estos biomas relictuales por intervención humana.

### **1.3.3 El escenario del *HotSpot* y el *Global Climatic Tensor*: un contexto sin precedentes generado por la especie humana**

La gran preocupación ambiental desarrollada y fortalecida durante los últimos 30 años por la conservación de las especies biológicas y los ecosistemas -incluidos los aspectos específicos de índole gené-

tica- permitió una serie de avances muy notorios desde la definición de una Estrategia Mundial de Conservación (UICN, 1975), hasta la Convención de Biodiversidad (Cumbre de Río, 1992). Un proceso de evolución conceptual que pasó del interés general sobre la protección del paisaje, la fauna y la flora, a los fundamentos de la biología de la conservación y el establecimiento de Corredores de Conservación en el marco de la planificación y el ordenamiento territorial y el contexto espacial (ecología del paisaje, modelación con enfoque bio regional y definición de estructura ecológica principal, entre otros).

La preocupación por la biodiversidad en el escenario mundial se expresa claramente por primera vez -cuando se acuña el término “biodiversidad” en ECOBIOS-88- en razón de los problemas detectados desde aquel momento cuando se empieza a hablar de las Ecorregiones Terrestres Prioritarias, (ETP) con base en la vulnerabilidad de algunas regiones del planeta desde el punto de vista del endemismo y el grado de amenaza (K. Myers, 88; Raven, 98; Prance, 89, etc.). Este fue el mismo concepto que sirvió de base para la definición de los *HotSpot* (biodiversidad, endemismo y amenaza, Mittereir, 1996-1998) el cual identificó las 25 áreas más importantes del planeta y consideró, como ya lo anotamos anteriormente, a la región Norandina como la más vulnerable y amenazada de todas las regiones y como epicentro de la biodiversidad mundial.

La elaboración de los criterios de amenaza, endemismo y biodiversidad se hizo sobre la base de un análisis pormenorizado de la diversidad filética en el ámbito de familias y géneros particularmente de plantas superiores y fauna, diversidad beta (ecosistemas) -que en el caso concreto del norte de los Andes abarcaron los bosques húmedos tropicales, los bosques subhúmedos tropicales, sabanas, pastizales de altura (punas y páramos) en una extensión que significa el 0.8% de la superficie terrestre del planeta.

El análisis *HotSpot* no solo permite dimensionar el significado de esta región del norte de los Andes, sino que deja en claro su relevancia por



encima de cualquier otro lugar del planeta en cualquier priorización que se realice, por el grado de amenaza que esta considerada -especialmente- por la intervención directa de las poblaciones humanas que la habitan. Este panorama, como queda expresado en las páginas anteriores, se vuelve extremadamente sensible cuando se incorpora el concepto del *Global Climatic Tensor*, que puede ser diferenciado del anterior por tratarse de un fenómeno de repercusión global y adicional que ocurre ya y seguirá afectando cualquier ecosistema y ciclo natural -causando impactos directos e indirectos- independiente de que las condiciones locales y regionales de aprovechamiento e intervención de los recursos naturales ocurran. Por el contrario, lo que debe quedar claro es que el GCT puede incluso determinar e inducir el inicio de procesos de intervención sobre ecosistemas que en otras circunstancias no hubieran sido especialmente aprovechados y usados por el hombre.

Un ejemplo de lo anterior es precisamente lo que ocurre con los páramos, donde las transformaciones y fluctuaciones de incidencia climática han inducido un cambio del uso del suelo, al presentarse condiciones más apropiadas por el hombre para habitarlos y explotarlos.

La doble condición de *HotSpot* y *Global Climatic Tensor* en el norte de los Andes permite entender el grado de amenaza en el ámbito de extinción, no solo de algunas especies de fauna y flora, endémicas del bioma páramo, sino también y, muy probablemente, de este importante ecosistema, igualmente de carácter único en el planeta. El “*Top*” de las amenazas en el contexto mundial deberá ser asignado a este bioma por todas las razones expuestas, pero, particularmente, por su carácter eminentemente adaptativo, climático y térmico, que es el sentido especial de su propia esencia. Este fue siempre el presupuesto desde el cual surgió y se originó este bioma. Las comunidades que lo componen, desde el rango más seco al más pluvial y húmedo, son, en sí mismas, el resultado de las adaptaciones específicas de especies de flora y fauna de carácter muy restringido e insular -incluso los momentos clímax del pleniglacial pleistocénico- que fueron en esen-

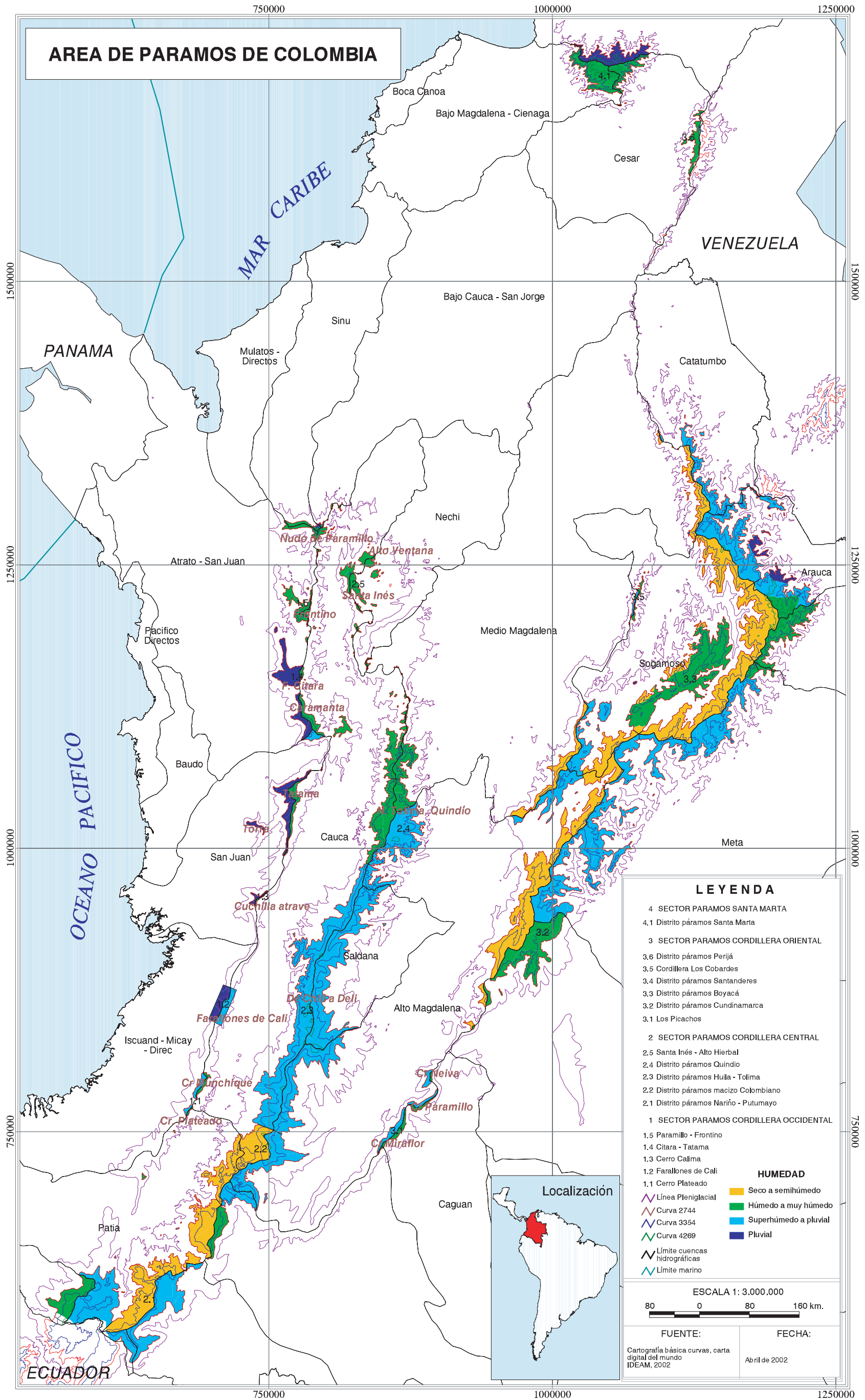
cia un bioma que se colonizó a sí mismo por las presiones selectivas del clima y del gradiente altitudinal de esta región particular del planeta.

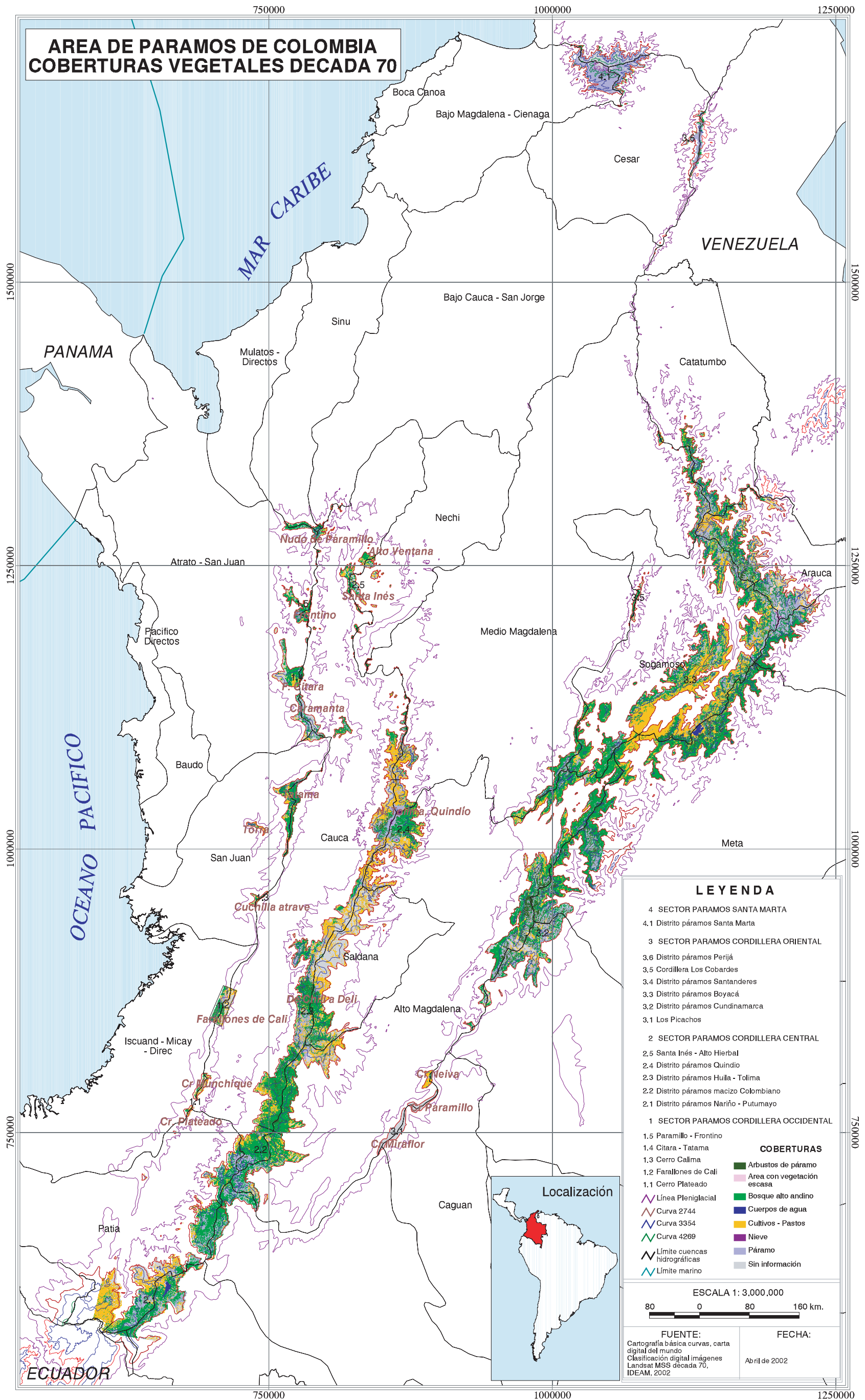
Las variaciones artificiales (no geológicas y naturales) de los cambios climáticos que empiezan a ocurrir, serán tan fuertes y rápidas que las propias especies que han vivido de su capacidad de adaptación a las presiones climáticas adversas y extremas, no permitirán una nueva condición de cambio y fluctuación climática, porque su adaptación y resiliencia dependería del tiempo para hacerlo y del gradiente altitudinal, que ya no permitirá desplazamiento vertical, sino constreñimiento ecosistémico y extinción.

Es claro por todo lo anterior, que la condición *HotSpot* & *-Global Climatic Tensor* deberá ser considerada de una forma muy particular en la nueva alianza internacional en las Convenciones de Cambio Climático, Biodiversidad y Desertificación, pues los aspectos de dinámica de los ecosistemas y su vulnerabilidad ante el cambio climático antes citados, se traducen en la necesidad de incorporar en los procesos de planificación diferentes escenarios de cambio en los ecosistemas, para facilitar así su mitigación y adaptabilidad desde el punto de vista de la gestión ambiental -si es que existe-. La gestión para la adaptación se refiere no tanto al manejo de los ecosistemas, como respuesta de corto plazo al cambio climático, sino a la gestión preventiva dirigida a crear o consolidar escenarios que minimicen la vulnerabilidad de los ecosistemas.

Serán determinantes en el futuro inmediato todas las herramientas necesarias para fortalecer los esquemas de planificación de uso de la tierra que han prevalecido hasta ahora, dirigidos a satisfacer requerimientos de eficiencia económica y ambiental en el uso de determinados recursos, pero al mismo tiempo, una adecuada a preactiva gestión en el marco de la convención de Cambio Climático para hacer ver la fragilidad, vulnerabilidad y especial condición de los ecosistemas de Alta Montaña del norte de los Andes, a fin de lograr el apoyo y el concurso internacional en la salvaguarda de este invaluable patrimonio de la humanidad.

Mapa 1





**Tabla 1** Matriz de cambio de cobertura vegetal 70 - 90 y uso del suelo en ecosistemas de Alta Montaña

IDDistr	Distrito	Cob 70	Total 90	AgroEco 90	Agua 90	Arbustal 90	Bosque 90	Escasa 90	Nieve 90	Paramo 90	SI 90	Vacias 90
4.1	Santa Marta	AgroEco 70	1,055.2			67.4	332.6			655.1		
4.1	Santa Marta	Agua 70	883.2		30.2	35.6	104.3	185.2		527.9		
4.1	Santa Marta	Arbustal 70	139.0			6.8	40.1			92.1		
4.1	Santa Marta	Bosque 70	3,207.8			388.9	1,661.3			1,157.6		
4.1	Santa Marta	Nieve 70	4,232.3		48.5		11.2	1,754.7	141.9	2,276.0		
4.1	Santa Marta	Paramo 70	91,895.5	40.2	152.9	4,732.7	6,596.3	9,508.6	399.4	70,465.3		
4.1	Santa Marta	SI 70	58,321.9	28.5	55.8	1,494.5	3,961.5	5,682.1	1,107.6	19,384.8	26,607.1	
<b>4.1</b>	<b>Total Santa Marta</b>		<b>159,734.9</b>	<b>68.7</b>	<b>287.4</b>	<b>6,725.9</b>	<b>12,707.3</b>	<b>17,130.5</b>	<b>1,649.0</b>	<b>94,558.9</b>	<b>26,607.1</b>	<b>0.0</b>
3.6	Perijá	AgroEco 70	35.9			8.2	27.7					
3.6	Perijá	Agua 70	89.9			6.4	38.0			45.5		
3.6	Perijá	Arbustal 70	47.4				28.4			18.9		
3.6	Perijá	Bosque 70	1,165.0	7.0		322.1	626.9			208.9		
3.6	Perijá	Escasa 70	31.2			16.1	9.2			1.1	4.9	
3.6	Perijá	Paramo 70	9,043.8	103.1		2,452.4	2,970.3			3,142.2	375.9	
3.6	Perijá	SI 70	12,712.2			144.3	38.2				12,529.8	
<b>3.6</b>	<b>Total Perija</b>		<b>23,125.4</b>	<b>110.1</b>	<b>0.0</b>	<b>2,949.4</b>	<b>3,738.7</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>3,416.5</b>	<b>12,910.7</b>	<b>0.0</b>
3.5	Cordillera Los Cobardes	AgroEco 70	971.9	35.7		10.5	338.2				587.4	
3.5	Cordillera Los Cobardes	Arbustal 70	308.2				270.7				37.5	
3.5	Cordillera Los Cobardes	Bosque 70	4,725.0				3,648.6				1,076.4	
3.5	Cordillera Los Cobardes	Paramo 70	47.8				47.8					
3.5	Cordillera Los Cobardes	SI 70	4,050.2	20.9			1,126.4				2,903.0	
<b>3.5</b>	<b>Total Cordillera Los Cobardes</b>		<b>10,103.1</b>	<b>56.6</b>	<b>0.0</b>	<b>10.5</b>	<b>5,431.6</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>4,604.3</b>	<b>0.0</b>
3.4	Santanderes	AgroEco 70	73,989.2	20,950.7		937.5	2,653.8	32.0		34,808.9	14,606.3	

continúa en la página siguiente

Tabla 1 Matriz de cambio de cobertura vegetal 70 - 90 y uso del suelo en ecosistemas de Alta Montaña en Colombia (viene de la página anterior)

ID	Distr	Distrito	Cob 70	Total 90	AgroEco 90	Agua 90	Arbustal 90	Bosque 90	Escasa 90	Nieve 90	Paramo 90	SI 90	Vacias 90
3.4		Santanderes	Agua 70	226.1	36.2		20.7	17.7			135.5	16.1	
3.4		Santanderes	Arbustal 70	45,767.5	2,661.0		938.9	1,796.2	6.0		32,844.1	7,521.3	
3.4		Santanderes	Bosque 70	150,413.5	37,644.2	35.1	9,099.4	21,623.9	96.9		60,394.0	21,519.9	
3.4		Santanderes	Escasa 70	26.5								26.5	
3.4		Santanderes	Paramo 70	65,053.5	2,943.5	17.9	1,722.2	2,948.1			47,097.2	10,324.7	
3.4		Santanderes	SI 70	43,064.6	1,076.3	7.2	294.8	685.6			1,071.4	39,929.3	
3.4		Santanderes	Vacias 70	6.0									6.0
<b>3.4</b>		<b>Total Santanderes</b>		<b>378,547.0</b>	<b>65,312.0</b>	<b>60.3</b>	<b>13,013.6</b>	<b>29,725.1</b>	<b>134.9</b>	<b>0.0</b>	<b>176,351.1</b>	<b>93,944.1</b>	<b>6.0</b>
3.3		Boyacá	AgroEco 70	294,039.5	165,071.6	364.3	5,163.5	13,513.5	1,669.8	257.6	65,261.2	42,737.8	
3.3		Boyacá	Agua 70	6,534.8	72.7	1,549.7	113.9	159.4	462.1		210.1	3,966.9	
3.3		Boyacá	Arbustal 70	105,313.2	21,815.9	231.2	3,361.6	7,786.2	391.2		36,131.5	35,595.7	
3.3		Boyacá	Bosque 70	440,830.3	135,940.9	567.7	46,895.4	77,000.7	4,362.8		78,138.6	97,919.7	4.5
3.3		Boyacá	Escasa 70	3,907.2	207.5		50.4	7.4	41.5	116.4	711.7	2,772.3	
3.3		Boyacá	Nieve 70	1,938.1	18.2					922.1	139.7	858.0	
3.3		Boyacá	Paramo 70	132,375.9	10,948.8	320.0	4,150.6	13,429.0	1,430.1	325.8	55,852.8	45,918.7	0.2
3.3		Boyacá	SI 70	58,353.5	1,257.5	8.6	937.3	2,263.9	14.4	960.4	3,766.7	49,144.7	
3.3		Boyacá	Vacias 70	3.2							1.3		1.9
<b>3.3</b>		<b>Total Boyacá</b>		<b>1,043,295.8</b>	<b>335,333.2</b>	<b>3,041.4</b>	<b>60,672.8</b>	<b>114,160.1</b>	<b>8,371.8</b>	<b>2,582.3</b>	<b>240,213.8</b>	<b>278,913.7</b>	<b>6.7</b>
3.2		Cundinamarca	AgroEco 70	67,695.4	35,212.3	165.3	3,312.4	7,897.6	3,789.6		12,808.9	4,509.3	
3.2		Cundinamarca	Agua 70	2,542.4	414.6	275.5	217.3	1,197.1	29.3		383.3	25.3	
3.2		Cundinamarca	Arbustal 70	107,194.8	15,200.6	242.6	16,568.0	9,126.6	461.8		56,388.5	9,206.9	
3.2		Cundinamarca	Bosque 70	401,188.5	141,483.7	1,319.6	50,356.7	96,612.1	5,214.3		63,191.4	42,960.9	49.8
3.2		Cundinamarca	Escasa 70	718.7	29.0		62.3	160.0	230.8		219.0	17.6	

continúa en la página siguiente

**Tabla 1** Matriz de cambio de cobertura vegetal 70 - 90 y uso del suelo en ecosistemas de Alta Montaña en Colombia (viene de la página anterior)

IDDistr	Distrito	Cob 70	Total 90	AgroEco 90	Agua 90	Arbustal 90	Bosque 90	Escasa 90	Nieve 90	Paramo 90	SI 90	Vacias 90
3.2	Cundinamarca	Paramo 70	122,804.6	14,050.0	287.1	15,680.2	21,209.5	1,174.6		55,733.5	14,669.7	
3.2	Cundinamarca	SI 70	86,933.2	4,309.0	22.0	2,932.3	4,657.9	15.9		7,505.9	67,490.2	
<b>3.2</b>	<b>Total Cundinamarca</b>		<b>789,077.6</b>	<b>210,699.2</b>	<b>2,312.1</b>	<b>89,129.2</b>	<b>140,860.7</b>	<b>10,916.2</b>	<b>0.0</b>	<b>196,230.5</b>	<b>138,879.9</b>	<b>49.8</b>
3.1	Los Picachos	AgroEco 70	5,432.4	3,853.7		48.0	218.9			534.4	777.4	
3.1	Los Picachos	Arbustal 70	163.4	95.3		4.0	31.1			21.2	11.8	
3.1	Los Picachos	Bosque 70	1,342.2	376.3		48.2	414.1			45.3	458.4	
3.1	Los Picachos	Paramo 70	639.2	223.8		6.4	105.0			115.9	188.0	
3.1	Los Picachos	SI 70	38,998.7	3,885.8	91.6	5,235.9	18,131.8			263.1	11,390.6	
<b>3.1</b>	<b>Total Los Picachos</b>		<b>46,575.9</b>	<b>8,434.8</b>	<b>91.6</b>	<b>5,342.5</b>	<b>18,900.9</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>979.9</b>	<b>12,826.2</b>	<b>0.0</b>
2.5	Santa Ines	AgroEco 70	12,050.4	8,897.7		330.5	1,110.1			689.7	1,022.4	
2.5	Santa Ines	Agua 70	1,272.8	385.3		13.6	302.9			92.3	478.7	
2.5	Santa Ines	Arbustal 70	1,546.8	442.7		138.1	113.1			654.4	198.5	
2.5	Santa Ines	Bosque 70	24,557.9	11,563.8		4,511.7	5,463.5			1,694.1	1,324.8	
2.5	Santa Ines	Paramo 70	2,200.9	734.4		158.4	310.8			87.5	909.8	
2.5	Santa Ines	SI 70	13,167.0	2,405.8		284.3	684.5			291.2	9,501.2	
<b>2.5</b>	<b>Total Santa Ines</b>		<b>54,795.8</b>	<b>24,429.7</b>	<b>0.0</b>	<b>5,436.6</b>	<b>7,985.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>3,509.3</b>	<b>13,435.4</b>	<b>0.0</b>
2.4	Quindio	AgroEco 70	120,785.9	63,255.6		7,485.5	17,019.9	201.7		30,401.4	2,421.8	
2.4	Quindio	Agua 70	473.7	64.4	17.6	22.0		74.2	87.1	208.5		
2.4	Quindio	Arbustal 70	16,558.6	4,575.4	12.8	2,214.1	2,236.1	23.8	12.4	7,382.4	101.7	
2.4	Quindio	Bosque 70	66,605.3	27,540.5	85.8	10,772.6	9,772.4	63.6		17,202.0	1,168.4	
2.4	Quindio	Escasa 70	483.2	115.7		20.8	158.3	34.8	41.6	112.0		
2.4	Quindio	Nieve 70	2,653.5	444.8		34.0		739.2	1,084.5	319.7	31.3	
2.4	Quindio	Paramo 70	56,700.2	16,495.4	158.2	5,455.3	8,538.9	2,393.2	808.6	22,283.0	563.0	4.4

continúa en la página siguiente

Tabla 1 Matriz de cambio de cobertura vegetal 70 - 90 y uso del suelo en ecosistemas de Alta Montaña en Colombia (viene de la página anterior)

IDDistr	Distrito	Cob 70	Total 90	AgroEco 90	Agua 90	Arbustal 90	Bosque 90	Escasa 90	Nieve 90	Paramo 90	SI 90	Vacias 90
2.4	Quindío	SI 70	34,870.4	10,619.2		1,666.5	5,979.0			3,185.3	13,420.4	
<b>2.4</b>	<b>Total Quindío</b>		<b>299,130.8</b>	<b>123,111.0</b>	<b>274.3</b>	<b>27,670.9</b>	<b>43,704.6</b>	<b>3,530.5</b>	<b>2,034.2</b>	<b>81,094.3</b>	<b>17,706.5</b>	<b>4.4</b>
2.3	Huila - Tolima	AgroEco 70	206,687.8	69,475.7	48.1	34,333.4	55,770.4	716.6	5.4	28,355.6	17,982.7	
2.3	Huila - Tolima	Agua 70	270.7	4.1		111.5	72.9			82.2		
2.3	Huila - Tolima	Arbustal 70	54,747.8	5,181.0	110.5	10,351.8	17,810.9	95.0		12,787.2	8,411.4	
2.3	Huila - Tolima	Bosque 70	222,468.7	56,053.7	172.3	42,157.6	68,468.2	300.8		32,564.5	22,751.7	
2.3	Huila - Tolima	Escasa 70	1,419.0	389.0		64.9	298.6	198.9	16.7	149.1	301.9	
2.3	Huila - Tolima	Paramo 70	81,575.8	9,205.4	40.8	13,793.7	23,452.6	369.8		23,636.1	11,077.4	
2.3	Huila - Tolima	SI 70	140,345.3	26,008.5	117.9	23,647.4	36,219.4	1,059.9	1,279.9	13,492.0	38,520.3	
2.3	Huila - Tolima	Vacias 70	3.8									3.8
<b>2.3</b>	<b>Total Huila - Tolima</b>		<b>707,518.9</b>	<b>166,317.5</b>	<b>489.5</b>	<b>124,460.2</b>	<b>202,092.9</b>	<b>2,741.1</b>	<b>1,302.0</b>	<b>111,066.6</b>	<b>99,045.3</b>	<b>3.8</b>
2.2	Macizo Colombiano	AgroEco 70	39,414.9	18,343.3	26.6	5,729.4	5,725.9	137.2		3,068.6	6,383.9	
2.2	Macizo Colombiano	Agua 70	430.2	35.0		24.6	56.1			13.8	300.7	
2.2	Macizo Colombiano	Arbustal 70	6,645.0	891.8		567.0	650.0	428.5	9.6	1,802.7	2,295.5	
2.2	Macizo Colombiano	Bosque 70	158,461.9	40,971.0	46.6	25,099.3	43,002.5	279.9		9,162.4	39,900.2	
2.2	Macizo Colombiano	Escasa 70	390.3	71.4		4.1	3.8	183.8	30.3	96.9		
2.2	Macizo Colombiano	Paramo 70	54,182.4	10,194.3	16.3	7,400.7	9,134.2	366.0	13.7	6,346.3	20,710.9	
2.2	Macizo Colombiano	SI 70	18,899.1	769.1		836.7	284.0	57.0		86.2	16,866.1	
<b>2.2</b>	<b>Total Macizo Colombiano</b>		<b>278,423.9</b>	<b>71,276.0</b>	<b>89.6</b>	<b>39,661.8</b>	<b>58,856.5</b>	<b>1,452.3</b>	<b>53.6</b>	<b>20,576.8</b>	<b>86,457.3</b>	<b>0.0</b>
2.1	Nariño - Putumayo	AgroEco 70	107,064.8	59,536.9	232.7	5,268.7	10,394.9	856.3		15,861.1	14,914.2	
2.1	Nariño - Putumayo	Agua 70	4,201.1	62.2	3,747.6		46.7			87.6	257.0	
2.1	Nariño - Putumayo	Arbustal 70	2,855.3	257.0		216.5	226.0			1,393.3	762.5	
2.1	Nariño - Putumayo	Bosque 70	171,973.9	50,397.9	51.1	26,392.2	59,295.1	76.8		10,275.8	25,485.0	

continúa en la página siguiente

**Tabla 1** Matriz de cambio de unidades de cobertura vegetal 70 - 90 y uso del suelo en ecosistemas de Alta Montaña en Colombia (viene de la página anterior)

IDDistr	Distrito	Cob 70	Total 90	AgroEco 90	Agua 90	Arbustal 90	Bosque 90	Escasa 90	Nieve 90	Paramo 90	SI 90	Vacias 90
2.1	Nariño - Putumayo	Escasa 70	1,682.2	203.5	90.7	132.2	411.0	153.2		230.3	461.2	
2.1	Nariño - Putumayo	Paramo 70	82,607.9	15,550.7	255.0	9,437.3	25,952.1	183.4		16,050.8	15,178.7	
2.1	Nariño - Putumayo	SI 70	232,217.7	11,580.1	76.1	1,864.5	5,692.5			4,842.9	208,161.6	
2.1	Nariño - Putumayo	Vacias 70	2.3									2.3
<b>2.1</b>	<b>Total Nariño - Putumayo</b>		<b>602,605.1</b>	<b>137,588.3</b>	<b>4,453.1</b>	<b>43,311.4</b>	<b>102,018.2</b>	<b>1,269.7</b>	<b>0.0</b>	<b>48,741.8</b>	<b>265,220.2</b>	<b>2.3</b>
1.5	Paramillo - Frontino	AgroEco 70	4,805.6	1,887.9		667.1	898.8			87.8	1,264.0	
1.5	Paramillo - Frontino	Agua 70	93.3	20.6		2.9	36.4				33.4	
1.5	Paramillo - Frontino	Arbustal 70	825.1	197.9		166.2	163.7			83.1	214.1	
1.5	Paramillo - Frontino	Bosque 70	39,327.1	7,749.1		11,964.8	14,494.2			750.6	4,368.5	
1.5	Paramillo - Frontino	Escasa 70	18.5			5.5					13.0	
1.5	Paramillo - Frontino	Paramo 70	5,794.7	841.7		845.0	2,080.4			1,322.1	705.6	
1.5	Paramillo - Frontino	SI 70	9,209.3	276.6		471.3	565.6			11.2	7,884.6	
<b>1.5</b>	<b>Total Paramillo - Frontino</b>		<b>60,073.7</b>	<b>10,973.7</b>	<b>0.0</b>	<b>14,122.9</b>	<b>18,239.1</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>2,254.8</b>	<b>14,483.2</b>	<b>0.0</b>
1.4	Cerro Calima	AgroEco 70	1,444.3	740.1		245.4	427.0				31.8	
1.4	Cerro Calima	Arbustal 70	34.2	15.2			19.0					
1.4	Cerro Calima	Bosque 70	2,313.5	1,205.9		550.0	503.1			18.5	35.9	
1.4	Cerro Calima	Paramo 70	393.5	64.2		72.0	224.8			10.2	22.3	
1.4	Cerro Calima	SI 70	1,665.3	150.1		14.0	11.6				1,489.7	
<b>1.4</b>	<b>Total Cerro Calima</b>		<b>5,850.7</b>	<b>2,175.4</b>	<b>0.0</b>	<b>881.4</b>	<b>1,185.5</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>28.8</b>	<b>1,579.7</b>	<b>0.0</b>
1.3	Citara - Tatama	AgroEco 70	23,435.1	9,711.4		2,106.8	6,290.9			1,155.2	4,170.7	
1.3	Citara - Tatama	Agua 70	1.7				1.7					
1.3	Citara - Tatama	Arbustal 70	7,043.8	1,537.7		862.7	3,869.7			298.6	475.1	
1.3	Citara - Tatama	Bosque 70	75,229.4	27,891.7		11,859.6	28,455.1			2,218.3	4,804.7	

continúa en la página siguiente



Tabla 1 Matriz de cambio de cobertura vegetal 70 - 90 y uso del suelo en ecosistemas de Alta Montaña en Colombia (viene de la página anterior)

IDDistr	Distrito	Cob 70	Total 90	AgroEco 90	Agua 90	Arbustal 90	Bosque 90	Escasa 90	Nieve 90	Paramo 90	SI 90	Vacias 90
1.3	Citara - Tatama	Escasa 70	51.7	34.9			13.7				3.1	
1.3	Citara - Tatama	Paramo 70	23,648.8	4,517.8		1,380.7	12,023.5			548.9	5,178.0	
1.3	Citara - Tatama	SI 70	29,080.2	3,866.2		256.0	3,870.4			437.0	20,650.6	
<b>1.3</b>	<b>Total Citara - Tatama</b>		<b>158,490.7</b>	<b>47,559.8</b>	<b>0.0</b>	<b>16,465.7</b>	<b>54,525.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>4,658.0</b>	<b>35,282.1</b>	<b>0.0</b>
1.2	Farallones de Cali	AgroEco 70	10,120.8	4,367.3		565.1	754.9			451.9	3,981.7	
1.2	Farallones de Cali	Arbustal 70	4,604.5	725.3		275.1	1,448.0			129.4	2,026.8	
1.2	Farallones de Cali	Bosque 70	12,746.1	1,802.7		2,584.9	2,956.1			217.6	5,184.7	
1.2	Farallones de Cali	Escasa 70	36.3								36.3	
1.2	Farallones de Cali	Paramo 70	3,130.4	512.0		439.4	681.8			219.0	1,278.1	
1.2	Farallones de Cali	SI 70	10,784.1	1,172.7		126.5	136.6			58.0	9,290.3	
<b>1.2</b>	<b>Total Farallones de Cali</b>		<b>41,422.2</b>	<b>8,579.9</b>	<b>0.0</b>	<b>3,991.0</b>	<b>5,977.4</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>1,076.0</b>	<b>21,797.9</b>	<b>0.0</b>
1.1	Cerro Plateado	AgroEco 70	6,012.4	3,237.1		1,561.1	1,214.2				0.0	
1.1	Cerro Plateado	Arbustal 70	1,987.9	320.0		567.0	1,100.9					
1.1	Cerro Plateado	Bosque 70	2,617.9	568.0		695.5	1,354.4					
1.1	Cerro Plateado	Paramo 70	782.1	156.0		250.0	376.0					
1.1	Cerro Plateado	SI 70	7,113.2	1,107.0		488.3	138.6				5,379.3	
<b>1.1</b>	<b>Total Cerro Plateado</b>		<b>18,513.4</b>	<b>5,388.1</b>	<b>0.0</b>	<b>3,561.8</b>	<b>4,184.1</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>5,379.3</b>	<b>0.0</b>
	<b>Total general</b>		<b>4,677,284.9</b>	<b>1,217,414.2</b>	<b>11,099.2</b>	<b>1,228,513.4</b>	<b>824,292.8</b>	<b>45,547.0</b>	<b>7,621.1</b>	<b>984,757.0</b>	<b>1,129,072.9</b>	<b>73.0</b>

Fuente de datos: Clasificación digital de Imágenes de satélite LANDSAT, décadas 70 - 90, IDEAM, 2002

**Tabla 2** Cambio de las unidades de cobertura vegetal 70 - 90 y uso del suelo en ecosistemas de Alta Montaña en Colombia

ID_Distrito	Distrito	Coberturas	Total 70	(% 70)	Total 90	(% 90)	Cambio ha. Respecto 70	Cambio % Respecto 70
4.1	Santa Marta	Agroecosistemas	1,055.2	1.10%	68.7	0.06%	-986	93.48%
4.1	Santa Marta	Arbustales	139.0	0.14%	6,725.9	5.90%	6,587	4740.47%
4.1	Santa Marta	Bosques	3,207.8	3.33%	12,707.3	11.14%	9,500	296.14%
4.1	Santa Marta	Paramos	91,895.5	95.43%	94,558.9	82.90%	2,663	2.90%
<b>4.1</b>	<b>Total Santa Marta</b>		<b>96,297.5</b>	<b>100.00%</b>	<b>114,060.9</b>	<b>100.00%</b>	<b>17,763</b>	
3.6	Perija	Agroecosistemas	35.9	0.35%	110.1	1.08%	74	207.17%
3.6	Perija	Arbustales	47.4	0.46%	2,949.4	28.87%	2,902	6127.38%
3.6	Perija	Bosques	1,165.0	11.32%	3,738.7	36.60%	2,574	
3.6	Perija	Paramos	9,043.8	87.87%	3,416.5	33.45%	-5,627	62.22%
<b>3.6</b>	<b>Total Perija</b>		<b>10,292.1</b>	<b>100.00%</b>	<b>10,214.7</b>	<b>100.00%</b>	<b>-77</b>	
3.5	Cordillera Los Cobardes	Agroecosistemas	971.9	16.06%	56.6	1.03%	-915	94.18%
3.5	Cordillera Los Cobardes	Arbustales	308.2	5.09%	10.5	0.19%	-298	96.58%
3.5	Cordillera Los Cobardes	Bosques	4,725.0	78.06%	5,431.6	98.78%	707	14.95%
3.5	Cordillera Los Cobardes	Paramos	47.8	0.79%			-48	
<b>3.5</b>	<b>Total Cordillera Los Cobardes</b>		<b>6,052.8</b>	<b>100.00%</b>	<b>5,498.8</b>	<b>100.00%</b>	<b>-554</b>	
3.4	Santanderes	Agroecosistemas	73,989.2	22.07%	65,312.0	22.96%	-8,677	11.73%
3.4	Santanderes	Arbustales	45,767.5	13.65%	13,013.6	4.58%	-32,754	71.57%
3.4	Santanderes	Bosques	150,413.5	44.87%	29,725.1	10.45%	-120,688	80.24%
3.4	Santanderes	Paramos	65,053.5	19.41%	176,351.1	62.01%	111,298	171.09%
<b>3.4</b>	<b>Total Santanderes</b>		<b>335,223.8</b>	<b>100.00%</b>	<b>284,401.7</b>	<b>100.00%</b>	<b>-50,822</b>	
3.3	Boyaca	Agroecosistemas	294,039.5	30.23%	335,333.2	44.69%	41,294	14.04%
3.3	Boyaca	Arbustales	105,313.2	10.83%	60,672.8	8.09%	-44,640	42.39%

continúa en la página siguiente

Tabla 2 Cambio de las unidades de cobertura vegetal 70 - 90 y uso del suelo en ecosistemas de Alta Montaña en Colombia (viene de la página anterior)

ID_Distrito	Distrito	Coberturas	Total 70	(% 70)	Total 90	(% 90)	Cambio ha. Respecto 70	Cambio % Respecto 70
3.3	Boyaca	Bosques	440,830.3	45.33%	114,160.1	15.21%	-326,670	74.10%
3.3	Boyaca	Paramos	132,375.9	13.61%	240,213.8	32.01%	107,838	81.46%
<b>3.3</b>	<b>Total Boyaca</b>		<b>972,558.9</b>	<b>100.00%</b>	<b>750,380.0</b>	<b>100.00%</b>	<b>-222,179</b>	
3.2	Cundinamarca	Agroecosistemas	67,695.4	9.69%	210,699.2	33.08%	143,004	211.25%
3.2	Cundinamarca	Arbustales	107,194.8	15.34%	89,129.2	13.99%	-18,066	16.85%
3.2	Cundinamarca	Bosques	401,188.5	57.40%	140,860.7	22.12%	-260,328	64.89%
3.2	Cundinamarca	Paramos	122,804.6	17.57%	196,230.5	30.81%	73,426	59.79%
<b>3.2</b>	<b>Total Cundinamarca</b>		<b>698,883.3</b>	<b>100.00%</b>	<b>636,919.6</b>	<b>100.00%</b>	<b>-61,964</b>	
3.1	Los Picachos	Agroecosistemas	5,432.4	71.69%	8,434.8	25.06%	3,002	55.27%
3.1	Los Picachos	Arbustales	163.4	2.16%	5,342.5	15.87%	5,179	3170.08%
3.1	Los Picachos	Bosques	1,342.2	17.71%	18,900.9	56.16%	17,559	1308.17%
3.1	Los Picachos	Paramos	639.2	8.44%	979.9	2.91%	341	53.30%
<b>3.1</b>	<b>Total Los Picachos</b>		<b>7,577.2</b>	<b>100.00%</b>	<b>33,658.1</b>	<b>100.00%</b>	<b>26,081</b>	
2.5	Santa Ines	Agroecosistemas	12,050.4	29.86%	24,429.7	59.07%	12,379	102.73%
2.5	Santa Ines	Arbustales	1,546.8	3.83%	5,436.6	13.14%	3,890	251.47%
2.5	Santa Ines	Bosques	24,557.9	60.85%	7,985.0	19.31%	-16,573	67.49%
2.5	Santa Ines	Paramos	2,200.9	5.45%	3,509.3	8.48%	1,308	59.45%
<b>2.5</b>	<b>Total Santa Ines</b>		<b>40,356.0</b>	<b>100.00%</b>	<b>41,360.4</b>	<b>100.00%</b>	<b>1,004</b>	
2.4	Quindio	Agroecosistemas	120,785.9	46.34%	123,111.0	44.67%	2,325	1.92%
2.4	Quindio	Arbustales	16,558.6	6.35%	27,670.9	10.04%	11,112	67.11%
2.4	Quindio	Bosques	66,605.3	25.55%	43,704.6	15.86%	-22,901	34.38%
2.4	Quindio	Paramos	56,700.2	21.75%	81,094.3	29.43%	24,394	43.02%

continúa en la página siguiente

**Tabla 2** Cambio de las unidades de cobertura vegetal 70 - 90 y uso del suelo en ecosistemas de Alta Montaña en Colombia (viene de la página anterior)

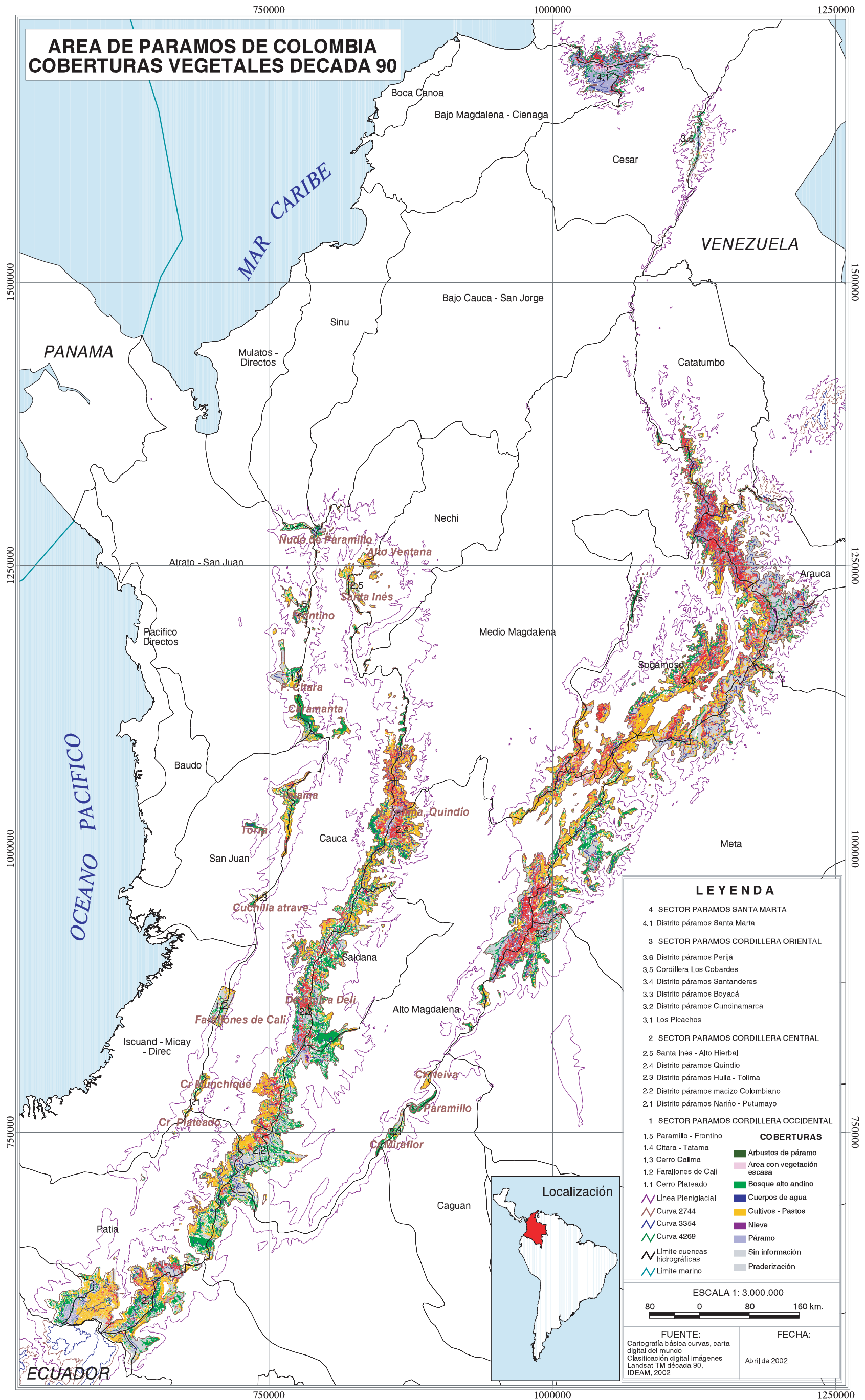
ID_Distrito	Distrito	Coberturas	Total 70	(% 70)	Total 90	(% 90)	Cambio ha. Respecto 70	Cambio % Respecto 70
2.4	<b>Total Quindío</b>		<b>260,649.9</b>	<b>100.00%</b>	<b>275,580.8</b>	<b>100.00%</b>	<b>14,931</b>	
2.3	Huila - Tolima	Agroecosistemas	206,687.8	36.55%	166,317.5	27.54%	-40,370	19.53%
2.3	Huila - Tolima	Arbustales	54,747.8	9.68%	124,460.2	20.61%	69,712	127.33%
2.3	Huila - Tolima	Bosques	222,468.7	39.34%	202,092.9	33.46%	-20,376	9.16%
2.3	Huila - Tolima	Paramos	81,575.8	14.43%	111,066.6	18.39%	29,491	36.15%
<b>2.3</b>	<b>Total Huila - Tolima</b>		<b>565,480.0</b>	<b>100.00%</b>	<b>603,937.2</b>	<b>100.00%</b>	<b>38,457</b>	
2.2	Macizo Colombiano	Agroecosistemas	39,414.9	15.24%	71,276.0	37.44%	31,861	80.84%
2.2	Macizo Colombiano	Arbustales	6,645.0	2.57%	39,661.8	20.83%	33,017	496.86%
2.2	Macizo Colombiano	Bosques	158,461.9	61.25%	58,856.5	30.92%	-99,605	62.86%
2.2	Macizo Colombiano	Paramos	54,182.4	20.94%	20,576.8	10.81%	-33,606	62.02%
<b>2.2</b>	<b>Total Macizo Colombiano</b>		<b>258,704.3</b>	<b>100.00%</b>	<b>190,371.1</b>	<b>100.00%</b>	<b>-68,333</b>	
2.1	Nariño-Putumayo	Agroecosistemas	107,064.8	29.37%	137,588.3	41.48%	30,524	28.51%
2.1	Nariño-Putumayo	Arbustales	2,855.3	0.78%	43,311.4	13.06%	40,456	1416.89%
2.1	Nariño-Putumayo	Bosques	171,973.9	47.18%	102,018.2	30.76%	-69,956	40.68%
2.1	Nariño-Putumayo	Paramos	82,607.9	22.66%	48,741.8	14.70%	-33,866	41.00%
<b>2.1</b>	<b>Total Nariño-Putumayo</b>		<b>364,501.9</b>	<b>100.00%</b>	<b>331,659.8</b>	<b>100.00%</b>	<b>-32,842</b>	
1.5	Paramillo - Frontino	Agroecosistemas	4,805.6	9.47%	10,973.7	24.07%	6,168	128.35%
1.5	Paramillo - Frontino	Arbustales	825.1	1.63%	14,122.9	30.98%	13,298	1611.66%
1.5	Paramillo - Frontino	Bosques	39,327.1	77.49%	18,259.1	40.01%	-21,088	53.62%
1.5	Paramillo - Frontino	Paramos	5,794.7	11.42%	2,254.8	4.95%	-3,540	61.09%
<b>1.5</b>	<b>Total Paramillo - Frontino</b>		<b>50,752.5</b>	<b>100.00%</b>	<b>45,590.5</b>	<b>100.00%</b>	<b>-5,162</b>	
1.4	Cerro Calima	Agroecosistemas	1,444.3	34.51%	2,175.4	50.93%	731	50.62%

continúa en la página siguiente

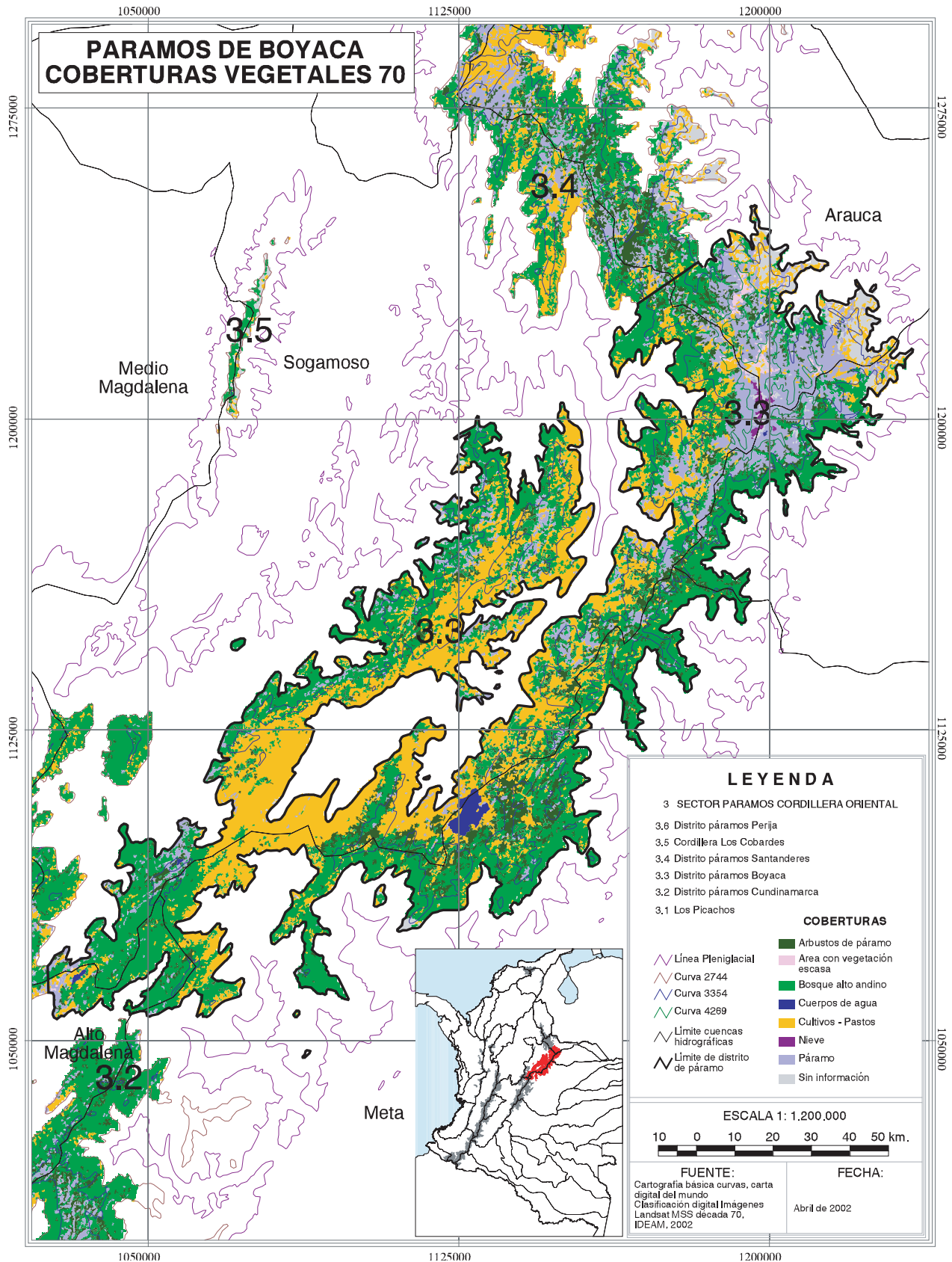
Tabla 2 Cambio de las unidades de cobertura vegetal 70 - 90 y uso del suelo en ecosistemas de Alta Montaña en Colombia (viene de la página anterior)

ID_Distrito	Distrito	Coberturas	Total 70	(% 70)	Total 90	(% 90)	Cambio ha. Respecto 70	Cambio % Respecto 70
1.4	Cerro Calima	Arbustales	34.2	0.82%	881.4	20.64%	847	2478.44%
1.4	Cerro Calima	Bosques	2,313.5	55.27%	1,185.5	27.76%	-1,128	48.75%
1.4	Cerro Calima	Paramos	393.5	9.40%	28.8	0.67%	-365	92.69%
<b>1.4</b>	<b>Total Cerro Calima</b>		<b>4,185.4</b>	<b>100.00%</b>	<b>4,271.1</b>	<b>100.00%</b>	<b>86</b>	
1.3	Citara - Tatama	Agroecosistemas	23,435.1	18.12%	47,559.8	38.60%	24,125	102.94%
1.3	Citara - Tatama	Arbustales	7,043.8	5.45%	16,465.7	13.36%	9,422	133.76%
1.3	Citara - Tatama	Bosques	75,229.4	58.16%	54,525.0	44.25%	-20,704	27.52%
1.3	Citara - Tatama	Paramos	23,648.8	18.28%	4,658.0	3.78%	-18,991	80.30%
<b>1.3</b>	<b>Total Citara - Tatama</b>		<b>129,357.1</b>	<b>100.00%</b>	<b>123,208.6</b>	<b>100.00%</b>	<b>-6,149</b>	
1.2	Farallones de Cali	Agroecosistemas	10,120.8	33.07%	8,579.9	43.72%	-1,541	15.22%
1.2	Farallones de Cali	Arbustales	4,604.5	15.05%	3,991.0	20.34%	-614	13.33%
1.2	Farallones de Cali	Bosques	12,746.1	41.65%	5,977.4	30.46%	-6,769	53.10%
1.2	Farallones de Cali	Paramos	3,130.4	10.23%	1,076.0	5.48%	-2,054	65.63%
<b>1.2</b>	<b>Total Farallones de Cali</b>		<b>30,601.8</b>	<b>100.00%</b>	<b>19,624.3</b>	<b>100.00%</b>	<b>-10,978</b>	
1.1	Cerro Plateado	Agroecosistemas	6,012.4	52.74%	5,388.1	41.02%	-624	10.38%
1.1	Cerro Plateado	Arbustales	1,987.9	17.44%	3,561.8	27.12%	1,574	79.18%
1.1	Cerro Plateado	Bosques	2,617.9	22.96%	4,184.1	31.86%	1,566	59.83%
1.1	Cerro Plateado	Paramos	782.1	6.86%	0.0	0.00%	-782	99.99%
<b>1.1</b>	<b>Total Cerro Plateado</b>		<b>11,400.2</b>	<b>100.00%</b>	<b>13,134.1</b>	<b>100.00%</b>	<b>1,734</b>	

Fuente de datos: Clasificación digital de Imágenes de satélite LANDSAT, décadas 70 - 90, IDEAM, 2002



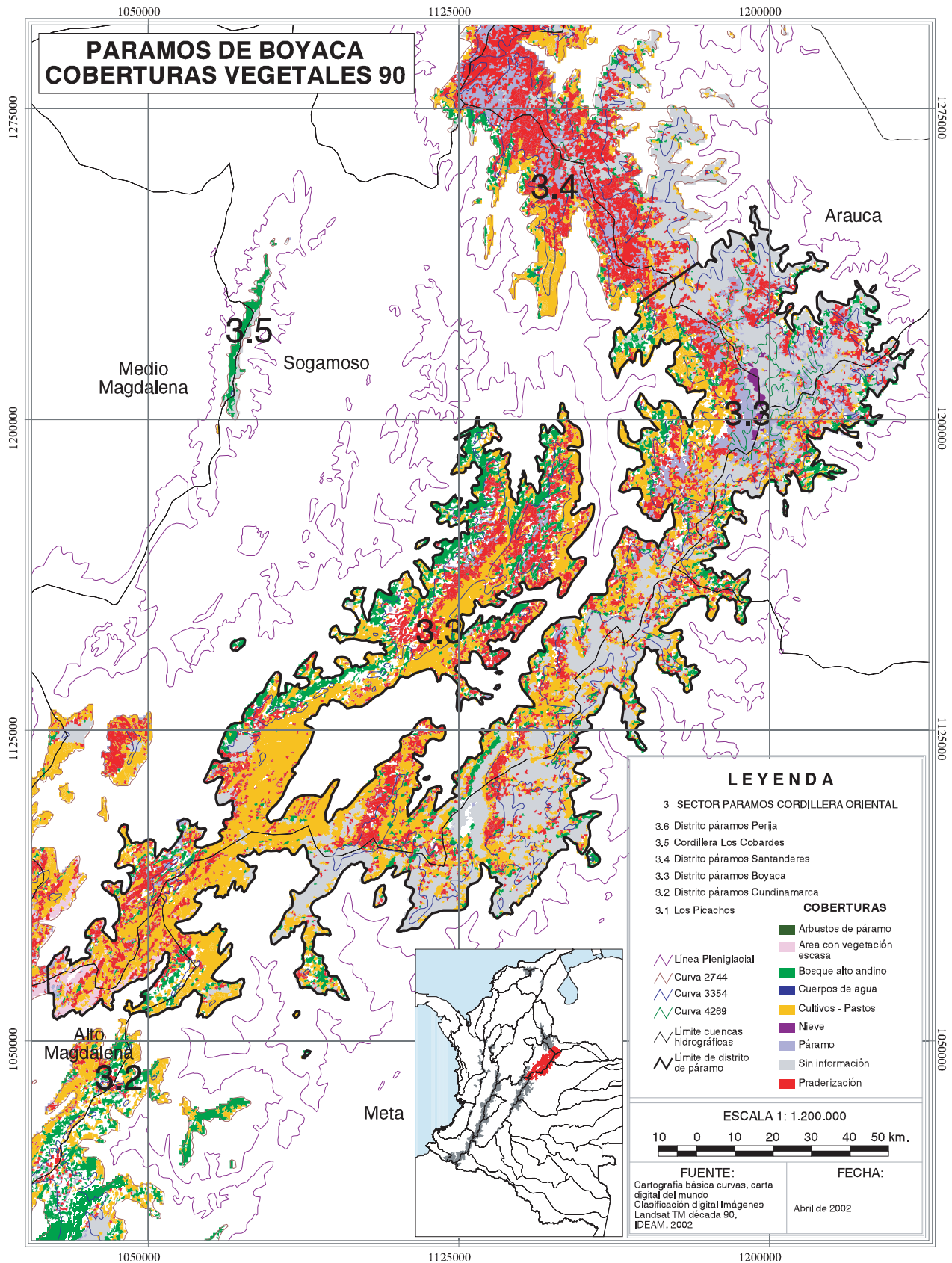
Mapa 4







Mapa 5





## Referencias bibliográficas

- RANGEL ORLANDO (Editor). Colombia. Diversidad biótica III. La región de vida paramuna. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, 2000.
- MENA VASCONEZ PATRICIO, MEDINA GALO y HOFSTEDE ROBERTO. Los páramos del Ecuador: Particularidades, problemas y perspectivas. Quito, 2001.
- MITTERMEIER RUSSELL A., MYERS NORMAN y ROBLES PATRICIO. Biodiversidad amenazada. Cemex y Conservation International, México, 1999.
- IDEAM. Colombia primera comunicación nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Bogotá, 2001.
- HOFSTEDE ROBERTO. El páramo como espacio para la fijación de carbono atmosférico en MEDINA GALO y MENA PATRICIO Editores. Páramo 1. Serie páramo. Quito, 1999.
- CASTAÑO-URIBE CARLOS. El hombre y el continuum del páramo. El páramo ecosistema a proteger. Serie montañas tropandinas Vol II. Bogotá, 1996.
- VAN DER HAMMEN THOMAS y CLEEF. Holocen changes of rainfall and river discharges in northern south America on The Niño phenomenon. Erkunde, 1992
- HERNANDEZ-CAMACHO JORGE, SANCHEZ HELIODORO, RODRIGUEZ JOSE VICENTE y CASTAÑO-URIBE CARLOS. Parques Nacionales de Colombia. Bogotá, 1986.
- CASTAÑO-URIBE CARLOS y CANO MARCELA Editores. El Sistema de Parques Nacionales y otras áreas protegidas. Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales, Ministerio del Medio Ambiente. Bogotá. 1998.

### 4.2.2.2 Procesos morfodinámicos predominantes

en la página 227

### 5.1.3.2 Coberturas Vegetales IDEAM/96 afectadas por desplazamiento de las Zonas de Vida de Holdridge con escenario de Cambio Climático 2XC02

en la página 361

### 5.1.2.1 Modelo de temperatura del Territorio Colombiano con Escenario de Cambio Climático 2XC02

en la página 346