



El Cambio Global y los Ecosistemas de Alta Montaña de Colombia

Por:

Thomas Van der Hammen

*Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.
Fundación Tropenbos Colombia.*

José Daniel Pabón Caicedo

*Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM.
Departamento de Geografía Universidad Nacional.*

Hilda Gutiérrez

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM.

Juan Carlos Alarcón

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM.

Introducción

El cambio global, en particular el cambio climático, traerá diferentes efectos a los ecosistemas en diferentes regiones geográficas del planeta. En el caso de Colombia, en cuyo territorio se presenta gran número de biomas que albergan una alta densidad de la diversidad biológica mundial, resulta muy importante evaluar los potenciales cambios sobre los ecosistemas. Dentro de los ecosistemas colombianos, los de alta montaña tienen gran importancia desde el punto de vista estratégico.

En diferentes ámbitos se argumenta de manera fundamentada que los biomas y los ecosistemas de montaña, en particular los páramos, presentan una mayor fragilidad en comparación con otros ecosistemas.

Procesos relacionados con el cambio global podrían afectar seriamente estos ecosistemas, lo cual podría generar problemas socioeconómicos y ambientales. Así, por ejemplo, los ecosistemas de páramo juegan un papel importante en diferentes aspectos: reguladores del recurso hídrico, albergue



de un gran número de especies animales y vegetales, riqueza paisajística, etc. Por ello, los ecosistemas de alta montaña colombiana tienen un gran valor para el país y resulta necesario contar con información sobre su estado, dinámica y sobre su vulnerabilidad frente a fenómenos como los del cambio global.

Tomando en cuenta la anterior necesidad, se plantea la realización de un análisis del estado de los ecosistemas de alta montaña, en especial los páramos, con el propósito de identificar potenciales impactos y la vulnerabilidad de estos biomas al cambio global. Se requiere estudiar los posibles cambios en la alta montaña asociados a un cambio climático y evaluar la vulnerabilidad de estos para poder plantear medidas de adaptación o mitigación como corresponda. Ante esta necesidad de integrar el conocimiento, analizar los cambios e identificar vulnerabilidades de la alta montaña a un cambio global, se realizó el trabajo cuyos resultados se resumen en el presente reporte.

Para desarrollar el presente trabajo se hizo uso de información publicada en la literatura científica, la cual se menciona al final, aunque también se utilizan datos de trabajos en curso como los del proyecto Ecoandes (*Van der Hammen et al., 1983-2002*); igualmente, se hizo uso de información (programas, mapas e imágenes) procesada por las subdirecciones de Meteorología y de Ecosistemas del IDEAM, en particular la obtenida a través del trabajo de *Gutiérrez, 2000*. Los resultados aquí presentados son el producto de análisis conjunto realizado por el autor, los subdirectores y los investigadores de las áreas técnicas del IDEAM mencionadas.

3.1 Estado del conocimiento sobre los ecosistemas de alta montaña

A los páramos y a la alta montaña colombiana en general se le ha prestado gran atención durante las últimas décadas (*Cleef, 1981; Van der Hammen & Cleef, 1986; Van der Hammen 1997; Lozano & Pabón, 1995; Pabón, 1995; Reyes et al., 1995; Rangel, 2000*). Diferentes estudios realizados permiten tener un conocimiento sobre los diferentes aspectos (clima, suelos, vegetación, fauna, ecosistemas) de la alta montaña; este conocimiento per-

mite identificar la alta montaña como una zona altitudinal de gran importancia para los procesos naturales y socioeconómicos del territorio colombiano. Pero, a pesar de la abundante literatura existente, aún no se han identificado los potenciales efectos del cambio climático en los ecosistemas de alta montaña y no se ha evaluado la vulnerabilidad de los mismos ante este fenómeno.

3.2 Aspectos conceptuales y metodológicos

Para un mejor entendimiento del texto de este reporte, es conveniente iniciar con una breve reseña de conceptos básicos y de la nomenclatura relacionada con la vegetación, ecosistemas y unidades bioclimáticas, que se utilizará más adelante.

Posteriormente, se presenta la metodología de análisis de la distribución de los ecosistemas de alta montaña.

3.2.1 Conceptos generales y nomenclatura

Siguiendo la nomenclatura usada por los principales investigadores de la vegetación, el suelo y el clima de la alta montaña colombiana, se utilizará en el presente informe los términos Bosque Alto Andino, Subpáramo, Páramo (propriadamente dicho), superpáramo y zona nival para indicar complejos de geo-ecosistemas zonales y azonales (en el sentido de Walter) ordenadas como cinturones altitudinales.

Al lado de estos términos, se utiliza también frecuentemente los de unidades bioclimáticas según Holdridge, identificadas con base en factores climáticos que aproximadamente definen ciertos tipos de vegetación global. Para lo alto andino son Bosque húmedo montano, Bosque muy húmedo montano y Bosque pluvial montano, luego Páramo subalpino, Páramo pluvial subalpino – Tundra pluvial alpina y formación nival.

Además de estos dos grupos de términos generales, se conocen nombres de tipos de vegetación ordenadas en comunidades y asociaciones de carácter zonal (definidas principalmente por el clima) o azonal (definidas primordialmente por las condiciones de suelo y/o agua sobre o en el suelo). Corresponden al nivel más detallado de ecosistemas propriadamente dichos. Se pueden describir formalmente (según el código de nomenclatura

fitosociológica) con nombres en latín que utilizan algunas de las especies dominantes y/o típicas o se pueden dar nombres menos formales. Un ejemplo de los primeros (asociación) es *Festuco-Calamagrostietum effusae* y de los segundos páramo de macollas de *Calamagrostis effusa*. Para los nombres oficiales-formales hay un sistema jerárquico, donde las asociaciones se agrupan en alianzas, las alianzas en órdenes y los órdenes en clases. Así, el *Festuco-Calamagrostietum effusae* pertenece a la alianza *Festuco-Calamagrostion effusae* y este a la orden *Espeletio-Calamagrostietalia efuso-rectae*. Estos son tipos de vegetación zonal. Un ejemplo de vegetación de páramo azonal son las turberas de *Sphagnum* (*Sphagnetum*) y las turberas (pantanos) de almohadillas de *Plantago rigida* (*Plantaginetum rigidae*) y de *Distichia*.

Igualmente es conveniente dar las siguientes definiciones usadas en Colombia:

- **Páramo:** zona altitudinal de vegetación arriba del límite altitudinal (original y continuo) del Bosque andino.
- **Subpáramo:** zona altitudinal de vegetación entre el límite altitudinal original del Bosque andino continuo y el páramo propiamente dicho. Presenta originalmente un mosaico de vegetación de páramo abierto (con gramíneas y frailejones), formaciones arbustivas y bosque alto andino.
- **Páramo** (propiamente dicho): zona altitudinal de vegetación de páramo abierto, entre Subpáramo (o a veces el Bosque Alto andino) y Superpáramo. Domina la vegetación abierta con gramíneas y frailejones pero se encuentran localmente formaciones arbustivas bajas o manchas de bosque alto andino, con frecuencia de Colorado (*Polylepis*), Rodamonte (*Escallonia*) y otras.
- **Superpáramo:** zona altitudinal de vegetación abierta y cobertura incompleta, arriba del páramo propiamente dicho y debajo del límite de las nieves perpetuas. En la parte baja se puede encontrar todavía pequeños arbustos y localmente “pastizales azules”.

- **Bosque alto-andino:** Bosque de porte mediano hasta bajo que se encuentra entre el límite altitudinal continuo original del bosque andino y el Páramo o Subpáramo. Se encuentra con frecuencia Encenillo, Rodamonte, Colorado, Compuetas, Ericaceae, etc.

En estas definiciones no se han indicado límites altitudinales, ya que estos pueden fluctuar considerablemente según la situación geográfica-climática y según la cordillera. Volveremos a este aspecto en la próxima parte de este informe.

En cuanto a las unidades bioclimáticas según Holdridge, se definen con base en la (bio)temperatura, la precipitación anual y la relación de evapotranspiración potencial. Considerando las dos primeras, las unidades bioclimáticas de la alta montaña serían las siguientes:

Nival	T < 1.5°C	
Tundra pluvial alpina	1.5°C - 3.0°C,	500 - 1000 mm
Páramo pluvial sabalpino	3.0°C - 6.0°C,	1000 - 2000 mm
Páramo subalpino	3.0°C - 6.0°C,	500 - 1000 mm
Bosque pluvial montano	6.0°C - 12.0°C	2000 - 4000 mm
Bosque muy húmedo montano	6.0°C - 12.0°C	1000 - 2000 mm
Bosque húmedo montano	6.0°C - 12.0°C	500 - 1000 mm

En la Tabla 2 se puede ver la correlación de los términos utilizados (general, Cuatrecasas, Holdridge).

En cuanto a la terminología de biomas, se presenta aquí el esquema de *Walter & Breckle (1983)*, traducción nuestra del alemán (Tabla 1). Los zono-biomas corresponden a las grandes áreas climáticas más o menos homogéneas de la Tierra. De los nueve diferenciados en este sistema, Colombia tiene dos:

Tabla 1 Esquema de las biomas y unidades menores, según Walter & Breckle (1983).

Zonobiomas

- ZB I Zonobioma ecuatorial con clima diurno (perhúmedo, en general) - Selva húmeda tropical siempre verde
- ZB II Zonobioma tropical con lluvias de verano (húmedo-árido) - Bosque/selva tropical deciduo o sabanas



ZBI zonobioma ecuatorial con clima diurno (perhúmedo, en general). Es la zona de la selva húmeda tropical siempre verde.

ZBII zonobioma tropical con lluvias de verano (húmedo-arido). Es la zona del bosque o selva tropical decidua o de sabanas.

Luego se diferencian subzonobiomas, orobiomas (áreas montañosas), pedobiomas (áreas donde domina el factor suelo). Los orobiomas se diferencian dentro de los zonobiomas en cuya área se encuentran. Para Colombia, en primer lugar el ZBI y luego el ZBII (la región andina y norandina). Luego se diferencian dentro de estos orobiomas I y II, biomas que son unidades geográficas como cordilleras o macizos. Para Colombia se distinguirían entonces como biomas la cordillera Oriental,

la Central, la Occidental, el macizo de Santa Marta; también puede ser la serranía de San Lucas, la sierra de Perijá, o el Macizo Colombiano.

En estos biomas se pueden diferenciar luego zonas altitudinales (como las mencionadas en la Tabla 2) y en cada zona se reconocen biogeocenosis (según fitocenosis y las alianzas y asociaciones correspondientes).

En este informe se considera que las asociaciones corresponden a los ecosistemas basales, aunque es más fácil establecer ciertas características relacionadas con los suelos y funcionamiento a nivel de alianzas, que sería el siguiente nivel ecosistémico.

En cuanto a la secuencia climática principal, los biomas son también unidades geográficas, es

decir que para Colombia podrían ser la región de selva amazónica, de la selva chocona o de los llanos orientales.

3.2.2 Metodología de análisis

Inicialmente se plantea hacer el análisis de los cambios que se puedan observar en la alta montaña debidos a los cambios del clima con ayuda de las variaciones en el área de cubrimiento de las zonas de vida de Holdridge. Para el efecto se requiere hacer uso del modelo informático desarrollado por *Gutiérrez, 2001* establecer los siguientes análisis:

3.2.2.1 Análisis de los cambios y la vulnerabilidad ante cambio del clima

• Análisis general para todo el territorio colombiano

- Distribución espacial de la temperatura media anual del aire y de la precipitación media anual sobre el territorio colombiano para el período 1961-1990.
- Distribución de las zonas de vida de Holdridge en el territorio colombiano en el período 1961-1990. Estimación de las áreas cubiertas por los páramos en este período.
- Distribución espacial de la temperatura media anual del aire y de la precipitación media anual sobre el territorio colombiano para un escenario de $2xCO_2$.
- Distribución de las zonas de vida de Holdridge en el territorio colombiano para un escenario de $2xCO_2$. Estimación de las áreas cubiertas por los páramos en este escenario.
- Estimación de las diferencias en las áreas cubiertas por páramos y nevados comparando el período actual (1961-1990) y el escenario de $2xCO_2$.
- Distribución espacial de la temperatura media anual del aire y de la precipitación media anual sobre el territorio colombiano para un escenario de período Pleniglacial. Este se logra reduciendo la precipitación y la temperatura del aire del nivel del mar actual (1961-1990) en 40% y $4^{\circ}C$, respectivamente;

para la temperatura del aire se debe colocar un gradiente vertical de temperatura de $0.7^{\circ}C/100$ metros.

- Distribución de las zonas de vida de Holdridge en el territorio colombiano en el escenario de período Pleniglacial. Estimación de las áreas cubiertas por los páramos, nevados y otras zonas de vida en este período.
- Estimación de las diferencias en las áreas cubiertas por páramos, nevados y otras zonas de vida comparando el período actual (1961-1990) y el escenario pleniglacial.

• Análisis escenario fenómeno El Niño perpetuado

Existen evidencias históricas importantes sobre la existencia de algunos períodos de uno a varios siglos en los cuales la precipitación fue más baja, en otros la precipitación fue más alta que lo actual. La amplitud de estas oscilaciones son comparables a la alcanzada en el ciclo El Niño-La Niña, lo que pareciera representar condiciones tipo El Niño o La Niña perpetuados o establecidos por mucho tiempo. La anterior similitud permite incluir en el presente análisis las denominadas analogías paleoclimáticas.

El efecto climático del fenómeno El Niño sobre el territorio colombiano se pone de manifiesto con reducciones de precipitación y aumentos de la temperatura del aire que pueden durar hasta un año (IDEAM, 1997). Resulta interesante conocer cual sería la respuesta de los ecosistemas de montaña si las condiciones tipo El Niño tuvieran una mayor duración o se establecieran permanentemente. Para simular cuál podría ser el impacto en los ecosistemas de alta montaña, se propone simular un escenario con condiciones asociadas a los fenómenos El Niño y compararlo con el período de referencia. Esta parte del estudio se haría analizando lo siguiente:

- Distribución espacial de la temperatura media anual del aire y de la precipitación media anual sobre el territorio colombiano afectada por condiciones fenómeno El Niño. Este último tiene asociado anomalías de temperatura del aire entre 1 y $2^{\circ}C$ y reducciones de precipita-

ción entre el 20 y el 30% en la región Andina y Caribe colombianas.

- Distribución de las zonas de vida de Holdridge en el territorio colombiano para las condiciones climáticas tipo El Niño. Estimación de las áreas cubiertas por los páramos en este escenario.
- Estimación de las diferencias en las áreas cubiertas por páramos y nevados comparando el período actual (1961-1990) y el escenario de condiciones climáticas tipo El Niño.

• Mapas detallados sobre zonas de alta montaña definidas

Se buscará una aproximación regional realizando análisis de mapas detallados de las zonas de alta montaña de por lo menos algunos de los siguientes páramos: del Cocuy, de Chingaza, de Guerrero-Laguna Verde, de Sumapaz, Ruiz-Tolima, Nevado del Huila, Macizo Colombiano, Cumbal-Azufra, Tatamá, Paramillo-Frontino y Santa Marta. Los mapas se harán para la zona por encima de los 2800 m.s.n.m. con curvas de nivel cada 200 metros.

Se calcularán las áreas de la parte de páramo y nival para cada escenario de los arriba planteados (actual, 2xCO₂ y pleniglacial) y se harán tablas que permitan ver los cambios en cada una de estas zonas.

• Análisis de transectos

Con base en los estudios realizados hasta ahora en el proyecto Ecoandes (*Van der Hammen et al., 1983, 1984, 1989, 1995, 2002*) se dispone de transectos que ubican la altitud sobre la cual se desarrollan las diferentes zonas de vida, alianzas y asociaciones fitosocioecológicas (ecosistemas) en las tres cordilleras. En la actualidad es posible configurar un transecto en la franja latitudinal entre los 4 y 5° N que cruza el territorio colombiano de oriente a occidente. Resulta de gran interés construir los transectos que genera el modelo informático de *Gutiérrez (2001)* para los tres escenarios analizados arriba (actual, 2xCO₂ y Pleniglacial), compararlos con los tipos de vegetación y ecosistemas concretos e identificar los cambios que se presentan.

3.2.2 Análisis de los cambios y la vulnerabilidad por el avance de la agricultura

Con base en el análisis de imágenes de satélite LandSat que presenten información representativa de la situación del uso del suelo en la alta montaña colombiana en los años 70s, 80s y en los 90s se hará el análisis de los cambios en la alta montaña debidos al avance de la frontera agrícola. Inicialmente, se hará un análisis detallado para varias de las áreas mencionadas en 3.2.1. (mapas detallados de zonas de alta montaña definidas).

3.3 Los ecosistemas andinos e interandinos (con énfasis en los Alto Andinos)

Durante la ejecución del proyecto Ecoandes (Estudio de Ecosistemas Tropandinos) se realizó un gran número de inventarios cuantitativos-cualitativos de la vegetación y estudios de los suelos correspondientes (y la fauna de los suelos), aspectos de biodiversidad, del clima, de la geología y de la historia de la vegetación y del clima. (Hasta ahora se han publicado cuatro volúmenes de la serie del Estudio de Ecosistemas Tropandinos; el volumen 5 está en imprenta y los volúmenes 6 y 7 están en preparación). Estos estudios se hicieron en forma de transectos por los flancos occidentales y orientales de las tres cordilleras (biomas en orobiomas en ZBI) entre 4° y 5.30°N y por el flanco norte de la sierra nevada de Santa Marta (bioma en orobioma en ZBII). Con base en los levantamientos de vegetación se pudieron describir las asociaciones y alianzas que representan los ecosistemas, que se puede describir con base en vegetación, suelos, fauna de suelos, clima y líneas globales de funcionamiento. En esta forma se obtuvo el conocimiento disponible actualmente sobre los principales ecosistemas en el transecto mencionado que cubre una franja que va desde el Chocó hasta los Llanos.

En la Tabla 2 se presenta la comparación y correlación de la zonificación altitudinal global internacional, Cuatrecasas ampliado y Holdridge), y las alianzas de vegetación como ecosistemas de segundo nivel arriba de las asociaciones; en algunos casos cuando es posible identificar la subdivisión, se nombran algunas asociaciones, como subdivisiones importantes de las alianzas obser-

vadas. La clasificación según Caldas-Lang para el país, no se incluye en la tabla sino se muestra en el Mapa 6.

En la primera columna de la Tabla 2 se encuentra la terminología de zonas altitudinales que más se utiliza internacionalmente, aunque otros autores pueden utilizar límites altitudinales algo diferentes. En el presente trabajo se utilizan los mismos límites de las zonas altitudinales de Cuatrecasas que parecen representar zonas correlacionadas con las globales. La subdivisión de la zona de Bosque Andino es elaborada para el presente trabajo con base en la distribución vertical de un número de especies (y su abundancia): Bosque Andino Bajo, Andino Alto y Alto Andino. Los límites entre estas zonas fluctúan entre ciertas alturas y los valores dados para ellas son aproximados.

15-17°C y 2100 m.s.n.m	límite inferior del bosque Subandino y Andino
11-12°C y 2800 m.s.n.m.	límite entre el bosque Andino Bajo y el bosque Andino Alto
7 - 8°C y 3400 m.s.n.m.	límite entre el bosque Andino Alto y el Bosque Alto Andino
6° y 3750 m.s.n.m.	límite entre el bosque Alto Andino y el páramo (propriadamente dicho).

La comparación de la situación de las zonas altitudinales en los biomas que son las tres cordilleras, muestra claramente que el límite subpáramo-páramo en la cordillera Oriental corresponde en temperatura media anual y altitud al límite bosque Alto Andino – páramo de las cordilleras Occidental y Central, donde aparentemente no se desarrolla una zona de subpáramo. Por otro lado, el subpáramo de la cordillera Oriental tiene casi siempre manchas de bosque de tipo Alto Andino, lo que parece indicar que había originalmente mucho más bosque de este tipo y que hay algunos factores que permitieron la existencia de áreas abiertas con vegetación tipo páramo, que en parte podrían ser antropogénicas, y/o relacionadas con el hecho que existen en la cordillera Oriental grandes extensiones de páramo en superficies ondulares relativamente suaves, que podrían estar mas

expuestas a los vientos (y, posiblemente a heladas más frecuentes). De todos modos, el hecho de la equivalencia en altura y temperatura de la zona de subpáramo y del bosque Alto Andino es muy importante para la restauración y el manejo sostenible del páramo. En áreas de población relativamente densa o simplemente de mayor impacto de la agricultura y de la ganadería, la zona de bosque Alto Andino sufriría paramización y en el subpáramo desaparecería fácilmente los restos o manchas de bosque Alto Andino. El proceso de paramización se puede presentar aún en la zona del bosque Andino Alto, con la desaparición de estos bosques por o bajo la influencia humana (hasta los 2800 metros de altitud).

En condiciones de aridez pronunciada el límite altitudinal bosque-páramo puede encontrarse mas bajo quizá hasta unos 3000 m.s.n.m.; en el Chicamocha hay sitios donde la aridez no deja crecer el bosque bien desarrollado y se puede encontrar en contacto páramo y vegetación xerofítica con convivencia de *Espeletias* y *Opuntias* (frailejones y cactus) a 3000 m.s.n.m.

En laderas exteriores hacia zonas más cálidas, el bosque fácilmente sube más bajo la influencia de la temperatura y la humedad alta (efecto de las masas de aire ascendentes). En general, parece que en condiciones de una alta humedad del aire (como en las laderas exteriores de las cordilleras) disminuye la ocurrencia de temperaturas extremas y favorece un límite alto del bosque, aunque en algunas partes pasa lo contrario como es el caso del lado oriental del macizo del Cocuy. Este caso podría explicarse con el hecho de que la extrema humedad empapa el suelo y favorece la extensión de turberas que podrían impedir o reducir el desarrollo de árboles. De todos modos, la ubicación del límite de bosque indicado en la Tabla 2 es lo más generalizado y está principalmente relacionado con la temperatura media anual y la altitud. Así, se establece que el límite inferior del páramo propriadamente dicho se encuentra, como ya se planteó antes, aproximadamente en los 6°C y los 3750 metros de altitud sobre el nivel del mar; el límite del páramo y el superpáramo corresponde a los 3°C y los 4300 m.s.n.m; y el límite del superpáramo y la zona nival

en los 0°C y los 5000 m.s.n.m. Las zonas de Holdridge (páramo subalpino y tundra alpina) corresponden bien con estas temperaturas y altitudes. Solo en el caso del límite inferior de la zona nival hay alguna diferencia debido a que actualmente está en desequilibrio por el aumento de la temperatura, pero se está adaptando por el retiro gradual de los glaciares; la temperatura media anual límite debería ser 0°C (actualmente todavía está en alrededor de 1°C) y por biotemperatura, según Holdridge, parece ser 1.5°C.

Un límite importante es la línea de escarcha, que corresponde con el límite de las zonas del Bosque Subandino y Andino, con una temperatura alrededor de 15-17°C (límite Bosque Montano Bajo y Bosque Subtropical de Holdridge), alrededor de 2100 m.s.n.m. Este límite corresponde aproximadamente con la aparición de *Cecropia* (yarumo) en la zona subandina, muy visible desde distancia por sus hojas blanquecinas. La posición de la línea de escarcha puede variar con la nubosidad/humedad relativa del aire y, aparentemente, es más alta donde la humedad es alta y el límite de las *Cecropias* puede oscilar entre los 2000 y los 2500 m.s.n.m.

El límite de la zona del Bosque Subandino y el de la zona Baja tropical se encuentra alrededor de los 1000 m.s.n.m. (temperatura 22-24°C), pero también puede variar algunos centenares de metros.

El esquema de Holdridge toma en cuenta la precipitación y humedad siendo entonces más detallado al diferenciar provincias de humedad desde pluvial muy húmedo, húmedo, seco hasta muy seco. Los bosques más secos hasta vegetación xerofítica se encuentra sobre todo en condiciones de abrigo de la lluvia que se genera en las partes más bajas de los valles interandinos. Estas unidades bioclimáticas se acercan a lo que son ecosistemas pero no lo son propiamente, aunque el clima es parte de ellos. Como se anotó antes, los ecosistemas se basan en asociaciones y alianzas de vegetación, con su conjunto de especies al mismo tiempo indicadores de clima y de suelo. En la Tabla No. 2 se encuentran, a la derecha, estos ecosistemas de las tres cordilleras y los valles interandinos tal

como aparecen en el transecto entre 4 y 5.5°N, desde el Chocó hasta los Llanos Orientales y entre 0 (0 a 500) hasta 5000 m.s.n.m. En la cordillera Occidental el lado Oeste del transecto va desde la zona tropical Chocoana hasta el pico Tatamá (4100 metros), y el lado Este desde este pico hasta el Valle del Cauca. El lado Oeste del transecto de la cordillera central va desde el Valle del Cauca hasta el nevado de Santa Isabel, y el lado Este, desde este nevado hasta el Valle del Magdalena. El lado Oeste del transecto de la Cordillera Oriental sube desde el Valle del Magdalena hasta el pico de Sumapáz y el lado Este de la última cordillera va desde este pico hasta el piedemonte llanero, cerca de Acacias. El transecto del flanco norte de la sierra nevada de Santa Marta comienza desde la desembocadura del río Buritacá, sube vía La Cumbre hasta más de 4000 m.s.n.m. Aunque estos transectos no pueden representar todos los ecosistemas del área, son una muestra representativa.

Los tipos de vegetación de los transectos de las tres cordilleras y de Santa Marta están ya bien definidos y descritos, pero es necesario advertir que la información sobre las comunidades vegetales de la cordillera Oriental está todavía en elaboración y todavía puede haber cambios de nombres y aparecer más subdivisiones. El análisis de estos transectos permite ver que los límites de estos ecosistemas, en general, están relativamente cercanos a los de las zonas altitudinales y bioclimáticas, pero con bastantes variaciones y a veces no se presenta un límite donde se esperaría que este. Parece que estas diferencias en parte tienen que ver con diferencias en la humedad, especialmente cuando esta es muy alta como en el lado oeste de la cordillera Occidental, donde parece ausente un límite en relación con la línea de escarcha, o se encuentra bastante más arriba.

Como se anotó al comienzo, sobre los ecosistemas de alta montaña, especialmente el páramo, se dispone de bastante información fuera de los datos de Ecoandes que se han expuesto aquí. Se tiene, por ejemplo, el trabajo pionero de Cleef (1981), la compilación de Rangel (2000), los trabajos de Van der Hammen & Cleef (1986) y Van der Hammen (1997).

La zona del Bosque Alto Andino y de subpáramo se encuentra entre aproximadamente 3400 y 3750 msnm (entre 7/8° y 6°C temperatura media anual). Los bosques zonales de esta franja pertenecen al *Ilicion*, *Oreopanax* o *Hesperomelion*. Si hay amplias zonas abiertas, *Arcytophyllum nitidum* puede ser una especie muy típica junto con la gramínea *Calamagrostis* y especies de *Espeletiopsis* y *Espeletia* (frailejón). En pequeños enclaves de bosque puede ser común *Escalonia myrtilloides* (rodamonte) y *Polylepis* (colorado) y además arbolitos y arbustos de varios géneros/especies de Ericaceae y Asteraceae, *Aragoa*, *Hypericum*, etc. También puede estar representada *Weinmannia* (Encenillo) (como *W. microphylla* en la cordillera Oriental).

Hay una diferencia considerable entre vertientes relativamente secas y húmedas, que se expresa desde el subpáramo en primer lugar por la dominancia de *Calamagrostis* (más seco) y de *Chusquea* (chusque, un bambú; más húmedo). Esta diferencia sigue muy notoria en el páramo propiamente dicho, donde es fácil diferenciar páramo de pasto de macollas y páramo de bambús. Además, en los páramos más secos hay especies de *Espeletiopsis* y *Espeletia*, en los más húmedos solo de *Espeletia*.

En el límite del páramo y del superpáramo se encuentra frecuentemente una zona arbustiva de *Loricaria*. En la Cordillera Central es muy notoria una subzona inferior del Superpáramo con pastisales azules (Agrostion) y con la muy notoria *Lupinus alopecuroides* y superior con vegetación de plantas muy esparcidas que dejan mucho espacio de suelo descubierto que está expuesto diariamente a las heladas nocturnas (Cerastion); también es muy notoria la comunidad del musgo *Racomitrium* que marca una zona alta de condensación en la parte baja del superpáramo (4200-4300 m.s.n.m.). Otra zona de condensación se encuentra en el límite del Bosque Andino y subpáramo (o el Bosque Alto Andino), alrededor de 3400 m.s.n.m. en la cordillera Oriental.

De considerable importancia es la extensión horizontal y vertical de los pantanos de *Sphagnum*, *Plantago rigida* y *Distichia*, ya que juegan un papel

importante en la hidrología. Los de *Sphagnum* se extienden desde la parte del Bosque Andino superior, en el Subpáramo y la parte inferior del páramo propiamente dicho. En los páramos relativamente secos se encuentran en partes bajas (valles, cuencas de lagunas), en los páramos húmedos se encuentra también en las laderas, puede llegar a tener una gran extensión y forman una capa de turba o suelo turboso.

Los pantanos de almohadilla de *Plantago rigida* se encuentran principalmente en la parte alta de la zona de Páramo propiamente dicho y los de almohadillas de *Distichia muscoides* se encuentran en el superpáramo bajo. De los 3000 m.s.n.m. hacia arriba se encuentran lagunas de origen glaciar, que juegan un papel muy importante en el almacenamiento y la regulación del agua (como también de cierta manera los pantanos, especialmente los de *Sphagnum*). En las lagunas se encuentran tipos de vegetación acuática, como las de especies de *Isoetes*, *Myriophyllum*, *Potamogeton*, etc. Las diferencias entre las vertientes secas y húmedas están ilustradas en las figuras 1 y 2, y en la Tabla 3.

Un aspecto de importancia en la gran biodiversidad de los páramos (un resumen relativamente extenso se encuentra en el Informe de la Biodiversidad del Instituto von Humboldt (*Van der Hammen, 1998*)). En lo que se refiere al relativo aislamiento de los diferentes páramos (islas o archipiélago continental, cordilleras, macizos) existe un alto endemismo, así que cada páramo o grupo de páramos puede tener un número considerable de especies endémicas locales como de géneros tan importantes como *Espeletia*, *Diplostephium*, *Puya*, *Aragoa* y muchas otras. Sólo en la cordillera Oriental hay 38 especies de *Espeletia* y *Espeletiopsis*, dos endémicas en el Perijá, 15 en Santander-Tama, 24 en los páramos de Boyacá, 12 en los de Cundinamarca; 7 en la cordillera Central y 3 la cordillera Occidental.

Desde el punto de vista de la conservación de la biodiversidad, eso quiere decir que debemos velar por la conservación de todos los páramos. Este aspecto, junto con la gran importancia que tiene para el país los páramos para la conserva-

Figura 1 Zonación fisiológica de vegetación de páramo en una sección esquemática Oeste-Este por la Cordillera Oriental (modificado de Cleef, 1980; tomado de Van der Hammen 1997/8).

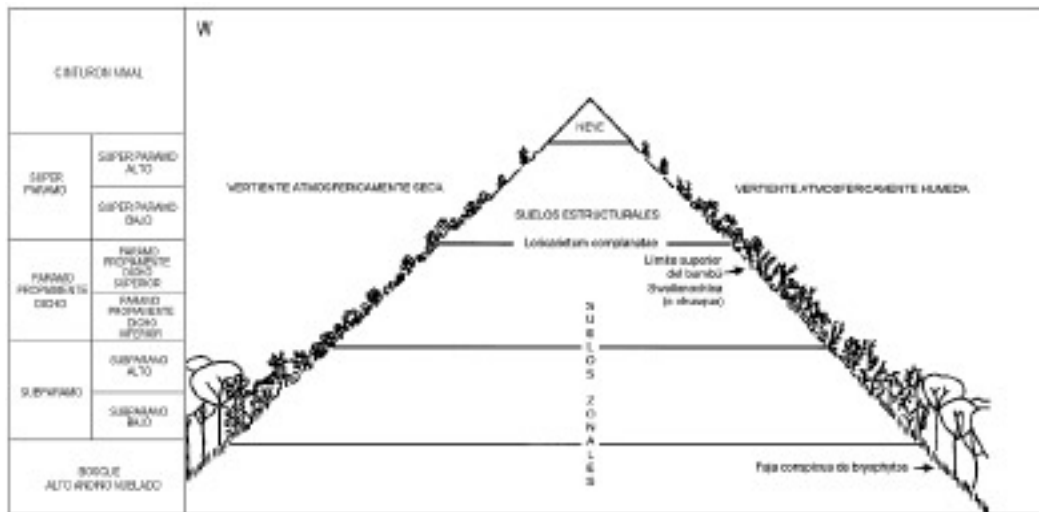


Figura 1.a Diagramas climáticos (según Walker) de un páramo seco y un páramo húmedo (tomado de Cleef, 1981).

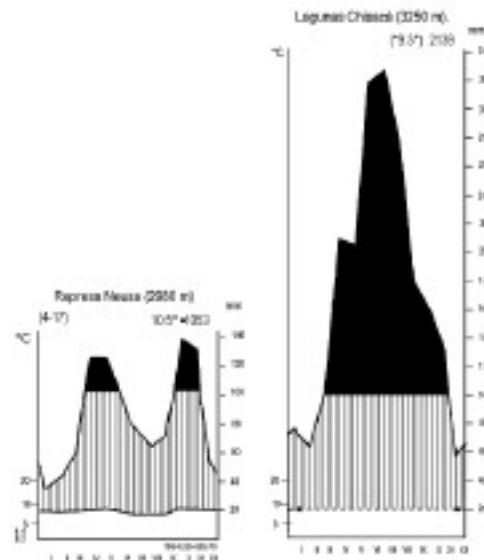


Figura 2 Formas de crecimiento notorio de la vegetación de páramo en la Cordillera Oriental, en relación a las zonas altitudinales y el clima. Esquema idealizado para los lados secos y húmedos de las montañas (tomado de Cleef, 1981).

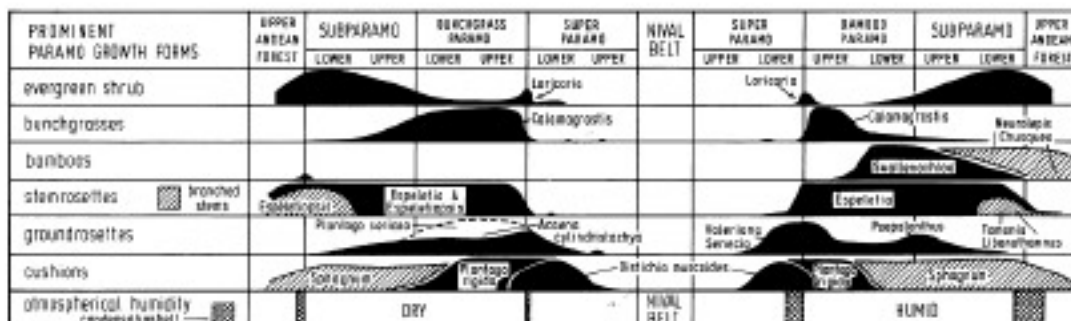


Tabla 3 Secuencia altitudinal de vegetación sobre vertientes secas y húmedas de la Cordillera Oriental (modificado de Cleef, 1980; tomado de Van der Hammen, 1997/8).

	Vertientes secas	Vertientes húmedas
Superpáramo bajo	Casi desprovisto de cobertura vegetal; matorrales de <i>Loricaria complanata</i> , <i>Senecio</i> , <i>Diplostephium</i> ; también se observan <i>Draba</i> , <i>Luzula</i> , <i>Polytrichum</i> , <i>Cora</i> , <i>Agrostis</i> , <i>Poa</i> , <i>Lycopodium</i> , <i>Jamesonia</i> .	Cinturón de matorrales de <i>Loricaria complanata</i> , acompañados de <i>Rhacocarpus purpurascens</i> , <i>Erigeron chionophilus</i> , <i>Senecio</i> , <i>Valeriana</i> , <i>Draba</i> , <i>Montia</i> , <i>Arenaria</i> , <i>Cerastium</i> y algunas <i>Espeletiinae</i> .
Páramo alto	Capa casi continua de <i>Calamagrostis effusa</i> , elementos conspicuos <i>Jamesonia bogotensis</i> , <i>Paepalanthus lodiculioides</i> , <i>Hypericum selaginoides</i> , <i>Stephaniella paraphyllina</i> , <i>Diploschistes</i> ; frailejones (<i>Espeletia</i> , <i>Espeletiopsis</i>).	Dominan las macollas de <i>Calamagrostis effusa</i> y disminuyen los bambúes; se presentan frailejones y hierbas heliofitas (<i>Oreobolus</i>).
Páramo bajo	Dominan pajonales de <i>Calamagrostis effusa</i> ; hierbas heliofíticas (<i>Castratella piloselloides</i> , <i>Rhynchospora paramorum</i> , <i>Oreobolus obtusangulus</i>) y frailejones (<i>Espeletia</i> , <i>Espeletiopsis</i>).	Dominan los bambúes (<i>Swallenochloa tessellata</i>); óptimo desarrollo de <i>Castratella piloselloides</i> con <i>Rhynchospora purpurascens</i> , <i>Oreobolus obtusangulus</i> , <i>Oritrophium peruvianum</i> ; abundan los musgos (<i>Sphagnum</i>).
Subpáramo alto	Arbustillos de <i>Arcytophyllum nitidum</i> , <i>Gaylussacia buxifolia</i> y pastos <i>Calamagrostis effusa</i> ; hierbas heliofíticas (<i>Castratella piloselloides</i> , <i>Rhynchospora paramorum</i> , <i>Oreobolus obtusangulus</i>).	Dominan los bambúes (<i>Swallenochloa tessellata</i>); y arbustillos (<i>Arcytophyllum nitidum</i>) y musgos (<i>Rhacocarpus</i> , <i>Sphagnum</i> , <i>Campylopus</i>); mayor desarrollo de matorrales de <i>Ericaceae</i> .
Subpáramo bajo	Matorrales de <i>Ericaceae</i> , <i>Compuestas</i> , <i>Melastomataceae</i> . (<i>Befaria</i> , <i>Macleanea</i> , <i>Cavendishia</i> , <i>Ageratina</i> , <i>Senecio</i> , <i>Baccharis</i> , <i>Diplostephium</i> , <i>Miconia</i> , <i>Bucquetia</i> , <i>Brachyotum</i>).	Dominan los bambúes (<i>Swallenochloa Chusquea</i> , <i>Neurolepis</i> , <i>Aulonemia</i>); abundan los musgos (<i>Leptodontium</i> , <i>Sphagnum</i> , <i>Breutelia</i> , <i>Campylopus</i>), hepáticas (<i>Lepodozia</i> , <i>Kurzia</i> , <i>Leptoscyphus</i> , <i>Riccardia</i>) y matorrales (<i>Ageratina tinifolia</i> , <i>Diplostephium</i> , <i>Baccharis</i> , <i>Escallonia</i> , <i>Gaiadendron</i> , <i>Purplella</i> , <i>Miconia</i> , <i>Geranium</i> , <i>Aragoa</i> , <i>Gaultheria</i> , <i>Hypericum</i>).

ción, regulación y oferta de agua potable (y para energía), requiere un esfuerzo grande para su conservación total, en el marco de medidas para la mitigación del efecto de los cambios globales, sean climáticos o de impacto antrópico directo.

3.4 El cambio climático en perspectiva histórica

Colombia es probablemente el país que más información tiene sobre la historia de su clima y vegetación, y el registro continuo al respecto de la Sabana de Bogotá, de más de tres millones de años, es único en el mundo en cuanto a información detallada de un período tan largo. Conocemos entonces muy bien la variabilidad del clima durante el Cua-

ternario con las periodicidades predominantes de 100.000 y 20.000 años.

En el último millón de años de la historia, se presentaron más de 10 ciclos glacial-interglacial, con una amplitud de variación de la temperatura del orden de 10°C a 2500 metros de altitud y de unos 4-5°C al nivel del mar.

Durante la última glaciación se presentaron muchas variaciones de temperatura y de precipitación, con períodos menos fríos y más húmedos, y más fríos y secos (ver para la Sabana de Bogotá *Van der Hammen et al., 1995*; para la Amazonía *Van der Hammen & Hooghiemstra, 2000*; para los

páramos *Van der Hammen & Cleef, 1986*). Existe además un gran número de publicaciones sobre el tema, en parte citado en las mencionadas aquí.

Durante el máximo de la última glaciación (LGM), hace unos 20.000 años, la temperatura del aire a nivel del mar parece haber estado cerca de los 26°C y a 2600 msnm del orden de 8°C. El gradiente térmico vertical (actualmente alrededor de 0.6°C/100 metros) era entonces de 0.7°C/100 metros (hasta 0.76°C/100 m).

La precipitación anual globalmente estaba en un 40-50% menor que la actual. Esta situación se pudo haber presentado durante más de 8000 años. La causa de esta reducción de la precipitación parece haber sido la temperatura más baja del aire y del mar que causó una reducción de la evaporación, lo cual afectó el ciclo hidrológico. La situación descrita es interesante por ser la más extrema de la parte glacial del ciclo glacial-interglacial. Durante el anterior interglacial la temperatura del aire pudo haber estado entre 1 y 2°C más alto que durante el actual interglacial, el Holoceno; durante el máximo de este período entre 7500 y 3000 años antes del presente, la temperatura pudo haber estado en 1°C más alto que hoy. Es probable que la situación glacial extrema no vuelva por varios miles de años.

Durante un ciclo glacial-interglacial se presentan grandes cambios en el contenido de CO₂ del aire. En la glaciación los valores son bajos (hasta menos de 200 ppm) y mientras que en el último interglacial y el Holoceno, las concentraciones han sido altas (más o menos 275 ppm). Actualmente, como consecuencia de la actividad humana, se alcanzan valores muy por encima de los naturales y se espera que se duplique en el presente siglo.

La última glaciación no fue en su totalidad tan fría ni tan seca como durante su máximo; entre 30.000 y 38.000 años antes del presente, por ejemplo, el clima fue menos frío y húmedo. Durante todo este período se presentaron cambios fuertes de temperatura (del orden de 6°C) de corta duración (del orden de siglos o menos), que si se manifestaran actualmente causarían un desastre.

Durante el Holoceno, los últimos 10.000 años, el clima ha sido relativamente estable, pero se han

presentado ciertos cambios en la temperatura del aire y fuertes cambios de la precipitación. Conocer estos cambios naturales, que se presentan en ciclos de decenas, centenas y miles de años, es importante porque pueden afectar el medio ambiente y el hombre y cambiar el resultado final del cambio antropogénico.

En las Figuras 3, 4 y 5 se presentan diagramas de polen simplificados que demuestran el efecto de cambios de clima sobre la vegetación de páramo durante el Holoceno. La Figura 3 representa cambios entre vegetación de subpáramo y páramo a una altitud de 3500 msnm en el páramo de Sumapaz. Hace aproximadamente 7000 años AP comenzó una extensión de páramo abierto a costo de subpáramo, y alrededor de 6300 AP dominan totalmente las gramíneas. En seguida se restablece el subpáramo que llega a dominar. Hace 4700 años AP de nuevo llega a dominar el páramo abierto, para en seguida recuperar el subpáramo. Poco después de 2900 AP llega a dominar el páramo abierto de gramíneas, hasta hoy día, solo con cambios pequeños.

La Figura 4 presenta los cambios principales en el páramo de Palacio, también a 3500 msnm, durante los últimos 10.000 años. Aquí, el Bosque Andino juega un papel más importante, dominando durante el Holoceno medio, pero aquí también se ven cambios climáticos, reflejados en la relación bosque-páramo. Aproximadamente a 90 cms de profundidad se presenta la extensión de vegetación de páramo, comenzando también poco después de 3000 AP, como en el anterior diagrama.

En la Figura 5 se presenta un diagrama de polen de un suelo volcánico (Andisol) de Quebrada África en la cordillera Central (Parque los Nevados), a una altitud de 3770 msnm. Antes de 7300 AP hay un páramo abierto muy rico en hierbas y helechos. Luego domina el páramo de gramíneas (después de una quema). Entre aproximadamente 5700 y 3000 años AP se extiende en el lugar bosque enano Alto-Andino, que luego desaparece para ser reemplazado por páramo de gramíneas.

Estos cambios en la vegetación deben tener una causa climática (variación de temperatura y/o de precipitación) y, en relación con estos factores, parece jugar un papel la frecuencia de quemadas

Figura 3 Diagrama de polen simplificado de la Laguna de la Primavera (3500 m), Páramo de Sumapáz, correspondiente a los últimos 7500 años (tomado de Van der Hammen, 1992).

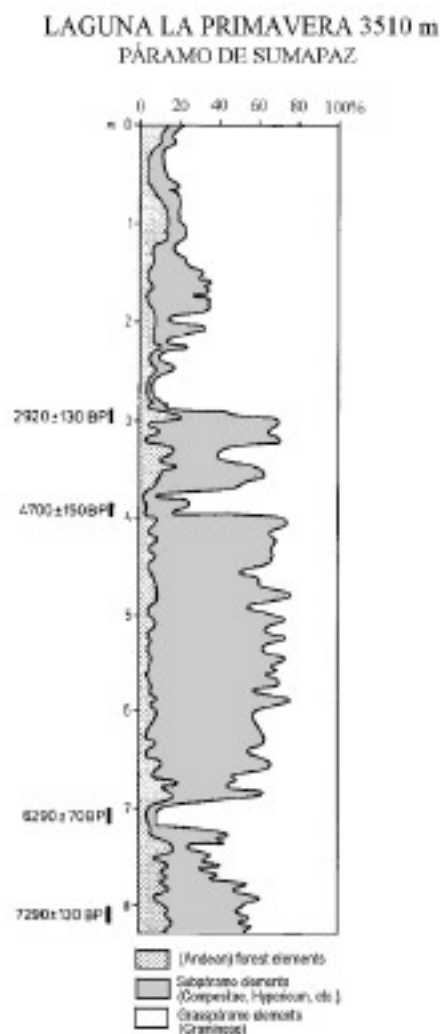


Figura 4 Diagrama de polen simplificado del páramo de Palacio (Laguna de la América; 3500 m), correspondiente a los últimos 10.000 años, aproximadamente (tomado de Van der Hammen, 1992).

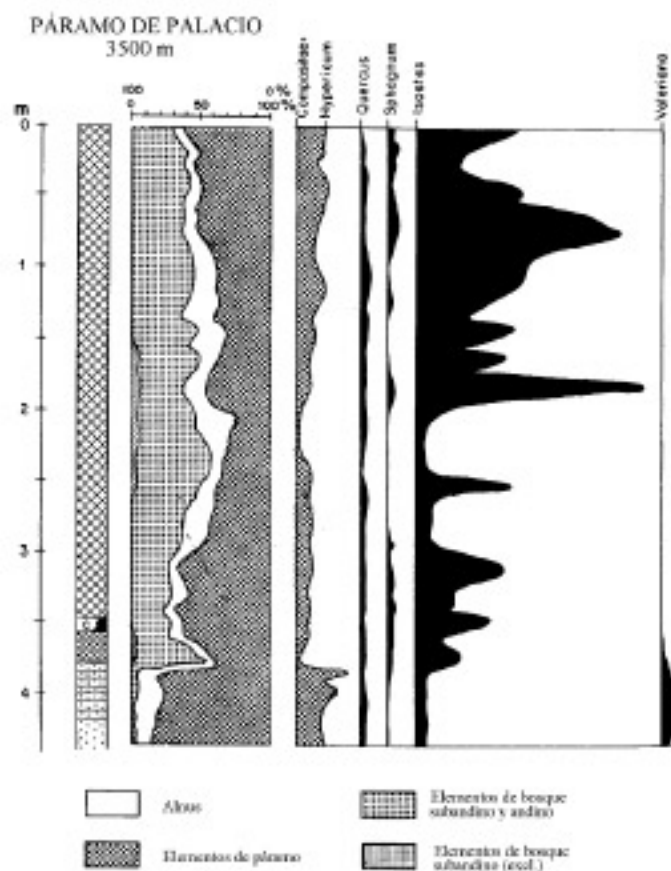
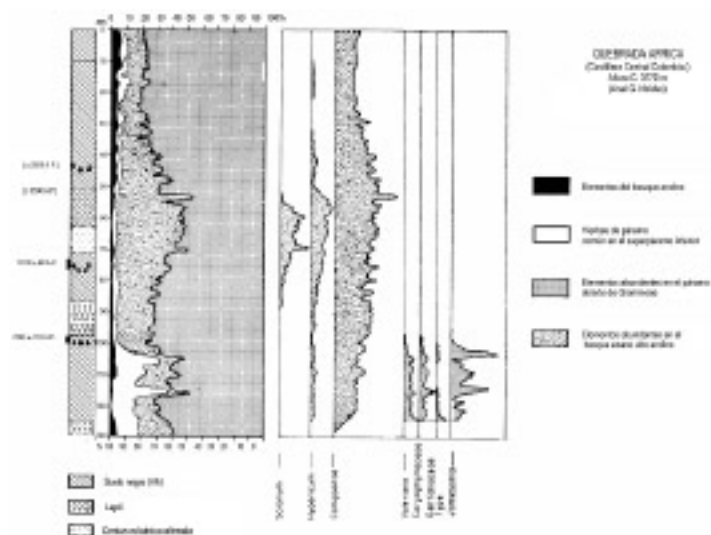


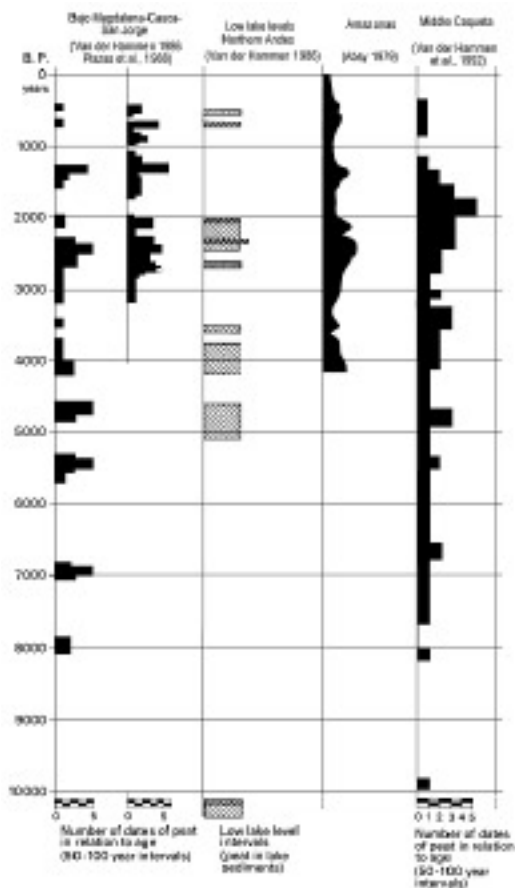
Figura 5 Diagrama de polen algo simplificado de suelos de acumulación volcánica de la Quebrada África, cordillera Central (Parque de Los Nevados; 3770 m). Representa aproximadamente los últimos 10.000 años (tomado de Van der Hammen, 1992).



naturales. Todo lo anterior evidencia una relación muy dinámica entre el clima y la vegetación, donde el cambio es continuo, a veces fuerte, a veces menos. A este tipo de cambios climáticos en condiciones naturales está adaptada la vegetación y las comunidades y sus especies se pueden trasladar sin sufrir extinciones, ya que no existen barreras para estos movimientos.

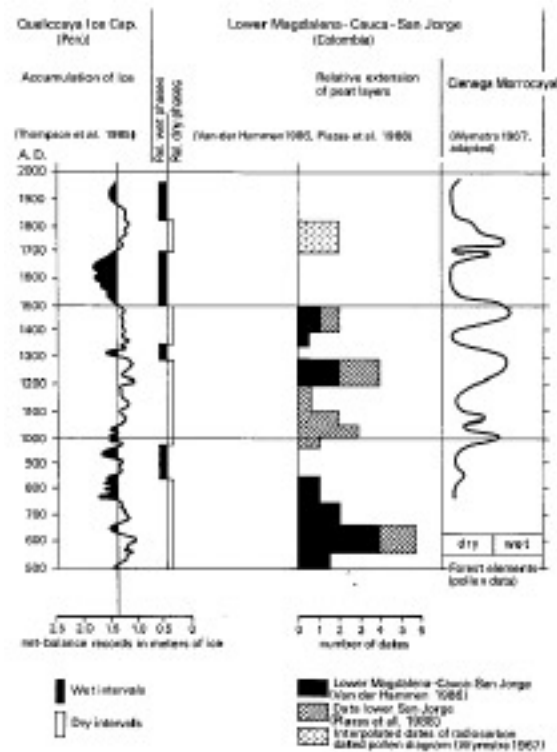
En cuanto a los cambios en la precipitación hay paleodatos indirectos basados en movimientos del nivel de lagunas y en el nivel y duración de las inundaciones de los ríos. Una compilación de estos datos se encuentra en la Figura 6.

Figura 6 Datos relacionados con el nivel de inundación de ríos y de lagunas durante el Holoceno. De izquierda a derecha: curvas de frecuencia de capas de turba fechadas con radiocarbono en el bajo valle del Magdalena-Cauca-San Jorge; intervalos de bajos niveles de laguna (fechados con intercalaciones turbosas) para los Andes Colombianos; curva de nivel relativo del río para Amazonia central (basado en fechas 14C y diagramas de polen); curva de frecuencia de fechas de radiocarbono de capas turbosas para el valle medio del río Caquetá (tomado de Van der Hammen, 1992).



En la Figura 7 se compara parte de estos datos (de los últimos 1500 años del Bajo Magdalena-San Jorge) con los de acumulación de hielo en el casquete glaciar de Quelccaya (Perú). En general, estos datos coinciden bastante bien, y períodos relativamente más secos se presentan alrededor de 7000 años AP, 5500 años AP, 4700 AP, 4000 AP, 2700/2500 - 2300 AP, 2150-2050 AP, 1500-1300 AP y 750-650 AP, y quizás entre 250 y 175 AP. La cuenca del medio Caquetá muestra algunas diferencias, ya que algunos de los intervalos relativamente secos se presentan cuando en el Magdalena son más húmedos. Este hecho parece muy interesante, ya que las mismas diferencias se presentan entre las dos áreas durante el fenómeno El Niño, lo que sugiere que posiblemente se trata de un fenómeno El Niño perpetuado (del orden de medio siglo hasta varios

Figura 7 Acumulación de hielo (precipitación) sobre el glaciar de Quelccaya (Perú) para los últimos 1500 años, comparado con la curva relacionada con el nivel de inundación del río en el bajo Magdalena-Cauca-San Jorge. De izquierda a derecha: acumulación de hielo en el glaciar de Quelccaya; secuencia de fases más secas y más húmedas; extensión relativa de capas de turba; relación de bosque seco/bosque húmedo (basado en datos palinológicos e inter/extrapolación de fechas de radiocarbono) (tomado de Van der Hammen, 1992).



siglos). Los datos del bajo Magdalena-Cauca reflejan principalmente las fluctuaciones de precipitación en las tres cordilleras, mientras que los del Caquetá la precipitación en la Amazonia y el piedemonte (ver Figura 6). La variación de la precipitación causada por el fenómeno El Niño corresponde a porcentajes entre el 20 y 60% del promedio anual.

La Figura 8 muestra las fluctuaciones de la descarga media anual en m³/seg del río Magdalena entre 1940 y 1986, comparado con el medio anual del Índice de Oscilación del Sur (IOS), los que muestran una buena coincidencia. La variación de la descarga esta entre 5.000 y 10.000 m³/seg (el valor medio 7000m³/seg).

En vista de que parece de considerable importancia conocer si se puede presentar períodos de “El Niño perpetuado” en el futuro, se trató de encontrar periodicidades en los datos disponibles sometiéndolo

los a un análisis espectral. Se encontró la posible existencia de periodicidades de aproximadamente 150, 200, 350, 500, 600 y 1100 años. La base estadística es baja y la señal débil, pero en vista que estas cifras se han encontrado en otras curvas de paleodatos climáticos, hace que la existencia es más probable. En series más detalladas (en Europa) se encontraron también cifras de 80, 40 y 22 años, que corresponden a variación de manchas solares y no es imposible que las mayores también lo sean. Volveremos a este tema mas adelante.

El cambio ocurrido alrededor de 2700 AP de subpáramo a páramo y de mayor a menor pluviosidad en las cordilleras corresponde a un cambio de vegetación y clima en otras partes del mundo y corresponde a una fluctuación considerable en el contenido de ¹⁴C de la atmósfera, relacionado con una variación importante en el viento solar (que tiene influencia en la intensidad de la radiación cósmica que llega a la atmósfera).

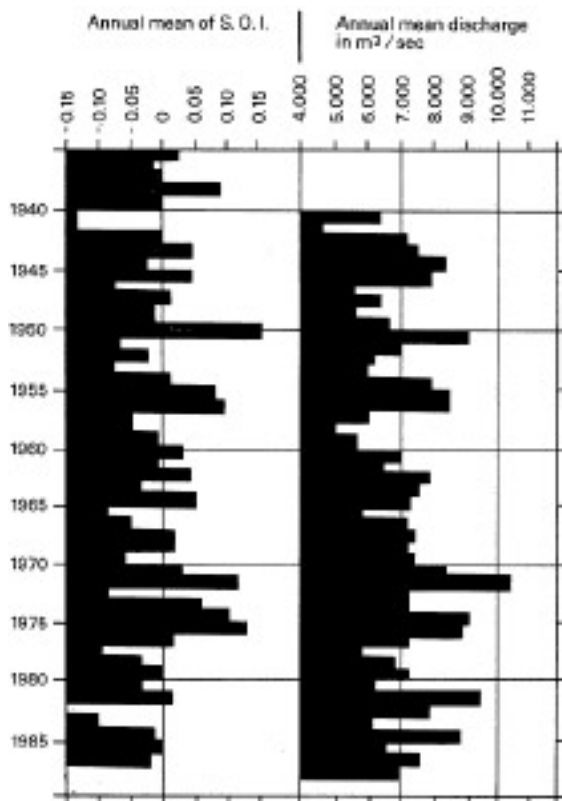
El tema parece de bastante importancia para el clima del futuro, y merece más investigación y análisis de paleodatos y proyecciones de los resultados hacia los próximos años.

El aumento de la temperatura mundial causado -por lo menos en parte- por el aumento de CO₂ y el ascenso de la línea de 0°C, han causado un retiro gradual de los glaciares de montaña, como los de los nevados colombianos. El proceso ha sido estudiado entre otros por Florez (1992) y el IDEAM, con base en fotos y fotografías aéreas actuales y pasadas y se dispone de curvas correspondientes basadas en estos datos. Durante el último glacial existía en Colombia una extensión de cerca de 17000 km² de hielo, durante la Pequeña Edad de Hielo (1400-1850) 374 km² y actualmente 84 km². En las últimas décadas desaparecieron 8 glaciares y sólo quedan 6, que desaparecerán gradualmente sí la temperatura global sigue aumentando.

3.5 Los principales factores de cambio climático y sus impactos potenciales en los ecosistemas de alta montaña

El aumento de temperatura por el efecto del incremento de los gases invernadero hasta 2XCO₂ más

Figura 8 Promedio anual del índice de oscilación del Sur (Southern Oscillation Index, S.O.I.) comparado con la descarga promedio anual en m³/seg. del Río Magdalena, desde 1940. (Según datos publicados por Dueñas, 1992; tomado de Van der Hammen, 1992).



que actualmente (que quizá se puede esperar para la segunda mitad del presente siglo), se calculó para el país en base del modelo de síntesis *Hulme, 2000*. Igualmente se estimó el cambio de precipitación. El resultado global es un aumento de temperatura entre 2.5° y 3°C y una disminución de precipitación alrededor de 10 hasta 20%. Con estas condiciones el mapa de unidades bioclimáticas según Holdridge, sería como muestra el Mapa 5. Esto significaría un ascenso de los límites de las zonas de vegetación (bosque-subpáramo; subpáramo-páramo; páramo-superpáramo y superpáramo-nival) en el orden de 400 hasta 500 m, y 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 propio, superpáramo y nival, disminuirían de la superficie actual respectivamente de 323.000 ha, 40.500 ha y 45.500 ha a sólo 84.500, 6.000 y 1800 ha, es decir, se reducirían respectivamente hasta el 75%, 85% y 95% de las superficies actuales (es de advertir que el 2xCO₂ es un valor también 2x más grande que el máximo alcanzado durante los interglaciales 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 rigida* y *Distichia*) pero no es posible prever en que medida.

Un aspecto desconocido es la posible influencia de cambio climático natural, que podría aumentar o mitigar los efectos del cambio basado en el efecto invernadero. En el capítulo sobre los cambios climáticos en perspectiva histórica, vimos cuál es 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 25000 y 15000 años AP es determinado por una temperatura al nivel del mar de aproximadamente 4 (± 1)°C más bajo que hoy día, un gradiente término de 0.7°C por cada 100 m de altitud, y una reducción general de la precipitación de unos 40 ± 10% (Mapas 3 y 5). Estos factores darían un mapa de unidades bioclimáticas como el del Mapa 8, y representan un

impacto muy fuerte, y una extensión considerable de las zonas de páramo y del hielo y de los tipos de vegetación más secos. El otro extremo es la situación actual de las unidades bioclimáticas, correspondiendo a las partes más calientes de nuestro actual interstadial, el Holoceno (y de los interglaciales anteriores, del último millón de años) (Ver Mapa 5). Se podría esperar que, sin influencia antropógena, que los cambios climáticos de los futuros milenios no salen del espacio entre estos dos extremos. Con esta influencia antropógena, como ya vimos, sí se superarían los valores del extremo natural interglacial.

Una fluctuación climática actual de importancia es la de El Niño - La Niña, causado por la Oscilación del Sur medido como SOI (Índice de la Oscilación del Sur). Esta ciclicidad está en el orden de 3 a 6 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 m³/seg), la amplitud correspondiente está en el orden de 30-35% más y 30-35% menos (Figura 8). Estos son valores muy altos (en el orden de los glacial-interglacial). Como vimos en el capítulo de cambios climáticos históricos, se presentaron durante los últimos milenios fluctuaciones en los niveles de ríos y lagunas que parecen que corresponden en amplitud a la de El Niño - La Niña, pero en escenario prolongado en el orden de 50 años hasta varios siglos. 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), un escenario a El Niño perpetuado y estable durante decenas de años o varios siglos, debe tener un impacto importante. La precipitación en las áreas de reducción se disminuirán en forma drástica, con un efecto también drástico sobre la disponibilidad de agua y sobre los ecosistemas. El mapa del país en cuanto a unidades bioclimáticas con el escenario El Niño perpetuado está actualmente en elaboración.

Lo importante ahora es saber cuándo se puede volver a presentar este escenario. Para este fin se hizo un análisis espectral de los paleodatos dispo-

nibles, encontrando, como ya se mencionó, probables periodicidades de 150, 200, 350, 500, 600 y 1100 años, que son ciclos detectados repetidamente en el análisis de curvas paleo-climáticas (Van der Hammen & Cleef, 1992). Los períodos más cortos están aparentemente relacionados con ciclos de manchas solares, que corresponden a cambios en la radiación solar y el aumento del viento solar. Este aumento del viento solar hace disminuir la radiación cósmica que llega a la tierra; el efecto de estos cambios están correlacionados con cambios en la nubosidad (con efectos en la precipitación y la temperatura).

Se realizará un nuevo ensayo de análisis espectral de los datos disponibles del bajo Magdalena-Cauca, para ver si es posible proyectar las periodicidades encontradas hacia el futuro, integrándolas.

Para poder estimar los impactos potenciales del cambio climático sobre los ecosistemas de alta montaña en más detalle se están generando mapas de unidades bioclimáticas de diferentes páramos entre ellos el páramo de la Laguna Verde y alrededores: escenario actual y escenario $2xCO_2$.

3.6 La vulnerabilidad de los ecosistemas de alta montaña frente al cambio climático y el aumento de CO_2 en el aire

El aumento de CO_2 en el aire tiene (junto con otros gases invernadero) un efecto sobre la temperatura, pero 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 CO_2 en el aire era considerablemente reducida (mínimas entre 150 y 225 ppm; durante el interglacial y Holoceno máximos entre 250 y 300 ppm). Plantas tienen en parte sistemas fisiológicos diferentes para la absorción y uso del CO_2 . Dos grupos importantes en este respecto son los llamados plantas C_3 y plantas C_4 . Con un bajo contenido de CO_2 del aire, plantas C_4 pueden tener una ventaja sobre plantas C_3 .

Muchos géneros andinos de Poaceae (gramíneas) sólo tienen especies C_3 , como por ejemplo *Carex*, *Rhynchospora*, *Aciachne*, *Agrostis*, *Calamagrostis*, *Chusquea*, *Cortaderia*, *Dentonia*, *Festuca* y

Lorenzochloa. No obstante, se encontraron 3 especies C_4 : *Muehlenbergia cleefii*, *Paspalum bonplandianum* y *Sporobolus lasiophyllus*. De las Cyperaceae dos géneros tenían especies C_4 : *Bulbostylis junciformis* y *Bulbostylis tropicalis*, *Cyperus brevifolia* y *Cyperus giganteus* (Boom et al., 2001). *Sporobolus* forma macollas como *Calamagrostis*, y los autores mencionados sugirieron que durante la última glaciación la primera podría haber tenido una ventaja sobre la segunda, incluso se da la posibilidad de que pudo 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 CO_2 en el aire, las especies C_4 podrían llegar a una situación negativa de competencia todavía más extrema, y la posibilidad existiría de que desaparecieran del todo. Evidentemente, no podemos tener seguridad sobre lo que ocurriría, y será necesario de hacer monitoreo de la vegetación en los sitios donde son abundantes todavía las plantas C_4 (especialmente *Sporobolus*), para establecer el comportamiento de las plantas C_3 y C_4 en relación al aumento de CO_2 .

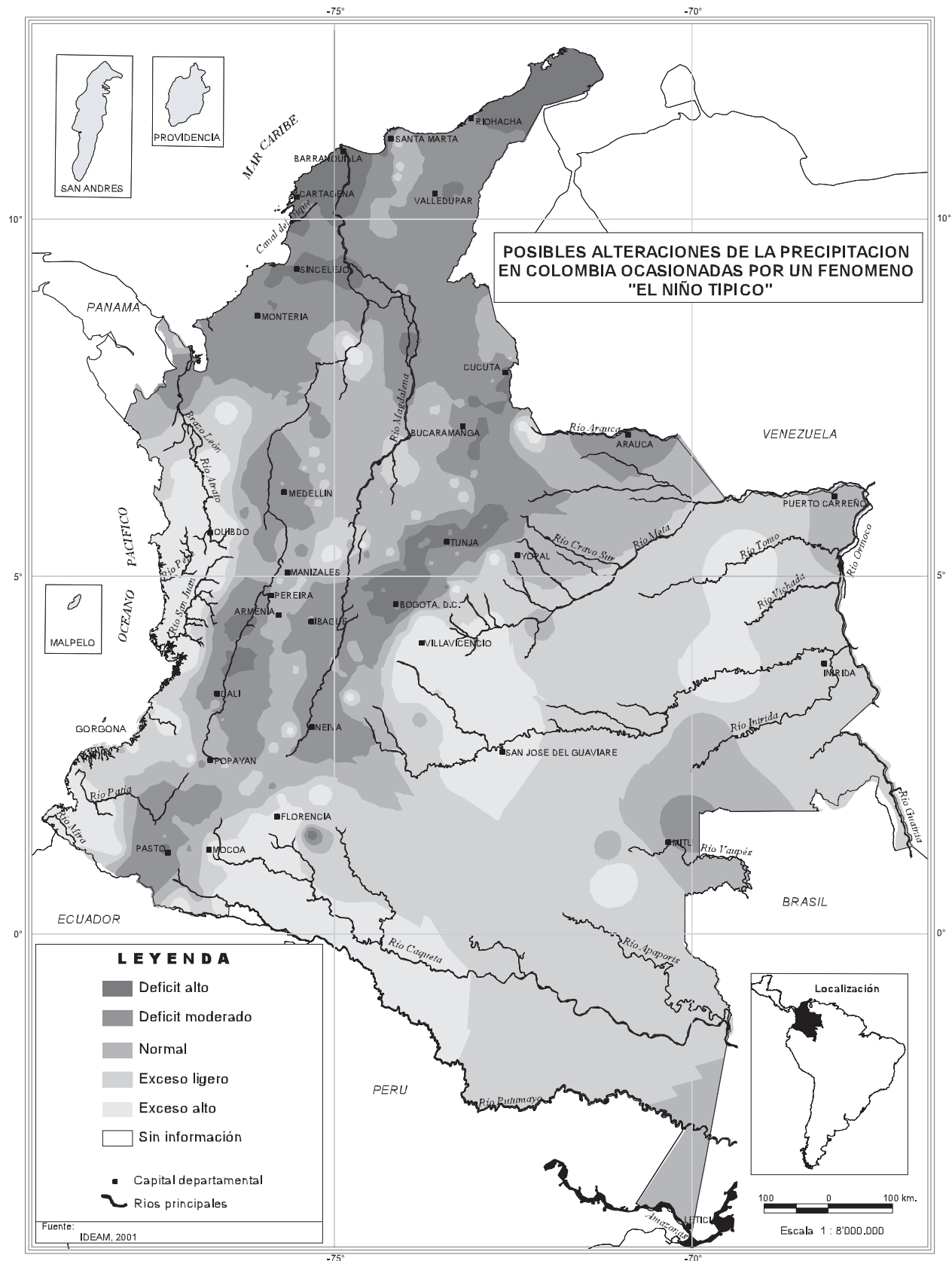
En cuanto a la vulnerabilidad de los ecosistemas de alta montaña frente al aumento de temperatura causado por el incremento de CO_2 en el aire, es importante tomar en cuenta que estamos frente a la proximidad de una situación que no se ha presentado en por lo menos los últimos 700.000 años o más.

El principal efecto potencial es el 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. En cuanto al efecto general sobre la posición de las zonas altitudinales Alto Andinas, referimos al Mapa 1. En seguida consideraremos más específicamente las condiciones zona por zona.

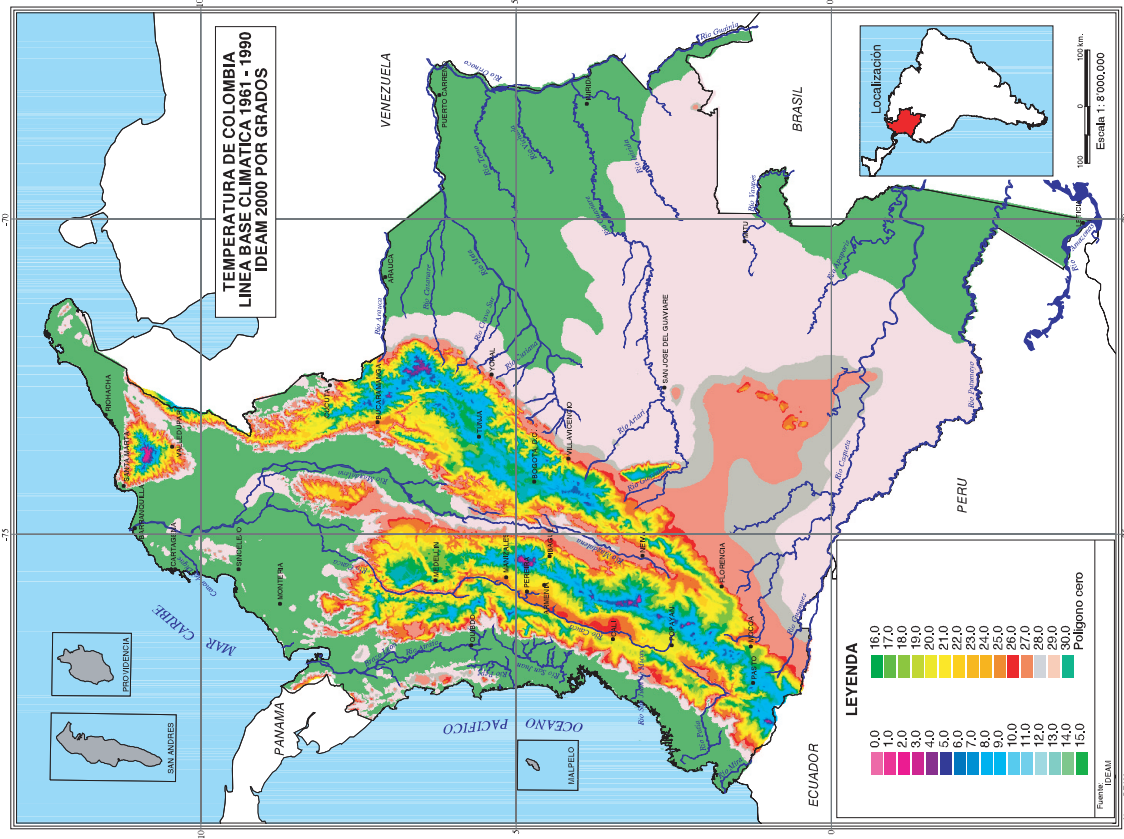
• La zona nival

En esta zona hay poca vida, pero su importancia escénica (y de captura de agua) es considerable.

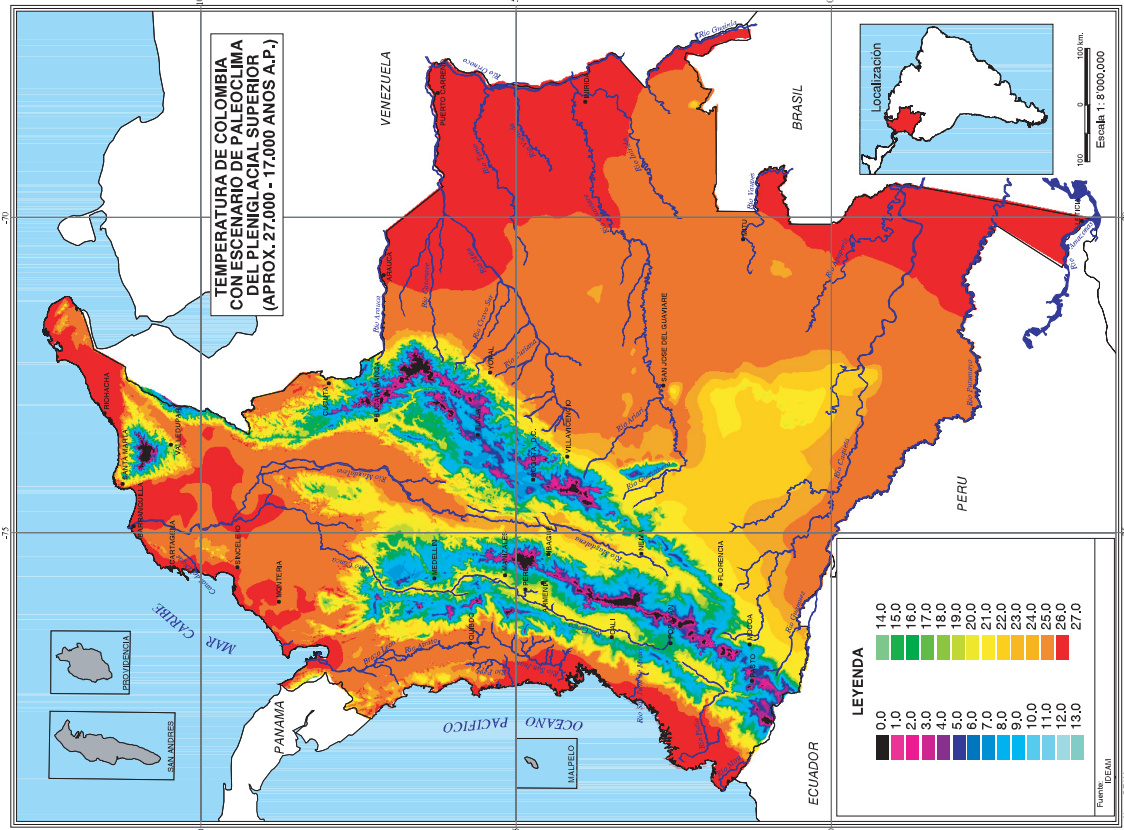
Mapa 1



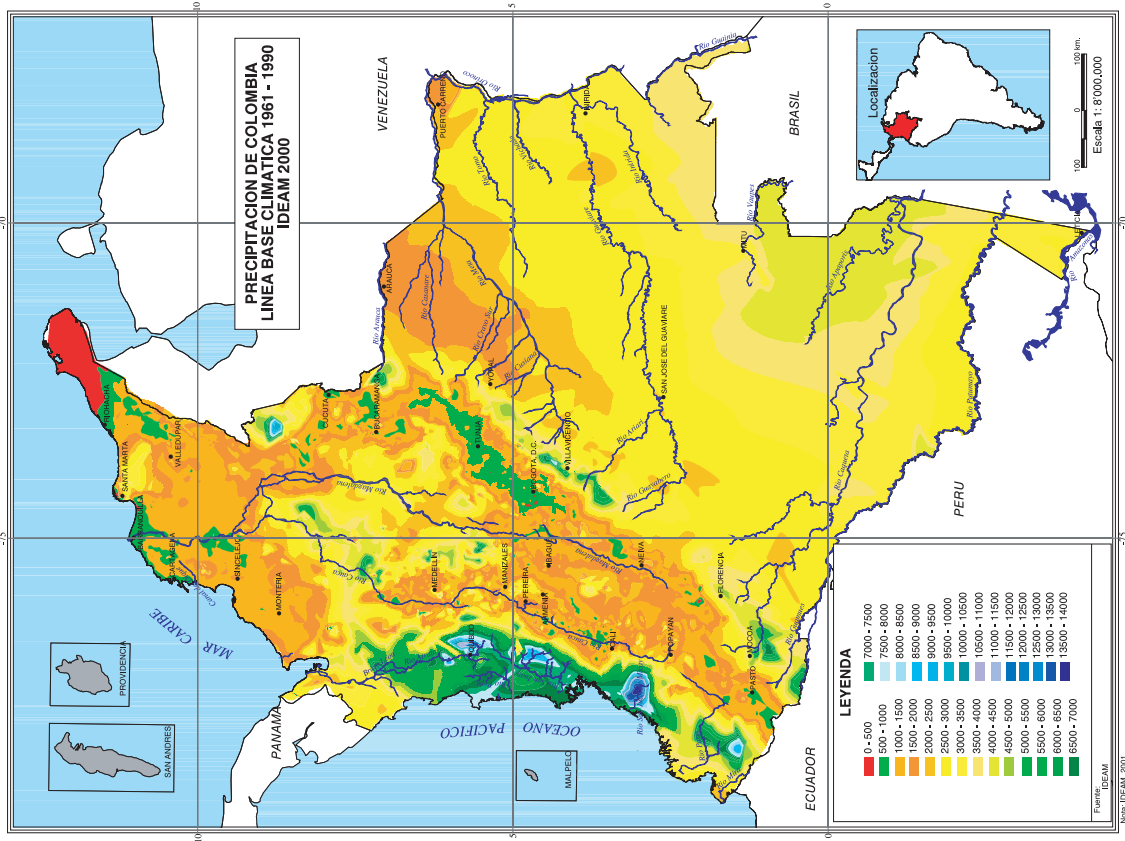
Mapa 2



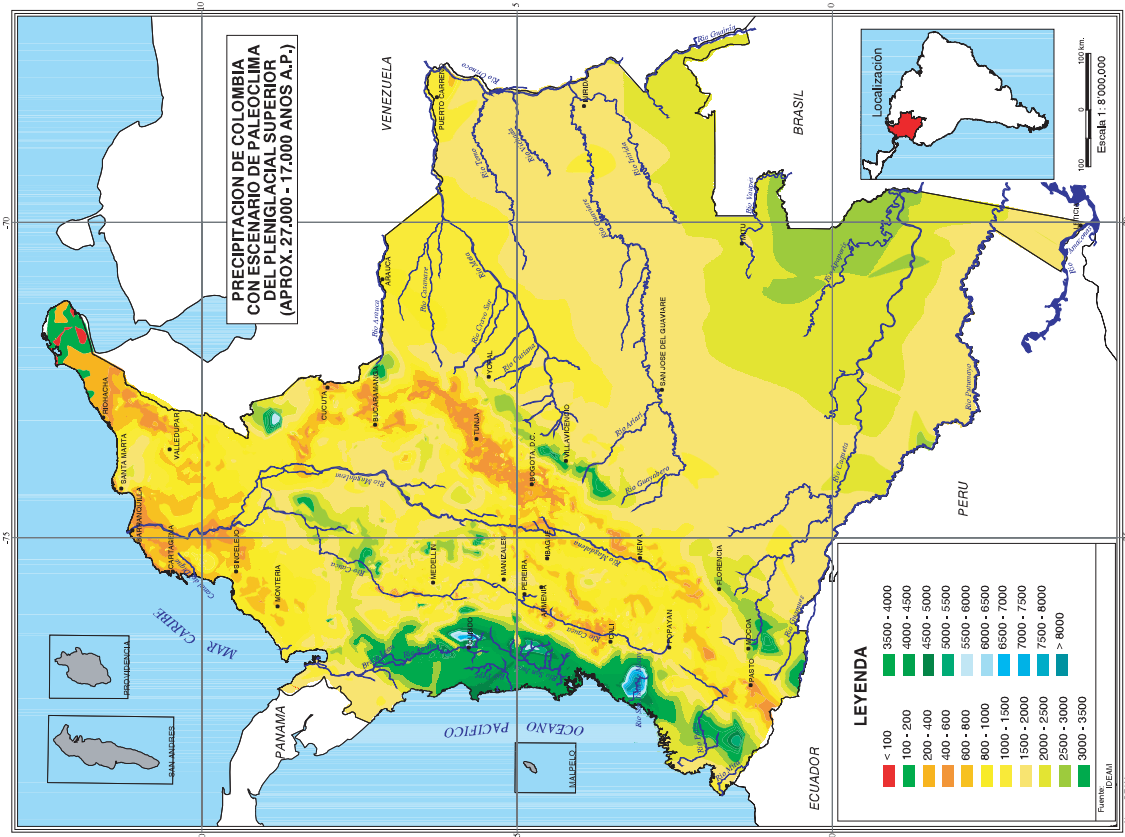
Mapa 3



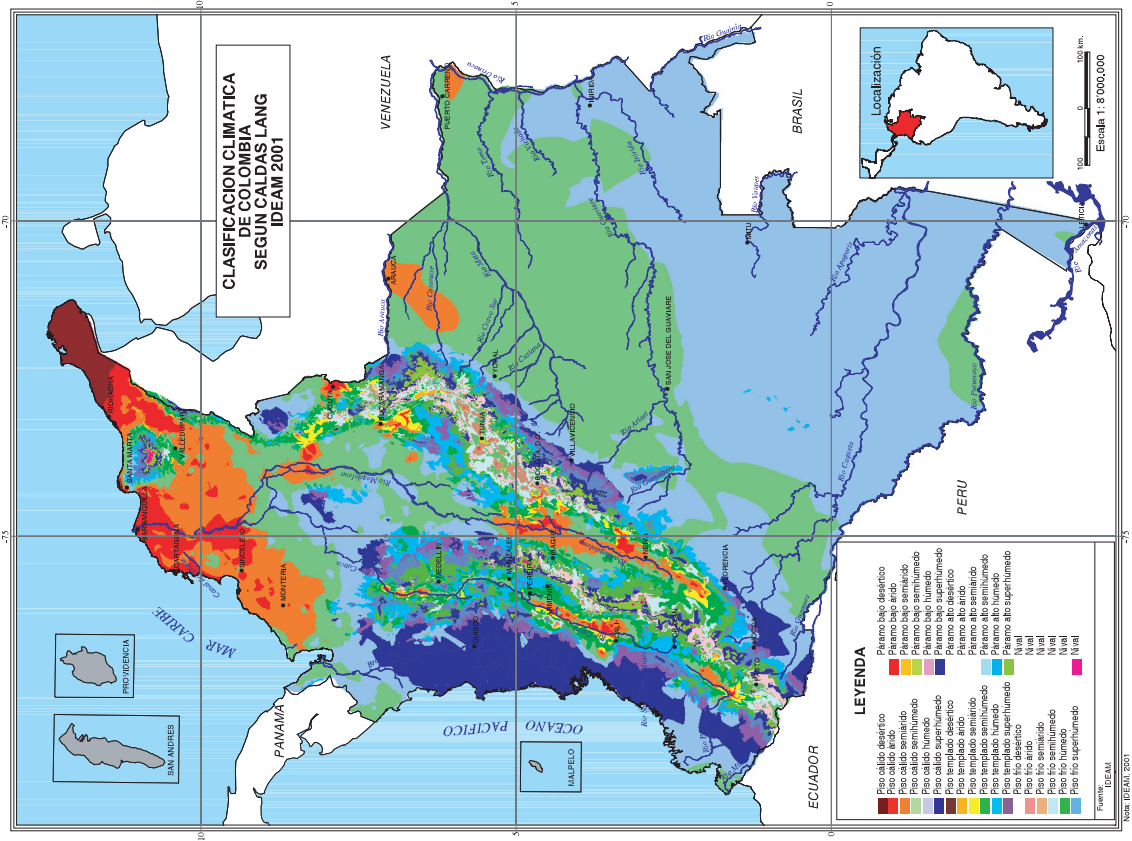
Mapa 4



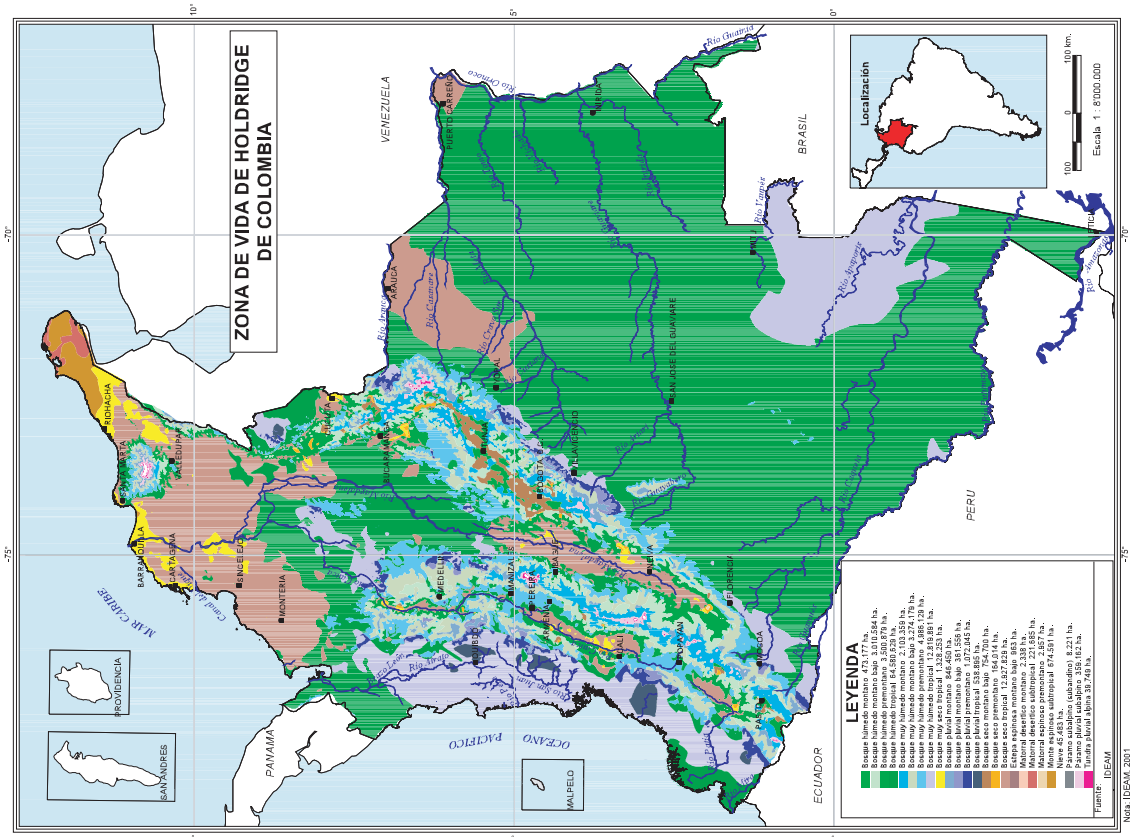
Mapa 5



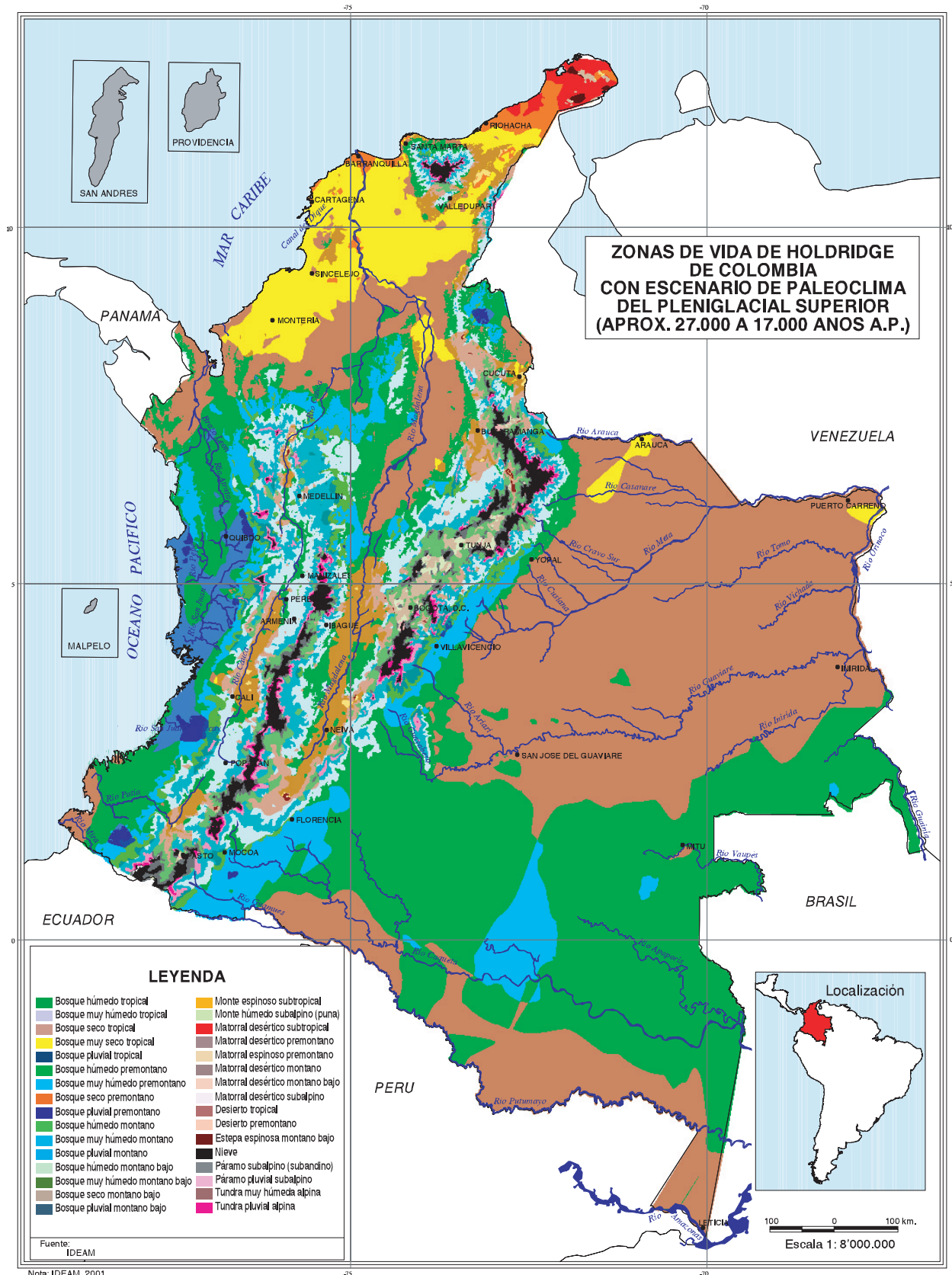
Mapa 6



Mapa 7



Mapa 8



Mapa 9

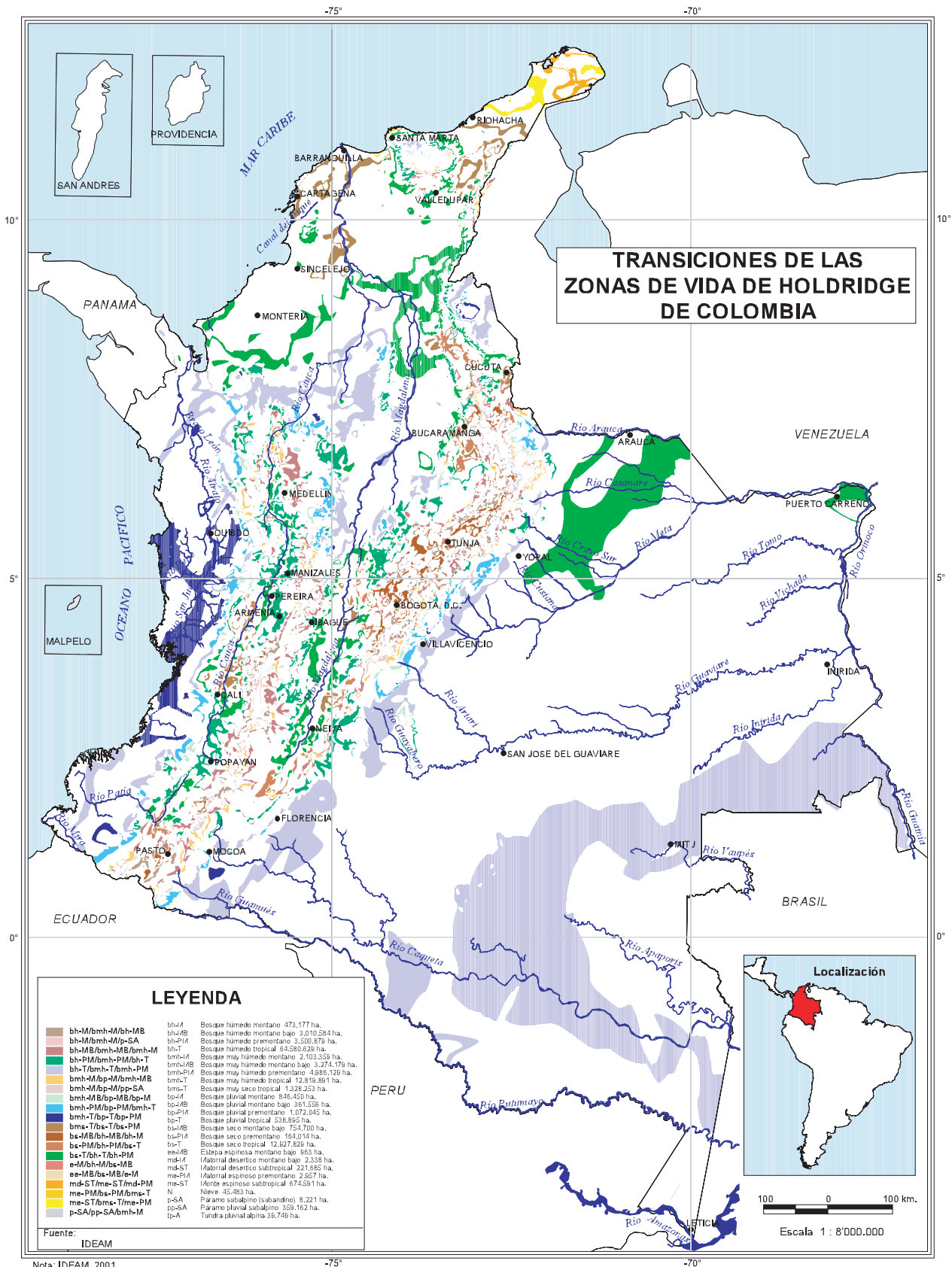
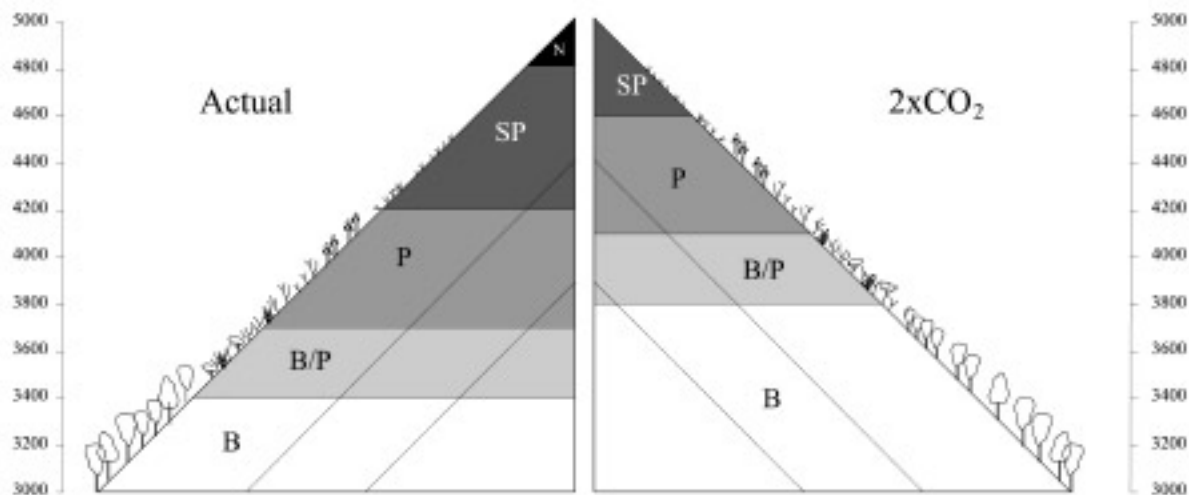


Figura 9 Zonas bioclimáticas actuales y en escenario 2xCO₂ (+ 400 metros), para cerros y montañas de diferentes altitudes.



Como mencionamos ya, esta zona desaparecería casi completamente, ya que su límite inferior subiría a más de 5000 m (quizás 5200 m), restringiéndose solamente a los pocos picos que exceden esta altura.

• La zona de superpáramo

La zona de superpáramo desaparecería de las áreas y picos de menos de 4600 m. Así, la vegetación y las especies endémicas de superpáramo bajo que se encuentran en el tope del cerro del Sumapaz (c. 4200 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.

Actualmente se pueden diferenciar con frecuencia una zona basal con arbustos pequeños de, entre otros, *Loricaria*, luego en partes relativamente planas y poco rocosas, una subzona con vegetación de pastizal azul (*Agrostion*) o con *Lupinus* y/o abundante *Jamesonia* y posteriormente una vegetación muy esparcida de, entre otras, especies de *Senecio* sobre morrenas y áreas de bloques o rocosas. Debajo de los \pm 4600 m estas zonas podrían en principio ser invadidas por tipos de vegetación de páramo propio, como los del *Calamagrostion*. No obstante, el dominio de suelos pedregosos y rocosos puede dificultar por mucho tiempo este proceso, ya que ciertos tipos

de vegetación de superpáramo se extienden hoy día a sitios pedregosos (morrenas recientes), a altitudes varios centenares de metros más bajos que el propio límite de la zona.

Consideramos entonces, que el *Agrostion* y sus especies, y tipos de vegetación azonal de los valles (como los pantanos de *Distichia*) correrían el peligro de reducirse fuertemente hasta perderse.

• Zona de páramo propiamente dicho

Esta zona tendría que desplazarse hacia arriba casi en su totalidad, y se reduciría fuertemente (hasta una cuarta parte de su extensión actual). Gran parte de su extensión actual sería gradualmente invadida por subpáramo y bosque Alto-Andino. Es de esperar que varias especies tendrán problemas de 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 *Espeletiopsis*, correrán peligro de extinción.

• Zona de Subpáramo y bosque Alto Andino

El subpáramo se cambiaría casi enteramente de posición altitudinal. Es de esperar que este movimiento con suficiente tiempo disponible, se podría realizar sin grandes problemas, aunque siempre la reducción de superficie pone en peligro parte de la biodiversidad.

En principio el bosque Alto Andino podría invadir los terrenos que dejaron de tener bioclima de subpáramo o páramo. No obstante, en las condiciones actuales de antropización es improbable que pase, a no ser que se tomen medidas de protección. La vegetación de subpáramo que existiera todavía con poca influencia humana, podría continuar por mucho tiempo si no se destruye o si se eliminan las especies de bosque que llegarían (compare con la situación de paramización de áreas de bosque bajo influencia del hombre).

Resumiendo, se puede decir que el cambio global de temperatura en situación 2x CO₂ resultaría en la fuerte reducción del área de las zonas bioclimáticas Alto-Andinas y su ascenso en unos 400 o 500 m en altitud. Eso en sí ya llevaría con el tiempo a extinciones. Muchos cerros de altitudes menos extremas perderían su superpáramo o páramo, con su diversidad local. Ciertos tipos de vegetación del superpáramo bajo actual, no podrían encontrar su medio a mayor altura, y lo mismo puede pasar en un grado algo menor con el páramo propiamente dicho, donde especies endémicas de medios especiales pueden correr gran peligro de extinción. En el nivel del bioclima del subpáramo y el límite de bosque Alto-Andino continuo, el cambio de vegetación será difícil, ya que la influencia humana es fuerte y tiende a aumentar, a no ser que se tomen medidas especiales. Será posible dejar subir el bosque o mantener condiciones de vegetación abierta para conservar algo de la vegetación del tipo que corresponde a lo de la paramización actual.

El posible descenso de la precipitación podrá tener influencia en la extensión relativa de áreas pantanosas en general y de turberas, y el páramo húmedo sufriría cierta reducción en comparación relativa con el páramo menos húmedo. En cuanto a esto, se puede decir que existe el mismo aspecto de reducción de superficie que aumenta el peligro de extinción, aunque la reducción general de zona bioclimática domina. Un aspecto puede ser favorable en cuanto a las turberas de *Sphagnum*. Estas dependen en parte de la morfología (modelado) glaciar y existen también en la zona

del bosque Alto-Andino húmedo (especialmente arriba de los 3000 m). Algo similar puede pasar con ciertos tipos de vegetación acuática de las lagunas de origen glaciar, que se encuentran encima de los 3000 m, y que en parte tal vez no cambiaría fundamentalmente si se encuentra en el páramo o en la zona de bosque Alto Andino. Sin embargo, también en este caso, será necesario hacer el monitoreo durante los años de cambio.

En cuanto al bosque Alto Andino, este se encuentra en general muy fragmentado, siendo las áreas antropizadas intermedias barreras para muchas especies. También en este caso el movimiento de la zona con sus especies hacia arriba (también ya frecuentemente antropizadas) puede presentar dificultades que llevan a extinciones.

Hasta ahora hemos discutido principalmente el aspecto de la vegetación y su diversidad, y la flora. La vegetación da la base para la vida de animales que en parte se encuentran dependientes directos de ella. No obstante, pájaros y mamíferos dependen en general menos de un tipo de vegetación o de una zona altitudinal, y se mueven sobre áreas frecuentemente grandes. Su conservación requiere en general suficiente espacio y medidas especiales por especie.

Otros grupos parecen más vulnerables al cambio climático, aunque en general faltan conocimientos precisos. Eso vale en forma especial para la fauna de suelos (Oribatei, Colembola, Lombrices, etc). Aquí también necesitaríamos más investigación al respecto y monitoreo.

3.7 Vulnerabilidad de los ecosistemas de alta montaña ante el avance de la actividad agrícola, ganadera y forestal

Las actividades agrícolas y ganaderas que se realizan en los páramos, tienen impactos en los ecosistemas: la vegetación, los suelos, el agua. Estos impactos fueron investigados entre otros, y respectivamente en la cordillera Oriental (páramo de la Laguna Verde, Cundinamarca; *Ferwerda, 1987*) y la cordillera Central (*Verwey, 1995; Hofstede, 1995*), y resumidos en *Van der Hammen, 1998*. Con lo siguiente citamos en parte esta última publicación.

• Impacto de la agricultura (ejemplo de la cordillera Oriental)

Se trata principalmente de la cultivo de la papa y de algunos otros productos como los cubios e ibias, que en 1987 llegaron a altitudes de aproximadamente 3650 m (localmente hasta 3750 m). En parte son cultivos campesinos de rotación, después de una cosecha el área cultivada puede quedar en barbecho por varios años, pero también se siembran a veces pastos introducidos como “el pasto de olor” (*Anthoxantum odoratum*) y lo que llaman “poa” (*Holcus lanatus*) que se utilizan para pastoreo de ovejas o vacas.

La tierra con vegetación natural se prepara para el cultivo mediante la tumba, con machete, de fraylejones y pequeños arbustos, para luego pasar el arado. En ocasiones se utiliza también la quema. Después de la cosecha (o cosechas) la recuperación sigue varias fases. Primero se extienden hierbas introducidas como *Rumex acetosella*, *Verónica serpyllifolia*, *Arenaria serpyllifolia* y pastos introducidos. Después se extienden hierbas nativas como *Lachemilla aphanoides*.

Luego entran las plantas colonizadoras del páramo: el Fraylejón *Espeletia argentea*, un chite (*Hypericum juniperinum*), *Acaena elongata* y *Acaena cylindristachya* entre otras. En la fase siguiente aparecen especies más o menos leñosas, como los arbustos *Pernettya*, *Vaccinium*, *Gynoxis* y el pasto de macolla típico del páramo, *Calamagrostis effusa*. Finalmente aparecen las especies típicas del páramo desarrollado, como otras especies de fraylejón o plantas de almohadilla como *Castratratella* y *Gaultheria* etc. El terreno puede ser utilizado de nuevo después de 5 a 15 años.

La recuperación completa de la vegetación natural del páramo puede durar bastante más tiempo. Para que los fraylejones lleguen de nuevo a alturas de 2 metros o más puede transcurrir entre 50 y 100 años. Ya que la rotación del cultivo es mucho más corta, la vegetación de la zona baja del páramo (subpáramo (3000)3300-3500 (3600)m) en muchas partes se encuentra bajo fuerte influencia humana, y en estado secundario o subserial cons-

tante. En general se puede decir que, en cuanto a biodiversidad, el cultivo de papa (y otras especies) conduce al incremento de especies introducidas, y un descenso del número total de especies.

Durante los últimos decenios se ha visto el ascenso gradual de los cultivos, afectando cada vez más superficie de páramo, hecho que puede estar relacionado con el aumento de la temperatura global y también por la disponibilidad de razas más resistentes.

Eso pone la vegetación de páramo y su diversidad en serio peligro. Un desarrollo de las últimas décadas es también el papel cada vez mayor de los grandes paperos, que compran terrenos o los alquilan de campesinos, para luego arrasar la vegetación en grandes superficies con maquinaria pesada. Es un desarrollo muy preocupante y ya no hay sino muy pocas áreas en el país donde el subpáramo no haya sido profundamente cambiado y degradado.

La destrucción de la capa vegetal y de humus, así como la utilización de pesticidas influyen considerablemente la capacidad de retención de agua y la calidad del agua superficial e infiltrada.

• Impacto de la ganadería y las quemas (ejemplo de la cordillera Central)

Los efectos de la ganadería sobre la vegetación y los ecosistemas de páramo están relacionados con el pastoreo, el pisoteo y las quemas. Los estudios realizados al respecto, demostraron claramente el impacto del manejo actual.

Especies dominantes en los páramos son, como ya anotamos, la gramínea *Calmagrostis effusa*, que forma macollas grandes, y fraylejones (*Espeletia spp*). Bajo el efecto del pastoreo y pisoteo, las macollas se fraccionan, formando macollas más pequeñas, se densifica el suelo y se pueden formar terracitas. Las quemas causan la desaparición de la necromasa (la parte muerta de la cobertura vegetal: hojas muertas de las macollas y de los fraylejones), la biomasa disminuye, pero aparecen más hojas verdes de *Calamagrostis* y la parte desnuda del suelo aumenta.

Los pantanos de los páramos también sufren las consecuencias de la presencia de ganado, que entra en ellos, los degrada y contamina; además, el hombre interfiere también de manera directa, haciendo zanjas para drenarlos.

Un pastoreo muy leve y una quema local incidental no provocan mayores daños (ya que también en la naturaleza se presentan), y pueden aumentar ligeramente la biodiversidad. No obstante, ya muy pronto el efecto llega a ser negativo. Poco a poco la vegetación cambia. Los fraylejones grandes se vuelven más escasos, la densidad de ejemplares jóvenes pueden localmente aumentar, pero finalmente tienden a desaparecer. Pastos cortos, nativos o introducidos, van a reemplazar las macollas de *Calamagrostis* y aumentan ciertas especies (como *Acaena cylindristachya*) que forman alfombra.

Frecuentemente aumenta la superficie de suelo sin vegetación, lo que significa un cambio de humedad del suelo (aumento de evaporación), que se puede secar en las estaciones secas. En general se presenta un descenso considerable en la capacidad de retención de agua.

La conclusión de los estudios cuantitativos y detallados es que el manejo actual de los páramos es nocivo para la vegetación y el ecosistema y que el efecto cada vez mayor y más extenso de este manejo llevará a un deterioro progresivo de este ecosistema, del paisaje y del sistema hídrico.

• Impacto de la siembra de pinos

En el pasado relativamente reciente se han sembrado pinos en algunos páramos. Ya se ha reconocido que fue una equivocación, aunque no se ha terminado del todo. El pino tiene una influencia nociva sobre el suelo y en los bosques de pino no crecen las especies nativas del páramo, sino que crean una especie de desierto para ellos. Es impresionante ver que debajo de los pinos están los fraylejones muertos y encontrar ejemplares ya completamente enterrados entre la capa de agujas acículas, de pino (*Van Weesenbeeck & Van Mourik, 2000*).

Los pinos en el páramo acaban con el paisaje, la flora y la vegetación nativa, tienen una influencia negativa sobre el suelo (resinas, acidificación), su fauna (desaparecen las lombrices); y sobre la capacidad de retención de agua.

• Los cambios en la vegetación y el uso de los páramos entre 1970 y 1990

En los últimos decenios se ha visto una intensificación considerable en el uso agropecuario de los páramos. Siendo este hecho preocupante, aún más serio es el uso cada vez más tecnificado y en mayor escala, incluyendo el uso de maquinaria pesada. El mayor problema no parece ser los campesinos con métodos tradicionales de cultivo (aunque también ellos pueden ejercer una influencia muy negativa sobre la vegetación), sino los grandes paperos, que han comprado áreas grandes o alquilan terrenos de los campesinos y luego arrasan grandes áreas de páramo con maquinaria (después de uno o dos cultivos, pueden devolver la tierra alquilada, ya agotada). Es evidente que se está realizando un cambio en el manejo y en la tenencia de la tierra, que es necesario estudiar, junto con la situación socio-económica de la población, para entender mejor lo que está pasando y por qué.

De todos modos, el resultado de la extensión e intensificación de las actividades agropecuarias ya parece ser de influencia muy negativa en muchos páramos. Ya no parecen haber casi páramos los que no han sido influenciados y cambiados fuertemente de aspecto. Uno de los pocos parece ser el del Tatamá en la cordillera Occidental donde la situación parece ser prístina.

Para obtener datos más precisos sobre los procesos mencionados, se realizó un estudio comparativo cuantitativo con base en imágenes de satélite, del páramo de La Laguna Verde (entre Neusa-Cogua y San Cayetano, Cundinamarca), comparando la situación en 1970 con la de 1990. De parte de esta área existe un estudio de los tipos de vegetación y un mapa correspondiente a 1:10000, hecho con estudios de campo en el año 1983, y con utilización de fotografías aéreas anteriores en escala 1:18000 (vuelo A137 Nos. 276 a 281), probablemente de los años 70. Se realiza-

ron 260 levantamientos de la vegetación (Bekker & Cleef, 1985).

El manejo de la tierra por los campesinos fue descrito en el ya mencionado estudio de Ferwerda (1987), que se realizó en el mismo páramo de Laguna Verde (los principales resultados de este estudio los mencionamos en la sección “Impacto de la agricultura” en el presente capítulo.

En cuanto al impacto humano en el área, es interesante mencionar también lo que Bekker & Cleef(1985) escriben al respecto:

“Durante los últimos 15 años el impacto humano sobre la vegetación en la zona estudiada aumentó considerablemente. Este fenómeno se manifiesta claramente en el aumento del límite del cultivo de la papa de 3400 a casi 3650 m.s.n.m. Excepcionalmente se encuentran campos de cultivos, prados y campos abandonados con vegetación de recolonización a alturas hasta de 3770 m. La zona de cultivos y prados forman la unidad 5 en el mapa de la vegetación”.

“El pastoreo y el efecto asociado del pisoteo del ganado vacuno y ovino, son factores responsables de la degradación actual de la vegetación paramuna”.

“Igualmente contribuyen las quemadas frecuentes inducidas por los pobladores para obtener pasto fresco para el ganado. La influencia sobre el ecosistema paramuno de la recolección de la paja (*Calamagrostis effusa* principalmente), que se utiliza en

la construcción de los techos, la obtención de leña para la cocina y la construcción, y la recolección de hierbas medicinales y troncos de fraylejones (*Espeletinae*) para quemadas festivas son más difíciles de estimar. La cacería prácticamente terminó con las poblaciones de animales silvestres”.

“Amenazantes para el ecosistema paramuno original son las plantaciones con especies exóticas como especies de pinos y/o eucaliptus”.

“Considerando el impacto humano en la vegetación los últimos 15 años, que causó una degradación apreciable y severa, recomendamos a las instituciones oficiales establecer un parque ecológico en la zona estudiada del páramo de la Laguna Verde, con la intención de proteger los recursos naturales del divorcio de aguas de la Sabana de Bogotá, especialmente los afluentes de la Represa del Neusa, como también conservar un ejemplo típico de un páramo propiamente dicho seco cerca de la Sabana de Bogotá”.

Esta cita indica que el gran aumento de uso humano y degradación, debe haber comenzado alrededor del año 70. Efectivamente, la comparación de las dos imágenes de satélite (de 1970 y 1990) muestran un cambio muy grande al respecto (Mapas 10 y 11). Ya al simple ojo se puede ver un cambio impresionante.

El cálculo del cambio en las áreas distinguidas arriba de los 2800 m es aún más impresionante:

En la tabla siguiente se dan las cifras separadas para cada intervalo altitudinal de 200 m.

Tabla 4 Cambio de cobertura vegetal y uso de la tierra entre 1970 y 1990, por intervalos altitudinales; Páramo de la Laguna Verde y alrededores.

	Año		Disminución
	1970	1990	
Páramo abierto	12.943 ha	14.595 ha	_____
Arbustal de páramo	10.079 ha	619 ha	9460 ha = 94%
TOTAL PÁRAMO	22.022 ha	15.214 ha	6808 ha = 30%
Bosque Alto-Andino	14.754 ha	12.828 ha	1926 ha = 13%
			Aumento
Pastos	4.093 ha	8.448 ha	4.355 ha = 106%
Cultivos	3.914 ha	10.313 ha	6.399 ha = 164%

En 20 años desapareció el 30% de superficie de páramo, cambiado sin duda en cultivos y pastos. Pero hay un dato aún más impresionante, que es la desaparición de casi toda la formación arbustal de páramo, que originalmente ocupaba casi la mitad del páramo, es decir, se cambió fundamentalmente la estructura vegetal del páramo. La causa debe ser las quemadas y el uso agropecuario y también el uso temporal para la agricultura. El bosque Alto Andino disminuyó (de lo poco que quedaba) un 13% pero esa cifra debe ser bastante mayor ya que entre los años 70 a 90 se sembraron superficies considerables en pinos (Neuma, Pantano Redondo), que se incluyeron en la cobertura boscosa del 90.

La conclusión es que el páramo es muy vulnerable en cuanto a la agricultura y ganadería actual. Va desapareciendo gradualmente la vegetación original, y en lo que todavía se puede llamar páramo se cambia fundamentalmente la estructura de la vegetación, desapareciendo la vegetación arbustiva que representa diferentes asociaciones, comunidades y ecosistemas y una buena parte de la biodiversidad alpha y beta.

Vemos entonces, cómo se ha desarrollado la situación en un páramo típico en los alrededores de Bogotá. Según observaciones directas en el campo, los páramos al sureste de Bogotá están sufriendo igual o peor impacto, y en parte igualmente en el Sumapaz, donde la colonización ya lleva varios decenios. También en El Cocuy es considerable la influencia humana, como también en muchos otros páramos, como los de la cordillera Central. Para tener datos concretos, es necesario hacer los estudios de imágenes de satélites como se hizo para el área de la Laguna Verde. Pero no hay duda que el aspecto de los páramos de Colombia ha cambiado fundamentalmente con la desaparición de grandes áreas cubiertas de formaciones arbustivas.

La situación es muy grave, la toma de medidas en serio (declaración de reservas, etc.) es sumamente urgente, y todavía más si estamos viviendo un cambio global climático de impactos muy amplios.

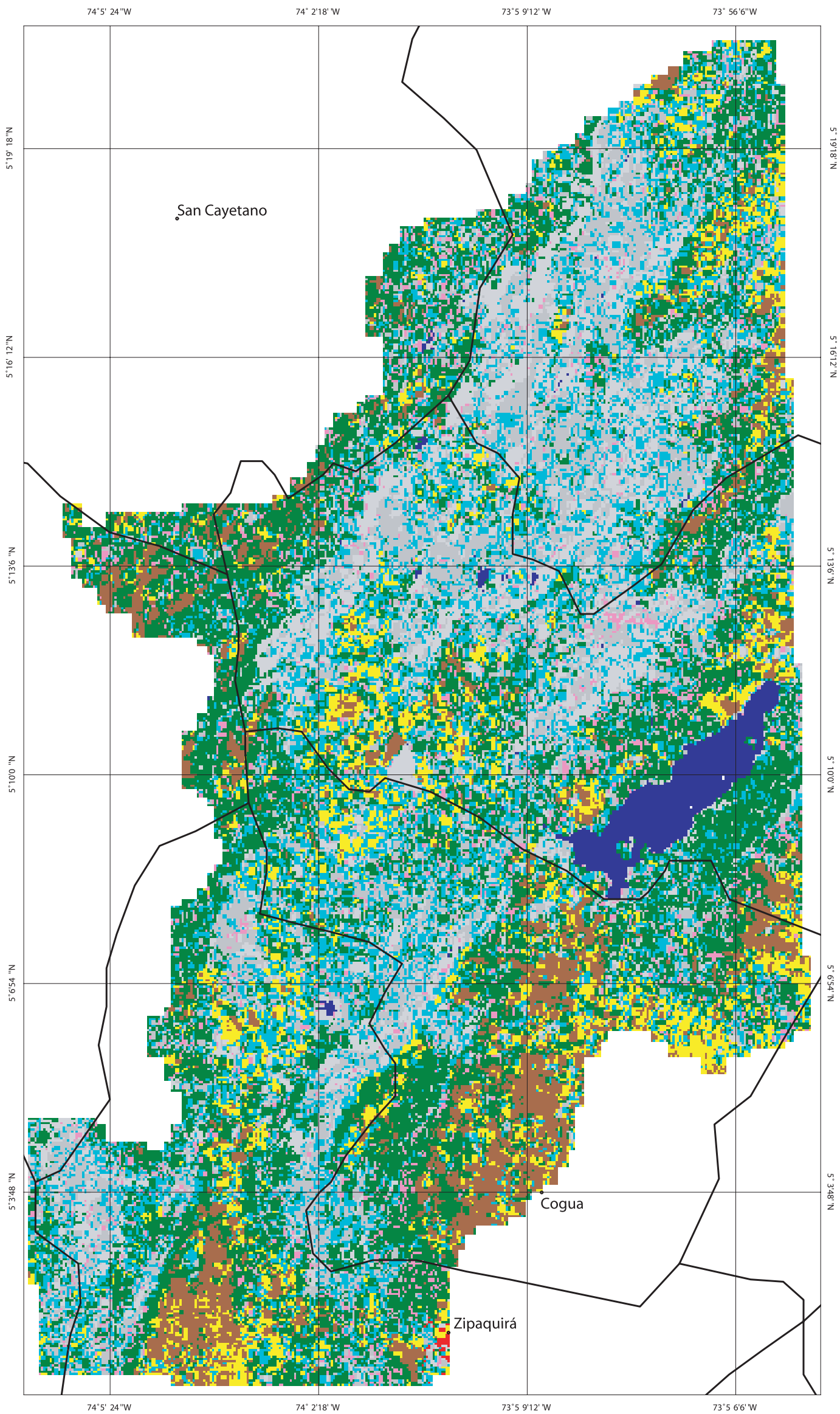
3.8 Conclusiones generales y recomendaciones









En el caso que se presenta el escenario $2\times\text{CO}_2$ (síntesis Hulme), las temperaturas subirían entre 2° y 2.5°C , y las precipitaciones se reducirían en un 20%. Eso resultaría en un ascenso de las zonas bioclimáticas y de los cinturones correspondientes de vegetación entre 400 y 500 m y una cierta reducción de los páramos muy húmedos a costo de los páramos húmedos.

Durante los últimos 30 años muchos páramos han sido utilizados (con quemadas) para agricultura y ganadería. De una forma cada vez más intensiva e impactante, poniéndose en grave peligro ambos la biodiversidad y el agua. El ejemplo del páramo de la Laguna Verde muestra un páramo invadido y semi-destruido, y donde han acabado con la fauna nativa comestible. La estructura de la cobertura vegetal original ha sido cambiada fundamentalmente: la mitad de la superficie del páramo era en 1970 vegetación arbustiva, pero había desaparecido en 1990. La causa debe ser las quemadas, la ganadería y la agricultura que ya sube hasta 3750 m, y que está llegando a manos de los grandes paperos que trabajan y destruyen con maquinaria pesada.

En una vegetación natural y sin barreras, el incremento de temperatura y el ascenso de las zonas bioclimáticas tendrán como consecuencia la reducción de las superficies y la desaparición de cerros y montañas que quedan por debajo de los límites de las zonas; y si las superficies de las "islas" que quedan son pequeños, pueden perder especies en el tiempo. Ese es el escenario que podemos esperar en páramos y bosques alto-andinos que tienen poco o nada de influencia humana, como en el caso de la parte alta del parque nacional de Tatama, en la cordillera Occidental.

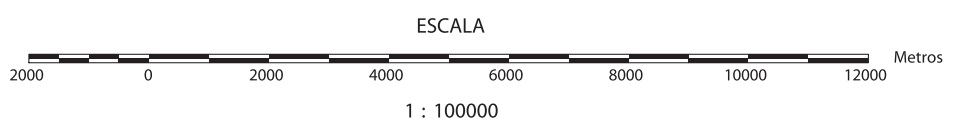
En el caso de áreas Alto Andinas que sufrieron o están sufriendo degradación antropógena (que son la mayoría), el efecto del cambio global climático esperado para este siglo puede ser mucho más grave, ya que áreas antropizadas separan tipos de vegetación dificultando la migración, y ciertos tipos de vegetación ya deben haber desaparecido parcial o totalmente, junto con las especies especiales ó endémicas que las caracterizaba. Preocupa especialmente la conservación de los frailejones, los que son casi todos endémicos en áreas relati-

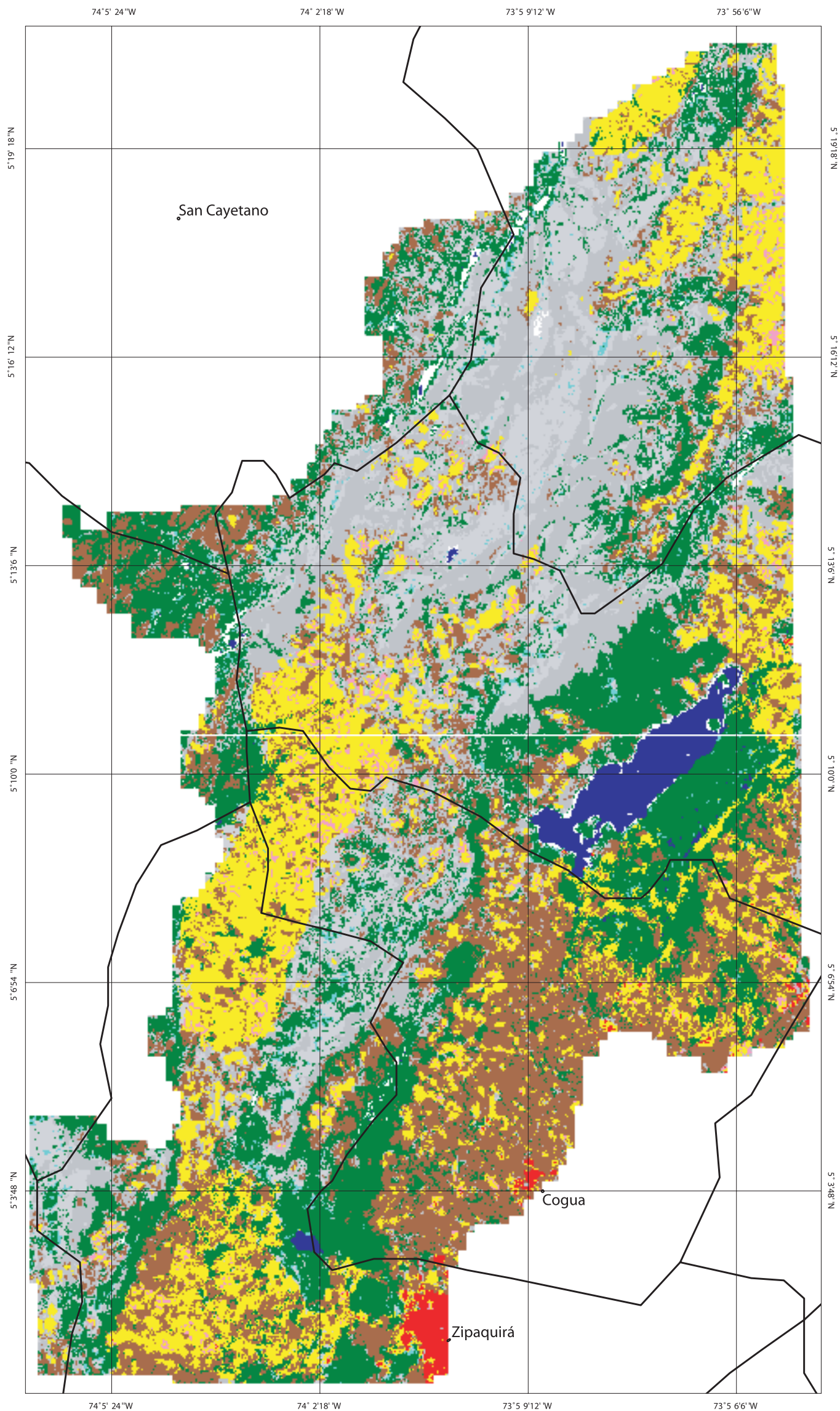










LEYENDA	AREA (ha)
 Cuerpo de agua	1.013,16
 Vegetación de páramo	12.942,86
 Bosque alto andino	14.754,12
 Pastos	4.094,03
 Cultivos	3.913,62
 Arbustal de páramo	10.078,74
 Areas con vegetación escasa	2.041,10
 Asentamientos humanos	22,82

**COBERTURAS VEGETALES
DEL PARAMO DE LAGUNA VERDE
DECADA DE 1970 IDEAM**

Fuente: clasificación digital supervisada imágenes de satélite Landsat MSS





LEYENDA	AREA (ha)
 Cuerpo de agua	886,31
 Bosque alto andino	12.828,02
 Asentamiento humano	319,75
 Cultivos	10.312,68
 Pastos	8.448,28
 Vegetación de páramo	14.595,19
 Arbustal de páramo	618,58
 Area con vegetación escasa	614,65
Sin información	303,10

**COBERTURAS VEGETALES
DEL PARAMO DE LAGUNA VERDE
DECADA DE 1990 IDEAM**

Fuente: clasificación digital supervisada imágenes de satélite Landsat TM



vamente pequeñas y en diferentes tipos de vegetación zonal y azonal.

La fauna en general y especialmente también la fauna de suelos depende de la vegetación y suelos no afectados por densificación y contaminación. Muchas de las especies no se conocen todavía y muchas corren grave peligro de desaparecer por el efecto combinado de cambio global climático y antropógeno.

En cuanto al agua hay que tomar en cuenta varios factores: la disminución de la precipitación, las temperaturas más altas y la influencia del hombre y sus actividades agropecuarias. Las dos primeras causan una disminución del agua disponible (tomando en cuenta un 10-20% menos precipitación y un aumento de la evaporación), que se podrá estimar entre 10 y 20% (en el piedemonte llanero y amazónico puede haber un aumento de precipitación del 10%). El factor antropógeno afectará la capacidad de retención del agua en vegetación, suelos y pantanos, y la calidad del agua (contaminación, entre otras con agroquímicos y nitrógeno del ganado).

La ley obliga a las entidades del Estado y a los particulares de conservar la biodiversidad en forma prioritaria; además dice que para la preservación del medio ambiente hay que tomar en cuenta la investigación científica, y aun si no hay certeza absoluta sino sospecha grave de daño es obligatorio tomar medidas eficaces para impedir la degradación. La Ley también dice que las zonas de páramo, subpáramos, los nacimientos de agua y zonas de recarga de acuíferos serán objeto de protección especial (Ley 99 de 1993, art.1 sub 2,4 y 6).

En vista de lo anterior y en relación a los grandes daños que están causando las actividades de hombre en el páramo, y los problemas de conservación que, además, causará el cambio global climático, es de gran urgencia adoptar medidas drásticas que aseguren la conservación de la biodiversidad, del medio ambiente, el agua y el paisaje de los páramos (biodiversidad incluye las especies de flora y fauna, y también todo los tipos de vegetación zonal y azonal, que representan ecosistemas cuya “salud” asegura la sobrevivencia de las especies que contiene). El problema de la conser-

vación de los páramos es también un problema social de ricos y pobres. Los pequeños campesinos que viven en el páramo no pueden pensar sino en sobrevivir y los grandes paperos no piensan sino en ganar mucho dinero; ninguno de los dos se preocupa por el efecto negativo de sus acciones (con algunas pocas excepciones, sobre todo de algunos campesinos). Por consiguiente, hay también un aspecto social para resolver. Es cierto que (especialmente ONGs) se han realizado en varias partes trabajos de concientización y educación ambiental con algunos resultados, pero este proceso es muy lento y solo llega a una parte de la población que es de buena voluntad, y los resultados son insuficientes para asegurar la biodiversidad y el agua.

Se propone entonces las siguientes medidas, para ser realizadas en el plazo más corto posible:

1. Declarar como reservas de la biodiversidad y el agua a todos los páramos de país, por medio de un decreto presidencial. Los límites serán establecidos por un grupo de expertos del SINA (especialmente del IDEAM y del Instituto Von Humboldt), bajo responsabilidad del Ministerio del Medio Ambiente. Se prohíbe en principio la agricultura y la ganadería.
2. El decreto dará plazo de (por ejemplo) 10 ó 15 años para “ sanear” los páramos, ofrecer otros oficios a los propios habitantes (cuidar el agua, ecoturismo, etc.), o ofrecerles tierras en áreas más bajas. Para este fin se realizará un estudio socioeconómico y tenencia de la tierra (con participación de los habitantes y de catastro) de cada páramo, y en base de eso un plan de saneamiento.
3. Prohibir de inmediato las actividades nocivas de los grandes paperos en los páramos del país, especialmente el uso de maquinaria pesada.
4. Crear un fondo ambiental para los páramos, en base de una sobretasa a cada m³ de agua utilizada en ciudades y pueblos. Con este fondo se comenzará a comprar los páramos y financiar las actividades mencionadas en el punto 2.
5. Las reservas mencionadas en el punto 2 incluirán todo el páramo actual; las partes bajas que con

escenario 2XCO₂ tendrían en el futuro bioclima de la zona de bosque Alto Andino, y se podrán entonces auto-regenerar estos bosques en el curso de este siglo, eventualmente conservando abiertas ciertas partes mientras las especies se pueden trasladar. Esta zona de bosque es de importancia considerable para la protección de los páramos a largo plazo (también para la conservación de muchas especies de fauna que dependen para su sobrevivencia de los dos medios: bosques y páramo), y para la conservación del agua.

6. La restauración de los páramos y de los bosques tiene que ser por sucesión natural, nunca hay que introducir en un páramo especies de otros páramos.
7. La adaptación de páramo a las nuevas circunstancias del cambio climático global, requiere la eliminación gradual de las áreas antropizadas, que pueden representar barreras para la migración de especies. Se debería hacer de cada páramo un mapa de cobertura vegetal y uso actual de la tierra para poder tomar las medidas más urgentes.
8. Debe hacerse un estudio de cuales son las cimas o áreas pequeñas con especies endémicas que estarían en peligro de desaparecer o extinguir al presentarse el cambio climático como es previsto. Un ejemplo es el de superpáramo bajo, en la cima del cerro del Sumapáz. De eso se podrá encargar el Instituto Von Humboldt con ayuda del IDEAM y del Instituto de Ciencias Naturales.
9. En vista del gran endemismo por la insularidad (en parte todavía desconocida especialmente para la fauna de artrópodos y en especial la fauna de suelos), es necesario proteger como reservas todos los páramos.
10. Para asegurar hasta donde sea posible la conservación de todas las especies y tipos de vegetación durante el cambio climático esperado en este siglo, es recomendable hacer un monitoreo de la reacción de las comunidades naturales y sus especies a este cambio, para si este fuera el caso, poder considerar medidas correctivas.

3.9 Propuesta de un sistema de seguimiento de los cambios en el componente biótico.

Para establecer el efecto del cambio climático en el componente biótico, será necesario hacer un monitoreo a mediano hasta largo plazo, en primer lugar de la vegetación. El principal problema es el hecho que en casi todas partes se presenta alguna forma de degradación antropogénica, por quemas y formas de uso u otras interferencias, y si se excluyen estas, los primeros años la vegetación se recuperara, haciendo difícil diferenciar los cambios relacionados de los climáticos. El problema existe especialmente en el caso del límite altitudinal natural del bosque; es muy difícil encontrar en lugares relativamente accesibles un sitio donde se puede estar seguro de estar libre de influencia humana. Volveremos a esta problemática más adelante.

Para el monitoreo o seguimiento mencionado se deben escoger sitios con gradiente altitudinal, accesibles pero con influencia ausente o mínima del hombre. A lo largo del gradiente altitudinal, se establecerán cuadrículas marcadas en forma permanente con cuatro postes de cemento saliendo máximo 50 cm encima de la superficie en vegetación abierta y 100 cm en vegetación boscosa, clavado bien profundo en el suelo. En el páramo estas cuadrículas pueden tener 5x5 m, en el bosque Alto - Andino 10x10 m y en bosque Andino y subandino 20x25 m, en la zona baja tropical 30x35 m. En lo Alto-Andino (bosque y páramo) se pueden hacer a intervalos altitudinales de 50 m o 100 m. Las cuadrículas y preferiblemente todo el transecto altitudinal necesita protección contra todas las influencias humanas, y por esta razón parece mejor realizarlo en los Parques Nacionales Naturales u otras reservas, como las de sociedad civil. Cercas a los dos lados del transecto (con pasos para la gente donde eso sea inevitable) sería lo mejor, el área del transecto teniendo un ancho de preferiblemente unos 50 m (mínimo 30 m). Para el sitio preciso de las cuadrículas se buscara vegetación lo más homogénea posible.

De todas la cuadrículas de 5x5 m se hará un mapa de la cobertura vegetal, de ser necesario

varios -uno para cada estrato- a escala 1: 20. En este mapa se indicará la posición de la implantación de cada planta, de cada especie y la proyección de la circunferencia de cada individuo en la superficie. Muchos -muy pequeños- se pueden juntar en superficie, como también cada especie de musgos. Es muy importante indicar la porción y abundancia de las plántulas según especie. Se añadirá un dibujo en transecto que indica entonces la altura de los individuos (ver Figura 11).

El mapeo de las cuadrículas se repetirá cada año por lo menos dos hasta cuatro veces en época húmeda y seca, y tiene que ser realizado por floristas experimentados.

Cuando ya hay datos de una serie de años (de 5 hasta 10 para comenzar), se pueden hacer las comparaciones cuantitativas y cualitativas para cada cuadrícula, y para todo el gradiente, con gráficas que muestren cambios en cobertura para cada especie, aparición de nuevas especies etc. Así se podrá establecer un posible avance de especies del bosque en el subpáramo/ páramo, de páramo en el superpáramo y del superpáramo en la zona nival.

Se puede también dibujar un transecto continuo por todo el gradiente estudiado, en perfil y en mapa. Para este fin se puede trabajar a lo largo de una cuerda puesta de arriba hacia abajo, dibujando cada planta que se encuentra a una distancia de 75 cm de lado y lado de la cuerda (150 cm de ancho, mas o menos los brazos extendidos). Este perfil se puede repetir por ejemplo cada 5 años, y puede hacer “visibles” los cambios(ver Mapa 3).

Lo ideal sería tener a intervalos altitudinales de 500 m aparatos para medir por lo menos la temperatura y la precipitación, para poder correlacionar los datos de cobertura con los datos meteorológicos/ climáticos. Medir la temperatura estabilizada del suelo cada año cuando se hace el inventario de las cuadrículas es una posibilidad real que de todos modos es posible realizar (en general a profundidad mayor de 50 cm).

Observaciones fenológicas (floreCIMIENTO, formación de semillas, etc) podrían dar indicaciones importantes sobre cambio climático, pero requie-

ren una mayor frecuencia de observación; se podría organizar con un grupo de voluntarios.

En cuanto a cambios en la fauna, eso es mucho más difícil y complejo. Tiene una relación con la vegetación, pero la posibilidad de libre movimiento hace que muchas especies son de bosque y páramo (pájaros, mariposas, venados, etc.) o se muevan en varias zonas altitudinales.

Posiblemente podrían encontrarse indicaciones de cambio en la fauna de suelos (artrópodos, lombrices, etc.), pero será necesario determinar al nivel de especie, para lo cual se necesitan muchos especialistas en diferentes países que en general no tienen tiempo para hacer este tipo de trabajo. Quizás hay una posibilidad con anfibios, trabajo que se podría realizar con el Instituto de Ciencias Naturales. Pero, el estudio de la vegetación como propuesta, parece de todos modos más factible y con indicaciones que pueden ser bastante evidentes e interpretables.

Una cosa que puede facilitar el mapeo global y la correlación de los datos con un área mayor, son fotografías aéreas (event. en falso color) en escala entre 1:1000 hasta 1:5000, tomadas con intervalos de varios años.

En todos estos estudios de monitoreo hay que tomar en cuenta el problema de la influencia (hasta degradación) del hombre en la vegetación, presente en todas partes y que puede hacer difícil o imposible discernir la influencia del cambio climático. Por esta razón es preferible hacer los estudios en áreas prístinas (como en el Parque Tatamá), pero no siempre será posible encontrarlos y además, la accesibilidad del área de trabajo es un aspecto también de importancia.

Entonces, es evidente que hay que contar con el hecho que, después de proteger el área del transecto de las influencias humanas, habrá un proceso de auto-restauración de la vegetación, que interfiera con las influencias climáticas, durante una serie de años.

La práctica debe enseñar como se presentan los hechos y como será posible separar estas dos influencias.

Figura 10 Transecto y cuadrículas de monitoreo (seguimiento) de vegetación en un gradiente altitudinal alto-andino.

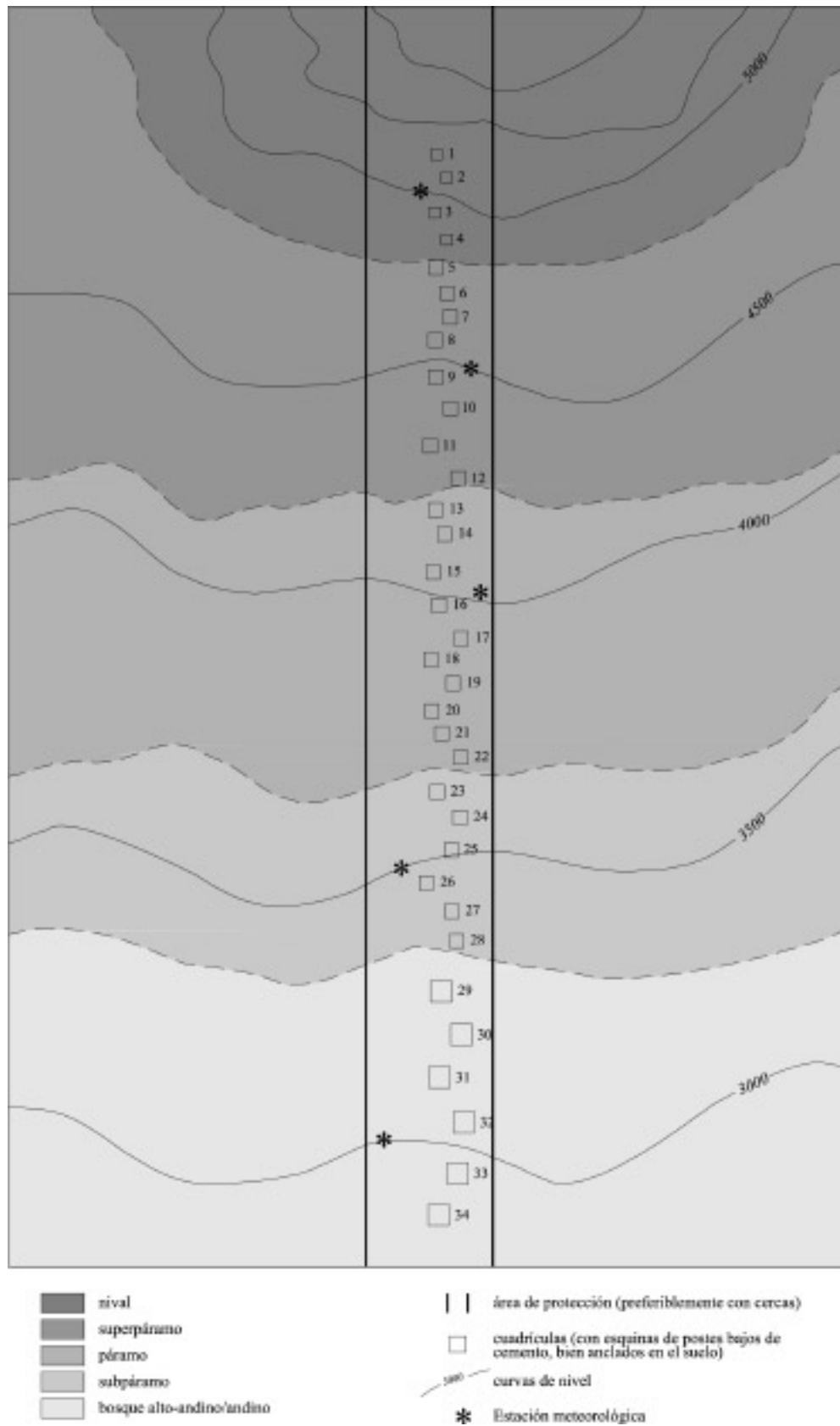


Figura 11 Un ejemplo simplificado de una cuadrícula mapeada de vegetación y en perfil.

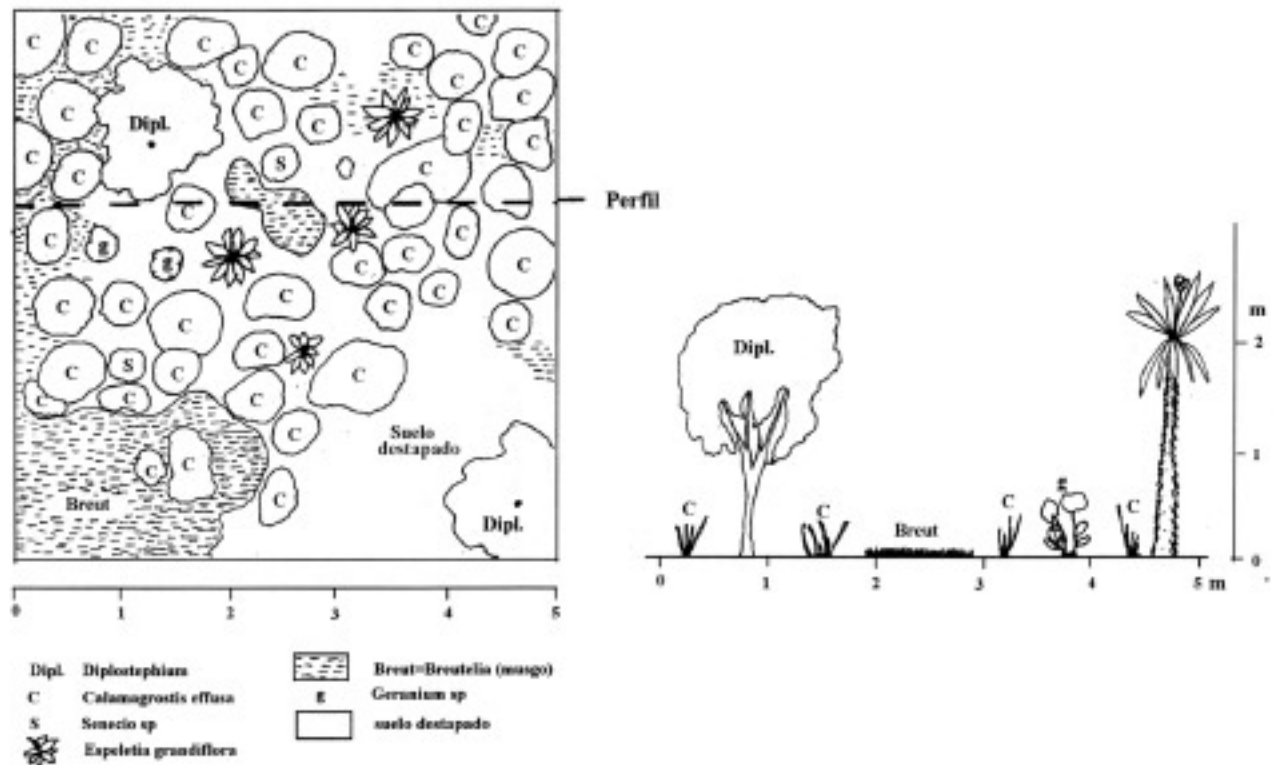
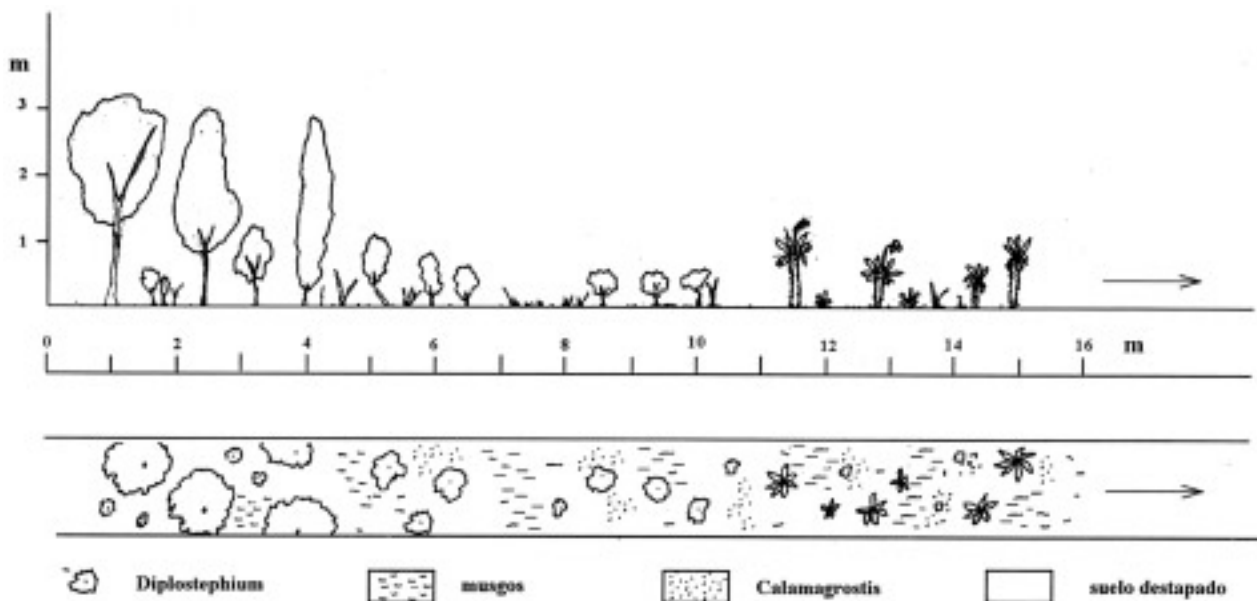


Figura 12 Un ejemplo simplificado de un transecto altitudinal de la vegetación.



Referencias bibliográficas

- BEKKER, R.P. & A.M. CLEEF, 1985. La vegetación del páramo de la Laguna Verde (Mun. de Tausa, Cundinamarca). Análisis Geográficos 14 (193 pp y mapa). Inst. Geogr. Agustín Codazzi, Bogotá.
- BOOM, A., G. MORA, A.M. CLEEF & H. HOOGHIEMSTRA, 2001. High altitude C_4 grasslands in the northern Andes: relicts from glacial conditions? *Rev. Palaeobotany & Palynology* 115:147-160. Elsevier.
- A.M. CLEEF, 1981. The vegetation of the páramos of the Colombian Cordillera Oriental. Tesis doctorado Universidad de Utrecht. También en: *El Cuaternario de Colombia*, Vol. 9. 320 pp. Laboratorio Hugo de Vries, Univ. de Amsterdam.
- CUATRECASAS, J., 1934. Observaciones geobotánicas en Colombia. *Trab. Mus. Nal. Cienc. Nat., Serie. Bot.* 27. Madrid.
- FERWERDA, W., 1987. The influence of potato cultivation on the natural bunchgrass paramo in the Colombian Cordillera Oriental. Informe 220, Laboratorio Hugo de Vries, Universidad de Amsterdam.
- FLOREZ, A., 1992. Los nevados de Colombia, glaciales y glaciaciones. Análisis geográficos 22:96 pp. Inst. Geogr. Agustín Codazzi, Bogotá.
- FLOREZ, A., manusc. Relación altitudinal de la temperatura del suelo y del aire en los Andes centrales de Colombia.
- GUTIÉRREZ, H.J., 2001. Aproximación a un modelo para la evaluación de la vulnerabilidad de las coberturas vegetales de Colombia ante un posible cambio climático utilizando SIG. Tesis de grado para optar al título de magíster. Instituto de Estudios Ambientales IDEA, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.D.C.
- HOFSTEDE, R., 1995. Effects of burning and grassing on a Colombian paramo ecosystem. Tesis doctorado, Universidad de Amsterdam. 200 pp.
- LINDER, W., 1993. Pérdidas en la masa de hielo en el nevado del Ruiz causadas por procesos climáticos y eruptivos durante los últimos 50 años. Análisis Geográficos 23. Inst. Geográfico Agustín Codazzi, Bogotá.
- LOZANO J., A. & PABÓN J.D. (Eds.), 1995. Memorias del seminario taller sobre alta montaña colombiana (Santa Fe de Bogotá, 13-15 de octubre de 1993). Colección Memorias, No. 3, Academia Colombiana de ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Santa Fe de Bogotá D.C., 114 p.
- PABÓN J.D., 1995. Aspectos globales y regionales del cambio climático y su impacto en la alta montaña colombiana. En: Memorias del seminario taller sobre alta montaña colombiana. Colección Memorias No. 3, Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Santa Fe de Bogotá D.C., p. 19-32.
- RANGEL, J.O. (Ed.), 2000. Colombia diversidad biótica III: La región de vida paramuna. Instituto de Ciencias Naturales-Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C., 902 pp.
- REYES P., MOLANO J., GONZÁLEZ F., CORTES A., RANGEL O., FLOREZ A., IRIARTE P., KRAUS E., (Eds.), 1995. El páramo, un ecosistema de alta montaña. Serie Montañas Tropoandinas, Vol. I. Fundación Ecosistemas Andinos, Santa Fe de Bogotá D.C. 168 pp.
- VAN DER HAMMEN, T., et al., 1983, 1984, 1989, 1995. Estudios de ecosistemas tropandinos, Vol. 1,2,3,4. Vol.5 en imprenta, Vol. 6 y 7 en elaboración. J. Cramer (Borntraeger), Berlin-Stuttgart.
- VAN DER HAMMEN, T., 1992. Historia, ecología y vegetación. Corp. Colombiana para la Amazonia "Araracuara" (COA). 411 pp.
- VAN DER HAMMEN, T., 1995. Dinámica del medio ambiente en la alta montaña colombiana, cambio global y biodiversidad. En: Memorias del Seminario Taller sobre alta montaña colombiana. Colección Memorias No. 3, Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Santa Fe de Bogotá D.C., pp.11-15.

- VAN DER HAMMEN, T., (ed.), 1995. Plioceno y Cuaternario del Altiplano de Bogotá y alrededores. *Análisis Geográficos* 24: 142 pp. Inst. Geogr. Agustín Codazzi, Bogotá.
- VAN DER HAMMEN, T., 1997. Cambios en el clima global: posibles efectos sobre la biodiversidad en Colombia. En: *Diversidad Biológica, Informe Nacional sobre el estado de la biodiversidad, Colombia*. Tomo II:p.170-178. Instituto Alexander von Humboldt, Ministerio del Medio Ambiente, Bogotá.
- VAN DER HAMMEN, T., 1997. Páramos. En: *Diversidad Biológica. Informe Nacional sobre el estado de la biodiversidad (Colombia)*, p.10-37 y 186-205. Instituto Alexander von Humboldt. Ministerio del Medio Ambiente, Bogotá.
- VAN DER HAMMEN, T., 1998. Plan ambiental de la Cuenca alta del Río Bogotá. Corp. Autónoma regional de Cundinamarca, CAR. 142 pp.
- VAN DER HAMMEN, T., & A.M. CLEEF , 1986. Development of the high Andean Paramo flora and vegetation. En: F. Vuilleumier & M.Monasterio, 1986: *High Altitude Tropical Biogeography*: p: 153-201. Oxford Univ. Press.
- VAN DER HAMMEN, T., & A.M. CLEEF, 1992., Holocene changes of rainfall and river discharge in northern South America and the El Niño phenomenon.
- VAN DER HAMMEN, T. & H. HOOGHIEMSTRA, 2000. Neogene and Quaternary history of vegetation , climate and plant diversity in Amazonia. *Quaternary Science Reviews* 19:725-742.
- VAN WEESENBEECK, B.K. & T.A. VAN MOURIK, 2000. Effects of afforestation with the exotic tree *Pinus patula* on a subparamo ecosystem in Colombia. Informe Hugo de Vries Laboratory, Univ. de Amsterdam.
- VERWEY, P.A., 1995. Spatial and temporal modelling of vegetation patterns; burning and grazing in the paramo of Los Nevados National Park, Colombia. Tesis doctorado Universidad de Amsterdam. Inst. Aerospace Survey and Earth Sciences, Publication 30: 216 pp.
- WALTER, H. & S.W. BRECKLE, 1983. *Oekologie der Erde*, Vol.I. Oekologische Grundlagen in globaler Sicht. UTB Grosse Reihe. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart- New York. 238 pp.
- WYMSTRA, T.A., S. HOEKSTRA, B.J. DE VRIES & T. VAN DER HAMMEN, 1984. A preliminary study of periodicities in percentage curves dated by pollen density. *Acta Botanica Neerlandica* 33 (4):547-557.