



Lineamientos para definir la vulnerabilidad y adaptabilidad de los ecosistemas continentales colombianos ante la Convención de Cambio Climático

Por Biocolombia

Coordinador del documento para el IDEAM: Heliodoro Sánchez, Hernando Chiriví y Rodrigo Rueda H. Autores: Germán Andrade, María Lucía Rosas, y Gonzalo Arango F.

Introducción

La Primera Comunicación Nacional de Colombia en el marco de la Convención de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (UNFCCC por sus siglas en inglés) desarrolla el inventario de fuentes y sumideros de gases efecto invernadero. Acogiéndose a las directrices técnicas del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) presenta, además, un aporte en lo que tiene que ver con el cambio del uso de la tierra y la silvicultura, así como una aproximación a la vulnerabilidad del país, según el modelo de cambio de varios escenarios bioclimáticos (Holdridge) y al mapa de coberturas de la tierra (IDEAM), a una escala 1:500.000.

Si bien esta aproximación aporta un acercamiento inicial, ilustrando las tendencias generales para visualizar el riesgo en que se encuentran los ecosistemas y la biodiversidad del país ante el cambio climático, el nivel de análisis alcanzado aparece como insuficiente. En especial por la gran heterogeneidad, diversidad y complejidad ecosistémica.



mica de Colombia. Un análisis que dé mejor cuenta de estos aspectos rebasa, por ahora, los niveles requeridos en el marco de la misma Convención, y las capacidades instaladas para este fin de manejo sistematizado de información de carácter espacial y relacional.

Sin embargo, dada la importancia de la biodiversidad de Colombia en el contexto mundial y la de los ecosistemas como sistemas de soporte de la vida humana, es imperioso avanzar en este sentido. Para ello, va a ser esencial contar con conceptos ampliados y mejores instrumentos, así como aumentar el nivel de resolución espacial, como soporte de la capacidad de previsión de estos cambios. Para dar un paso adelante en este sentido el IDEAM (2001) ha solicitado a varios expertos una aproximación al riesgo de cambio ecosistémico y de pérdida de la biodiversidad del país, así como sentar las bases para el perfeccionamiento futuro de esta tarea. El presente documento pretende aportar algunos lineamientos conceptuales en esta dirección, basándose en los siguientes parámetros, discutidos con el IDEAM y otros expertos consultados para el mismo fin.

- Revisión de las bases conceptuales y técnicas que han guiado los análisis de vulnerabilidad de los ecosistemas en el contexto global.
- Recopilación y edición de la información disponible sobre la riqueza de la biodiversidad del país, su patrón espacial de distribución general y la dinámica de los diferentes tipos de ecosistemas presentes en Colombia.
- Revisión de los criterios, instrumentos y metodologías aplicadas en el IDEAM para la aproximación al análisis de la vulnerabilidad de los ecosistemas del país.
- Recopilación de los conceptos y orientaciones actuales acerca del uso de la biodiversidad, como medio para monitorear el cambio climático.
- Elaboración de unas recomendaciones en aspectos conceptuales, metodológicos e institucionales para consolidar en el IDEAM, y en el marco del SINA, una capacidad dirigida al

monitoreo del efecto del cambio climático en los ecosistemas colombianos y la adaptación ante el mismo.

2.1 Antecedentes generales del tema

A partir de 1990 se realizaron algunas revisiones generales sobre los posibles efectos del calentamiento global sobre la diversidad biológica (Peters & Lovejoy 1992), los cuales trazaron las directrices que luego fueron aplicadas en el ámbito global y nacional en el marco del IPCC (McCarthy *et al.* 2001). El Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF por sus siglas en inglés) encargó la preparación de un documento que revisa el estado de conocimiento en relación con el calentamiento global y la biodiversidad terrestre (Malcolm & Markham, 2000). En general, en este tipo de aproximaciones la información presentada se refiere al efecto que el cambio climático, en especial el calentamiento global, puede tener sobre tipos de vegetación o ecosistemas y la distribución de especies individuales. El tratamiento en el nivel de tipos de biomas o ecosistemas se hace a través de procesos de modelamiento que simulan cambios en la distribución de la vegetación, en relación con los modelos generales de circulación atmosférica (GCMs por sus siglas en inglés). El análisis espacial se centra en los desplazamientos de las unidades de ecosistemas y el efecto de barreras naturales como océanos, lagos o efectos producidos por la actividad humana; aspectos que sirven para generar escenarios simulados de distribución futura de la vegetación o los ecosistemas. En particular se busca medir las tasas de migración que se imponen a las especies, y para este fin se definen las tasas de migración requeridas para que las especies puedan responder adecuadamente a los cambios (RMRs por sus siglas en inglés).

Lo anterior se constituye en referencia obligada para entender el efecto potencial del cambio climático sobre los ecosistemas colombianos. No obstante, los alcances de los efectos del mismo no están suficientemente desarrollados a la luz de los avances de las ciencias de la conservación, en especial de la biología de la conservación (*conservation biology*) y de la ecología de ecosistemas

(*ecosystem ecology*). El presente documento pretende aportar un marco de referencia inicial para la comprensión de los alcances del efecto que el cambio climático tendría sobre la biodiversidad del país, y establecer lineamientos para mejorar la capacidad de previsión y gestión de la adaptación al mismo. Se pretende desarrollar un argumento que relacione la alta diversidad biológica y ecosistémica del país, la complejidad de la estructura y funcionamiento de sus ecosistemas, la vulnerabilidad ante el cambio y la incertidumbre que plantea una gestión adaptativa. Así, para visualizar la magnitud de la tarea que significa prever los efectos del cambio climático en un país como Colombia, es necesario partir de la descripción y el análisis de los alcances de los modelos disponibles para los propósitos del presente ejercicio, luego la presentación descriptiva e interpretativa de la complejidad ambiental colombiana, expresada en su estructura ecológica general y su biodiversidad, y de la dinámica de funcionamiento de los ecosistemas.

2.2 Aproximaciones para predecir el cambio global

2.2.1 Paleoecología y biomización

Esta aproximación parte de la base “la clave del futuro (y presente) está en el pasado”. Se sustenta en la larga tradición de los estudios que buscan reconstruir la relación entre los cambios en la vegetación y el cambio climático en el pasado. La vegetación se reconstruye mediante la evidencia palinológica, esto es el polen fósil. En Colombia existe una especial tradición y base de información, gracias a los esfuerzos de varias décadas iniciados por el profesor Tomás Van der Hammen, la escuela holandesa del Instituto Hugo de Vries y la Universidad de Ámsterdam¹. En un principio los trabajos permitieron describir los cambios de la vegetación durante el Holoceno en referencia a los ecosistemas andinos. El trabajo luego se expandió hacia otros ecosistemas o regiones del país, y amplió su alcance temporal (6.000-18.000 BP) en el marco de un programa más ambicioso². La revisión de estos aportes para la comprensión paleoecológica del país y del norte de Suramérica está por fuera del alcance de este trabajo. El lector interesado se puede referir por ejemplo a la síntesis producida durante el reciente encuentro científico en

Instituto de Ciencias Naturales, de la Universidad Nacional de Colombia (Noviembre 2000). Algunos de los resultados puntuales presentados en esta instancia, serán referidos más adelante.

Las posibilidades de utilizar el pasado como clave para el futuro, en relación con el cambio climático antropogénico, fueron argumentadas por Van der Hammen (1993). El autor menciona que el cambio climático, junto con los movimientos tectónicos, es uno de los factores que influenciaron los cambios de vegetación en el pasado, mostrando además que el cambio global como tal no es asunto exclusivo del presente. Los efectos sobre la biota de estos fenómenos fueron de adaptación, migración, evolución y extinción. El balance general fue de creación de biodiversidad. Sin embargo, dado que en la actualidad la cobertura vegetal, según el mismo autor, está fuertemente fragmentada y el cambio climático se produciría en tasas mucho mayores que las del pasado, el resultado podría ser una extinción masiva de especies. Una forma de adaptación al mismo, de acuerdo con Hammer, sería la de conservar o restaurar grandes áreas silvestres a lo largo de los gradientes climáticos actuales (ver mas adelante).

2.2.2 Construcción de escenarios a partir de modelos de circulación global

Proyección de coberturas vegetales y zonas de vida de Holdridge

El Modelo desarrollado por H. Gutiérrez (IDEAM, 2001) para ser considerado como parte del desarrollo del informe de país, parte de las normas establecidas por el IPCC (por sus siglas en inglés). Considera una elevación media de la temperatura de 2,5 °C y una distribución de las lluvias tendientes a un ligero incremento de las precipitaciones repartidas de manera no uniforme sobre el territorio. El ordenamiento técnico del procedimiento es el sugerido por el IPCC y la información de base es aportada por el IDEAM. El procedimiento de espacialización de subregiones no corresponde a una discusión explícita del comportamiento (meso) climático.

Las principales conclusiones del trabajo de H. Gutiérrez, en tanto que se trata de un ejercicio de modelación, son el resultado del desarrollo de las

premisas. Se visualiza así el ascenso altitudinal de las Zonas de Vida de Holdridge en una tasa media de 452.5 m/2.5 °C. (tasa adiabática de cambio de 0.55 °C de temperatura media anual por cada 100 metros, aceptada como la media histórica). La conclusión que se desprende es que las zonas de vida de alta montaña serán las más afectadas al desplazarse en el rango altitudinal sus óptimos climáticos, y las zonas áridas de pequeña superficie que se desplazarán en sus óptimos hídricos.

Proyecto HERB (Ecología Hidrológica y Biodiversidad Regional)

El modelo desarrollado por Mulligan (2000) se basa en la ejecución de los modelos de circulación general HADCM2 (Hadley Centre Unified Model), ECHAM4 (Hamburg Model, DKRZ Model User Support Group), GFDRL15 (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory Model). El autor discute las condiciones iniciales, la conceptualización y la racionalización de las variables en cada uno de los modelos. Explica las limitaciones y alcances y efectúa las corridas bases para el territorio, exceptuando los extremos norte y sur del territorio (las zonas de los departamentos de La Guajira, Magdalena y Atlántico, sobre el Caribe, y la el departamento del Amazonas) para los modelos HADCM2 y ECHAM y el extremo oriental (Guainía y Vichada) para el modelo ECHAM. Presenta los resultados de las celdas de análisis para temperatura, precipitación, evapotranspiración potencial (ETP) y balance hídrico.

Los resultados señalan un calentamiento medio de 2.45 °C para Colombia con extremos en el norte, zona Caribe, y el este, Orinoquia. Las lluvias tendrán un incremento neto de 212 mm anuales pero estarían distribuidas de manera diferente a lo largo del territorio, esperándose un incremento en las zonas del Pacífico y Urabá, el Magdalena Medio y la Amazonia central. El calentamiento producirá un aumento medio de la ETP entre 395 y 486 mm anuales. El balance hídrico tendrá un aumento en el Magdalena medio y el Pacífico central y sur en el modelo HADCM2 y en el modelo ECHAM además de los anteriores, también para Urabá y la Depresión Momposina.

Con frecuencia el autor procede a efectuar un *downscaling* (acoplar los resultados del modelo general con datos a una escala más detallada local) centrado en la región de El Tambito (Cauca). El trabajo discute extensamente los resultados de otros investigadores en sus análisis y cita a Perry *et al* (1988) quién predice disminuciones entre -2.5% hasta de -5% en la cosecha de cereales para Colombia y entre el -5% al -10% para Ecuador.

World Wildlife Fund - WWF (Campaña de Cambio Climático)

El WWF desarrolló un trabajo para evaluar las predicciones climáticas en las regiones más sensibles del planeta en sus implicaciones para la conservación, para aportar una alerta temprana a los gobiernos y las ONG. El estudio presentado por el WWF para el análisis del cambio climático en los Andes del norte emplea el modelo de circulación general llamado MAGICC aplicado por la unidad de investigación climática (*Climatic Research Unit*) de la Universidad de *East Anglia*. Dicho documento presenta los diferentes escenarios y resultados del modelo de forma reducida, referidos al interés de la conservación. En resumen se presenta un calentamiento más acentuado hacia las zonas de Caribe, Orinoquia y Amazonia y menor hacia la zona Pacífica. Las precipitaciones tendrán un incremento importante en el Pacífico central y sur, y desde la zona sur Andina sur hasta la Amazonia central. Las partes más secas serán las zonas Caribe y Orinoco. Finalmente presenta una descripción corta de algunos de los impactos sobre la biodiversidad, especialmente en lo referente a la conservación de especies en peligro. Se trata de un ejercicio a una escala más general que el anterior.

Los tres anteriores coinciden en una elevación de 2.5 °C, el aumento de las precipitaciones en la Amazonia central, los Andes del sur y la Costa Pacífica central y sur, acompañadas de disminución en la zona Caribe y La Orinoquia.

2.2.3 Estudios del cambio de distribución de especies

Por medio de estudios puntuales, experimentales y de modelamiento de poblaciones se ha podido

encontrar evidencia sobre la relación entre las especies y el cambio climático global. Son muy frecuentes este tipo de estudios en el hemisferio norte, en especial en latitudes más altas. Se trata de investigaciones empíricas de campo, descriptivas, a partir de las cuales no siempre es posible relacionar concluyentemente el efecto del cambio climático, aunque la evidencia acumulativa resulta particularmente sugestiva en este sentido. En general entre los impactos potenciales del cambio climático sobre las especies se encuentran:

- Cambios en las áreas de distribución (movimientos latitudinales hacia los polos y altitudinales).
- Cambios en la abundancia.
- Cambios en la sincronización de eventos fenológicos (reproducción temprana, migraciones tardías).
- Cambios en la morfología (tamaño corporal), fisiología y comportamiento.
- Cambios en la composición de las comunidades y las interacciones bióticas. No existen en el país estudios que relacionen el cambio de distribución de especies ligado con cambios climáticos actuales. Hay alguna evidencia en relación con el cambio de la composición de la avifauna en la Sabana de Bogotá (Asociación Bogotana de Ornitología, 2000), la cual sin embargo no se puede atribuir todavía de manera objetiva al cambio climático.

2.2.4 Síntesis: alcances y limitaciones

El uso de los GCMs para predecir el cambio climático tiene aplicabilidad directa en el escenario global. A este nivel existe, no obstante, una falta de concordancia entre los diferentes modelos para predecir aspectos como por ejemplo la temperatura (Mulligan, 2000). Por este motivo, según este autor, los modelos deben ser tomados como escenarios, en vez de predicciones; es decir como indicadores del posible cambio. Los escenarios para modelar han sido desarrollados principalmente en las zonas templadas y, en menor medida, en los trópicos. La escala global es sin

embargo inapropiada para derivar de ella, en forma directa, escenarios a escalas más detalladas, regionales o de mesoclima. Por este motivo se han concebido métodos para transformar sus resultados a mayores resoluciones espaciales y temporales, mediante los procesos llamados de *downscaling*, para los cuales se utiliza información local (Mulligan, 2000). En estos procedimientos, las discrepancias entre los modelos globales son inclusive mayores.

En general, los modelos utilizados por Mulligan para el caso de Suramérica permitieron predecir bien los patrones generales de precipitación, pero fallaron en predecir la distribución de los principales regímenes de precipitación en el continente en su magnitud y estacionalidad. En el ámbito regional o mesoclimático existe en el país una gran variabilidad y complejidad de patrones climáticos, lo cual hace más complejos los procedimientos de *downscaling* para escenarios climáticos e hidrológicos integrados.

Algunas de los principales escenarios mesoclimáticos e hidrológicos desarrollados por este autor y que tienen importancia para entender la vulnerabilidad de los ecosistemas, se presentan más adelante.

Con relación a los modelos de proyección de coberturas vegetales, es claro que la vegetación es el factor que mejor define la estructura y función de los ecosistemas terrestres. Por esto el entendimiento de los efectos del cambio climático sobre la biodiversidad puede aproximarse de manera general, conociendo cuál sería la respuesta de la vegetación. De hecho, hay una estrecha relación metodológica entre la cartografía climática y la de ecosistemas; o incluso durante mucho tiempo ambas se identificaron completamente. El modelo de Holdridge, que es climático, ha sido usado como aproximación al mapeo de los ecosistemas. Las proyecciones de posibles escenarios de cambio climático sobre los ecosistemas, han sido trabajadas por medio del mapa de Holdridge y coberturas, con alcances y limitaciones inherentes al mismo modelo, a saber:

- El modelo de Holdridge tal como se ha usado representa la “primera aproximación” al estu-

dio de la vegetación, es decir a las condiciones climáticas que determinan su distribución. Esto es lo que se denomina la vegetación “zonal”. Si bien el modelo climático da cuenta de la estructura general de algunos de los ecosistemas del país, una buena proporción de la heterogeneidad de los mismos corresponde a condiciones de suelo, o “azonales”, las cuales no son tenidas en cuenta por el modelo.

- Una limitación inherente al modelo climático de Holdridge, es que se basa en valores promedios de temperatura y precipitación. Este procedimiento enmascara los efectos de estacionalidad, los cuales presentan una gran importancia en el funcionamiento real de los ecosistemas.

Las observaciones relacionadas con el cambio de la distribución de especies individuales, si bien son muy escasas, en conjunto son muy sugestivas a la posibilidad de ocurrencia del cambio. En especial con especies que presentan “respuestas tempranas” en su distribución, como las aves o las mariposas. La evidencia actual en el área de Bogotá con relación a las aves, apunta a que los cambios locales en el mesoclima de la ciudad estarían produciendo un cambio en la avifauna, con la invasión de especies propias de niveles altitudinales menores. Faltaría probar que esta es una tendencia más general en la estructura vertical de la avifauna andina, para sustentar mejor una hipótesis a escala global. Este tipo de monitoreo ambiental podría iniciarse mediante el seguimiento de especies o comunidades sensibles a las condiciones ambientales que serían modificadas por el cambio global. Un caso muy promisorio en este sentido sería el seguimiento de la vegetación y flora del superpáramo andino (ver numeral 2.7 pág. 39).

Para comprender el alcance y las limitaciones de los modelos anteriores en relación con la vulnerabilidad y adaptación de los ecosistemas colombianos, éstos deben ser vistos a la luz de una lectura del contexto general de la estructura espacial de la biodiversidad (síntesis biogeográfica), y el funcionamiento de los ecosistemas.

Recuadro 1 Algunos hallazgos generales sobre la relación entre biodiversidad y cambio climático

- Existen conjuntos grandes de especies capaces de adaptarse al cambio global, por migración y cambio de su área de distribución. Sin embargo, las tasas de ocurrencia del calentamiento global exceden la capacidad de migración de la mayoría de ellas.
- Las especies capaces de resistir pueden ser invasoras, por lo cual el efecto neto sería de pérdida y homogeneización de la biodiversidad global.
- En la medida en que avanza el cambio climático, se producirían pérdidas de tipos de ecosistemas y hábitat, o disminución de los mismos, con gran pérdida de biodiversidad.
- Entre mayor sea la conectividad entre ecosistemas (y el hábitat natural de las especies), mayor sería la capacidad de adaptación de la biota al cambio climático.
- Las regiones que en el pasado no han sido sometidas a la presencia de glaciares o perturbaciones similares, podrían verse afectadas de manera desproporcionada, dado que las especies que contienen no estarían (pre) adaptadas a cambios forzados en su distribución geográfica.
- Aun los escenarios más optimistas de cambio climático resultan particularmente severos frente a la limitada capacidad de adaptación de la diversidad biológica.

Recuadro 2 Hallazgos importantes de los escenarios para los Andes del norte (modificado de: <http://www.panda.org/climate/pubs/scenarios2b.cfm>)

- Aumento de la temperatura en 0.8 °C durante el siglo XX
- Aumento mayor de la temperatura nocturna que la diurna.
- Las heladas han descendido a alturas menores.
- Pérdida significativa de glaciares entre Venezuela y Perú.
- Calentamiento más rápido esperado en el altiplano andino.
- Perú, Ecuador y el sur de Colombia serían más húmedos, pero el norte de Colombia y Venezuela más seco.
- Sequía en las tierras bajas de la cuenca del Orinoco (Colombia y Venezuela).
- Las especies de plantas de gran altitud estarían amenazadas por el calentamiento.
- Aumento del nivel del mar en el Caribe.

2.3 Contexto biológico y ecológico de Colombia

2.3.1 Riqueza de especies

Colombia es considerada como uno de los países más ricos del mundo por su diversidad de especies y ecosistemas, esto es su biodiversidad. Sin embargo, la definición precisa de la magnitud de esta diversidad todavía se ve limitada por el grado de conocimiento.

A pesar del enorme trabajo de inventario básico de la biota que ha sido realizado en el país, todavía falta mucho para completarlo. Colombia ha sido considerado como uno de los países de Sudamérica menos conocidos en el campo de su flora (Forero, 1985), situación que a principios del siglo XXI, para muchos grupos de plantas, sigue vigente. Algunas de las regiones menos conocidas desde el punto de vista científico en el campo mundial, se encuentran dentro de los límites de Colombia. Entre ellas están las serranías de la formación Guayana (Haffer, 1967), y el piedemonte de los Andes tropicales. Sin embargo, en regiones mejor estudiadas, también se siguen describiendo especies nuevas.

A pesar de esta situación, la información actual permite ya afirmar que Colombia se encuentra en el selecto grupo de los 17 países que poseen la mayor cantidad de especies que han sido llamados de la “megadiversidad” (Cuadro 1).

Recientemente, en el marco de la iniciativa “Agenda Sistemática Siglo XXI (Instituto Alexander von Humboldt, 1999) se realizó una síntesis

más actualizada de la riqueza de la biota del país (Cuadro 2).

De las cifras anteriores emergen algunos patrones. La mayor diversidad biológica documentada corresponde ya al grupo de los invertebrados, a pesar de ser el grupo menos conocido. Es de esperar que las cifras de riqueza de especies en éstos, continúen aumentando.

En los insectos algunos grupos sobresalen por la gran diversidad y endemismo. Colombia es el país del mundo con mayor diversidad de mariposas diurnas, cuya riqueza se sitúa entre 3.000 (Andrade, 1991) y 3.500 (Vélez & Salazar, 1991; Constantino, 1995). Las especies de mariposas nocturnas pueden llegar a 45.000 (Constantino 1995).

Después de los invertebrados, las plantas representan el grupo más rico en la biota de Colombia. Desde hace años se ha estimado que Colombia tiene entre 45 y 55 mil especies de plantas (Forero, 1985; McNeely *et al.* 1990), cifra en extremo alta para un país de tamaño intermedio si tenemos en cuenta que todo el África subsahariana contiene apenas cerca de 30.000 especies y Brasil, que con una superficie 6.5 veces mayor, tiene 55.000 especies (*Conservation International*, 1991). El profesor Orlando Rangel de la Universidad Nacional de Colombia ha considerado sin embargo que estas cifras han “inflado” la riqueza real de la flora colombiana. Su trabajo de compilación de información (Rangel *et al.*, 1995) presenta, con base en 56.186 registros, 886 familias, 5.053 géneros y

Cuadro 1 Megadiversidad de Colombia (según Mittermeier et al.1997)

Categoría	Número de Especies	Número de Especies Endémicas (restringidas al país)	Puesto de Colombia en el Mundo
Plantas superiores	45.000 – 51.000	15.000 – 17.000	2
Mariposas	3.100	300	3
Anfibios	583	367	1
Reptiles	520	97	3
Aves	1.815	142	1
Mamíferos	456	28	3

Cuadro 2 Síntesis de la riqueza de la biota colombiana (Tomado de fuentes varias y Sistemática para el Siglo XXI, 2000)

Grupo biológico	Número de especies descritas para Colombia	Número máximo estimado	Fuente
Plantas en general	31.251	45.000-55.000	Rangel <i>et al.</i> 1994
Insectos	950.000		Varios autores
Arácnidos	19.36		Rangel <i>et al.</i> 1994
Mariposas diurnas	3.000		Andrade, M.G. 1991
Peces	25.000		Varios autores
Anfibios	582 (17 salamandras, 25 cecílicos y 540 anuros)	700	Ruíz <i>et al.</i> 1996
Reptiles	506 (total mundial 6.300)		Rangel <i>et al.</i> 1994
Aves	1.739		Alvarez -López (2001)
Aves	1.875		Salaman <i>et al.</i> 2001
Mamíferos	367	449	Cuervo-Díaz <i>et al.</i> 1986

31.251 “epítetos” específicos. En cualquier caso la riqueza de la flora colombiana es enorme.

En cuanto a la fauna de vertebrados, Colombia se coloca en el tercer lugar mundial, con aproximadamente 2.890 especies. La lista de mamíferos de Cuervo-Díaz *et al.* (1986) incluye 367 especies de existencia confirmada dentro del país (más del 7% del mundo) y otras 82 cuya existencia es muy posible, pues han sido reportadas cerca de los límites de Colombia. En esta lista sobresale la gran riqueza de murciélagos (155 especies, sexto lugar del planeta) y roedores (94 especies). Las 27 especies de primates registradas en el país representan un tercio de los primates de América tropical, cantidad únicamente superada por Brasil con 55 (MacNeely *et al.*, 1990).

Durante muchos años se ha afirmado que Colombia es el país del mundo con más especies de aves, y recientemente, gracias a nuevos estudios de campo, se han descrito varias especies nuevas llegando a la cifra base de 1.739 especies (Álvarez-López, 2001), aunque la lista podría incluso alcanzar las 1.875 como ha sido registrado por Salaman *et al.* (2001). Esto corresponde a cerca del 19% de todas las especies y el 60% de las de Sudamérica. De este conjunto entre 55 y 60 son endémicas o casi endémicas del país (Stiles, en IavH, 1998).

Los reptiles también han sido objeto de inventarios exhaustivos. Ayala (1986) realizó una lista actualizada de los lagartos (Saurios) con base en los ejemplares presentes en los museos, encontrando un total de 205 especies en el territorio colombiano, lista que ha venido aumentando con la descripción de nuevas especies. En total la riqueza es del orden de 520 especies.

Uno de los grupos zoológicos de mayor diversidad en Colombia son los anfibios. Sin embargo, en este campo el inventario está lejos de ser concluido. En total ya se han registrado 582 (Ruíz *et al.*, 1996) especies, lo cual representa más del 10% de anfibios del mundo.

Los peces, a pesar de su gran importancia económica, todavía son muy poco conocidos en nuestro territorio y existen extensas regiones, como la Amazonia y Orinoquia, donde los inventarios todavía pueden aportar nuevas especies o especies todavía no registradas. Las aguas continentales de Colombia podrían contener hasta dos tercios de las aproximadamente 3.000 especies de peces de América del Sur (Hernández, comunicación personal), o cerca de 1,000 especies (Valderrama, comunicación personal).

Con todo, a pesar de que el inventario sigue creciendo, es posible afirmar que el país contiene

entre el 10 y el 15 % de las especies de plantas y animales, en un territorio que no supera el 0,77% de las tierras emergidas del planeta (Hernández Camacho *et al.*, 1992).

Uno de los aspectos que hace especialmente vulnerable la biodiversidad del país es su patrón de distribución en el territorio colombiano. La complejidad de la distribución de la biota en el territorio se puede aproximar mediante dos criterios complementarios:

- Unidades biogeográficas (regiones, provincias y distritos *sensu* (Hernández-Camacho *et al.*, 1992) que describen las afinidades evolutivas más generales de la biota terrestre.
- Grandes tipos de biomas (Hernández-Camacho & Sánchez, 1992) o ecosistemas (Etter, 1993), los cuales corresponden a los patrones actuales de distribución de las condiciones ambientales que determinan su existencia.

A continuación se presenta una sinopsis de cada uno de ellos.

2.3.2 Regiones biogeográficas

La gran riqueza de especies de fauna y flora no está homogéneamente distribuida en el territorio colombiano. Se han denominado provincias o distritos biogeográficos a aquellas extensiones del territorio que poseen conjuntos característicos, y en ocasiones, únicos, de especies de fauna y flora.

El conjunto de especies que se encuentra al interior de una unidad de este tipo tiene más similitud en su interior, que con otra unidad adyacente. Además, los patrones de distribución de los conjuntos de especies contienen información sobre su historial evolutivo.

Hernández Camacho *et al.* (1992) presentaron una primera zonificación biogeográfica del país, con unidades (provincias y distritos) correspondientes a una percepción cualitativa sobre la afinidad de la biota que contienen. Las unidades están jerárquicamente organizadas en provincias y distritos (Cuadro 3).

La mayor cantidad de unidades biogeográficas (distritos) se encuentran en orden decreciente en la región andina (norandina), Chocó-Magdalena y el cinturón pericaribeño y la Amazonia, lo cual puede constituirse en una primera aproximación a la complejidad de los procesos de la biodiversidad.

Recientemente la misma definición basada en la afinidad de la biota ha sido aplicada al término “Ecoregion” (Dinerstein *et al.*, 1995), ampliamente usado para la planificación de la conservación en Latinoamérica. No obstante, el mapeo de las unidades de ecorregiones se basa en una combinación de factores ecológicos actuales (tipos de ecosistemas) e históricos (composición de la biota), en mapas de escalas muy generales, las cuales no mejoran el modelo biogeográfico del país ya disponible.

Cuadro 3 Síntesis del modelo biogeográfico del país (Según Hernández-Camacho *et al.*, 1992)

Provincia Biogeográfica	Número de Distritos
I. Territorios Insulares Oceánicos Caribeños (Archipiélago de San Andes Y Providencia)	3
ii. Territorios Insulares Oceánicos del Pacífico (Malpelo)	1
iii. Cinturón Árido Pericaribeño	8
iv. Macizo de La Sierra Nevada de Santa Marta	5
v. Provincia Biogeográfica del Chocó-Magdalena	20
vi. Provincia Biogeográfica de La Orinoquia	6
vii. Provincia Biogeográfica de La Guayana	5
viii. Provincia Biogeográfica de La Amazonía	6
ix. Provincia Biogeográfica Norandina	45

Las unidades biogeográficas, o ecorregionales, durante mucho tiempo permanecieron como intuitivas o especulativas, y solo recientemente el estudio de la distribución simultánea de conjuntos de especies ha sido abordado mediante la aproximación de la biogeografía cuantitativa por el grupo liderado por Thomas Walschburger, en las regiones de la Amazonia y el Chocó (Walschburger *et al.*, 1997). A continuación se presenta una síntesis descriptiva general de la riqueza de la fauna y flora en algunas de las grandes unidades biogeográficas del país.

Provincia biogeográfica del Chocó-Magdalena

Según Hernández Camacho *et al.* (1992), la provincia biogeográfica del Chocó-Magdalena contiene 20 distritos biogeográficos. Presenta condiciones climáticas extremas, con una extensión de 50.000 km² con más de 6.000 milímetros de precipitación anual, que en algunos lugares alcanza los 13.000 milímetros. En esta región, que se extiende desde Panamá al norte del Ecuador, se encuentra una de las mayores concentraciones de especies de plantas del mundo. Gentry (1986) estimó que alberga algunas de las comunidades de plantas más ricas del mundo (diversidad alfa), con 262 especies con más de 2.5 cm de diámetro en 0.1 hectáreas.

En conjunto, la selva del Pacífico colombiano puede tener hasta 11.000 especies de plantas vasculares. La riqueza de especies es muy alta sobretodo en las epifitas (25% de la totalidad de la flora).

La provincia biogeográfica es también muy rica en especies de fauna. Se le considera un centro de diversidad y endemismo de las mariposas, y en las vertientes exteriores de la cordillera andina existe la mayor concentración de especies y subespecies de mariposas diurnas endémicas (37% de 1.450, Constantino, 1995). También es notorio el endemismo en aves y mamíferos.

Provincia biogeográfica Norandina

Esta gran región, que incluye una enorme heterogeneidad de condiciones ambientales, alberga en un territorio, relativamente pequeño, una de las mayores concentraciones de especies de todo el Neotrópico y del mundo. Contiene entre 30.000 y 40.000 especies de plantas, cifra mayor de lo que

se encuentra en toda la cuenca Amazónica. Fjeldså y Krabbe, (1990) mostraron que las selvas húmedas de montaña de los Andes tropicales, que no cubren sino el 0.2% de la superficie de la Tierra, contienen cerca del 6.3% de las aves del mundo. La llamada ecorregión de los Andes del Norte (WWF, 2000) alberga una extraordinaria biodiversidad: con 490.000 km² contiene al menos la mitad de la diversidad biológica del Neotrópico, siendo un área 14 veces más pequeña que toda la Amazonia.

En Colombia la zona andina, incluyendo los piedemontes y valles, concentra sin duda la mayor cantidad de especies. Representa sólo entre el 20 y 25% de la superficie del país, y presenta una concentración de especies proporcionalmente superior en casi todos los grupos biológicos. También es importante el fenómeno del endemismo; según Hernández *et al.* (1992) esta región en Colombia puede subdividirse en 43 distritos biogeográficos.

Bastan unos ejemplos en las plantas. En las briofitas (musgos), el 93% de las 900 especies del país se encuentran en la región andina (Henderson *et al.*, 1991). La misma tendencia se encuentra entre las hepáticas, de las cuales el 80% de las especies está restringido a la zona andina. En las pteridofitas (helechos) en la región andina hay aproximadamente 1.500 especies, mientras que en la Amazonia de todo el Brasil, solamente 280. De las 93 especies de heliconias que han sido descritas en Colombia, el 74% se encuentran en la región andina; el 73% de las especies endémicas de este grupo, entre los 800 y 1.500 m (Betancur & Crees, 1995). En las palmas, de las 244 especies en el territorio continental de Colombia, el 52% (105 especies) se encuentra en los Andes por encima de los 1.400 metros; 29 de ellas son endémicas (Galeano, 1992). También tiene algunas de las zonas con mayor endemismo, como la vertiente occidental de la cordillera occidental, en donde hay 155 especies cuyas áreas de distribución no sobrepasan los 50.000 kilómetros cuadrados (Terborgh & Winter, 1982).

Algunos ecosistemas que tienen una diversidad de especies menor, poseen valores de diversidad relativamente altos, si se comparan con otros

Cuadro 4 Diversidad biológica en la Amazonia colombiana, por debajo de los 1.000 m

Grupo	Número de especies	% del Total de Especies de Colombia	Fuente
Anfibios	125-150	27	Ruiz <i>et al.</i> , 1996
Reptiles	153	30	Sánchez <i>et al.</i> , 1995
Aves	830	47	Rodríguez <i>et al.</i> , 1999
Mamíferos	115-125	34	Rodríguez <i>et al.</i> , 1999

de su tipo en el mundo. La cordillera oriental de los Andes en Colombia por encima de los 3.300 metros de altura, contiene 260 de los 300 géneros de plantas vasculares de alta montaña de Colombia (86%), representados en unas 700 especies, lo cual constituye la flora de alta montaña más rica del mundo (Cleef, 1981). Dentro de los frailejones (Espeletiinae) existen 130 especies en total, y la mayor concentración de especies se encuentra en la cordillera Oriental de Colombia (36 especies), Cuatrecasas (1986). El superpáramo es un ambiente que presenta una flora diferenciada. En la cordillera Oriental sólo se encuentra en el Cocuy y Sumapaz, y en parte en el páramo del Almorzadero (Van der Hammen & Cleef, 1986) con el 19% de su flora endémica.

Macizo de la sierra nevada de Santa Marta

La sierra nevada de Santa Marta representa un caso especial en el contexto de la biota de montaña de Colombia. Según Hernández Camacho *et al.* (1995), a pesar de su extensión, relativamente pequeña, contiene cinco distritos biogeográficos. Es un macizo aislado que cuenta con altos niveles de endemismo (entre el 40 y 60%, de su flora), el cual aumenta con la altura. En el páramo la casi totalidad de los elementos son endémicos. Entre las aves, 70 especies y subespecies son endémicas (Hernández Camacho *et al.* 1992). En los caracoles, 19 de las 31 especies son endémicas (Breure, 1984). El 100% de los anfibios de las tierras altas son endémicos, entre ellos ocho ranas *Eleutherodactylus*. También contiene mamíferos endémicos, tales como *Thomasomys navus*, *Proechimis mincae* y *Diplimys rufodorsalis*

Provincia biogeográfica de la Amazonia

El extenso territorio cubierto por selvas bajas, bañado por los ríos y tributarios que drenan hacia el río Amazonas y la prolongación de las selvas bajas hacia la cuenca vecina del Orinoco, constituye una de las mayores áreas silvestres continuas y alberga una proporción enorme de diversidad biológica (Cuadro 4.).

La región dista de ser uniforme, pues en ella confluyen elementos de varias regiones biogeográficas (Napo, Río Negro o Imerí) y sobresale el patrón insular de la biota que presenta afinidad con el macizo Guayanés (los llamados Tepuyes). Estos últimos hacen parte, según Hernández *et al.*, (1992), de una unidad biogeográfica diferenciada.

Cinturón árido pericaribeño

En Colombia las zonas secas hacen parte del cinturón árido del Caribe y de algunos valles interandinos secos donde las montañas forman barreras que interceptan la influencia de las masas de aire húmedas. Hernández Camacho *et al.* (1995), incluyen los enclaves xerofíticos como distritos de la Provincia Biogeográfica Norandina. En general se encuentran desde las tierras bajas, hasta los climas medios y fríos. En los valles interandinos en Colombia se encuentran formaciones xerofíticas en el río Pamplonita, Chicamocha, Alto Magdalena, Cauca y algunos cañones profundos secundarios. En las partes más altas hay enclaves secos en la región de Villa de Leiva y los alrededores de la laguna de La Herrera, en la Sabana de Bogotá. En los enclaves de las zonas bajas, la flora tiene afinidades con el área del Caribe, y en las altas con

los Andes secos centrales (Hernández Camacho, comunicación personal). Las zonas secas han sido tradicionalmente consideradas como de baja diversidad de especies, al ser comparadas con las húmedas. Esto, sin embargo, no es válido para todos los grupos. Mares (1992) analizó los patrones de diversidad de 883 especies de mamíferos de Suramérica, y encontró que las zonas secas (incluyendo formaciones xerofíticas, matorrales y sabanas) contienen mayor diversidad y endemismo de mamíferos en varias categorías taxonómicas, que los demás ecosistemas del continente.

Los enclaves xerofíticos tienen niveles altos de endemismo. En los vertebrados, el endemismo en las zonas secas es muy variable y no hay patrones válidos para todos los grupos. En el alto Magdalena por ejemplo, la avifauna típica de las formaciones xerofíticas y subxerofíticas está compuesta por 54 especies y aunque no existen endemismos, 21 son consideradas formas o subespecies diferentes (Haffer, 1967). Igualmente en los enclaves secos de los valles del Cauca y el Patía se encuentra una avifauna rica en subespecies endémicas (40%), mientras que en el cañón del Dagua solamente hay una subespecie endémica. Por el contrario, en la región seca alrededor de Cúcuta, no se encuentran especies o subespecies endémicas.

Hernández Camacho *et al.* (1995), no separan el bioma de bosque seco tropical como una unidad biogeográfica diferente. Gentry (1995) presentó una revisión comparativa de la riqueza florística del bosque seco tropical en las Américas, mostrando que en general tienen menor diversidad florística que las selvas húmedas (64.9 especies en 0.1 ha comparado con 152 especies en promedio en las húmedas de tierras bajas), pero con una alta diversidad característica. Sobresalen en este sentido los bosques secos de la serranía de Colosó, en los cuales hay una diversidad florística mayor (69 especies), la cual resulta de la presencia de elementos de bosques un poco más húmedos. Ceballos (1995) argumenta que el gran valor de los bosques secos tropicales no es tanto su alta biodiversidad, como las adaptaciones de su biota y el alto nivel de endemismo.

Uno de los aspectos biogeográficos de los bosques secos tropicales que más implicaciones para las políticas de conservación, es su alta complementariedad en términos del contenido de diversidad biológica, siendo cada uno de ellos irremplazable para el mantenimiento de la diversidad biológica del conjunto (Instituto Alexander von Humboldt, 1997). Esto quiere decir que entre los fragmentos actualmente existentes y estudiados existe una alta tasa de reemplazo de especies, o lo que es lo mismo, una similitud entre ellos relativamente baja.

Provincia biogeográfica de la Orinoquia

El estudio de la diversidad biológica ha recibido menos atención en las sabanas tropicales, probablemente debido a que este bioma ha sido tradicionalmente considerado como de baja diversidad, en relación con las selvas tropicales. Esta aproximación es equivocada, sobretodo si consideramos que la diversidad de los mamíferos de la sabana puede incluso ser mayor que la de la selva (Mares, 1992). Además el bioma de sabana está casi siempre atravesado por formaciones vegetales húmedas, como los bosques de galería o "matas de monte", las cuales aumentan la diversidad biológica del conjunto (Redford & da Fonseca, 1986). Este tipo de bosques representa además "corredores biogeográficos", pues han permitido la dispersión de la fauna típicamente amazónica, tanto al sur como al norte de su área de extensión continua. En general la gran heterogeneidad de ecosistemas en esta provincia biogeográfica, soporta concentraciones grandes de vida silvestre.

Sistemas acuáticos continentales

Colombia es considerado como uno de los países más ricos en recursos hídricos en el hemisferio, con unos 59 l/s/km, una longitud fluvial de 10.000 km y una superficie de 3'000.000 de has, incluyendo lagos, lagunas, embalses y pantanos (Donato, 1998). Hernández Camacho *et al.* (1995), no presentan una zonificación biogeográfica para la biota acuática continental. El tratamiento biogeográfico comprensivo de la biota acuática continental del país está todavía pendiente. La caracterización de las unidades biogeográficas de la biota acuática

continental no ha sido realizada, aunque análisis preliminares permiten mostrar a nivel macro la diferenciación de especies y conjuntos de ellas en las grandes cuencas de la Amazonia, Orinoquia, Catatumbo, Magdalena-Cauca, Sinú, Atrato y las cuencas del Pacífico (Naranjo *et al.* 1999), correspondiente a las grandes “Ecorregiones” de agua dulce de América (Olson *et al.*, 1997). En general, la riqueza de especies en estos ecosistemas presenta un patrón general decreciente entre la Amazonia y el Chocó para las zonas bajas, con algunos enclaves con concentración de endemismos en las región andina, especialmente el altiplano de Cundinamarca y Boyacá (Fjeldså, 1985).

2.3.3 Diversidad de Ecosistemas

El inventario y caracterización de la diversidad de los tipos de ecosistemas en los paisajes colombianos no es un tema nuevo. Dugand (1962) y Cuatrecasas (1958) desarrollaron los primeros sistemas de clasificación de la vegetación, con base en combinación de criterios fisonómicos y florísticos. Algunas diferenciaciones también se hicieron atendiendo más a criterios fitogeográficos. Actualmente se cuenta con el desarrollo más reciente de las escuelas fitosociológicas (Rangel *et al.*, 1994), que tratan de la descripción de comunidades, o sea conjuntos de especies característicos y recurrentes en algunas condiciones ambientales. Es interesante notar que con base en esta aproximación sintaxonomica, se han descrito en total 1050 tipos de comunidades vegetales caracterizadas por especies dominantes, de las cuales la mayoría (327 tipos) se encuentra localizada en la región andina del país (Rangel, 2000)

De forma independiente, con base en el modelo general original de Hernández y Sánchez (1992) y luego las aproximaciones de la escuela de Ecología del Paisaje, se cuenta hoy con una cartografía nacional a escala 1: 2'000.000, la cual integra en las grandes regiones del país los conceptos jerárquicamente subordinados de bioma, ecosistema y tipo de vegetación o flora dominante, y sirven de base para hablar de la “diversidad ecosistémica” del país (Etter, 1998). Actualmente dentro del mismo concepto, se viene desarrollando el mapa

de ecosistemas naturales o potenciales del país, y una caracterización más detallada de las áreas transformadas, o agroecosistemas. El IDEAM ha desarrollado de forma paralela un sistema de clasificación y mapeo de coberturas, el cual se presenta a una escala 1: 500.000³.

2.3.4 Riesgo de pérdida de la biodiversidad en Colombia

2.3.4.1 Generalidades sobre el proceso de extinción

La alteración de los ecosistemas y la disminución de las especies son procesos usualmente ligados y en conjunto producen la extinción. La extinción es causada por una combinación de presiones que actúan en el tiempo, e incluye una etapa de disminución de las especies producida por factores sistemáticos, tales como la pérdida de hábitat, seguida de una etapa en la cual imperan los factores aleatorios (demográficos, genéticos y ambientales), típicos de las poblaciones pequeñas y aisladas. El riesgo de pérdida de las especies es visto como la relación entre la vulnerabilidad de la misma (factores intrínsecos), tales como la densidad poblacional, el comportamiento y la variabilidad genética. Los factores externos se conjugan en la amenaza, tales como el deterioro y fragmentación del hábitat, la introducción de especies foráneas, la explotación directa, la contaminación (suelo, agua, atmósfera), la modificación del clima global, etc. Así, las especies que se encuentran en mayor riesgo de extinción, son por lo general las que tienen pequeñas áreas de distribución (especies endémicas), un tipo de hábitat único (con requerimientos restringidos de hábitat), se encuentran en áreas aisladas, y típicamente presentan bajas densidades poblacionales.

Con base en las características de vulnerabilidad y amenaza de las especies, la Unión Mundial para la Naturaleza (UICN) ha venido elaborando el listado de las especies que están en mayor riesgo de desaparecer a nivel mundial (lista roja). En esta lista, las especies están divididas en diferentes categorías así: extinta (EX); extinta en poblaciones silvestres (EW); en peligro crítico (CR); en peligro (EN); vulnerable (VU); en bajo riesgo (LR). Estas mismas categorías con algunas modificaciones se están aplicando a nivel regional en diferentes

países, para de esta forma identificar las especies con mayor riesgo a desaparecer en cada país.

2.3.4.2 Identificación de la biodiversidad colombiana en riesgo

La identificación de la biota nacional que se encuentra amenazada, o en peligro de extinción fue iniciada por Fernández (1978) con la primera lista de flora amenazada de Colombia, y por Hernández-Camacho con la primera lista de fauna amenazada (Hernández Camacho *et al.*, 1992). Estas listas presentaron aquellas especies que se encontraban, a juicio de los autores, en avanzado proceso de disminución de sus poblaciones. Los criterios usados van desde la presencia de ejemplares en las colecciones científicas, hasta evidencia cualitativa del estado de las poblaciones en el campo. Sin embargo, es posible que dada la gran riqueza de la biota colombiana, la complejidad de su estructura ecológica, y la fragilidad de sus ecosistemas, aunada a la gran transformación humana del paisaje, no solo un conjunto de especies, sino posiblemente una buena proporción de su biodiversidad original se puede encontrar en algún nivel de riesgo de desaparición (Andrade 1993).

Con el fin de determinar de manera menos subjetiva el avance del proceso de la extinción, la Unión Mundial de Conservación (UICN 1994) desarrolló un sistema para la aplicación de categorías de riesgo, con base en el conocimiento sobre el proceso de la extinción desarrollado por la biología de la conservación. Esta aproximación fue acogida en Colombia por el Instituto Alexander von Humboldt, entidad que inició en 1998 el proceso de elaboración de las “listas rojas” nacionales (Andrade & Franco, 1998), el cual se encuentra actualmente muy avanzado (Calderón, 1997) para las plantas y (Renjifo *et al.*, 2001) para las aves. Se espera en un futuro próximo el avance de listas similares para reptiles, anfibios, peces y algunos grupos de invertebrados.

El análisis sistemático de pérdida de ecosistemas fue inicialmente desarrollado por Etter (1993), luego pulido en el Informe sobre el Estado de la Biodiversidad (Etter, 1998), y complementado recientemente pro Márquez (2001). Solamente para

el caso del bosque seco tropical se ha realizado un análisis mas detallado de su desaparición con las implicaciones sobre su biodiversidad (IavH, 2000). En el nivel genético, no existe una aproximación, así sea preliminar, al asunto de la pérdida de la diversidad en el país.

Recuadro 3 Diversidad y Complejidad

El recuento de la diversidad biológica del país, en especial la presentación de las cifras que colocan a Colombia en los primeros lugares del mundo en términos de riqueza de especies, además del interés intrínseco que tiene, presenta algunas implicaciones. Se trata de un país con una biota cuya estructura espacial de distribución es muy compleja. La gran cantidad de unidades biogeográficas demuestra la complejidad del historial evolutivo de la biota. El conjunto de ecosistemas en los cuales esta biota se encuentra actualmente organizada, denota la alta complejidad de las condiciones físicas (topográficas, climáticas) actuales que la soportan. Al interior de los grandes tipos de ecosistemas, las especies se encuentran asociadas en comunidades bióticas, en ocasiones muy ricas y diversas, en otras con diversidades menores, pero características y altas para su tipo. Esta complejidad se puede notar por el gran número de asociaciones vegetales que son descritas siguiendo los conceptos de la fitosociología. La alta diversidad de especies, en especial la alta diversidad de las funciones que cumplen, produce comunidades bióticas con niveles diferentes de estabilidad funcional. En suma pues, la situación de base de la biota colombiana frente a los posibles cambios ambientales producidos por el calentamiento global, es de una alta complejidad en estructura espacial y temporal a diversas escalas (complejidad anidada), respondiendo a procesos del orden histórico evolutivo y ecológico. La pregunta en este momento sería de qué manera esta complejidad estructural presenta implicaciones sobre la vulnerabilidad de los ecosistemas y la posibilidad de adaptación de la sociedad ante estos eventuales cambios.

2.4 Marco conceptual para el análisis de la vulnerabilidad de los ecosistemas

Los términos amenaza, vulnerabilidad, riesgo o peligro, cuando son aplicados a los fenómenos de la pérdida de biodiversidad, conllevan en el uso corriente una gran ambigüedad, por lo cual se hace necesario definir un significado preciso para los mismos. Incluso, en última terminología adoptada por la Unión Mundial de Conservación (UICN) se

pueden presentar todavía ambigüedades semánticas, toda vez que no separa claramente la incidencia de factores externos e internos como factores que inciden en la disminución de las especies (Calderón, comunicación personal).

2.4.1 Evaluación de riesgo

Uno de los principios generales del enfoque ecosistémico adoptado en el marco del Convenio de Diversidad Biológica (CDB) define que “el cambio es inevitable⁴”, en especial, porque hace parte inherente de los procesos dinámicos de los ecosistemas, así como de la influencia humana. Es posible que frente al cambio climático, la situación sea que ya no es posible evitar su ocurrencia, sino solamente disminuir su intensidad y retrasar su expresión mitigando sus causas, y procurando en todo caso la mejor adaptación posible al mismo. En este sentido se trata de:

- Prever el riesgo de ocurrencia del cambio, en tanto ejerce un efecto negativo en los ecosistemas.
- Valorar la importancia de este cambio, en relación con los objetivos previos de manejo ambiental que reflejan deseos de la sociedad.

Se buscaría así determinar para cuales funciones de los ecosistemas existen umbrales de cambio inaceptables, sea porque la adaptación a estos niveles es imposible (por la gravedad de los procesos) o por su costo. En general se considera el riesgo de cambio como una función de un factor externo o amenaza (a) y uno interno o vulnerabilidad (v) del aspecto afectado, según la expresión:

$$R = v * a$$

En el caso del cambio climático, por recomendación del IPCC se han asumido varios escenarios que corresponden a proyecciones optimistas, moderadas y pesimistas que dependen del tiempo de ocurrencia de la duplicación del CO₂ en la atmósfera, procedimiento que ha sido aplicado en Colombia por el IDEAM (Gutiérrez 2001), con importantes alcances y algunas limitaciones. El presente documento contribuye en este proceso, a mejorar la definición conceptual y técnica del riesgo, profundizando el tema de la vulnerabilidad, con base en la información disponible sobre la dinámica de los ecosistemas del país.

Es evidente que contar con una aproximación a la vulnerabilidad de los ecosistemas resulta esencial, toda vez que el riesgo de cambio ecosistémico no será solamente una función de la probabilidad de ocurrencia del mismo en los escenarios estudiados (tema que siempre es enfatizado en el marco de las discusiones), sino una función de la vulnerabilidad de los ecosistemas. En otras palabras, aun en escenarios de baja amenaza, el riesgo de cambio puede ser alto en ecosistemas altamente vulnerables. Conocer la vulnerabilidad de los ecosistemas con el suficiente detalle y resolución es condición esencial, no tanto para mitigar el cambio climático (aunque también mejora esta capacidad), como para definir los mecanismos de adaptación al interior del país ante el mismo. Este tipo de aproximaciones han sido desarrolladas de manera general en el ámbito global (McCarthy *et alv.* 2001). Un avance sustancial de este tema en el ámbito nacional permitiría elevar la conciencia y capacidad de negociación política, toda vez que una alta vulnerabilidad mejor documentada nos situaría muy posiblemente en el conjunto de los países más afectados por este fenómeno.

2.4.2 Funciones de los ecosistemas pertinentes para el ejercicio

Se trata en este aparte de identificar de manera general las principales funciones de los ecosistemas, que presentan mayor importancia para la sociedad, y sobre las cuales sea necesario prever medidas de adaptación. Las funciones tratadas a continuación se presentan de forma separada solamente para los fines del análisis, y representan aspectos interrelacionados de forma compleja.

Ciclos bio-geoquímicos

Una de las principales funciones generales de los ecosistemas es el papel que cumplen como soporte y medio para los ciclos de elementos químicos y nutrientes en los seres vivos. En los ecosistemas terrestres estos ciclos se manifiestan principalmente en la captura y acumulación de elementos vitales en el suelo –como un sistema ecológico- y en la misma biomasa vegetal y animal –como elementos vivos de los ecosistemas- todos ellos interrelacionados en las cadenas alimenticias. Una de

las funciones vitales de los ecosistemas que deberá ser evaluada, es el papel que cumplen en la formación y mantenimiento de los suelos. En este aspecto, el suelo debe ser considerado no como un sistema aislado, sino como parte de un ecosistema. Así, la función de soporte vital que cumplen los suelos depende del funcionamiento de los ecosistemas. En algunos casos los suelos representan una “herencia” de condiciones ecosistémicas pasadas (como es el caso de los suelos lacustres), mientras que en las selvas húmedas tropicales, la fase orgánica de los mismos está directamente ligada con la estructura del ecosistema actual en su conjunto. Ambas situaciones presentan implicaciones diferentes en cuanto a su uso. Las funciones biogeoquímicas dependen pues del conjunto de características ambientales del ecosistema original en que se forman o mantienen los suelos, o del mismo transformado. Estas podrían ser en principio de importancia la temperatura y la humedad de los suelos. Se hace necesario pues prever de alguna manera los efectos potenciales que sobre la dinámica del mismo pueda tener el cambio global. Lamentablemente la información disponible sobre la dinámica de los suelos en el contexto de los ecosistemas, es muy limitada.

Una situación diferente se presenta con relación a los ciclos biogeoquímicos en los ecosistemas acuáticos continentales, los cuales presentan en este aspecto funciones particulares. Los ríos son sistemas “conectores”, esto es que trasladan geográficamente nutrientes y elementos químicos a través de las cuencas. Los humedales por su situación topográfica, y por su carácter de trampas de sedimentos acumulan nutrientes, y resultan en funciones depuradoras de los sistemas fluviales aguas debajo de los mismos. En conjunto, las funciones biogeoquímicas y las hídricas se presentan integradas.

Ciclos hidrológicos y regímenes climáticos

Los ecosistemas cumplen un papel importante en el ciclo hidrológico y en los regímenes climáticos, en escalas que van de lo global a lo local. Algunos de ellos, como las selvas nubladas o los páramos, intervienen en la captación misma del agua atmos-

férica, aumentando localmente la disponibilidad del líquido ofrecida por los eventos de precipitación (Cavelier & Goldstein, 1989). Otros como las grandes selvas, juegan un papel en la circulación del agua atmosférica en los continentes (Salati & Vosi, 1984).

Los ecosistemas influyen también en la regulación climática en escalas regionales y locales (meso y microclimas), en especial por el papel que cumplen en el control de la humedad y temperatura a través de los procesos de evapotranspiración, y del ciclo hídrico. En las vertientes húmedas andinas, la función hidrológica de los ecosistemas es primordial, de la suerte que la deforestación produce escenarios de grave riesgo ambiental (Mulligan, 2000). En la Amazonia brasilera se ha demostrado ya que la deforestación en áreas grandes, produce un cambio en los patrones climáticos, pues la disminuida evapotranspiración del bosque se ve reflejada en menor precipitación, efecto más notorio en las áreas norte y sur, y en las épocas secas (Jean *et al.* 1996). Este tipo de cambios de algunos factores climáticos, en la precipitación, es posible que se estén produciendo en algunas regiones del país debido a la deforestación extensiva, en especial en la zona del Caribe.

Funciones bióticas

Más allá de las funciones físicas de los ecosistemas, éstos por definición mantienen las condiciones que permiten la vida y mantenimiento de las especies de la flora y la fauna. En un país tropical como Colombia, la biodiversidad continental está asociada con el mosaico de ecosistemas producto de la heterogeneidad de las condiciones físicas. Si bien algunos tipos de ecosistemas presentan diferencias notorias en cuanto a la riqueza de la biodiversidad que albergan –es decir algunos son mucho más diversos que otros– cada uno posee una diversidad que le es característica, y el conjunto de todos representa la diversidad total. Con todo, la mayoría de su biodiversidad terrestre –aunque no toda– está asociada con ecosistemas forestales (ver por ejemplo Hernández Camacho *et al.*, 1992). En especial los complejos de ecosistemas asociados con

los grandes gradientes climáticos en las vertientes andinas. También una proporción mayor de la biodiversidad ocurre o depende en alguna medida de los ecosistemas de aguas continentales (Naranjo *et al.*, 1999). El otro gran conjunto de biodiversidad del país está asociado con los ecosistemas marinos y costeros.

La diversidad biológica del país, en especial la terrestre, si bien presenta su mayor riqueza y nivel de estructuración en los ecosistemas naturales, o sea los que presentan un nivel menor de afectación humana, también presenta gran importancia en los sistemas transformados. Algunos agroecosistemas, como por ejemplo los bosques de café de sombra, presentan niveles muy altos de diversidad biológica equiparables a algunos ecosistemas naturales (Perfecto *et al.* 1996). Incluso en sistemas altamente artificiales, como algunos monocultivos comerciales o los mismos sistemas urbanos, la biodiversidad no es nula, y tiene su manifestación e importancia social.

Funciones económicas y sociales

Con excepción de los recursos naturales llamados no renovables (minería e hidrocarburos), prácticamente todo el sistema productivo primario del país reposa sobre la estructura, composición y funcionamiento de sus ecosistemas. Es decir, que la biodiversidad tiene también una “naturaleza económica” (Baptiste & Hernández, 1998). Algunos sistemas productivos se basan directamente en la extracción de productos de ecosistemas naturales (pesquerías, explotación de maderas tropicales, por ejemplo). Gran parte de la ganadería del país se desarrolla sobre la base de ecosistemas naturales (páramos, sabanas naturales); otros sistemas se basan en la productividad primaria de sistemas altamente transformado como la agricultura. Una proporción mayor de la economía del país se basa en el uso directo de la biodiversidad (*sensu lato*), de la cual una parte está representada por recursos genéticos nativos. Estos se encuentran en todas las regiones biogeográficas y ecosistemas del país. Sin embargo, sobresalen algunas regiones que son especialmente ricas en recursos filogenéticos. La Amazonía es rica en variedades de yuca (*Manihot*)

y la región andina, como parte de los Andes tropicales húmedos, es un reservorio sobresaliente y de gran utilidad e importancia global, en especial en los géneros *Carica*, *Cyphomandra*, *Eritrina*, *Inga*, *Juglans*, *Passiflora*, *Phaseolus*, *Physalis*, *Psidium*, *Rubus* y *Solanum* (Debouk & Libreros, (1995). En general en los agroecosistemas que se presenta un gradiente en la ocurrencia *in situ* de acervos genéticos, la cual aumenta desde los paisajes rústicos y culturales hacia las áreas silvestres, estableciéndose una continuidad genética en el ámbito del paisaje (Debouk, comunicación personal.).

Un aspecto importante de los ecosistemas, es la calidad ambiental que influye en la salud de la población humana. Es bien sabido que existe una relación entre aspectos del clima (temperatura y precipitación principalmente), en la distribución de patógenos, y en la variabilidad climática temporal, y los procesos epidemiológicos. Recientemente fue probado, por ejemplo, que los cambios en las oscilaciones del El Niño han permitido predecir años de alto riesgo en la expansión de malaria en el país (Bouma *et al.*, 1997). Este tipo de situaciones podrían acentuarse en un escenario de cambio climático global.

Funciones “no materiales”

Por ultimo, mas allá de las funciones materiales, o de uso directo de la naturaleza, los ecosistemas proveen valores “no materiales” (*sensu Putney*, 2000) para la sociedad. Estos están representados en valores que soportan la identidad, la recreación, la contemplación y el conocimiento y la experiencia vital misma, que -aunque tienen manifestaciones económicas- no pueden ser reducidas a éstas. En general, el carácter multiétnico y pluricultural del país, esta esencialmente ligado con la diversidad geográfica, ecológica y biológica. Gran parte de las manifestaciones culturales, y de los sistemas de adaptación de los grupos étnicos, representan una apropiación y manejo cultural de la diversidad biológica, con particularidades en las diferentes regiones. Para el conjunto de la sociedad nacional, la biodiversidad es un bien patrimonial, que sustenta la identidad de un pueblo y que está representado en sus especies (el cóndor de los Andes,

la orquídea catleya, la palma de cera) o en sus ecosistemas emblemáticos.

2.5 Vulnerabilidad de los ecosistemas

2.5.1 Resiliencia y vulnerabilidad

Los ecosistemas no son entidades estáticas, sino en permanente cambio. Durante mucho tiempo prosperó un concepto según el cual los ecosistemas presentaban tendencias de desarrollo en el tiempo, que los llevaban a alcanzar situaciones de equilibrio o “clímax”. Actualmente se reconoce que, a diferencia de un estado de equilibrio estático y predecible, los ecosistemas tienden a alcanzar estados crecientes de auto-organización dinámica, en equilibrios metaestables, lejanos de las condiciones del equilibrio. Una de las características principales de los sistemas organizados y complejos, es su capacidad de resistir al cambio. Se denomina resiliencia, la capacidad que tienen los ecosistemas de retornar a un estado similar al inicial, después de una perturbación. La vulnerabilidad sería pues un factor inverso a la resiliencia; es decir que mayor es la capacidad de un ecosistema de retornar a un estado de pre-perturbación, menor es su vulnerabilidad a la exposición ante el mismo⁵. La resiliencia sin embargo es un fenómeno característico en relación con los factores de perturbación de ocurrencia normal en un mismo tipo de ecosistema.

2.5.2 Regímenes de perturbación natural y vulnerabilidad

A la luz de la teoría ecológica reciente, las perturbaciones no se consideran como factores externos (que los afectan en mayor o menor grado dependiendo de su resiliencia), sino constitutivos de los ecosistemas. Las especies a lo largo de su historial evolutivo han desarrollado mecanismos adaptativos ante las perturbaciones. Incluso, la adaptación ha llegado a que algunas especies puedan ser consideradas “portadoras” de los factores de perturbación del ecosistema para favorecer su permanencia, como sucede en las sabanas pirófilas. En el ámbito ecológico, la capacidad de respuesta de las poblaciones que conforman un ecosistema ante las perturbaciones, varía entre ellas. Las perturbaciones han sido por este motivo factores que han

ejercido presiones de selección en las poblaciones, y han dado forma a los ecosistemas.

Los factores de perturbación natural que actúan sobre los ecosistemas pueden ser físicos o bióticos, y se manifiestan en diferentes escalas espaciales y temporales.

Recuadro 4 Estabilidad y Resiliencia (modificado de McCannan, 2000)

La relación entre diversidad biológica y estabilidad en los ecosistemas, ha fascinado desde tiempo atrás a los ecólogos. Antes de los años 70 la idea común era que entre diversidad y estabilidad existía una relación positiva simple. La evidencia empírica mostraba que, por ejemplo, comunidades más simples, eran más susceptibles a invasiones de especies exóticas. Sin embargo, el desarrollo posterior de los modelos de ecología matemática de R. May, sugería justamente lo contrario. Como resultado, se lanzo toda una nueva generación de investigaciones tendientes a aportar nueva evidencia proveniente del mundo real. La primera idea nueva con la que contamos en este debate dice que la diversidad y la estabilidad pueden estar relacionadas sí, pero no en todas las escalas espaciales. La cuestión es más pertinente en el nivel de las comunidades bióticas, escala en que se manifiestan con más fuerza las interacciones entre las especies. En este nivel, cada especie presenta una respuesta posiblemente diferente ante una perturbación, por lo cual la resiliencia del sistema se aumentaría mediante un efecto en el cual se promedian las respuestas individuales. Igualmente la desaparición eventual de una especie (y por lo tanto de la función que ésta cumple) se vería compensada con mayor probabilidad en comunidades más diversas, que en comunidades simples (efecto de redundancia). La segunda nueva idea es que la diversidad se refiere en este sentido no tanto con el número de especies per se, sino más bien con la diversidad de las funciones ecológicas que cumplen (complejidad de las interacciones bióticas). Así, aunque el debate sigue abierto, es claro por ahora que las comunidades bióticas más diversas, tienen el potencial de responder mejor ante perturbaciones, que las que son menos diversas. Con todo, es necesario tener en cuenta la escala espacial y temporal, y precisar que se trata de las perturbaciones típicas del ecosistema, en cuanto a magnitud, intensidad y frecuencia de ocurrencia; lo que implica que la mayoría de las perturbaciones de origen humano, incluyendo el cambio climático, quedan por fuera de esta consideración.

Cuadro 5 Ejemplo de factores de perturbación natural en los ecosistemas

Factores Físicos:
<ul style="list-style-type: none">▪ Vulcanismo.▪ Tectónica.▪ Glaciaciones.▪ Inestabilidad geomorfológica: derrumbes, movimientos en masa.▪ Clima: huracanes, tormentas, heladas.▪ Fuego.
Factores bióticos
<ul style="list-style-type: none">▪ Parasitismo.▪ Competencia.▪ Depredación.

El resultado del balance final de las perturbaciones determina la capacidad de respuesta del conjunto, esto es la resiliencia del ecosistema. Connel y Slatyer (1977) presentaron un modelo general que muestra los patrones de sucesión como respuesta de un ecosistema a perturbaciones que dependen de la magnitud e intensidad de ocurrencia. Una versión adaptada se presenta en el cuadro 6.

Cada tipo de ecosistema tiene unos factores y regímenes de perturbación característicos. Los factores y procesos de perturbación natural característicos de los principales tipos de ecosistemas continentales colombianos, se presentan mas adelante. Para cada tipo de ecosistema existen umbrales de magnitud e intensidad de perturbación (y frecuencia de ocurrencia), mas allá de los cuales se produce un cambio cualitativo, y el sistema deriva hacia otro estado de equilibrio meta estable. Los rangos espaciales y temporales en que se manifiestan las perturbaciones, pueden asimilarse con los diferentes estados de equilibrio; proceso que es mas claro visto desde una perspectiva histórica. Los estados de equilibrio de un mismo sistema que involucran menos elementos (menor biodiversidad), o que son energéticamente mas simplificados, usualmente se denominan como degradados. La Figura 1 presenta de manera esquemática la relación entre las diferentes escalas espaciales y temporales en que se manifiestan las perturbaciones, y los estados de equilibrio de los ecosistemas.

2.5.3 Factores tensionantes y vulnerabilidad

La vulnerabilidad intrínseca de los ecosistemas varía cuando éstos han sido objeto de modificaciones humanas. Separar el efecto de las acciones antrópicas y los procesos naturales en los ecosistemas resulta, sin embargo, una tarea virtualmente imposible. Incluso algunos autores dudan de la validez misma del concepto de ecosistema “natural” (Smith, 1996), dado que prácticamente todos los ecosistemas han estado sometidos a perturbaciones de origen antrópico. Esta situación es notoria en las extensas punas en los Andes centrales, las cuales aparentemente son una forma de degradación extensiva de antiguos bosques de *Polylepis* (Elleberg, 1979), situación que podría aplicarse a páramos herbáceos y a las sabanas tropicales.

Con todo, es posible identificar cuales han sido los cambios en la magnitud, intensidad y frecuencia de ocurrencia de los factores de perturbación en un ecosistema dado, frente a un régimen natural de perturbación del mismo, y en especial identificar los umbrales de cambio irreversible. Algunas de las perturbaciones de origen antropico están integradas a la dinámica misma de los ecosistemas naturales. Este es el caso de la agricultura indígena tradicional itinerante en la selva tropical de la Amazonia colombiana (Andrade & Rubio, 1994). Es más frecuente que las perturbaciones hagan derivar a estados diferentes. Muchos ecosistemas se encuentran en gran parte modificados por las acciones humanas, más allá de los umbrales que representan los regímenes de perturbación naturales. Cuando este régimen de perturbación es tan fuerte, que el ecosistema no puede asimilarlo, se dice que se encuentra sometido a un factor tensionante (o de estrés). Cuando el estrés es alto, el efecto del cambio climático sobre la biodiversidad de los mismos pueda alcanzar niveles catastróficos. Los factores tensionantes más comunes en los ecosistemas tropicales, se presentan a continuación.

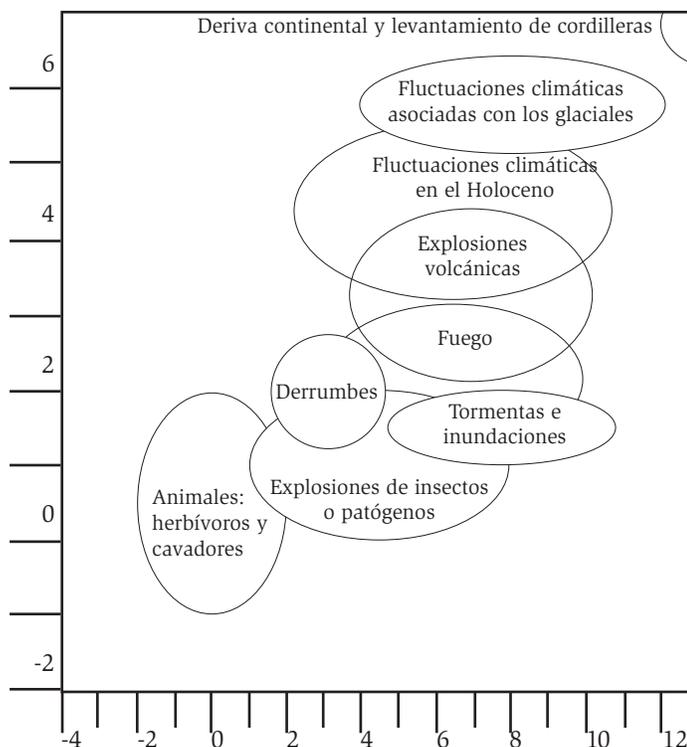
Disminución de área o fragmentación

Muchos ecosistemas han sido reducidos de forma tal en su área, que su composición y propiedades funcionales no pueden mantenerse. Durante mucho tiempo, como resultado de la formulación de la

Cuadro 6 Efecto de la perturbación sobre la dinámica general de los ecosistemas. Intensidad relativa de la perturbación

		Extrema	Baja
Tamaño relativo del área perturbada	Grande	Se produce una sucesión que recupera el ecosistema en escalas temporales muy grandes. En escalas temporales humanas, se observan sucesiones de “comunidades de reemplazo” (<i>sensu</i> Ellemberg 1979), con ecosistemas degradados y altamente antropizados. Alta pérdida de biodiversidad.	Produce una degradación del ecosistema, sin cambio fisonómico severo del mismo. Es el caso de la degradación de los bosques por tala selectiva, o el efecto del pastoreo en sabanas naturales. Usualmente la pérdida de biodiversidad es menor.
	Pequeña	Usualmente es el tipo de perturbaciones que hacen parte de la dinámica de un ecosistema. Son los incendios, deslizamientos en las vertientes andinas, etc. Estas perturbaciones generan heterogeneidad de hábitats, y mantienen la diversidad beta.	Usualmente es el tipo de perturbaciones que hacen parte de la dinámica anual de un ecosistema. Son los claros naturales en los bosques. Estas perturbaciones mantienen la diversidad. (alfa).

Figura 1 Relación entre las diferentes escalas espaciales y temporales en que se manifiestan las perturbaciones, y los estados de equilibrio de los ecosistemas.



“teoría de la biogeografía insular”, se trató de buscar cual era el tamaño mínimo crítico de los diferentes tipos de ecosistemas, buscando maximizar en los procesos de conservación la relación área-número de especies. Con el tiempo se ha hecho evidente que no existe un tamaño mínimo crítico como tal, sino un gradiente de pérdida de funciones y valores ambientales de los ecosistemas, conforme disminuye su tamaño y aumenta su fragmentación. Existen sin embargo órdenes de magnitud de tamaños y umbrales de pérdida de funciones tales como mantenimiento de la biodiversidad, cuyo conocimiento para cada tipo de sistemas es muy importante para la planificación de su conservación. Este tipo de información existe para las selvas tropicales y las selvas andinas y subandinas (trabajos de Kattán y Álvarez, y Renjifo, más adelante). Para muchos tipos de ecosistema tropical no hay información básica sobre las relaciones entre diversidad y área. Igualmente la pérdida de biodiversidad no solo se produce en relación con el tamaño de los fragmentos, sino del contexto ecológico del paisaje.

En general puede afirmarse que entre menor sea la superficie de un tipo de ecosistema en relación con su extensión original, mayor será su vulnerabilidad. Igualmente entre mayor sea el grado de fragmentación menor será su resiliencia y mayor su vulnerabilidad. La fragmentación puede medirse como la relación entre el número de fragmentos y el área total, la distancia de los mismos, o la relación entre borde y el área abarcada. La fragmentación puede calcularse mediante índices, e integrarse como un descriptor en los modelos cartográficos. Los índices de fragmentación únicamente tienen sentido biológico al ser aplicados a ecosistemas originalmente continuos y en los cuales la relación área-especies es factor relevante.

La pérdida de área y la fragmentación son consideradas actualmente como el mayor factor tensionante en los ecosistemas tropicales. La fragmentación de los ecosistemas es el principal factor que limita la posibilidad de adaptación ante escenarios de cambio climático global, porque limita la viabilidad de fragmentos, afecta la composición de las

especies en el borde por los factores tensionantes, y limita la dispersión de organismos entre ellos.

Degradación

Muchos ecosistemas tropicales sufren perturbaciones que no se manifiestan directamente en pérdida de área, y transformación total del ecosistema (como en la deforestación por ejemplo) sino en un cambio interno en su estructura y composición. Esto es lo que se denomina degradación; la cual puede manifestarse como causa y efecto de la pérdida de especies y de las relaciones ecológicas entre ellas. En general los cambios no pueden asignarse a un solo evento de perturbación, sino que son el resultado de impactos acumulativos o reacciones en cadena. Algunas de éstas se producen por la pérdida de especies estructuradoras o “clave”, esto es aquellas cuya función en el ecosistema es mayor que la que podría esperarse por el efecto único de su abundancia. Se trata en general de degradaciones sin cambio fisonómico abrupto o de cobertura del ecosistema. Este tipo de factor de tensión, aunque de incidencia menor que la transformación total, usualmente no es tenido en cuenta por los modelos basados en una tipología general de coberturas o en aquellas que no permiten distinguir los grados de perturbación (bosques degradados, bosques secundarios, etc.). En este sentido, las afirmaciones basadas en una apreciación sobre el estado de la cobertura de un ecosistema, y que pretenden definir o proyectar situaciones sobre la estructura, función y posibles efectos del cambio climático, deben considerarse solo como la primera aproximación al problema, la cual debería complementarse con una valoración en el campo sobre el estado del mismo ecosistema.

Otros cambios de origen antrópico son los producidos por los agentes contaminantes. El principal agente contaminante por vía aérea que probablemente afecta los ecosistemas son los sulfatos, los cuales son conducidos a estos por la lluvia (lluvia ácida). Otros agentes contaminantes son los nitratos, los cuales fertilizan el suelo, y el CO₂ el cual afecta la fisiología básica de las plantas (particularmente el ciclo del carbono y el nitrógeno). Las áreas urbanas, además de tener localmente

altas cantidades de sulfatos y nitratos, son fuentes superficiales de calor.

De otro lado, existen agentes contaminantes que son transportados a través de los flujos de agua y que pueden afectar tanto ecosistemas terrestres como acuáticos; algunos de los agentes contaminantes son fertilizantes y pesticidas que se escurren a los acuíferos desde áreas agrícolas, aguas negras y desperdicios producidos en las agroindustrias. Igualmente estos ecosistemas son intervenidos por fragmentación de cuerpos de agua y degradación resultante de dragados y obras civiles entre otros.

Degradación del suelo

El suelo es un componente esencial de los ecosistemas. En muchos ecosistemas la formación del suelo tarda muchos años, y su evolución determina el grado de estructuración de la fase vegetal y animal del mismo, su productividad y salud. La degradación severa del suelo en ocasiones produce cambios irreversibles, al menos en lapsos de tiempo humano. Muy notorio en este sentido es el caso de los bosques degradados de la Sierra Nevada de Santa Marta estudiados por Cavelier *et al.* (1998). La pérdida irreversible de las funciones del suelo ocasiona el cambio permanente del tipo de ecosistema. Muchos ecosistemas que pueden parecer naturales, pueden ser el resultado de severas alteraciones en las funciones de los suelos, las cuales ocasionan en reemplazo permanente de los componentes bióticos del mismo. Los estudios sobre el efecto del cambio climático en los suelos, han sido dirigidos especialmente a aquellas funciones de interés para la producción agrícola, y casi nada ha sido hecho en relación con los suelos y la dinámica de los ecosistemas naturales. Por este motivo, es muy difícil prever cualquier tipo de efecto del cambio climático sobre el suelo, y su incidencia sobre los demás componentes de los ecosistemas.

Alteraciones hídricas

Las alteraciones severas en los regímenes hídricos de las aguas superficiales, pueden producir tensionantes severos que impiden el mantenimiento de las condiciones de los ecosistemas acuáticos.

La severa perturbación de los regímenes hídricos puede tensionar o alterar irreversiblemente los ecosistemas de humedales (Naranjo *et al.*, 1999). Esto puede darse por el cambio de la cantidad, y frecuencia de disponibilidad de las aguas superficiales. También la alteración severa de la calidad del agua (contaminación), puede afectar severamente a los ecosistemas acuáticos.

Alteraciones climáticas

Las alteraciones de la regulación meso y micro climática pueden afectar severamente el ecosistema local. El cambio del clima puede darse en diferentes escalas espaciales. El microclima de una selva tropical puede cambiarse por clareo, fragmentación, y afectar especies poco tolerantes a la sequía o la luz. También pueden producirse cambios en los meso climas regionales por deforestación extensiva. En general, los cambios climáticos a cualquier escala tienden a ser consecuencia y a la vez causa de cambios ambientales, produciendo retroalimentaciones positivas o sinergismos, de ahí la dificultad de predecirlos y manejarlos. Así las cosas, el cambio climático global podrá ser a la vez consecuencia de cambios ecosistémicos generalizados (emisiones de CO₂) y causa de nuevos e impredecibles cambios en el mismo ámbito.

En suma, la resiliencia natural de los ecosistemas está afectada por el nivel de tensión como efecto de la acción humana. Ante iguales perturbaciones naturales, el sistema que se encuentra bajo mayor tensión antrópica tiene menor capacidad de respuesta. De manera sintética puede afirmarse pues que la relación entre regímenes de perturbación y vulnerabilidad se manifiesta en los siguientes puntos:

- La vulnerabilidad de un ecosistema está ligada con su resiliencia, esto es la capacidad de retornar a un estado de equilibrio similar (energético y trófico) después de una perturbación.
- Los valores normales de resiliencia se manifiestan dentro del rango de los factores de perturbación de ocurrencia “normal” histórica en el ecosistema.
- Cuando un ecosistema es sometido a un régimen de perturbación alterado en cuanto al

tipo, magnitud, intensidad y frecuencia de ocurrencia de las perturbaciones (tal como los regímenes antrópicos), la resiliencia del sistema tiende a cero (máxima vulnerabilidad) y tiene la probabilidad de derivar hacia un estado de equilibrio diferente (degradación, ecosistemas de reemplazo, etc.).

- El cambio climático, por calentamiento global, se presenta como un factor adicional de perturbación que entra a modificar sustancialmente los regímenes naturales y alterados de perturbación de los ecosistemas.
- Los ecosistemas que ocurren en condiciones ambientales especializadas tienden a ser considerados como más vulnerables, y por lo tanto podrían ser usados como sistemas indicadores del cambio ambiental (el superpáramo, por ejemplo).
- En general, la adaptación de las especies al cambio climático dependerá no solo de su variabilidad genética, sino de su capacidad de migración y dispersión. Especies con alta tasa de propagación y colonización a distancia, serían las más favorecidas. Especies con tiempos generacionales altos, y tasas de propagación y colonización de hábitat nuevos menores, serían mucho más vulnerables al cambio climático.
- Entre más rápida sea la tasa de ocurrencia del cambio climático, mayor será la probabilidad de interrupción sustancial en la estructura de los ecosistemas y de sus funciones y, por lo tanto, mayor el riesgo de degradación.
- Los ecosistemas no responderían de una forma única al cambio climático. Cada especie responderá de forma diferente. Las asociaciones actuales entre las especies se pueden romper, y nuevas comunidades o formas de combinaciones de especies aparecerán.

2.6 Aproximación a la vulnerabilidad de los ecosistemas continentales colombianos⁶

La aproximación a la vulnerabilidad de los ecosistemas colombianos que se propone a continuación,

utiliza como criterio de clasificación los grandes tipos de bioma y ecosistemas del mapa de Etter (en IavH, 1998), y se enfocará con base en los siguientes aspectos:

- Presentación de la dinámica general del ecosistema, en especial los factores y regímenes naturales de perturbación, en cada uno de los tipos generales de ecosistemas zonales y azonales, incluyendo la incidencia de los factores tensionantes antrópicos.
- Presentación de los cambios sugeridos para el tipo de ecosistema en los modelos de referencia usados (Gutiérrez, 2001 y Mulligan, 2000).
- Una discusión de síntesis sobre vulnerabilidad del tipo de ecosistema tratado.

2.6.1 Ecosistemas terrestres

2.6.1.1 Zonobioma del bosque húmedo tropical

Dinámica general del ecosistema

Durante muchos años se consideró la selva tropical o bosque húmedo tropical como un ecosistema estable, y en estado de equilibrio milenario. Esta visión estática fue reemplazada gracias a las investigaciones que demostraron que este bioma ha sido afectado por los cambios climáticos en el pasado (teoría de los “refugios pleistocenos” de Haffer, 1974). Igualmente el ecosistema presenta una alta dinámica espacial. Investigaciones intensas en la Amazonia del Perú, por ejemplo, mostraron además que los factores geomorfológicos y edáficos juegan un papel actual en la dinámica y heterogeneidad de la selva. Hasta un 26% del área forestal presenta actividad erosiva reciente y el 12% se encuentra en estado sucesional temprano (Salo *et al.* 1986). Este tipo de trabajos han sido desarrollados en la Amazonia colombiana por Duivenvoorden & Lip (1993).

A una escala espacial más detallada, la ocurrencia de claros naturales, por la caída de grandes árboles, es la forma de perturbación local que ha sido mejor estudiada, en sus efectos sobre la estructura y composición biótica de la selva (Harshorn, 1990). En Colombia Etter y Botero (1990) mostraron que los factores de la variabilidad cli-

mática manifiestos en vientos huracanados (combinados con la naturaleza del terreno) ocasionan el reemplazo de la cobertura forestal en áreas considerablemente mayores.

El resultado de los regímenes de perturbación climáticos, edáficos y bióticos en la selva tropical es una alta inestabilidad poblacional en el espacio y tiempo de las especies de árboles, y sugieren un cambio temporal aleatorio de la composición de la misma. Se trata pues de un ecosistema con una alta heterogeneidad espacial e intensa dinámica de reemplazo temporal en el mosaico de unidades sucesionales del paisaje.

Proyección

Las unidades mapeadas según el sistema de Holdridge de bosque húmedo, muy húmedo y pluvial tropical (bh-T, bmh-T y bp-T) incluyen en términos generales y zonales los biomas de bosques tropicales o basales de otros autores en la Amazonia, Orinoquia, Pacífico y del Magdalena Medio. No detalla el modelo subunidades o tipos que dependen de su posición fisiográfica o geomorfológica. De acuerdo con este modelo las áreas se verían afectadas en un área de aproximadamente un 11 % del territorio nacional. Las condiciones bioclimáticas del bmh-T se desplazarían a las del bh-T (6% del territorio nacional), especialmente en la región oriental de la Amazonia. Las condiciones del bh-T (5.7%) pasarían a bs-T en especial en el norte de la Amazonía y el Magdalena Medio, y el sur de la región Atlántica (sic). El modelo de Mulligan (2000) prevé un aumento de precipitación es y de escorrentía muy importante en el occidente de Colombia, especialmente en las laderas andinas del Chocó y la costa pacífica colombiana.

Para interpretar en términos de la dinámica de los ecosistemas de los posibles cambios de condiciones en las zonas bioclimáticas de los modelos anteriores, a continuación se presenta una discusión basada en las características dinámicas y de tensión de los ecosistemas cubiertos.

Discusión

Aparentemente el cambio de temperatura presentaría en la selva tropical un efecto menor que en

otros ecosistemas. En la variabilidad natural del ecosistema se presentan cambios de temperatura en el rango del cambio previsto. De hecho en la Amazonía colombiana es bien conocido el efecto de entrada de frentes fríos del sur durante los meses de mitad de año, conocidos como “friagems”, y cuyo efecto es muy temporal (aunque no ha sido documentado en detalle). No puede predecirse por ahora cual sería el efecto de un cambio permanente en este rango de temperaturas. En las zonas más cercanas al límite latitudinal (norte o sur) de distribución de la selva tropical, las variaciones de temperatura podrían ser sin embargo más importantes. Estos cambios podrían acarrear aumento en la evapotranspiración del sistema, disminuyendo la disponibilidad del agua, por lo cual es importante considerar simultáneamente cual sería el factor previsto en el patrón de las lluvias

La selva tropical (*sensu lato*) se encuentra situada en un rango amplio de precipitación, que va desde 13000 mm (algunos puntos en el Chocó) hasta 1.500 mm. Es bien sabido por la literatura ecológica que en la selva tropical el patrón de distribución estacional de las lluvias es más importante que el promedio de la misma. Uno de los aspectos más notorios del régimen es su variación interanual, la cual en varias décadas puede llegar a ser del 100% entre el valor máximo y mínimo. (Hartshorn, 1992). Más importante sin embargo que el cambio en el promedio total de lluvias, es la variación en la ocurrencia de las estaciones secas y húmedas. Un valor mensual de 100 mm de precipitación prolongado por más de un mes, es suficiente para que la selva manifieste síntomas de tensión hídrica (Hartshorn, 1992). Esta variación natural en el patrón de precipitación tiene un efecto importante en la dinámica de las poblaciones animales y vegetales (compendio de Leigh *et al.*, 1982 para la isla de Barro Colorado en Panamá). Así, unos pocos años secos pueden ser catastróficos para muchas poblaciones. La tendencia al secamiento en el largo plazo en las selvas de Panamá, parece estar ya ocasionando cambios en la composición de las selvas y una reducción de su biodiversidad. Algunas especies arbustivas y de árboles aparentemente enfrentan ya extinción local en La isla de

Barro Colorado (Leigh *et al.*, 1982). La pérdida de especies arbóreas en relictos de bosques tropicales muy pequeños, también es un fenómeno presente en la selva atlántica del Brasil (Da Silva & Tabarelli, 2000). El aumento de la frecuencia de épocas de sequías severas puede acarrear la muerte de muchos árboles de especies más susceptibles, lo cual tendría como efecto el reemplazo del bosque húmedo por especies más tolerantes a la sequía, tales como vegetación de matorral espinoso, o de áreas abiertas más parecidas a las sabanas (Shukla *et al.*, 1990).

Lo anterior se ve agravado por la influencia antrópica sobre el ecosistema, en especial la fragmentación y el fuego, factores que aumentan la vulnerabilidad de estos ecosistemas a la disminución de las lluvias. Una consecuencia directa es la ampliación del efecto de borde, lo cual acarrea cambios microclimáticos y aumenta la mortalidad de árboles hasta 100 metros adentro del área clareada (Kapos, 1989, Laurance *et al.*, 1998). Teniendo en cuenta el patrón actual de deforestación en Brasil, se estima que el área sometida al efecto de borde agravado representa hasta el 15% del área deforestada (3.4 x 10⁶ ha). De otra parte, la ocurrencia del fuego al interior de la selva Amazónica también ha aumentado, en especial durante los años de El Niño, y en áreas sometidas a procesos de colonización. El clareo selectivo y la fragmentación altera las características micro climáticas de la selva amazónica, el contenido de biomasa seca, y por lo tanto la susceptibilidad al fuego (Uhl & Kauffman, 1990). En Colombia la frecuencia de incendios forestales en la selva oriental no ha sido documentada, pero sin duda ha aumentado, especialmente en las áreas de la Sierra de La Macarena, el Guaviare y el piedemonte del Caquetá (Etter, comunicación personal). Así las cosas, las áreas de selvas bajas de Colombia que presentan mayor vulnerabilidad ante el cambio climático son:

- Relictos de selva pequeños (en general, menores de 10.000 ha) y aislados, situados lejos de las vertientes andinas o piedemontes, en especial en la mitad nororiental del país. Estos relictos tienden a perder su vitalidad funcional y diversidad.

- Áreas de selva tropical cercanas a los piedemontes, pero fuertemente fragmentadas y con un uso de la tierra que ha producido erosión y compactación de los suelos (Caquetá y Putumayo). La fragmentación extrema limita la capacidad de dispersión de las especies entre los fragmentos, y la degradación del suelo impide un desarrollo suficiente de bosques secundarios por efecto de savanización antrópica (*sensu* Cavelier *et al.*, 1998).

En estas circunstancias el único escenario optimista para el futuro de la selva tropical en relación con el cambio climático correspondería a los grandes bloques de selva baja continua en el suroriente de la Amazonia, y extensiones menores situadas de manera adyacente a las vertientes andinas (Chocó). Otras selvas húmedas (valle del Magdalena) o de transición (semideciduas), como las del sur de la llanura del Caribe en la cuenca del Sinú, la Sierra Nevada de Santa Marta y el Catatumbo presentan una mayor vulnerabilidad ante un cambio ambiental mayor.

2.6.1.2 Pedobiomas y helobiomas del zonobioma del bosque húmedo tropical

Dinámica

Una buena parte de la diversidad ecosistémica de la selva tropical de Colombia es de tipo “azonal”, esto es que su estructura está determinada por el tipo de suelos y la saturación en agua en un gradiente estacional (Etter 1992, 1993; Duivenvoorden & Lip, 1993). Las unidades llamadas helobiomas corresponden a áreas como bosques inundables tales como el catival (Atrato), natal sajal y naidizal (Pacífico) y varzeas e igapós (Amazonía), además de complejos de humedales. La ocurrencia de estos sistemas depende en gran medida de la dinámica morfogénica de los ríos, en la región Amazónica (Duivenvoorden & Lip, 1993) y en las planicies aluviales de la Costa del Pacífico; en esta última las características actuales del paisaje (sistema de drenaje y llanuras de inundación) posiblemente están asociadas con cambios en la precipitación durante el Holoceno (Urrego *et al.*, 2000). Los pedobiomas corresponden a enclaves en la misma selva con suelos de arenas blancas (caatingas) o formaciones

vegetales sobre las serranías antiguas. Sobre los primeros, existe información profunda sobre la dinámica de regeneración de los mismos (ver trabajos de J. Saldarriaga). Prácticamente no se conoce nada acerca de la dinámica ecológica de las formaciones vegetales situadas sobre las serranías antiguas.

Proyección

El modelo usado por Gutiérrez (2001) no permite hacer proyecciones sobre este tipo de ecosistemas “azonales”. Para las selvas inundables podría especularse a través de la interpretación de los cambios posibles en los regímenes hidrológicos en las cuencas, los cuales afectarían las condiciones de existencia de estas formaciones. Mulligan (2000) discute esta relación para las cuencas del Pacífico colombiano, región en la cual se produciría un aumento notorio de la precipitación y escorrentía. Sería pues necesario modelar los cambios en la dinámica ecológica del paisaje aluvial, en diferentes escenarios climáticos e hidrológicos, en interpreta los mismos, en términos de la estructura y diversidad biológica de los ecosistemas en los paisajes.

La proyección de lo que ocurriría con los pedobiomas está por fuera de las premisas del modelo y también es incierta, aunque un mayor nivel de sequía general podría eventualmente significar una tendencia a la aridización de zonas que presentan cierto nivel de déficit hídrico edáfico (caatingas en arenas blancas) o por escasa formación de los suelos (litoscasmo y quercofíticos en la serranías amazónicas).

Discusión

Puede suponerse que los cambios del macro clima (temperatura y precipitación) tendrían en las selvas inundables menos efectos. La conclusión se deriva de la aplicación de los modelos; sin embargo no es sólida pues las conclusiones de éstos están implícitas en sus premisas. Estos ecosistemas usualmente se sitúan en las grandes llanuras aluviales, y están por lo tanto en relación estrecha con el tipo de régimen hídrico en las grandes cuencas hidrográficas. Se sabe que los cambios climáticos en el Holoceno produjeron cambios en los patrones de drenaje en las llanuras aluviales con consecuencias sobre los humedales forestales y su biodiversidad (Urrego, 2000). Mulli-

gan (2000) mostró en los modelos que relacionan a dos escalas eventos climáticos e hidrológicos, como el cambio en temperatura, evapotranspiración y precipitación alteraría el agua de escorrentía en las cuencas de las laderas andinas y afectarían regímenes de inundación en las tierras bajas. El efecto de esos cambios sería diferentes según de la orientación de la ladera y la ubicación de las selvas bajas. El balance neto de agua disponible en las cuencas sería menor que el actual en las laderas nororientales y orientales (cuencas del Magdalena, Orinoco y alta Amazonia) y mayor en el sur oriente de la Amazonia y en las laderas occidentales (Chocó y cuenca del Pacífico). Para las selvas de galería que ocurren en zonas mucho más secas y están determinados por la disponibilidad de agua en el suelo (Orinoquia y Guajira) las proyecciones de Mulligan (2000) son de una aridización mayor. En la Amazonia, cualquier alteración sería notoria en las selvas de los ríos de aguas blancas (varzeas) que nacen en la cordillera, las cuales se verían afectadas por posiblemente menor disponibilidad de agua (menos área de ocurrencia) y por cambio en los regímenes de inundación (cambios en composición, dependiendo de la tolerancia a la inundación). Igualmente puede suponerse que el cambio en la estructura y composición de los ecosistemas como producto del cambio en los regímenes de inundación en los planos aluviales, tendría un efecto grande sobre la biodiversidad. Gran cantidad de especies se encuentran asociadas con los diferentes tipos de vegetación de las riberas. Por ejemplo, un 15% de las especies de aves en la región amazónica están asociadas con los hábitats creados por los ríos (Remsen & Parker, 1983). Además muchas de ellas son exclusivas o especialistas de algún hábitat. Este mismo patrón se ha encontrado en plantas, primates y otros grupos. En suma, el conocimiento actual permite suponer un importante riesgo en el cambio de las funciones ecosistémicas en estas regiones, en especial su biodiversidad.

2.6.1.3 Zonobioma del bosque seco tropical

Dinámica

El zonobioma del bosque seco tropical se encuentra (o encontraba) ubicado en Colombia principalmente en la llanura del Caribe, extensión que hace

parte de una unidad biogeográfica que se extiende a lo largo del norte de Venezuela (Sarmiento 1975), al sur del llamado cinturón árido del Caribe, y marca la transición hacia selvas deciduas y húmedas.

Muy poco se conoce acerca de la dinámica ecológica del bosque seco tropical. Una revisión general se produjo en 1995 (Bullock *et al.* 1995). Es uno de los grandes ecosistemas tropicales americanos que más ha experimentado cambios en su dinámica y distribución, como resultado de cambios climáticos en el pasado. Los intensos cambios climáticos sucedidos durante el Pleistoceno tuvieron efectos profundos en los bosques secos tropicales, los cuales fueron durante las épocas más húmedas fragmentados y eliminados (Sarmiento 1975).

Las condiciones en que se desarrolla son de menor cantidad y alta estacionalidad de la precipitación pluvial, por lo que la principal característica del bosque seco tropical es la adaptación de las plantas a periodos prolongados de sequía. La caída de las hojas y la floración es sincrónica en la mayoría de las especies, y se produce en la estación seca, que varía entre cuatro y ocho meses. La fauna también está adaptada a prolongados periodos de sequía y la alta estacionalidad, y muchos animales muestran movimientos entre las formaciones secas y las más húmedas, o estiviación. Algunas especies de insectos migran en época seca desde el bosque seco tropical al húmedo tropical a través de las montañas de Costa Rica. La integridad de la diversidad ecológica depende pues de la disponibilidad complementaria del hábitat húmedo, que puede ser colindante (como el caso del parque Tayrona en Colombia) o distante. En las selvas deciduas de transición, los veranos prolongados han tenido efectos catastróficos sobre la fauna, tal como fue ampliamente documentado en la famosa hambruna que sufrió la fauna en la Isla de Barro Colorado en Panamá (Leigh *et al.*, 1982).

La heterogeneidad ecológica del bosque seco tropical es un fenómeno importante para el mantenimiento de su diversidad biológica. Las áreas húmedas azonales incluyen boques de galería o riparios, o enanos nublados en el cinturón árido del Caribe (Cavelier & Goldstein, 1989). La presen-

cia de estos hábitats está directamente relacionada con la diversidad y tamaño de los vertebrados que se encuentran durante la estación seca (Cevallos 1995). Los primeros cumplen un papel muy importante para el mantenimiento de la fauna, especialmente en épocas de mayor sequía. Los segundos presentan una dinámica ecológica ligada con su capacidad de captación del agua de las nubes (intercepción). En algunas serranías en áreas de bosque seco tropical, existieron extensiones importantes de bosques con tendencia a ser nublados, y con alguna predominancia de elementos de bosque húmedo. En la Serranía de San Jacinto históricamente se registró la presencia de elementos de fauna y flora propios del bosque húmedo tropical. La transformación extensiva de los ecosistemas en las tierras bajas, puede haber tenido un efecto de aridización, manifiesto en las serranías por la pérdida gradual de los elementos del bosque húmedo. Los bosques nublados cumplen además una función en el mantenimiento de la fauna asociada que a ellos se desplaza, proveyendo hábitat y alimento a la fauna durante las épocas más secas. Este tipo de relaciones se han documentado para la Serranía de Macuira en La Guajira (Andrade y Mejía, 1987).

El bosque seco tropical es uno de los grandes biomas que más ha sufrido la alteración humana en el Neotrópico (Lerdau *et al.*, 1991). La mayoría de su superficie ha sido transformada para la agricultura y la ganadería, y los restos se encuentran altamente fragmentados (Cevallos 1995). Gentry (1995) estimó que prácticamente el bosque seco tropical -como ecosistema- había desaparecido del norte de Colombia. La transformación del bosque seco y muy seco tropical, dependiendo del tipo de suelo, ha dado en el interior del país a formaciones de sabanas o a la extensión de las formaciones xerofíticas, en el llamado “desierto” de la Tatacoa en el Huila (Cavelier, comunicación personal).

Casi todo lo que se sabe acerca de la dinámica de regeneración del bosque seco tropical proviene de los estudios aplicados a la restauración realizados en Guanacaste, Costa Rica, por D. Janzen (1986). Según este autor la dinámica del bosque seco tropical tiene que ver con interacciones bióticas (dispersión de semillas por grandes mamífe-

ros hoy desaparecidos) y el papel contundente del fuego. En los estudios de regeneración en áreas con fuego suprimido, se produce la invasión de árboles de leguminosas, cuyas semillas son dispersadas por el ganado y luego una segunda fase más lenta en la cual se regeneran los elementos característicos del bosque seco tropical. A pesar de la gran degradación, el conjunto a través de la restauración extensiva, ha sido considerado como importante para la conservación de la biodiversidad.

Proyección

Los cambios previstos para el bosque seco tropical en el modelo del IDEAM, señalan un desplazamiento hacia condiciones de zonas de vida más secas. Gutiérrez (2001) plantea que el bosque seco Tropical (bs-T) se desplazará a condiciones de bosque muy seco Tropical (bms-T) en un 8.67%, en tanto que los bosques muy secos tropicales (bms-T) se desplazarán en un 9.12% hacia matorral espinoso subtropical. El cambio de tropical a “subtropical” (en la terminología Holdridge) se debe al aumento de la temperatura por encima de los 30 °C, que los coloca por fuera de labiotemperatura óptimas. En general el modelo estima que las condiciones bioclimáticas que corresponderían al bosque seco tropical de la región del Caribe se afectará en un 17.79% de su superficie actual en desplazamiento a condiciones más cálidas y secas. Del modelo climático aplicado se deduce que estas formaciones vegetales estarían menos afectadas relativamente por el cambio climático, a pesar de su gran fragilidad.

En contraste, la síntesis de modelos aplicados por Mulligan (2000), en especial los cambios en la cantidad y estacionalidad de la precipitación en el norte de Sudamérica, permite suponer una extensa aridización en el norte y noreste del país, territorios que corresponden ampliamente con la distribución de las condiciones ecológicas del bosque seco tropical.

Discusión

En general, se estima que los bosques secos tropicales parecen mucho más vulnerables a los cambios en la precipitación, que a la temperatura

media anual (McCarthy *et al.*, 2001). Sin embargo, no puede descartarse el efecto indirecto de cambios en la disponibilidad hídrica, por aumento de evapotranspiración producto de una mayor temperatura (Mulligan 2000). El cambio climático, que en este tipo de zonas se manifestaría con una acentuación de los extremos, podría acarrear épocas secas más largas o impredecibles, con cambios poblacionales severos y eventos de extinción.

Por su ubicación en zonas climáticas de transición, y con grandes extremos, puede considerarse un ecosistema particularmente sensible a los cambios climáticos. En especial, aquellos bosques que se encuentran en el extremo norte y nororiental del país (Mulligan, 2000). El conjunto las zonas de bosque seco tropical (*sensu lato*) presentan actualmente una gran vulnerabilidad, tanto por sus características naturales, como por el enorme grado y extensión de la afectación humana del ecosistema. En estas circunstancias, la capacidad de adaptación del bosque seco colombiano al cambio climático es mínima. La única medida de adaptación consistiría en adelantar programas masivos de restauración ecológica extensa para recuperar la integridad funcional del conjunto.

2.6.1.4 Sabanas (pedo o peino biomas, dependiendo de la ubicación)

Dinámica del ecosistema

Las sabanas son ecosistemas muy característicos en todos los continentes tropicales. Las sabanas de América poseen la flora leñosa más rica de las sabanas tropicales (Sarmiento 1984). Las sabanas más extensas en América son los llanos de Colombia y Venezuela, los “cerrados” del Brasil y los llanos en Bolivia. Las sabanas naturales se encuentran ampliamente distribuidos en Colombia, y su mayor extensión corresponde a los llanos orientales de la Orinoquia. También hay sabanas naturales en enclaves de la costa atlántica (Caracolí) y la Amazonía (llanos del Yarí). Últimamente han cobrado interés algunas sabanas andinas, como las que se encuentran en la región de Sabana de Torres y Villa de Leiva (Etter, comunicación personal). Las sabanas amazónicas están claramente definidas por las condiciones del suelo. Las demás

corresponden más bien a factores climáticos o una combinación de ambos.

Existe una antigua controversia, que se remonta a la época de los viajes del gran explorador Humboldt, con relación a si el bioma de las sabanas en América tropical ha sido formado como resultado de la acción humana. Aún sin influencia humana es evidente que las sabanas tropicales han existido asociadas con la combinación de factores tales como el fuego, la baja fertilidad de los suelos y la seguía desde finales del Pleistoceno (22.000 a 13.000 años AP) a juzgar por la presencia del polen fósil. La influencia humana ha podido influir su distribución. La evidencia palinológica muestra que las sabanas posiblemente tenían en el pasado una fisonomía mas cerrada, con mas abundancia de elementos arbóreos. La influencia humana que se hizo sentir desde hace 3.000 años ha resultado en un ecosistema mucho más abierto (Wijmstra & Van der Hammen, 1966). En tiempos recientes, gracias a estudios de polen fósil, se ha mostrado como los cambios climáticos en el periodo 8700-6000 BP significaron que el límite entre la sabana y la selva representa un mosaico cambiante en el espacio y el tiempo (Berrío *et al.*, 2000).

Las sabanas neotropicales son sistemas ecológicos muy heterogéneos. El estrato herbáceo está dominado por gramíneas perennes C4, de más de 30 cm de altura. La dinámica hídrica marcada por una alta estacionalidad determina la estructura y composición del ecosistema. La cantidad total de agua, y la capacidad de retención de la misma en los suelos determina gradientes de humedad que parecen altamente correlacionados con la composición de la vegetación. La precipitación media de las sabanas supera generalmente los 1.000 mm al año y normalmente no excede la evapotranspiración potencial (Sarmiento, 1984).

La estacionalidad es el factor más notorio en el funcionamiento de estos ecosistemas. En la mayoría de las sabanas del norte de Sudamérica se presenta una estación seca de cinco a siete meses, tiempo en el cual los pastos mueren, lo cual favorece la expansión del fuego. El crecimiento vegetativo está concentrado en la estación lluviosa. Los

pastos más frecuentes son *Axonopus canescens* y *Trachypogon vestitus*. Algunas de las sabanas son arboladas, con presencia de especies como el chaparro (*Curatella americana*) y el *Byrsonima crassifolia*, que presentan algunas adaptaciones para resistir al fuego, tales como una gruesa corteza y la presencia de órganos de crecimiento subterráneos. Existen muy pocos estudios acerca de la dinámica de las sabanas. La información escasa permite afirmar que el fuego es el principal factor de pérdida de nutrientes en estos ecosistemas (Sarmiento, 1984).

Hay que tener en cuenta que amplias zonas del país actualmente presentan apariencia de sabanas, pero en realidad se trata de áreas “sabanizadas”, es decir que este tipo ha reemplazado el bosque seco y húmedo tropical. Este es el caso de la esquina noreste de la Sierra Nevada de Santa Marta, y en especial en la cuenca del río Ranchería entre los 500 y 1.000 metros de altitud (Cavelier *et al.*, 1998). Algunas de las sabanas tropicales que se encuentran en las áreas montañosas de Colombia, tales como la región de Villa de Leiva, se consideran que pueden tener origen en la deforestación ocurrida en tiempos precolombinos. Las sabanas antrópicas parecen definitivamente ser el resultado de degradación por erosión de los horizontes superiores del suelo, originalmente encontrado bajo cubierta forestal como resultado del fuego (Cavelier *et al.*, 1998). La restauración de los bosques en áreas de sabana requeriría no solamente la supresión del fuego, sino practicas directas de restauración de los suelos (Cavelier *et al.*, 1998). Las áreas de sabana, en especial la Orinoquia, se caracterizan por contener extensos ecosistemas azonales, especialmente en áreas inundables.

Proyecciones

El sistema de clasificación bioclimático de Holdridge define como áreas de “bosque seco tropical” a la mayoría de las sabanas zonales del país. Las cifras presentadas a partir del modelo proyectado por Gutiérrez (2001) no permiten por lo tanto diferenciar el cambio que ocurriría en las sabanas en relación con el conjunto de “bosque seco tropical”. En general se asume que la vulnerabilidad

al cambio climático de las sabanas (como unidad fisonómica) es relativamente menor que la de otros ecosistemas. Sin embargo, las sabanas pueden verse afectadas por procesos de aridización, tales como los que prevén los modelos de Mulligan (2000) para el extremo norte y oriental de Colombia. El manejo de la fragilidad de las sabanas ante el cambio climático tiene que ver directamente con la prevención de la desertificación.

Discusión

La revisión realizada no permite sustentar la presunción según la cual la vulnerabilidad de las sabanas ante el cambio climático sería baja. La síntesis de los modelos discutidos por Mulligan (2000) permiten suponer una alta aridización. Adicionalmente no hay que pasar por alto que muchos de estos ecosistemas actualmente presentan importantes efectos de la acción humana, y algunos presentan ya síntomas de desertización y desertificación⁷. Los factores tensionantes que se hacen ver en los ecosistemas de sabana son el aumento de la incidencia del fuego y a la destrucción intensa en algunas zonas de la vegetación asociada con el agua, tales como esteros, morichales y en general humedales. En algunos sectores de las sabanas de la Orinoquia (Vichada) el control del fuego resulta en un aumento de la cobertura de bosques (matas de monte). No pueden tampoco descartarse cambios en la estructura biótica, por incremento del fuego, y degradación por erosión o aridización marcada. Vulnerables también son las formaciones azonales que dependen de la dinámica hidrológica de los grandes ríos (en especial morichales, esteros, bancos) y sabanas de *Paspalum*. En conjunto, el cambio climático tendría un efecto desestabilizador, posiblemente un efecto directo de desertización y un cambio y pérdida de biodiversidad. Las sabanas de la Orinoquia deberían pues ser objeto de atención simultánea como efecto del cambio climático y como prevención de la desertificación.

2.6.1.5 Orobomas andinos: selvas andinas

Dinámica

La región andina incluye un mosaico muy complejo de ecosistemas, tales como enclaves con xerofíticos, bosques secos montanos, bosques húmedos, páramos y superpáramos. La heterogeneidad ecoló-

gica reciente resulta del levantamiento de las cordilleras, el vulcanismo y el historial biogeográfico de su biota. Los factores ambientales que determinan la dinámica de los ecosistemas son muy variados y presentan algunas singularidades dependiendo del tipo de ecosistemas.

En los bosques de montaña la determinante climática es la altura y la exposición a las vertientes exteriores más húmedas o las interiores mejor resguardadas. En las vertientes húmedas, hay gran actividad geomorfológica, representada en una alta inestabilidad de suelos, movimientos en masa y derrumbes frecuentes que determinan una dinámica muy especial a los bosques andinos. También hay una alta incidencia de interacciones bióticas, y relaciones de microclima, en especial los flujos de agua y de nutrientes (Veneklaas, 1995). Este autor demostró que la interceptación y condensación de neblinas del agua representa entre un 12 y 18% de la entrada total del sistema. Esta cantidad de agua adicional aparentemente contribuye al desarrollo de una flora abundante de epífitas. La lluvia también tiene un efecto en el ingreso y flujo de nutrientes en el ecosistema. Este tipo de bosques están adaptados a las condiciones del clima de las vertientes andinas y juegan un papel al generar y mantener las condiciones microclimáticas y de flujo de nutrientes.

Los patrones de distribución natural de muchas de las especies de los bosques andinos las hacen especialmente vulnerables a los cambios climáticos. En la Cordillera Occidental por ejemplo, se presentan muchas plantas endémicas, algunas de ellas restringidas a enclaves o franjas climáticas muy estrechas (Calderón, 1994), algunas de las cuales se ven especialmente afectadas durante los años de El Niño (Constantino, comunicación personal).

Los bosques andinos presentan una alta sensibilidad al patrón espacial de fragmentación. Se presentan en los fragmentos alteraciones microclimáticas, pérdida de nutrientes en el suelo y de biodiversidad (Kattán *et al.*, 1994, Kattán & Álvarez, 1996, Renjifo, 1999). Según estos estudios, fragmentos de menos de mil hectáreas con más de 50 años de aislamiento tienden a perder hasta el 50% de su riqueza de aves.

En los bosques de montaña, cuando la magnitud e intensidad de las perturbaciones antrópicas son grandes y recurrentes, se puede producir un reemplazo general de la vegetación. En algunos lugares el retorno del bosque es virtualmente imposible, pues las áreas han sido cubiertas por especies de pastos foráneos (como el *Melinis*), las cuales favorecen la expansión del fuego (Ochoa & Andrade, 2000). El fuego se considera que no era un factor de perturbación normal en este tipo de ecosistemas, o al menos en las áreas más húmedas. Actualmente en Colombia los bosques andinos han sido reducidos a proporciones menores, que se sitúan entre el 5 y 10% del área original. Solamente persisten algunos fragmentos grandes, y la mayoría del ecosistema original se encuentra aislado y en extremo fragmentado.

Proyección

Los cambios en las zonas de vida andinas previstos por el modelo de desplazamiento de las zonas de vida de Holdridge y coberturas vegetales de Colombia afectadas por el cambio climático a 2xCO₂, señalan en general un desplazamiento hacia condiciones de zonas de vida de condiciones más secas y más cálidas. El modelo aplicado por Gutiérrez (2001), plantea que solo permanecería el 29.38% del bosque pluvial Montano Bajo (bp-MB), el 9.39% pasaría a bosque muy húmedo Montano Bajo (bmh-MB), un 45.73% a condiciones de bosque pluvial Pre Montano, y un 15.49% a condiciones de bosque muy húmedo Pre Montano (bmh PM). Lo anterior quiere decir que el 61.22% de su extensión actual quedaría bajo la línea de escarcha o temperatura crítica. Para el bosque muy húmedo Montano Bajo (bmh-MB) actual, se conservaría solo el 31.12% del original; en un 14.47% se pasaría a condiciones de bosque húmedo Montano bajo (bh-MB), un 37.87% a condiciones de bosque muy húmedo Pre Montano (bmh-PM), y un 16.64% pasará a condiciones de bosque húmedo Pre montano (bh-PM). En este caso, el 54.51% del territorio actual bajo estas condiciones quedará bajo la línea de escarcha o temperatura crítica. En las zonas de vida bajo la línea de escarcha o temperatura crítica, identificadas como Pre Montanas en el modelo presentan cambios. El bosque pluvial Pre Montano

permanecería en un 34.16% del actual; en un 14.21% pasaría a bosque muy húmedo Pre Montano (bmh-PM), un 1.23% pasaría a condiciones de bosque pluvial Tropical (bp-T), un 35.93% a condiciones de bosque muy húmedo Tropical (bmh-T) y un 14.47% a condiciones de bosque húmedo Tropical (bh-T). El bosque muy húmedo Pre Montano (bmh-PM), permanecería en un 40.30%, el 14.9% pasaría a condiciones de bosque húmedo Pre Montano (bh-PM), el 33,09% a condiciones de bosque húmedo Tropical (bh-T), y aún un 11,71% a condiciones de bosque seco tropical. Al contrario de las formaciones húmedas que cambiarán notablemente, en las formaciones más secas se conservaría algo más: el bosque seco Pre montano (bs-PM) se conservaría en un 51.62%, éste cambiaría en un 1.83% a matorral espinoso Pre Montano (me-PM), en un 44.23% a bosque muy seco Tropical (bms-T), y un 2.32% a matorral espinoso Sub Tropical (me-ST). El territorio bajo condiciones de matorral espinoso Pre Montano pasaría a condiciones de matorral espinoso Sub Tropical (me-ST) en un 47.42%.

El modelo anterior representa la proyección altitudinal de los cambios en las variables climáticas consideradas, y no contiene una interpretación de los cambios sugeridos por los modelos de circulación global. Globales en una escala mesoclimática o de clima regional. En este sentido, las proyecciones de desplazamientos altitudinales no serían uniformes, sino que presentarían notorias diferencias según el tipo de exposición de las vertientes en las cuales se encuentran los ecosistemas (Mulligan, 2000).

Discusión

Los biomas o ecosistemas de montaña son muy sensibles a la inestabilidad climática. Durante el periodo glacial por ejemplo, como respuesta al cambio de temperatura y precipitación, se produjo un cambio en la distribución altitudinal de los biomas. Los diferentes requerimientos fisiológicos en relación con la disponibilidad del dióxido de carbono en la atmósfera, produjeron además cambios en la dominancia de las especies con patrones de fotosíntesis C3 y C4 (Hooghiemstra *et al.*, 2000).

El cambio climático antrópico es uno de los asuntos ambientales más importantes en las montañas tropicales (Mulligan, 2000). La alta fragilidad de los bosques andinos de montaña, unida a la enorme tensión antrópica en que se encuentran por reducción de área, fragmentación, pérdidas bióticas y degradación, los hace uno de los ecosistemas más vulnerables al cambio climático (Van der Hammen, 1993). En tiempos recientes se ha notado también la vulnerabilidad alta de las especies a cambios en la precipitación; en los años de ocurrencia severa del fenómeno de El Niño hubo un gran incremento de los incendios forestales, y se observó pérdida de especies (en especial epífitas) en algunos fragmentos (Constantino, comunicación personal).

La adaptación al cambio climático solo podría preverse desde ahora, mediante programas amplios de conservación de los relictos, de restauración ecológica y creación de corredores de conservación, y el mejoramiento ecológico general de los agroecosistemas circundantes. (Ver numeral 2.6.3)

2.6.1.6 Orobiomas andinos: páramos

Dinámica

Al interior del orobioma andino se encuentran los páramos y superpáramos. Para algunos autores se trata de un bioma o ecosistema diferente. Hay evidencia palinológica de que la vegetación natural del páramo, con sus elementos herbáceos, existe desde el Plió-pleistoceno (Van der Hammen & Cleef, 1986). Cleef (1981) distingue dos tipos de páramos, según aspectos fisonómicos y florísticos: aquellos que se encuentran en las vertientes húmedas en los cuales el estrato herbáceo está dominado por bambusáceas las vertientes y altiplanos más secos en los cuales predominan las gramíneas.

La fisonomía de los páramos actuales es resultado de la profunda influencia de la llegada de los europeos, quienes trajeron la ganadería vacuna, los caballos, cabras y la agricultura. En general se observa que la influencia humana es mucho más marcada en los páramos “secos” y menor, en los más húmedos. Algunos de los mejor conservados se encuentran en áreas muy húmedas, como

Tatamá en la Cordillera Occidental y Patascoy en el sur del país. Los más afectados se encuentran en inmediaciones del altiplano de Cundinamarca y Boyacá, y en parte de la cordillera central. No hay información sobre el estado de los páramos en la Sierra Nevada de Santa Marta.

A pesar de esta situación, es sorprendente que los estudios ecológicos sobre la influencia humana en los páramos sean realmente recientes (Baslev & Luteyn, 1992). Estos autores estiman que las acciones humanas pueden estar afectando severamente los procesos que soportan la biodiversidad. Hay evidencia que el límite altitudinal inferior del páramo en estado más natural debió estar mucho más alto, y que gran parte de los páramos son mantenidos en este estado por influencia reiterativa del fuego y el pastoreo. Esta situación se ve aun más corroborada, al considerar que muchas de las plantas del páramo presentan adaptaciones al fuego (Laegaard, 1991). En cualquier circunstancia, es un hecho que la fisonomía actual de *Espeletia* y herbáceas dominante y disminución de arbustos, de muchos de los páramos tiene su origen en el manejo que recibe de parte de pobladores locales, en especial formas de tala y quema. En especial, una influencia muy profunda en el límite superior de los bosques, de tal forma que en los páramos ocupados el límite entre el páramo y el bosque Alto Andino resulta difuso (Verweij & Beukema, 1991). El pastoreo tiene efectos profundos en la estructura y funcionamiento de los páramos. Sus efectos son notorios en la relación entre distribución de biomasa aérea y subterránea, la fisonomía de las plantas y la ocurrencia del mismo fuego. El control del pastoreo en algunos sitios ha sido seguido por la recuperación lenta de la estructura y composición anterior (Verweij & Kok, 1991). A pesar de la gran influencia humana en los páramos, la cobertura en general todavía es dominada por flora nativa (Verweij, 1995) y solo en algunos puntos localizados la cobertura es reemplazada por especies exóticas, tales como plantaciones de árboles. Existen en el páramo enclaves de tipo azonal, esto es comunidades vegetales que se encuentran en suelos saturados de aguas, turberas y lagunas.

Proyección

Los cambios previstos por el modelo de desplazamiento de las zonas de vida de Holdridge y coberturas vegetales de Colombia señalan un desplazamiento de las zonas de vida Montanas hacia zonas más altas y secas, o sea la actual transición de los bosques Alto Andinos a los subpáramos y páramos propiamente dichos. Las condiciones identificadas como de bosque pluvial Montano (bp-M) solo se conservarían en un 22.35%, en un 40.17% cambiarían a bosque muy húmedo Montano Bajo (bmh-MB), en un 21.14% a condiciones de bosque húmedo Montano Bajo (bh-MB), en un 12.62% a condiciones de bosque muy húmedo Montano (bmh-M) y en un 3.73% a condiciones de bosque pluvial Montano Bajo (bp-MB). La zona bioclimática de bosque muy húmedo Montano (bmh-M) se conservaría en un 41.04%, en tanto que un 40.95% se transformaría en bosque húmedo Montano Bajo (bh-MB), un 9.45% en bosque seco Montano Bajo (bs-MB) y un 8.55% en bosque húmedo Montano (bh-M). A su vez el bosque húmedo Montano (bh-M) permanecería tan solo en un 24.53%, en un 72.57% quedaría bajo las condiciones de bosque seco Montano Bajo (bs-MB)⁸, en un 2.75% se convertirá a las condiciones de estepa espinosa Montano Baja (ee-MB) y en un 0.15% en matorral desértico Montano (md-M), una formación prácticamente desconocida en el momento. Adicionalmente solo el 8.21% del nivel nival permanecería, el 64.73% pasaría a condiciones de páramo pluvial Sub Andino (pp-SA) y el 27.06% a tundra pluvial Andina (tp-A). A su vez, el territorio bajo las condiciones de la tundra pluvial Andina (tp-A) pasaría totalmente a condiciones de páramo pluvial Sub Andino (pp-SA) en un 99.66% y en un 0.34% a páramo Sub Andino (p-SA). A su vez, éste pasaría completamente a bosque húmedo Montano (bh-M). La extraña categoría de desierto Sub Andino (d-SA) quedaría en un 100% convertido en bosque húmedo Montano (bh-M).

Discusión

El desplazamiento de las zonas de vida de páramo hacia las partes más altas, según el modelo, tendría

consecuencias muy acentuadas en los paramos, superpáramos y el nivel nival. Esto porque gran parte de la flora (y fauna) de estos pisos está adaptada a límites precisos de temperatura y humedad, así como las fluctuaciones diarias en un rango amplio. Las condiciones del páramo actual se encontrarían desplazadas hacia arriba; sin embargo la posibilidad de desplazamiento vertical no existe en todos los páramos del país. El escenario de cambio significaría en muchos casos una disminución progresiva del área del páramo, hasta su eventual desaparición. Al respecto el desplazamiento previsto por el modelo hacia alturas superiores sencillamente es imposible en muchos casos.

Un aspecto no considerado en los modelos de Gutiérrez (2001) y sugerido por el Modelo de Mulligan (2000) es la diferencia que podrían presentarse en la dinámica de los páramos de acuerdo con su diferentes exposición, hacia vertientes secas o húmedas. Recordemos que estas condiciones determinan no solo la composición de los paramos, sino actualmente el grado de afectación humana. Además, el desplazamiento de los elementos del páramo (esto es sus especies) depende de su capacidad de migración. Un cambio climático rápido significa una presión de selección hacia aquellas plantas con generaciones más cortas, lo cual a la larga significaría en un cambio sustancial en la composición de las comunidades de plantas del páramo.

De otra parte, el aumento de la temperatura y cambio en la disponibilidad del agua, podría resultar en que los ecosistemas azonales perderían la saturación de agua, y en ambiente seco se produciría una mayor oxidación de los suelos, cambiando sus características ecológicas. Lo contrario podría suceder en los paramos expuestos a vertientes húmedas. En general se puede afirmar con toda la evidencia, que el páramo y el superpáramo se encuentran entre los sistemas más vulnerables al cambio climático. En particular, los paramos más secos.

En el Ecuador se realizaron algunos estudios tendientes a identificar el papel que podrían jugar los páramos como espacios para mitigar el cambio global. En estos estudios se muestra que el suelo tiene un papel significativo en el almacenamiento

y emisión del carbono (Hofstede & Aguirre, 1999). No se han realizado sin embargo estudios con igual detalle para definir su vulnerabilidad frente al cambio. Con todo, se perfilan claramente dos escenarios de adaptabilidad. En el primero, los factores de la acción humana se retroalimentarían en ambientes más cálidos, el fuego se haría más frecuente e incontrolable y probablemente aumentaría en el corto plazo la productividad y posibilidades de manejo de especies de interés humano. Este escenario del páramo bajo influencia humana sería catastrófico para la biodiversidad, y para algunas de sus funciones ambientales, como las hidrológicas. Un segundo escenario se presentaría en los paramos en los cuales la acción humana es menor, o en aquellos que presentan procesos de recuperación y manejo conservacionista.

Con todo, la adaptabilidad al cambio climático a estas alturas dependería en último término de la velocidad de su ocurrencia. Aun los escenarios más optimistas sin embargo predicen cambios que estarían muy por encima de la capacidad que tienen las poblaciones de plantas de moverse por reemplazo generacional hacia más arriba. El futuro de los paramos y su biodiversidad en escenarios de cambio climático presenta baja incertidumbre. En los superparamos cualquier escenario es fatal para el futuro de su biodiversidad, la cual en gran parte es endémica.

2.6.2 Ecosistemas acuáticos continentales

Dinámica

Se trata de un conjunto muy amplio y variado de ecosistemas, usualmente agrupados en el término genérico de humedal y los sistemas conectores de los ríos. Los factores dinámicos que definen la estructura y funcionamiento de esos sistemas son muy variados. Una buena parte de los humedales continentales están asociados con la dinámica de los ríos, y por lo tanto están acoplados con los regímenes hidrológicos en las vertientes. Otros se sitúan en cuencas cerradas en procesos acelerados de colmatación (turberas, lagos).

Proyección

El modelo de Holdridge y de coberturas de la tierra no permite ningún tipo de proyección sobre todos

los tipos de ecosistemas distribuidos con cierta independencia de los factores climáticos considerados, en particular todos los helobiomas o “humedales” continentales. Los modelos de Mulligan (2000) permiten aproximaciones no directas sobre las áreas de cobertura de estos sistemas, sino a través de los cambios en los regímenes hídricos.

Discusión

En Colombia se ha observado una tendencia a la disminución de los caudales de los ríos Cauca y Magdalena, posiblemente por deforestación (Poveda & Mesa, 1997). En la Amazonia aparentemente esta tendencia no se presenta, y en general en Latinoamérica no es clara una tendencia uniforme entre las subregiones (McCarthy *et al.*, 2001). La relación de caudales más clara se relaciona a la ocurrencia de los fenómenos de El Niño, la cual tiende a manifestarse de forma más clara en los ríos de la zona Occidental y menor en la zona Oriental. Mulligan (2000) argumenta que el cambio global tiene un efecto sobre los ciclos hidrológicos en las cuencas andinas, debido al aumento de la precipitación y evapotranspiración, lo cual conllevaría una intensificación del ciclo hidrológico. Esta evidencia es suficiente para poder sugerir un importante impacto en estos ecosistemas.

La vulnerabilidad de los humedales al cambio climático depende de la afectación de los procesos hidrológicos que los sustentan; sin embargo, en cierto sentido puede depender en mayor grado de su estado. Entre mayor sea la salud e integridad de estos ecosistemas, menor vulnerabilidad presentan ante el cambio climático. Lo contrario, es especialmente notorio en el caso de la biodiversidad de aquellos humedales cuya extensión ha sido considerablemente reducida y cuyo funcionamiento está directamente ligado (y en ocasiones en competencia) con actividades humanas. Este caso es el de los humedales del Valle Geográfico del Río Cauca (Restrepo & Naranjo, 1987) y del Altiplano Cundi-boyacense (Andrade, 1998).

En el Anexo 1 se presenta una síntesis de la información desarrollada arriba para los tipos. Se puede concluir pues, que los factores que más determinan la vulnerabilidad de los ecosistemas, son:

Recuadro 5 Estudio de Caso: Humedal La Conejera Alto Riesgo aún sin Cambio Climático Global (tomado de Fundación Humedal La Conejera 2002)

Aunque todavía no se puede concluir de manera clara sobre el efecto del cambio global sobre los humedales, el riesgo ecosistémico está en este caso determinado por el estado de los ecosistemas. La vulnerabilidad de muchos humedales en el contexto de la variabilidad climática natural, es ya demasiado alta. Este es el caso, por ejemplo, de los humedales del altiplano de Cundinamarca y Boyacá, los cuales (en especial los urbanos) presentan actualmente un nivel de tensión antrópica extremo, lo cual hace que su biota y procesos sean especialmente sensibles a eventos como los años en que ocurre el fenómeno de El Niño. En el humedal La Conejera en Bogotá, que es uno de los que mejores poblaciones de fauna y flora presentan, el caudal de entrada del agua normal (aunque contaminada) es de unos 40 litros/seg. Las obras de saneamiento ambiental (construcción del colector de aguas negras), implicarán que la escorrentía superficial que entra al humedal podría reducirse hasta en un 75 %, lo cual haría que en la eventualidad de un año de El Niño, el humedal podría secarse, con altísimo riesgo de pérdida de su biodiversidad (G. Galindo, comunicación personal).

- Rapidez de la tasa de cambio climático
- Fragilidad intrínseca de los ecosistemas.
- Capacidad de conformación de nuevas asociaciones y comunidades de especies.
- Capacidad de migración ante el cambio de condiciones ambientales.
- Grado de intervención humana a los ecosistemas.

2.6.3 Agroecosistemas (generalidades)

Dinámica

Los agroecosistemas corresponden a aquella porción de los ecosistemas naturales donde la vegetación (principalmente) ha sido transformada, para emplear los recursos del suelo en la producción de bienes para la sociedad. Son ecosistemas artificialmente sostenidos, en etapas jóvenes de su desarrollo y caracterizados por la alta producción de biomasa representada en pocas especies.

Así, el suelo es el elemento más importante de los agro-ecosistemas, el más tenido en cuenta, pero no el único. En estado ideal, el suelo se encuentra en equilibrio entre los procesos de formación (agradación) y erosión (degradación). En zonas de climas medios y fríos los principales nutrientes se encuentran en el subsistema del suelo, en tanto que en los climas cálidos y lluviosos los nutrientes pasan rápidamente a sistemas dominados por seres vivos de micorrizas y el componente vegetal y animal. El suelo es un elemento creado por el ecosistema original y generalmente

constituye un capital natural de difícil regeneración. En general, la formación de los suelos es lenta y compleja, en procesos de miles de años y presentan diferentes grados de sensibilidad a las actividades agropecuarias dependiendo a su naturaleza y origen. La pérdida de algunas de sus propiedades principales como la estructura o la carga orgánica requiere de actividades bastante costosas de recuperación, y en general la pérdida de la capa superficial por erosión significa la pérdida de sus funciones productivas y debe entrar a estadios protectores y de recuperación.

Proyección

El Cambio Climático incidiría de manera clara en la temperatura, la distribución y cantidad de las lluvias, la insolación y la ETP, causando un cambio de las condiciones climáticas óptimas para las especies empleadas en los diferentes cultivos, y en las condiciones del suelo. En los procesos químicos y biológicos de los suelos se producirá un ligero aumento del metabolismo de los microorganismos y la biota, con un cambio hacia condiciones de equilibrio de elementos químicos de condiciones más cálidas. Aún no se tienen estudios sobre los intercambios catiónicos, pero podrían esperarse desplazamientos indeseados en determinados tipos de suelos tales como los que tienen problemas con el aluminio. En general los suelos con aumento de lluvias tendrán problemas de lavado de los nutrientes, el aumento en el metabolismo acelerará los procesos de degradación de la materia orgánica, pero el aumento de la aridez en otros suelos tendrá efectos ligeramente diferentes.

El modelo presentado por Gutiérrez (2001) no presenta una resolución adecuada para estimar los cambios de las principales zonas de cultivo, pero en general permite estimar que los cultivos tenderán a expandirse hacia sus límites altitudinales superiores debido al calentamiento. El trabajo de M. Mulligan (2000) sobre el cambio climático en Colombia cita a Parry *et al.*, (1998) sugiriendo reducciones de las cosechas de cereales entre -2.5 y -5% para Colombia y entre -5 y -10% para Ecuador.

Discusión

No es posible establecer un patrón único y general de comportamiento ecológico de los agroecosistemas. En Colombia este tipo de sistemas bajo intenso manejo humano ha sido establecido en prácticamente todos los ecosistemas naturales. Los agroecosistemas, desde una perspectiva biológica o ecológica, pueden incluso considerarse como una forma de perturbación (en ocasiones severa) sobre los ecosistemas naturales. Así, puede preverse que el futuro de los agroecosistemas se encuentra en general ligado al escenario de vulnerabilidad del ecosistema natural que les dio origen. La dinámica ecológica de los ecosistemas en extremo transformados o bajo tensión, rebasa el alcance del presente ejercicio. Con todo, pueden establecerse algunas particularidades propias de algunos agroecosistemas.

Los impactos del cambio climático en el sector agrícola colombiano se relacionarán con los cambios de óptimos de suelos y clima con lo cual se tendrán cambios al nivel de ubicación zonas de cultivo en la región andina (por ejemplo zonas de transición de papa, y del café), o en las tierras cálidas desplazamientos en los óptimos de suelos y humedad para cultivos como el banano. Otros cambios serían en el volumen (eficiencia) de producción. Este caso podría ser el de la producción de caña de azúcar que es sensible a las temperaturas nocturnas estimulantes de la producción del azúcar. Temperaturas elevadas requerirían diferentes variedades de maíz, sorgo, millo y otros cultivos industriales. Un último aspecto es un posible cambio en el tipo, ubicación, frecuencia e intensidad de los patógenos de los cultivos. Será de espe-

rarse que algunos patógenos aumentarán la escala altitudinal de su distribución, y que las condiciones presenten óptimos para diferentes especies.

La adaptación en este tema implicaría cambios en las especies cultivadas, tecnologías, tipos de producción, uso de la tierra y demanda de insumos y productos diferentes. Estos cambios pueden incidir en la productividad económica de las fincas, los ingresos de los cultivadores, el empleo rural, la demanda de conocimientos especializados y los empleos indirectos que se generan. Esto incidirá en los ingresos de los sectores rurales, los ingresos de los municipios, cambiará las estructuras del PIB y los mercados en relación con los centros de consumo nacionales y las exportaciones.

En el Anexo 2, se presenta una síntesis de la información, para los principales agroecosistemas del país.

2.7 Gestión para la adaptación de los ecosistemas ante el cambio climático

La evidencia científica empírica y las proyecciones de los modelos, sugieren que el cambio climático es un hecho. También recientemente ha crecido un consenso informado que reconoce este cambio está producido –al menos en gran parte - por la acción antrópica sobre la biosfera. Con todo, existe todavía un gran nivel de incertidumbre en relación con la tasa misma del cambio, y sobretodo sobre los efectos que produciría en los ecosistemas. La falta de certeza cobra mayor importancia en relación con las posibilidades reales que tiene la sociedad humana de responder de una manera adaptativa. En este sentido se ha avanzado más (aunque insuficientemente) sobre las acciones tendentes a la mitigación del cambio climático (ver por ejemplo Metz *et al.*, 2001), y mucho menos sobre la adaptación al mismo (aunque también revisar McCarthy *et al.*, 2001).

Un aspecto central de la gestión adaptativa es el aumento y uso del conocimiento acerca de los efectos del cambio climático sobre los ecosistemas, tanto en su estructura y función, como en los servicios que prestan a la sociedad. Pero el conocimiento científico en si mismo no aporta elementos para mejorar la gestión. En cambio, se trata de la

generación y organización de un conocimiento pertinente, de tal suerte que no solo esté disponible, sino que efectivamente sea un insumo de los procesos de gestión. El monitoreo no se justifica en sí mismo, sino en el contexto del manejo adaptativo, es decir como componente de la gestión.

Uno de los aspectos centrales a tener en cuenta en el monitoreo de los ecosistemas frente al calentamiento global, es el hecho que el cambio en los ecosistemas es ante todo un proceso multicausal, es decir que responde a una gran cantidad de factores, incluyendo los inducidos por la sociedad humana. Muchos de estos factores son afectados directamente por el cambio global, y por lo tanto su efecto es esencialmente inseparable del aspecto climático.

Lo anterior implica reconocer que los efectos del cambio climático sobre los ecosistemas se manifiestan con una complejidad, la cual no puede ser aproximada de manera suficiente mediante experimentos estándares que buscan develar relaciones directas entre causa y efecto. Por el contrario, el monitoreo debería contribuir a revelar tendencias en los factores múltiples más relevantes en el cambio de la composición, estructura y funcionamiento de los ecosistemas. Esto por su supuesto no está libre de un grado importante de confusión en el papel que juega cada uno de ellos. A pesar de que no pueden eliminarse totalmente los factores de confusión, su influencia puede minimizarse con datos tomados en ecosistemas con la menor influencia humana posible (Parmesan *et al.*, 1999). En un proceso de monitoreo, la incertidumbre también puede reducirse mediante el diseño experimental y métodos estadísticos.

El monitoreo hace parte del manejo adaptativo, proceso en el cual se contrastan los supuestos iniciales, con los resultados, en un proceso de evaluación. En términos técnicos, el monitoreo es el insumo de información que permite realizar la evaluación de las políticas de gestión. Los componentes del análisis científico y de la evaluación de las políticas presentan analogías interesantes (figura 2).

El monitoreo hace parte de la evaluación de la ejecución de las políticas ambientales, y es com-

ponente esencial para el manejo adaptativo. Éste implica en último término mantener un ciclo de políticas abierto y en un nivel de detalle que permita incluir modificaciones, como producto del seguimiento de su efecto sobre los problemas que se pretenden atacar con ellas.

2.7.1 Conocimiento y monitoreo del cambio climático y sus efectos

2.7.1.1 Conceptos generales sobre el monitoreo de los ecosistemas

La biodiversidad puede ser utilizada como un elemento que es a la vez objeto del monitoreo, y medio para monitorear cambios ecosistémicos. La gran diversidad biológica de Colombia, se traduce en la práctica en la existencia de un sistema instalado que permite alertas tempranas sobre el cambio ambiental, y el cual es preciso aprender a leer.

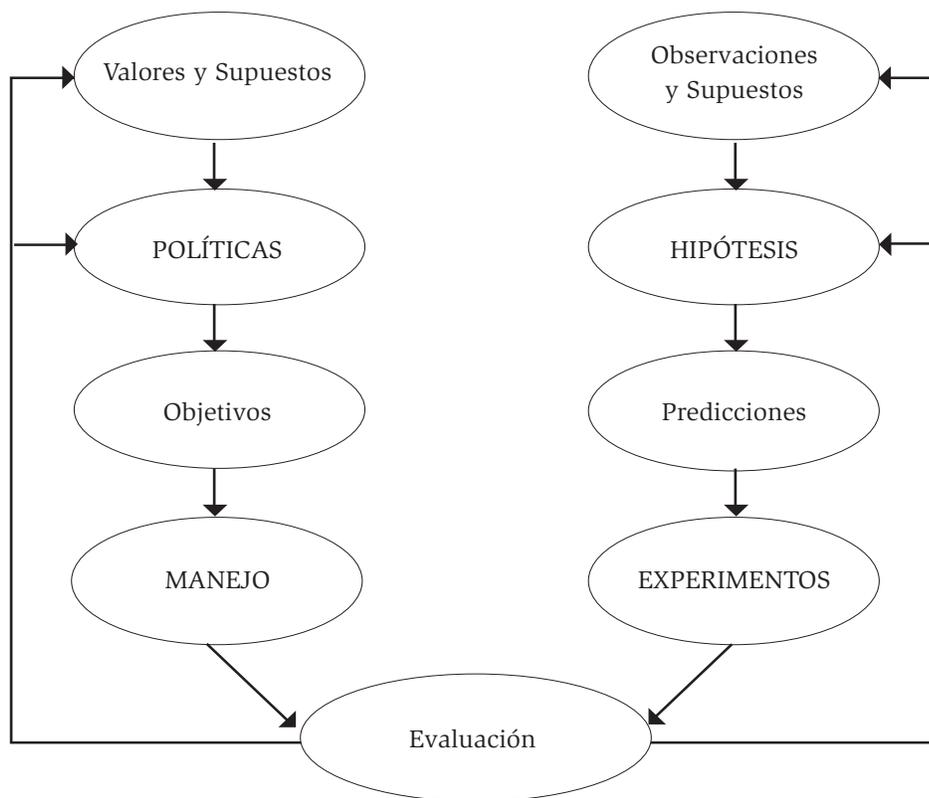
Estructura jerárquica de los ecosistemas y la biodiversidad

El monitoreo de los ecosistemas debe hacerse sobre con su estructura, funcionamiento, y las funciones que éstos cumplen para la sociedad. En este sentido, el concepto de biodiversidad (*sensu* Convenio de Diversidad Biológica) que incluye aspectos de la estructura y funcionamiento de la misma en diferentes niveles jerárquicos, puede constituirse en una herramienta para proponer un sistema de monitoreo de los ecosistemas ante el cambio climático⁹.

La biodiversidad, considerada como la expresión de la variedad de la vida en sus diferentes niveles de organización (genético, de especies, y ecosistemas), se manifiesta en una estructura jerárquica de composición, estructura y función (Noss, 1990), Cuadro 7.

La estructura jerárquica diferencia cada uno de los niveles y propone una aproximación en la cual los fenómenos están contenidos en niveles de organización creciente, de tal suerte que un monitoreo en el nivel de los ecosistemas sería inclusivo (como hipótesis a ser falseada) de los fenómenos contenidos en otras escalas y niveles. Así, el monitoreo en un nivel contenido -genético o de especies- no debería ser exhaustivo, sino sólo de algunos elementos cuya variación se valida en el contexto,

Figura 2 Esquema general del manejo adaptativo



Cuadro 7 Estructura jerárquica de la biodiversidad (adaptado de Noss, 1990)

Nivel de Organización	Composición	Atributos	Función Estructura
Biosférico/continental	Grandes Biomas. Unidades Biogeográficas	Distribución de Grandes Biomas Terrestres	Procesos Ecológicos y Evolutivos
Regional/paisaje	Diversidad Ecosistémica.	Patrones Espaciales de los Ecosistemas (Conectividad, Fragmentación, Heterogeneidad, Etc.)	Dinámica de los Ecosistemas (Resiliencia, Sucesiones, Etc.)
Local/comunidad Biótica	Especies Presentes.- Riqueza Diversidad (Alfa, Beta) Especies Exóticas Invasoras	Diversidad de Especies Estructura Trófica	Procesos Sincológicos
Especie/población	Estado de las Poblaciones	Requerimientos de Hábitat Áreas de Actividad de las Especies	Parámetros Demográficos de las Poblaciones
Genético	Diversidad Genética (Alelos)	Variabilidad Genética Funcional	Genética de Poblaciones

representado por el nivel de organización superior, y así sucesivamente.

Información de base e indicadores

En general los procedimientos de monitoreo se conciben como el seguimiento en el tiempo del estado de algunas variables seleccionadas, las cuales son comparadas con relación a un estado inicial, o con un valor deseado. En este sentido es usual que el monitoreo se inicia con la generación de una “línea base de información”, en ocasiones un inventario, y el monitoreo se refiere siempre a ésta (*baseline monitoring*). La información de base usualmente es presentada en forma de variables de estado. El monitoreo puede concebirse como la repetición en el tiempo de las mismas medidas (inventario de base) o variables de estado, o como la medición subsiguiente de esas variables mediante el uso de indicadores. El uso de indicadores implica una función de bioindicación probada, y los indicadores como tal deben cumplir toda una serie de requerimientos (Cuadro 8).

Métodos de monitoreo

Los pasos para desarrollar un programa de monitoreo de ecosistemas centrado en la biodiversidad (Noss & Cooperrider, 1994) en el contexto de manejo adaptativo, son:

1. Alcance o definición del problema: Formulación de los objetivos generales y específicos del programa de monitoreo. Ubicación del monitoreo en el contexto del ciclo de gestión ambiental. En esta fase se deberían responder preguntas tales como: ¿cuál es la relación entre gestión e información? ¿Quiénes son los usuarios de la información? ¿Cómo la información proveniente del monitoreo afecta la gestión?
2. Inventario: Generación u organización de la información de línea de base, o de referencia. La información de base no corresponde a un inventario exhaustivo para el tema en general, sino –en el contexto del programa de monitoreo- de aquella que es pertinente directamente a los objetivos de gestión. La línea base en ocasiones se confunde

Cuadro 8 Requerimientos generales de los indicadores para el monitoreo (modificado de Cairns et al., 1993)

Requerimientos de tipo científico y técnico
<ul style="list-style-type: none"> ■ Organización jerárquica: deben estar ajustados a la escala espacial de representación. ■ Deben ser ajustados progresivamente, de lo general a lo particular. ■ Deben ser georeferenciados. ■ Deben mantener un nivel de generalidad, no referirse a situaciones únicas o atípicas. ■ Tener significación biológica o ecológica, no deben ser arbitrarios. ■ Deben ser medibles, tener atributos cuantitativos. ■ Sensibilidad: deben responder a cambios o tensiones ambientales, pero no con una respuesta del tipo “todo o nada”. ■ Debe haber un rango de significado frente al fenómeno indicado.
Requerimientos de tipo social e institucional
<ul style="list-style-type: none"> ■ Tener significado para usuarios determinados. ■ Relacionados con los objetivos de las políticas de gestión concretas. ■ Eficiencia ■ Capacidad de anticipación ante los fenómenos, para poder incidir en el cambio de las políticas. ■ Bajo impacto, su uso no debe producir impacto negativo en el ambiente.

con la generación de un “banco de información” o de un “sistema de información”. Si bien, ambas están relacionadas, la línea base es el subconjunto de información que ha sido definida de acuerdo con los objetivos de la gestión y los requerimientos de los usuarios.

3. Diseño experimental y selección de indicadores: Es la parte menos desarrollada en los programas de monitoreo. Usualmente se da por sentado que toda la información que se recolecta puede ser usada *a posteriori* mediante sistemas analíticos. También se supone que más información se traduce directamente en un mejor conocimiento. En este contexto frecuentemente se sobrevalora la capacidad del Sistema de Información Geográfico como “integradores” de información. En realidad, el monitoreo como tal requiere la construcción previa de un marco lógico específico el cual identifica y relaciona las variables en relación con hipótesis de trabajo, dándole un lugar y peso específico a la(s) variable(s) dependiente del fenómeno que se pretende esclarecer.
4. Muestreo y validación de los modelos: como resultado de la construcción anterior, se realiza el diseño de muestro y el procedimiento de validación (usualmente con datos primarios, o mediante modelación) de los resultados. Es muy frecuente que los procesos denominados de monitoreo se detengan en el punto 3; convirtiéndose en realidad en actividades de recolección de mas información, la cual no puede ser interpretada adecuadamente en el marco de la gestión.
5. Análisis de los datos y ajuste del manejo: Este paso no hace parte exclusiva del monitoreo como tal, sino que es la interfase entre el monitoreo y la gestión adaptativa. En el fondo se trata del paso más crítico, y sin duda aquel que ha recibido menos atención.

2.7.1.2 Lineamientos para el monitoreo en el nivel de los ecosistemas

Mapeo nacional y regional

El establecimiento de la línea de base de referencia, para el monitoreo del cambio de los ecosistemas,

se basa en dos dimensiones, complementarias. De un lado la estructura espacial general de los ecosistemas, la cual se define mediante procedimientos de mapeo, y de otra, la definición de atributos estructurales y funcionales de los mismos.

El mapeo por si solo no resuelve la cuestión del monitoreo del efecto del cambio climático en los ecosistemas, pero se constituye en su contexto esencial. Esto tanto en la fase de diseño (estratificación del espacio), como para la interpretación y extrapolación en espacios mayores de lo observado. El mapeo solo revela el cambio ecosistémico más prominente, y en la medida en que es posible representarlo en la escala correspondiente y adecuada para el tipo de ecosistemas.

Lo anterior es particularmente pertinente en el caso de los ecosistemas (o coberturas) más sensibles al cambio climático, tales como los glaciares. Los ecosistemas más sensibles al cambio climático son aquellos que ocurren bajo condiciones extremas, o en rangos estrechos de variables climáticas, tales como zonas áridas y semiáridas, o ecosistemas de gran altura (paramos y superpáramos).

Sobre el mapeo de los ecosistemas existen procedimientos variados, entre ellos los utilizados por el Instituto Humboldt (Etter, 1998) y el IDEAM (1996), definidos para fines diferentes (escalas entre 1.500.000 – 2.000.000) (Cuadro 9). En el Anexo 3 se presenta un cuadro comparativo de ambos sistemas, y una discusión técnica en relación con los fines del presente ejercicio. El del IDEAM de “Coberturas Vegetales, Uso y Ocupación del Territorio” presenta bondades para los fines iniciales del ejercicio. Sin embargo, atendiendo al objetivo de permitir predecir la vulnerabilidad de los ecosistemas, presenta algunas limitaciones.

Comentarios sobre el sistema de clasificación

En primera instancia es necesario aclarar que el mapa del IDEAM presenta la vegetación y “coberturas” hídricas, asentamientos humanos y coberturas sin vegetación ya sean de origen antrópico o natural. Los usos mapeados son en realidad tipologías que implican cambio radical de la cobertura natural (en realidad las coberturas naturales tam-

bién implican uso, o son en si mismas una forma de uso). Este tipo de consideraciones si se tienen en cuenta en el mapa del Instituto Humboldt.

El número de unidades de cobertura reconocidas en el mapa del IDEAM es de 42 tipos, aunque puede aumentar si se tienen en cuenta algunas subunidades, número que es sensiblemente menor a la diversidad ecosistémica reconocida actualmente en el país en el nivel macro. Así, las coberturas reconocidas se constituyen en una primera aproximación a los ecosistemas, que incluyen indistintamente un mosaico muy heterogéneo. Estas categorías no permiten generar información de línea de base para el monitoreo de la extensión original de los ecosistemas y solo pueden ser analizadas en términos de pérdida relativa de ecosistemas en un análisis multitemporal.

El mapa del Instituto Humboldt presenta 75 unidades de ecosistemas (sin incluir los marinos con los cuales sumarian 78 unidades). A cada ecosistema actual le corresponde uno “potencial”, lo que permite efectuar un seguimiento de pérdida absoluta de los mismos.

Otra diferencia importante entre los dos mapas es la fuente de información usada. El IDEAM se basó en el uso de imágenes de satélite a escala 1:500.000. El Humboldt usó fuentes variadas a diferentes escalas de aproximación y los criterios acumulados en la experiencia anterior de cartografía de ecosistemas.

Mientras que el mapa del IDEAM es una “fotografía” de la realidad a través de la imagen satelital, a escala general, el del Humboldt es un modelo conceptual que se nutre de las mismas fuentes y de representaciones previas de la realidad, produciendo un modelo a escala más detallada. Ambos mapas pueden tener limitaciones de objetividad, y su alcance en todo caso está mediado por la tecnología y por los sistemas clasificatorios usados.

Usualmente el monitoreo de ecosistemas incluye el trabajo simultáneo en varias escalas espaciales. Las más generales (usualmente las nacionales) son complementadas con el uso de “ventanas” a escalas más detalladas. La informa-

ción obtenida en escalas más detalladas permite validar la información desarrollada en escalas más generales. Igualmente la información primaria de campo complementa y valida la información obtenida en las escalas anteriores. La relación lógica en el salto de las escalas no es automática (aunque en el SIG está automatizada), y debe estar mediada por un modelo lógico. Las unidades generales del mapa del IDEAM, en este sentido, no permiten una adecuada estratificación del espacio (reconocimiento de suficientes unidades de heterogeneidad) sobre el cual generalizar adecuadamente la información de campo¹⁰. El mapa del Humboldt es mucho más adecuado para estratificar el espacio y para generalizar y especializar información puntual de campo.

Recomendaciones generales para el mapeo

- Revisar los sistemas de clasificación de ecosistemas existentes, según los objetivos y necesidades del IDEAM (en particular para el tema de la vulnerabilidad) y otras entidades.
- Reinterpretar los mapas de coberturas en un mapa base que contenga como sistema clasificatorio los ecosistemas potenciales de Colombia. Según la leyenda de Etter comparar los resultados y generar un nuevo mapa de ecosistemas naturales y transformados de Colombia, el cual será usado como línea de base para el monitoreo general del país.
- Abrir “ventanas” a escalas detalladas en algunas zonas críticas del país, y realizar en ellas una cartografía ecológica con base en el desarrollo de una leyenda y tipología de clasificación detallada, el análisis multitemporal con fotografías aéreas y trabajo de campo.

Monitoreo de la estructura y función de los ecosistemas

En Colombia han existido algunos esfuerzos importantes dirigidos al monitoreo de largo plazo de la estructura y la composición de los ecosistemas, en escalas variables. Sobresale la caracterización de transectos altitudinales andinos, emprendida en el proyecto Ecoandes, y los cuales han proveído un conjunto muy importante de información que rela-

Cuadro 9 Comparación general entre los sistemas de clasificación de los mapas coberturas vegetales del IDEAM (1996) e IAvH (1998)

Mapa	Niveles de agregación y Coberturas de la tierra	2 Coberturas	Numero de Tipos generales de bioma	Unidades Tipos de cobertura vs. biomas	5 Ecosistemas	Escala de presentación	Criterios
IDEAM (1996)	5	3	No aplica	42 (22 coberturas vegetales originales, 8 agroecosistemas, 8 coberturas hídricas, 2 tipos de asentamientos humanos, 1 sin cobertura origen antrópico, 1 sin cobertura origen natural)	No aplica	500.000 - 1'500.000	La cobertura vegetal se identificó teniendo en cuenta (1) cobertura de la tierra en imágenes de sensores remotos (vegetal, hídrica, asentamientos). (2) Atributos fisiográfica o sistemas morfogénicos (llanura o planicie = Basal y sistema de montañas = Andino) (3) Fisonomía, distribución espacial y en algunos casos composición. Las coberturas hídricas se clasificaron teniendo en cuenta la posición en los diferentes sistemas morfogénicos y su característica limnológica (lago, laguna, embalse, ciénaga). Las coberturas de los asentamientos humanos se definieron según si es cabecera departamental o municipal (> 30.000 habitantes)
IAvH (1998)	No aplica	No aplica en el mismo sentido que IDEAM	6 (no se tienen en cuenta los marinos en este cuadro)	22 (Biomás)	75 (62 ecosistemas vegetales originales, 12 agroecosistemas, 1 ecosistema hídrico y (3 ecosistemas marinos no se tienen en cuenta en el total ya que no se presentaron en la clasificación del IDEAM)	2'000.000	(1) Los dos primeros niveles están definidos según la clasificación de Biomás de Walter (1980), el cual tiene en cuenta estructura de la vegetación, sustrato, ubicación según región natural, Sistema morfogénico. (2) Los ecosistemas se clasificaron con base en una versión adaptada de UNESCO (1973), teniendo en cuenta fisonomía, altura de la vegetación (alto, medio, bajo), densidad, sustrato, geomorfología, grado de humedad, entre otros.

ciona es estructura y composición de los ecosistemas con los factores climáticos. La revisión de estos trabajos está por fuera del alcance de este documento (Van der Hammen, 1984 y 1995). Estos transectos permiten comparar los ecosistemas en gradientes altitudinales de las cordilleras, y entre ellas, y en particular en franjas o zonas especialmente sensibles al cambio climático, como son los ecotonos y los ecosistemas de las partes más altas de las cordilleras.

Otro método ha sido el establecimiento de “parcelas permanentes”, casi siempre a una escala espacial de parcela. Cuando la ubicación de las parcelas se ha diseñado previamente con preguntas en un ámbito mayor (como el caso de Ecoandes), los resultados tienen el potencial de revelar cambios en el ámbito de los procesos en el paisaje.

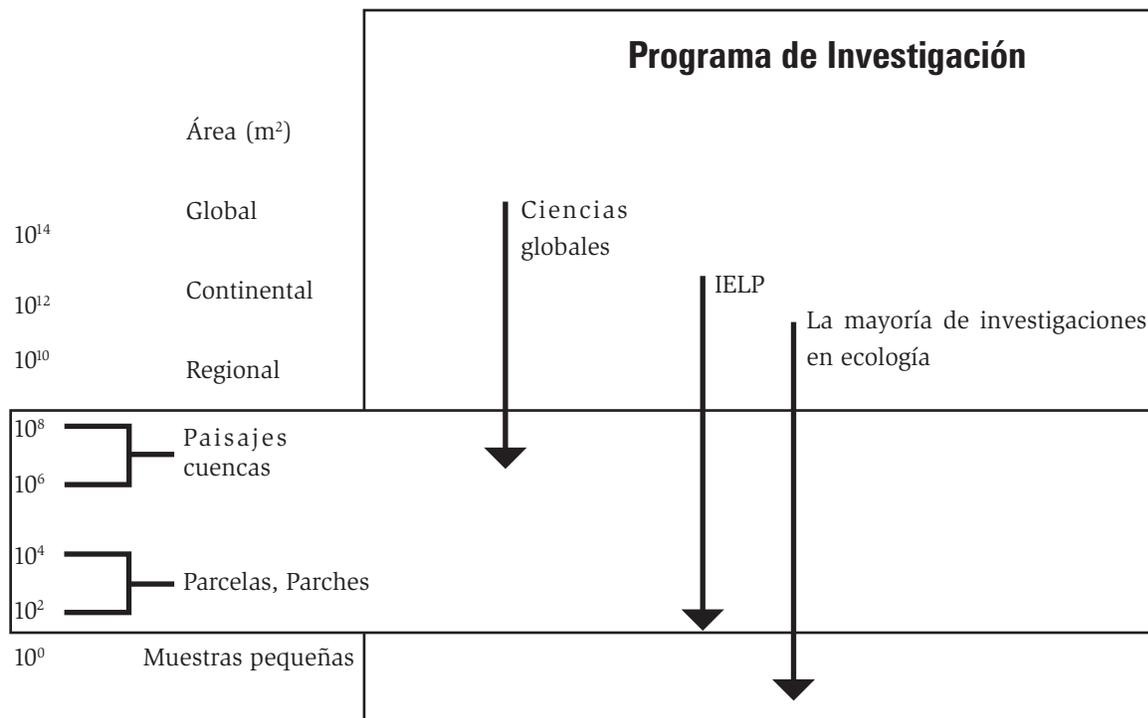
Un factor que limita la investigación ecológica es la escala temporal de la misma. El tipo de fenómenos que se pueden estudiar y monitorear, depende esencialmente de la escala espacial y temporal de los mismos (Figura 3).

El concepto de investigación ecológica de largo plazo (*sensu* Callahan, 1984) prácticamente no existe en el país. El Instituto Humboldt (1999) revisó las investigaciones ecológicas de Colombia y encontró solo un puñado de ellas, cuya escala temporal supera el año (Cuadro 10). Es evidente que en términos de monitoreo ecológico, la situación del país es muy precaria.

Monitoreo de factores hidroclimáticos

Actualmente el IDEAM realiza el monitoreo del país, mediante una red hidrometeorológica (con más de 3.000 estaciones de diferente naturaleza) y sensores remotos (NOA y GOES). Esta información está a disposición del público en forma horaria, diaria, mensual, anual, multianual y decadal, además de las gráficas de los registros históricos de pluviógrafos, anemógrafos, higrógrafos, termohigrógrafos, actinógrafos, limnógrafos, etc., que pueden ser consultadas en forma impresa o microfilmada (IDEAM, 2002). Otras instituciones públicas (Corporaciones Autónomas Regionales, Institutos de Investigación) y privadas llevan tam-

Figura 3 Escalas espaciales y temporales para el monitoreo (tomado de Instituto Humboldt 1999)



Cuadro 10 Ejemplo de investigaciones ecológicas que superan el año de datos continuos (modificado del lavH, 1999)

Proyecto	Tiempo (Años)	Institución
Estructura y Dinámica Espacial de una Comunidad de Aves Altoandina	5	Fundación Ecoandina
Conservación de la Tortuga Charapa <i>Podocnemis Expansa</i> en el Bajo Caquetá	10	Fundación Puerto Rastrojo
Parcelas Permanentes en la Selva del Bajo Caquetá	10	Fundación Tropenbos
Descomposición de Hojarasca en Fragmentos del Bosque Andino en la Sabana de Bogota	2	Universidad Javeriana
Dinámica del Bosque Andino en la Planada	2	Instituto Von Humboldt
Conteos Navideños de Aves (Composición de Comunidades Aviarias en Diferentes Ecosistemas Andinos)	10	Asociación Bogotana de Ornitología

bién registros hidrometeorológicos que deben ser tenidos en cuenta principalmente en los monitoreos y análisis a escalas detalladas.

Con todo, es necesario tener en cuenta que para un monitoreo suficiente en el ámbito nacional de los ecosistemas y las condiciones climáticas, hay que revisar la cobertura de las estaciones hidrometeorológicas disponibles, el tipo y la frecuencia de los datos tomados. En este sentido existen enormes vacíos espaciales. Esto porque la heterogeneidad ambiental usualmente invalida las generalizaciones que se obtienen en los mapas con base en densidades relativamente bajas de datos puntuales. La integración en este nivel es *a posteriori* y usualmente se hace mediante la presentación simultánea y comparativa de los datos separados. El tratamiento es deductivo para derivar conclusiones, las cuales -aunque muchas veces sugestivas- pertenecen al dominio de la hipótesis o conjeturas. En muy pocos casos la información de los factores climáticos y ecológicos se produce y maneja de manera verdaderamente integrada.

Un esfuerzo importante en este sentido, pero que se vio interrumpido, fue el diseño de estaciones climáticas propuesto en el proyecto Ecoandes para la Sierra Nevada de Santa Marta, en el lla-

mado "transecto" del filo Buritaca, en el cual a una escala detallada se realizarían mediciones de factores climáticos y ecológicos de manera simultánea.

Una aproximación integrada experimentalmente en escalas más detallada, se logra en los estudios eco-fisiológicos en el marco de investigaciones puntuales y de corto tiempo. Muchas veces en esta escala se trabaja complementariamente con factores micro-climáticos. Aunque este tipo de investigaciones solo se han realizado para un conjunto muy limitado de ecosistemas (en especial el bosque nublado, ver Veneklaas *et al.*, 1990), el mayor vacío se presenta en la integración entre la información climática y ecológica en escalas meso-climáticas, o regionales.

Un tema de especial importancia es el monitoreo de la oscilación interanual de las lluvias o combinación de los fenómenos de El Niño y "La Niña (ENSO). El fenómeno se presenta con una frecuencia entre 4 y 7 años y se caracteriza por la alteración de patrones de lluvias y sequías en el continente (producir sequías en zonas normalmente lluviosas y lluvias en zonas secas). El fenómeno actualmente se encuentra en estudio. La alerta temprana para el territorio colombiano es crucial para el manejo del agua, la incidencia del

fuego y sus efectos sobre la biodiversidad (Constantino, comunicación personal).

Monitoreo del fuego en los ecosistemas

Tal como se presentó anteriormente, el fuego es factor de perturbación presente en los regímenes naturales de muchos ecosistemas. Sin embargo, es claro que la magnitud, frecuencia y tasa de ocurrencia del fuego en los ecosistemas está aumentando, a la vez que aparece con mayor frecuencia en ecosistemas en los cuales estuvo virtualmente ausente.

El IDEAM en Colombia tiene un programa para definir las áreas con mayor vulnerabilidad a los incendios, a través de la determinación de núcleos calientes (baja precipitación, altas temperaturas, influencia de los vientos) sobre las áreas de las coberturas vegetales y con la información de obtenida por los comités regionales y locales del sistema de prevención y atención de desastres. Mensualmente se genera a nivel nacional el mapa de vulnerabilidad de incendios, el cual es divulgado a través de Internet en la página del IDEAM (www.ideam.gov.co).

Existen evidencias que apuntan a que el aumento en los incendios en ecosistemas naturales puede ser producto del calentamiento global. El aumento en la temperatura y la disminución de las lluvias, por periodos más largos que lo normal, hace que algunos ecosistemas sean más propensos a los incendios, sean éstos originados de forma natural o por causas antrópicas. De hecho, la frecuencia de incendios es notoriamente mayor en Colombia durante los años del fenómeno de El Niño. El fuego tiene un efecto muy profundo en los ecosistemas, en especial en aquellos en los cuales no es factor presente en los regímenes normales de perturbación (bosque nublado por ejemplo). El monitoreo del fuego en los ecosistemas, con registros directos y mapeo con sensores remotos, se constituye en una parte esencial del entendimiento de las tendencias del cambio global. La frecuencia del fuego, temporalidad, tipo de vegetación afectada, entre otros factores, pueden ser utilizados como indicadores en el largo plazo del cambio climático.

Monitoreo de la productividad de los agroecosistemas

Algunos tipos de agroecosistema son más sensibles a otros a las alteraciones climáticas especialmente debido a los cambios en los regímenes de lluvias y los cambios en la temperatura del aire y el suelo (ver arriba). Estos cambios pueden también incrementar las plagas, los niveles de los micro y macronutrientes, los cuales afectan directamente la productividad. Los rendimientos (y la productividad indirectamente) indican de manera temprana cambios internos en los agroecosistemas, los cuales (por razones puramente económicas) tienden a producir respuestas tempranas, casi siempre con el cambio de los cultivos o su desplazamiento hacia zonas óptimas. Sin embargo, un monitoreo riguroso de los mismos requeriría condiciones controladas.

Dado que se trata de sistemas subsidiados (en materia y energía) y manipulados es posible que su sensibilidad ante el cambio climático sea menor que la de los ecosistemas naturales; sin embargo, su monitoreo se justifica especialmente no tanto por su valor indicador, como por la importancia de las funciones sociales y económicas de los mismos.

2.7.1.3 Monitoreo en el nivel de especies y poblaciones

Como ya se mencionó arriba, las especies usualmente presentan respuestas individuales variadas y relativamente independientes ante el cambio climático. Las especies se pueden monitorear por su interés intrínseco o como indicadores del cambio ecosistémico.

Especies sensibles

Existen especies extremadamente sensibles a los cambios climáticos, pues dependen de condiciones particulares de temperatura, humedad, radiación UV, fluctuaciones de los niveles del agua, entre otros factores. Cuando estas condiciones varían, las especies modificarían sus áreas de distribución, o estarían expuestas a un riesgo de extinción. Uno de los grupos más sensibles en términos generales, es el de los anfibios, los cuales han sido considerados como termómetros de la salud de la Tierra. Con base en estudios realizados en Óregon, por

Recuadro 6 Impacto del fenómeno El Niño sobre la biodiversidad

El ciclo de Oscilación Sureña El Niño (ENSO), que corresponde al conjunto de los fenómenos de El Niño y La Niña, constituye la manifestación más importante de variabilidad climática interanual en el ámbito global, con gran impacto sobre la biodiversidad y las actividades humanas. La fase caliente (EN) y fría (LN) del ENSO produce impactos biológicos en los ecosistemas marinos y terrestres. En las orillas y playas marinas del Perú, por ejemplo, se ha observado mortalidad y emigración de aves guaneras, lobos marinos y pingüinos y cambios en la disponibilidad de recursos marinos. En los ecosistemas terrestres durante la fase EN se manifiesta en el Perú el incremento del desarrollo de pastizales en el norte del país, y el desarrollo exuberante de la vegetación y de la fauna de las lomas de la costa. En las islas Galápagos el efecto es igualmente negativo para la fauna marina, mientras que en la porción terrestre aumentan las lluvias lo cual permite la ampliación de la distribución de algunas de las especies invasoras con grave deterioro de la biodiversidad local. En algunos lugares del mundo los efectos son tan fuertes, que han contribuido directamente a la extinción de algunas especies. La desaparición del sapo dorado *Bufo periglenes* y la rana arlequín *Atelopus varius* en Monteverde (Costa Rica) ha sido relacionada con el clima seco extremo asociado con el evento ENSO de 1986-1987 (Pounds & Crump, 1994). Enso afecta en mayor magnitud la productividad de los ecosistemas áridos y semiáridos, como las sabanas, produciendo periodos prolongados de sequías con periodos cortos de precipitación, que no son suficientes para su recuperación. Con todo, resulta evidente que el conocimiento sobre el impacto biológico del ENSO es aún fragmentario, y la mayor información está referida al impacto de su fase cálida (EN). En Colombia aún son pocos los esfuerzos científicos que correlacionen los eventos del ENSO y sus impactos en los niveles de organización biológica (Poveda et.al., 1999a y 2001b, Carvajal 1999). Muchos autores han coincidido en señalar que las acentuadas oscilaciones ENSO dibujan un escenario de lo que podría ser el cambio global, lo cual hace suponer que los efectos sobre la biodiversidad de éste, en conjunto serían muy negativos.

ejemplo, (Blaustein, 2001) se ha podido comprobar que el cambio en los patrones de lluvia causados por el calentamiento global (y asociados con el fenómeno de El Niño) ha disminuido los niveles de los cuerpos de agua, haciendo que los huevos queden expuestos a la influencia de los rayos ultravioleta. Los resultados de estas investigaciones (realizadas particularmente sobre el sapo *Bufo boreas*) han mostrado que existe actualmente una mortalidad de huevos del 80 al 100% (University Science News, 2001). Estos aumentos en la mortalidad de embriones y adultos también se han presentado con el sapo dorado de Costa Rica -*Bufo periglenes*- (Pounds, 2001).

Otros grupos sensibles al cambio son las mariposas (y otros artrópodos) y algunas las plantas epífitas. Las especies para las cuales se ha podido establecer relación cambios asociados al cambio climático, pueden ser usadas como indicadoras del mismo. El uso de especies indicadoras ayuda a detectar de forma temprana cambios en los ecosistemas.

Otro conjunto de especies sensibles al cambio climático son las que presentan migración hemisférica. Las especies migratorias pueden ser especialmente vulnerables porque usan hábitat diferente en épocas de reproducción, durante el invierno y

durante la migración. Basta para que uno de éstos sufra alteraciones por el cambio climático, para que la especie responda. Por ejemplo los sitios de migración de las aves playeras dependen de condiciones geomorfológicas e hidrológicas, las cuales podrían verse afectados por el cambio en el nivel del mar. Existen estudios que relacionan cambios climáticos con las fluctuaciones de las poblaciones de aves cantoras en Norte América y de mariposas en Europa (The Associated Press, 2001).

Algunas de las especies sensibles al cambio climático pueden presentar ya algún riesgo de desaparición. En este caso el monitoreo se hace además con fines de conservación de las mismas, y no-solo como indicador del cambio. En particular las especies endémicas, o con distribución restringida y que habitan ecosistemas vulnerables (como el superpáramo por ejemplo) son particularmente sensibles e indicadoras del cambio global.

Otro conjunto de especies sensibles, son aquellas que se ven favorecidas por el cambio climático. El carácter de sensibles al cambio climático no implica de por sí un interés en la conservación. De hecho muchas de las especies exóticas invasoras responden de manera temprana y positiva al cambio climático. Las especies sensibles pueden

ser indicadoras, simultáneamente. Con el cambio de condiciones ambientales estas especies pueden ampliar su área de distribución y aparecer en zonas antes desconocidas o donde estaban confinadas. Actualmente se considera que las invasiones de especies introducidas son la segunda causa global de pérdida de biodiversidad, después de la destrucción de los ecosistemas y hábitats naturales (Cronk & Fuller, 1995). Algunas de las especies invasoras son altamente sensibles a cambios ambientales, por lo cual su expansión puede leerse como una alerta sobre el cambio ecosistémico. El cambio climático puede desencadenar la capacidad de invasión de especies exóticas que han permanecido confinadas durante muchos años.

El cambio de distribución de las especies, y las invasiones pueden ocasionar problemas sanitarios, epidemiológicos, en la agricultura y para la conservación de la biodiversidad

2.7.1.4 Aspectos institucionales del monitoreo

Las bases institucionales de los procesos de manejo de información ambiental están suficientemente desarrolladas en el diseño del Sistema Nacional Ambiental. Independientemente de la discusión siempre abierta acerca de la estructura institucional, conceptual, temática y regional del diseño de los Institutos que prestan apoyo al Ministerio del Medio Ambiente, en este documento se proponen algunas acciones que se enmarcan dentro de la estructura vigente. Entre ellas, la necesidad de construir un sistema de monitoreo de los ecosistemas a diferentes escalas, e integrado con el monitoreo de la biodiversidad (como objeto de monitoreo en si mismo y como indicador).

Mapeo de ecosistemas

Se hace necesario consolidar en el corto plazo una base de cartografía unificada de los ecosistemas del país, con el nivel de diferenciación de la leyenda de los mismos y de detalle cartográfico necesario para los fines del cumplimiento integrado y eficiente de los compromisos internacionales de las convenciones de diversidad biológica, cambio climático y lucha contra la desertificación. El sistema de clasificación utilizado por el Instituto Von Humboldt

presenta una mayor comprensión de la diversidad ecosistémica del país, y por lo tanto se propone que este sea adoptado con los debidos ajustes. Lo anterior se podría lograr convocando a un grupo de expertos, y mediante un taller técnico, para definir en un tiempo corto la estructura de la cartografía base de los ecosistemas del país. La capacidad tecnológica y los recursos humanos existentes en el IDEAM deben reforzarse para producir un nuevo mapa perfeccionado. Sin embargo, un grupo de trabajo permanente sobre cartografía de ecosistemas ayudaría a mantener el proceso en el mayor nivel técnico. Podría buscarse además la realización de eventos científicos y capacitación en el tema, la visita temporal de asesores, y la divulgación de los productos técnicos.

De otra parte, para el monitoreo de estructura y composición de ecosistemas naturales, es recomendable el (re) establecimiento del un sistema de transectos altitudinales de Ecoandes, ampliado con otros transectos en la transición de ecosistemas sensibles en tierras bajas, y complementado con una red de parcelas permanentes. Estas ultimas representativas de los ecosistemas que se quieren monitorear en mayor detalle (síntesis en el Cuadro 11). Algunas de esas parcelas permanentes podrían instalarse en las “estaciones de campo” que la ley ordena para el seguimiento de los ecosistemas colombianos en cabeza del Instituto Von Humboldt.

De otra parte, es también recomendable que el monitoreo se lleve a cabo en lo posible en las áreas protegidas del país, en especial el Sistema Nacional de Parques Nacionales; debido a la necesidad de garantizar en el largo plazo la conservación de los ecosistemas, además del apoyo del personal del mismo.

Recursos humanos para el monitoreo

Usualmente las tareas de monitoreo ecológico en el campo se pueden hacer con equipos sencillos y poco sofisticados, pero es esencial una alta inversión relativa en recursos humanos calificados. Los escasos especialistas que existen en el país, o el exterior, podrían además colaborar en el diseño (selección de especies o comunidades y definición de variables y métodos detallados). Una forma de movilizarlos

Cuadro 11 Síntesis de la propuesta de monitoreo de ecosistemas naturales

Región	Escala Regional (Meso-climática)	Escala Local (Micro-climática)	Socio Potencial
Cordillera Occidental			
Transecto Altitudinal en la Vertiente Exterior.	Parque Nacional Farallones de Cali (Cuenca Anchicayá) y Río Escalarete	Parcela Río Escalarete	Cvc
	(Existente)	Parcela la Planada	Fes
Transecto Altitudinal Vertiente Interior		Bosque de Yotoco	Cvc
Cordillera Central			
Transecto Altitudinal (Vertientes Valle del Cauca y Valle del Magdalena)	Por Definir.	Parcela Santuario Otún Quimbaya	Uaespnn
		Parcela Ucumarí	Carder
Cordillera Oriental			
Transecto Vertiente Magdalena	Por Definir	Por Definir	Por Definir
Transecto Vertiente Exterior	Por Definir	Por Definir	Por Definir
Sierra Nevada de Santa Marta			
Vertiente Norte	Transecto Buritacá	Parcela Alto de Mira	Uaespnn y Fundación Pro Sierra Nevada de Santa Marta
	Transecto Seco-húmedo	Parcela (S) Parque Parque Tayrona	Uaespnn Tayrona
Llanura del Caribe		Parcela los Colorados	
Transición Seco-húmedo Caribe-andes	Paramillo	Parcelas En Urrá.	Urra S.a., Uaespnn
Amazonía		Parcela Araracuara	Fundación Tropenbos
		Parcela Amacayacu	Uaespnn
		Parcela (S) Chiribiquete	Fundación Puerto Rastrojo

para este fin, podría ser la creación o apoyo a las redes de especialistas existentes. También se puede acudir, mediante el apoyo a grupos de interés, como las asociaciones de Ornitología (Asociación Bogotana de Ornitología y Asociación Antioqueña de Ornitología), las cuales manejan una cantidad importante de datos que podrían ser insumo importante para los procesos de monitoreo.

Flujo de información sobre el cambio climático

La información que se genera en los procesos de monitoreo, debe ser insumo para una estrategia más amplia de comunicación, dirigida a inducir y reforzar los procesos de adaptación. Los insumos informativos son los del sistema de monitoreo, ligado con el sistema de información ambiental del cual el IDEAM es nodo central, y con participación

de otras instituciones, en particular del SINA. La estrategia de comunicación se debe enmarcar en los criterios de oportunidad, eficiencia y eficacia. La disponibilidad temporal de la información debe ser adecuada, de manera que los agentes económicos y del Estado pueden tomar decisiones adaptativas frente a los fenómenos desencadenados por el cambio climático. Con el fin de precisar esta estrategia, se hace necesario de antemano conocer cuales son los usuarios típicos de este tipo de información, y los actores de los procesos de adaptación. Una revisión preliminar reúne al menos a institutos del SINA, entidades que generan estadísticas hidrológicas y climatológicas (hidroeléctricas, acueductos, distritos de riego, industrias de alto consumo de aguas, grandes unidades de acuicultura, operadores de transporte fluvial, haciendas y grandes cultivadores), entidades de investigación agropecuaria, forestal y pesquera, universidades, ONG ambientales, gremios y empresas del agro, Corporaciones Autónomas y municipios.

Para su uso, la información requiere ser procesada a través de modelos que permitan la generación de escenarios, y el diseño de productos de comunicación dirigidos a los diferentes tipos de usuarios.

2.7.2 Escenarios de adaptación al cambio climático

Los aspectos de dinámica de los ecosistemas y su vulnerabilidad ante el cambio climático arriba presentados, se traducen en la necesidad de incorporar en los procesos de planificación diferentes escenarios de cambio en los ecosistemas, para facilitar su adaptación ante el cambio climático. La adaptación se refiere no tanto al manejo de los ecosistemas como respuesta de corto plazo al cambio climático, sino a la gestión preventiva dirigida a crear o consolidar escenarios que minimicen la vulnerabilidad de los ecosistemas. Esto se podría lograr con una política de conservación y manejo de ecosistemas en el marco de los procesos de ordenamiento territorial nacional, la cual podría resumirse en el siguiente criterio: el avance hacia el cumplimiento simultáneo de los compromisos de las convenciones de biodiversidad, cambio climático y prevención de la desertificación, establece

desde el ámbito internacional y nacional, unos requerimientos especiales sobre el mejor uso que se le debe dar a las tierras del país. Son determinantes que superan los esquemas de planificación de uso de la tierra que han prevalecido hasta ahora, dirigidos a satisfacer requerimientos de eficiencia económica y ambiental en el uso de determinados recursos. En el momento actual se imponen unos requerimientos ecológicos que es necesario desarrollar y viabilizar en los procesos de planificación.

2.7.2.1 Concepto de estructura ecológica

La capacidad de adaptación del país al cambio climático, depende del escenario ecosistémico en el cual éste se produce. Como se ha visto arriba, el país se caracteriza por contener un conjunto muy complejo y variado de ecosistemas naturales, los cuales en una gran parte se ven hoy profundamente afectados por la acción humana. Muchos de estos cambios han llevado a los ecosistemas más allá de los límites normales de funcionamiento. Esta situación establece una desventaja de partida, en el proceso de adaptación al cambio climático.

Para los fines del presente ejercicio, el escenario ecológico del país lo asimilamos (con algunas modificaciones) al concepto de Estructura Ecológica Principal (EEP), desarrollado para el Plan de Ordenamiento de Bogotá (POT). Se entiende por EEP y que está actualmente en rediseño por parte del IDEAM:

“La red de espacios y corredores que sostienen y conducen la biodiversidad y los procesos ecológicos esenciales a través del territorio, en sus diferentes formas e intensidades de ocupación, dotando al mismo de servicios ambientales para su desarrollo sostenible”.

Dado que cualquier espacio físico del planeta sostiene y conduce algunos elementos de la biodiversidad y procesos ecológicos, se trata pues de definir cuales son esos elementos y procesos que se desean mantener, y en que nivel de manifestación o calidad. Es decir, precisar los objetivos de gestión, que son específicos para cada caso y los cuales dependen de la escala espacial de representación (percepción) del ecosistema.

Si se parte de la base “el cambio es inevitable” (según el enfoque ecosistémico de la CDB) entonces se trata de mantener procesos ecológicos (y elementos de la biodiversidad) que garanticen un nivel de riesgo de cambio ecosistémico que sea aceptable por la sociedad. El único nivel de riesgo aceptable desde el ámbito de la política, sería aquel al que la sociedad puede adaptarse de manera eficiente. Dado que estamos hablando de procesos de cambio global que pueden manifestarse en escalas espaciales y temporales que sobrepasan toda posibilidad de modificación directa de parte de la sociedad, el proceso adaptativo se centra necesariamente en la prevención de ocurrencia de los peores escenarios, esto es aquellos en los cuales la adaptación es aun más difícil o imposible. En este sentido, la estructura ecológica es un concepto estático. Como objeto de la gestión adaptativa se buscaría modificar la actual estructura ecológica del país que presenta ya un déficit, y llevarla a una que represente el nivel mínimo que permita posibilidades de adaptación al cambio. La Estructura Ecológica actual presenta un déficit, en la medida en que la conformación espacial (y la calidad) de los ecosistemas no permite una adaptación aceptable a los cambios climáticos. En efecto, el patrón espacial de uso de la tierra determina que las funciones adaptativas propias de los ecosistemas tales como los niveles de resiliencia y el cambio en los regímenes de perturbación, no permite una respuesta adecuada al cambio climático, en especial porque los ecosistemas más sensible y vulnerables (selvas nubladas, paramos, bosques secos tropicales) se encuentran en mayor estado de degradación. Un nivel mínimo para la Estructura Ecológica sería aquella que representa un estado en que los riesgos del cambio climático se vean minimizados para un conjunto mayor de funciones y valores ambientales (biodiversidad por ejemplo). Algunos elementos esenciales que es necesario incorporar a la Estructura Ecológica (en categorías no necesariamente excluyentes), son:

- Ecosistemas estratégicos (con base en el desarrollo actual *sensu* Márquez, 1996)).
- Áreas silvestres prioritarias para la conservación.
- Principales corredores de conservación (para biodiversidad largo plazo).

- Áreas de amortiguación para cambio climático (que completan integridad de procesos ecológicos: húmedo a seco, etc.).
- Áreas especialmente vulnerables al cambio climático (zonas de transición, alta montaña, etc).
- Áreas de prevención de desertificación.
- Áreas de restauración por desertificación o degradación actual

Sistema de áreas protegidas

El actual sistema de áreas protegidas (entendido como el Sistema de Parques Nacionales y el resto de las reservas naturales del país), en especial en las zonas Andina y Caribe, contiene en su interior la mejor porción de los ecosistemas naturales y la biodiversidad nacional, siendo ya elemento esencial de la estructura ecológica del país en términos de servicios ambientales y “ecosistemas estratégicos” (*sensu* Márquez, 1996; Castaño-Uribe y Cano 1998). En las regiones del Chocó, Orinoquia y Amazonia (así como en las zonas marinas), la mayoría de las funciones naturales de los ecosistemas se encuentran en grandes extensiones, y el sistema de áreas protegidas solo representa una porción menor de ellas.

El diseño del Sistema de Parques Nacionales y de las demás reservas naturales del país, ha sido realizado atendiendo a criterios de conservación del paisaje, la biodiversidad (unidades biogeográficas), agua y otros valores naturales. No ha sido diseñado específicamente para atender los requerimientos que surgen del riesgo de cambio climático. En ese sentido, el actual sistema de áreas protegidas debe extenderse de manera a completar la representatividad biológica y funcional de los ecosistemas que en él se han incluido. Esto puede lograrse mediante la ampliación del mismo sistema en las categorías actuales, o mediante el uso de nuevos instrumentos de política y categorías complementarias (ver mas adelante). Igualmente es necesario el rediseño de las áreas protegidas actuales, de manera a que sen ecológicamente autosostenibles.

En todo caso, es claro que el alcance geográfico de la Estructura Ecológica como sistema de

gestión, incluye como eje central el sistema de áreas protegidas, pero lo rebasa espacialmente.

Corredores de conservación

La fragmentación de los ecosistemas (en diferentes escalas) es uno de los factores que más incide en la viabilidad natural de los ecosistemas y su biodiversidad, y en la capacidad de adaptación de los mismos al cambio climático. En este sentido, como parte de la estructura ecológica del país se hace necesario incluir de forma prioritaria los corredores de conservación. El tema sin embargo, aunque ya viene siendo promovido por algunos actores institucionales, requiere de una conceptualización más precisa y una definición de los alcances mismos de la gestión en diferentes escalas, para los fines de la adaptación al cambio climático.

En la literatura de la conservación se encuentra el término “corredores biológicos” o “corredores de conservación” para, al menos, las siguientes situaciones:

- Porciones de hábitats (biotopos) con forma lineal o en bandas.
- Anillos verdes (*greenbelts*) o zonas de amortiguación en zonas urbanas principalmente.
- Puentes biogeográficos.
- Hábitats de refugio con patrón discreto y no continuo.
- Túneles y pasos subterráneos para la vida silvestre en las carreteras.
- Corredores para el movimiento de la vida silvestre.

El uso generalizado que se le da actualmente al término “corredores” no refleja la discusión científica acerca de su contribución real a la conservación de la biodiversidad. Usualmente no se evalúan otras opciones en contextos concretos de conservación. En especial, porque en algunas circunstancias los corredores pueden contribuir a la dispersión de enfermedades o especies invasoras. En este contexto, una definición de trabajo podría ser:

“Un corredor es un sistema de hábitat o ecosistema, con patrón espacial lineal o en banda, conser-

vado o restaurado, el cual como mínimo aumenta la conectividad de las poblaciones de vida silvestre y puede ayudar a superar las principales consecuencias de la fragmentación, en relación con la conservación de la biodiversidad” (modificado de Wilson & Lindenmayer, 1995).

Es evidente pues que los corredores presentan dos condiciones que determinan su función en cuanto a la conservación de la biodiversidad. Una exterior que es la naturaleza de los fragmentos o bloques de ecosistema que conectan y la segunda interior, es la calidad de ecosistema que contienen, en cuanto hábitat de especies. Esta calidad puede relacionarse de manera fácil con su ancho. Así, los corredores extremadamente delgados actúan casi siempre como “hábitat borde” y sus funciones de conectividad son limitadas a un conjunto menor de especies, mientras que los corredores más anchos contienen “hábitat interior”, o algún nivel de heterogeneidad ambiental de tal suerte que pueden cumplir mayores funciones de conectividad.

El término corredor también se usa para denotar conectividad en espacios geográficos mayores, tales como continentes o grandes regiones. Es el caso del “Corredor Biológico Centroamericano”, o de otros que actualmente se proponen en los Andes del norte. En estos casos, en el sentido estricto de la literatura, no se trata siempre de corredores, y sus funciones de conectividad no ha sido explícitamente determinadas. Se trata más bien de porciones de ecosistemas que presentan importante continuidad.

Con todo, el uso del término en estos casos tiene un valor de persuasión para la conservación, por lo cual puede retenerse y simplemente podrían llamarse *macro-corredores*, para diferenciarlos de los anteriores. En el cuadro 12 se presentan los diferentes tipos de “corredores de conservación”

Los corredores que buscan continuidad de ecosistemas naturales en gradientes altitudinales, son muy importantes en las montañas tropicales, en especial para mariposas (Lepidoptera), algunos murciélagos y aves. En muchos casos la migración misma es un “fenómeno amenazado”.

Cuadro 12 Principales tipos de corredores de conservación

Nivel	Escala	Objetivos	Algunos Ejemplos
Macro- Corredores	Continental Regional 1:5.000.000-1.500.000	Mantenimiento de Procesos Ecológico- Evolutivos Continuidad De Hábitat A Través de Rutas de Migración de Fauna y Flora Capacidad de Adaptación de la Biota a Cambios Macroclimáticos	Corredor Biológico Centro-Americano Corredor Madidi (Bolivia) Manu (Perú)
	Nacional 1:1.500.000-1:250.000	Mantenimiento de Procesos Ecológicos y Ambientales. Continuidad de Ecosistemas Naturales en Gradientes Latitudinales y Altitudinales Capacidad de Adaptación de la Biota a Cambios Macroclimáticos	Grandes “Transectos” Altitudinales en los Andes (Transecto Buritacá), Bosques de Galería, Selvas Subandinas, Etc.
Corredores de Vida Silvestre	Ecosistema/ Hábitat > 1:250.000	Mantenimiento o Restauración de Movimientos de Especies Entre Bloques Forestales. Movimientos Poblaciones de Especies	Corredores de Restauración de Ecosistemas en la Sierra Nevada de Santa Marta Cercas Vivas en Matriz de Agro-ecosistemas.

En Colombia, algunas de las opciones (preliminariamente identificadas) de conservación a través de corredores, que permitirían mejorar la adaptación al cambio climático, son:

- Andes orientales-Amazonía. Desde el complejo de parques Sumapaz, Picachos, a través de Tinigua y Macarena, hacia la Amazonía. Representa la única gran continuidad macro entre los ecosistemas andinos y amazónicos en Colombia. Fuertemente amenazado.
- Corredores a lo largo de los Andes. Estos varían en su ubicación según los objetivos de conservación.
- Corredores de conservación a lo largo de transectos altitudinales completos.
- Corredores de conservación a través de gradientes húmedo-seco. Presentes en el parque Tayrona, y posiblemente en el el alto Sinú.

Aunque los corredores juegan un papel para la conservación de la biodiversidad, no deben verse como una solución para todos los problemas de conservación que surgen de las modificaciones humanas en los paisajes, en especial la fragmentación. La formulación de objetivos de conserva-

ción para especies, tiende a opacar objetivos mas generales y comprensivos en torno a conservación o restauración de procesos en el nivel de ecosistemas, esto es los corredores como instrumentos de la conservación de la biodiversidad en general. Los resultados de la revisión amplia de la literatura reflejan que las conclusiones de las investigaciones en muchos casos son específicas para cada especie o conjunto de especies, para un tiempo o paisaje determinado. Incluso pueden existir circunstancias en las cuales la aplicación de un sistema de corredores puede resultar negativa para la conservación de algunas especies. Los corredores como instrumentos de conservación de la biodiversidad, requieren todavía un mayor desarrollo, tanto en la base de información, como en la reflexión sobre su aplicación práctica. En este sentido, los corredores deben verse solamente como uno de los elementos de planificación ecológica en el nivel del paisaje, y no como una panacea.

Otras oportunidades

La mayoría de los procesos de planificación del uso del espacio implican la identificación de porciones del territorio que es necesario manejar de manera especial para procurar el cumplimiento de

algunos objetivos preestablecidos. Este proceso se viene actualmente adelantando de manera simultánea en diferentes instancias del orden local, regional y nacional, y en el cual converge una multitud de criterios y metodologías dispares.

Existen numerosas opciones de manejo de la tierra y objetivos de gestión que podrían dirigirse hacia la conformación o restauración de la Estructura Ecológica, mediante una adecuada priorización, desde el ámbito nacional. Los objetivos de muchas de ellas son simplemente coincidentes con la adaptación al cambio climático¹¹. Éstas son, entre otras:

- Área forestal permanente (Plan Verde, Plan de Desarrollo Forestal),
- Áreas para la restauración ecológica (Plan Verde, Estrategia de Biodiversidad)
- Zonas para la prevención de la desertificación (convenio sobre este tema).

2.7.2.2 Enfoques complementario a los procesos de ordenamiento territorial definidos por el IDEAM en su Plan Estratégico 2002-2005

Actualmente se desarrollan en los ámbitos local y regional, muchas acciones que contribuyen a mejorar la adaptación del país al cambio climático. Entre estas tenemos la compra de las cuencas de los acueductos a que ordena el Artículo 111, de la Ley 99 de 1993. También la definición de las servidumbres ambientales de los predios respecto a las rondas de los ríos, los nacimientos de aguas, la conservación de vegetación protectora en zonas inestables, de riesgo ambiental. Igualmente la definición de derechos y deberes de los predios colindantes con áreas de propiedad del Estado, como las rondas de los ríos, lagos y nacedores.

Las competencias sobre el ordenamiento territorial están definidas por la Ley 388 de 1997. La función directa de planificación corresponde a los municipios, distritos y áreas metropolitanas. Tiene una dimensión ambiental específica en el objetivo de complementar la planificación económica y social con la dimensión territorial, para que sea sostenible. Al nivel departamental le corresponde

la elaboración de directrices y orientaciones en relación con el potencial óptimo del ambiente.

Se trata de procesos de planificación que discurren “de abajo hacia arriba” y en los cuales las señales (con alguitas excepciones como las áreas del sistema de parques nacionales), no son muy precisas y difusas. En este sentido, es muy apenas una probabilidad que el ordenamiento territorial resultante de los ejercicios locales, permita cubrir todos los requerimientos de mantenimiento o de restauración de la Estructura Ecológica en el ámbito nacional. En efecto, muchas de las recomendaciones que resultan del desarrollo de los compromisos ambientales adquiridos en el ámbito internacional requieren del desarrollo de una visión nacional general de ordenamiento territorial. Esta visión de requerimientos de manejo del territorio, por razones de la escala de aproximación y de los conceptos rectores, no necesariamente siempre corresponde con las visiones que se construyen desde los ámbitos regionales y locales. Se hace necesario por lo tanto aportar un desarrollo conceptual que permita integrar objetivos de manejo diversos, y que sirva de referencia para un tratamiento en diferentes escalas espaciales e instancias de planificación.

Se hace necesario establecer un procedimiento claro mediante el cual desde el escenario nacional hacia el local se envían señales, que son justamente aquellas que mejoran las posibilidades de adaptación frente al cambio climático.

En este sentido se enmarcan las funciones que la Ley le establece al IDEAM, y según las cuales (énfasis nuestro), dice:

Artículo 7:

“... dará apoyo a las Corporaciones para el desarrollo de sus funciones relativas al ordenamiento, manejo y uso de los recursos naturales renovables en la respectiva región, para lo cual deberá:... ..g) asesorar a las corporaciones en el desarrollo de programas de recuperación y mejoramiento de la calidad de corrientes hídricas y otros cuerpos de agua y en el control de la erosión de cuencas hidrográficas y la protección y recuperación de la cobertura vegetal”.

Artículo 8:

“... suministrar información científica y técnica de carácter ambiental para la elaboración de los planes de ordenamiento territorial”.

Artículo 15:

“Suministrar el Ministerio del Medio Ambiente, a las Corporaciones y entidades territoriales, los criterios para clasificar, zonificar el uso del territorio nacional para fines de planificación y el ordenamiento del territorio”.

Artículo 17

“.. encargado del levantamiento y manejo de información científica y técnica sobre los ecosistemas que forman parte del patrimonio ambiental del país, así como de establecer al bases técnicas para clasificar y zonificar el uso del territorio nacional para los fines de planificación y el ordenamiento del territorio”

Las funciones así establecidas podrían leerse como de entrega de información y asistencia técnica a los municipios. En este sentido, se hace necesario el desarrollo de instrumentos que permitan difundir los requerimientos que surgen del orden nacional (e internacional), a la vez que un apoyo para su aplicación desde el ámbito local. Esto se podría realizar en parte mediante:

- Un modelo espacial de Colombia en el nivel macro, que sirva de referencia para la orientación de las acciones del IDEAM en materia de Ordenamiento Territorial. Con base en un procedimiento prioritario de funciones ecológicas espaciales propuesto, el modelo integra los principales requerimientos de manejo que resultan de compromisos jurídicos adquiridos en el marco nacional e internacional. En este último resaltan el Convenio de Diversidad Biológica (CDB), la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (UNFCCC), y el Convenio de lucha contra la Desertificación.
- El modelo espacial es una instancia de integración de información georeferenciada, de carácter dinámico. No se trata de un modelo

espacial prescriptivo estático del cual se derivan directamente desde una instancia central lineamientos normativos (como restricciones para el uso de la tierra).

- Es una herramienta que permitiría la creación de un *sistema experto*, que apoya la toma de decisiones sobre ordenamiento territorial en el nivel subnacional, con base en diferentes escenarios que se derivan de las restricciones que establecen los compromisos adquiridos en materia ambiental.

El modelo de se desarrolla con la aplicación del *enfoque ecosistémico*, adoptado en el marco del Convenio de Diversidad Biológica, el cual en particular para este caso tiene las siguientes implicaciones.

- Sirve de referencia para alimentar decisiones sobre el manejo de la tierra y los recursos, que son de carácter social.
- Considera la estructura, función y límites de capacidad de resiliencia de los ecosistemas.
- Considera los aspectos del conocimiento que se relacionan con el uso de los territorios de forma interdisciplinaria.
- Se construye explícitamente para ser utilizado a escalas espaciales y temporales definidas.

2.8 Síntesis de recomendaciones para el IDEAM

En el Cuadro 13 presentamos la síntesis de las recomendaciones más importantes presentadas al IDEAM y sustentadas en el presente documento.

Agradecimientos

Las siguientes personas prestaron desinteresado apoyo durante la elaboración del presente documento para el IDEAM. En el IDEAM: Carlos Castaño-Urbe, David Ojeda, Patricia Falla, Hilda J. Gutiérrez, César Barbosa, Eugenia Ponce, Adriana Soto, Cristina Botero y personal de la Oficina de Documentación y Divulgación; en la Asociación Bogotana de Ornitología, Loretta Roselli; en la Fundación Biocolombia a Heliodoro Sánchez P, Director General; Hernando Chiriví Gallego, Coordinador del Estudio y Rodrigo Rueda, Editor del Informe.

Cuadro 13 Síntesis de recomendaciones prioritarias

Recomendación	Algunas actividades sugeridas
Monitoreo climático e hidrológico	
Revisión de la cobertura y tipo de estaciones de la red hidrometeorológica, en relación con la diversidad de ecosistemas del país. Identificación de vacíos y definición de prioridades para el entendimiento integrado de los fenómenos ecológicos.	Trabajo interno en el IDEAM. Uso del SIG y del mapa de ecosistemas del Instituto Humboldt, para un análisis de cobertura.
	Taller de expertos para identificación de prioridades con base en vacíos encontrados.
Cartografía de ecosistemas	
Producción de un nuevo mapa de ecosistemas del país, como línea base para el monitoreo futuro de los mismos. En este mapa podrían converger las capacidades tecnológicas del IDEAM y la experiencia anterior del Instituto Humboldt (entre otros) para la definición de categorías y mapeo de ecosistemas actuales y potenciales.	Convenio de trabajo con el Instituto Humboldt.
	Taller de expertos sobre mapeo de ecosistemas
	Accesoría internacional de Rodrigo Sierra (Ecociencia, Ecuador).
Producción de un mapa de vulnerabilidad de ecosistemas del país, con base en los criterios desarrollados en el presente documento, en particular la integración de información sobre diversidad ecosistémica (tipo Instituto Humboldt) con una zonificación climática detallada del país en una escala meso (atendiendo a factores climáticos expresados en valores críticos para los ecosistemas).	Trabajo interno del IDEAM.
Monitoreo de largo plazo de los ecosistemas	
Establecimiento de un programa integrado de monitoreo de estructura y composición de ecosistemas del país (y su biodiversidad), mediante el re-establecimiento y ampliación de los transectos altitudinales (tipo Ecoandes), complementados con otros gradientes ambientales.	Creación de una alianza interinstitucional para el monitoreo de ecosistemas, con la participación de Colciencias, el Instituto Humboldt, el ICN, Universidades, ONG. Etc.
Establecimiento de un programa integrado de monitoreo de estructura y composición de agro-ecosistemas del país (y su biodiversidad).	Alianza con entidades de investigación del sector agrario y forestal) CONIF, CEGA, Corpoica, CIAT, Cenicafé, (Instituto Humboldt etc.)
Establecimiento y consolidación de una red de parcelas ecológicas para el estudio a largo plazo del funcionamiento de los ecosistemas. Monitoreo de humedales sensibles al cambio climático.	Convenio de trabajo con el Instituto Humboldt y la Unidad de Parques (como mínimo). Con el Ministerio del Medio Ambiente, CARS u ONG ambientalistas. Accesoría de la convención Ramsar.
Acoplamiento de la información climática con la hidrológica en una escala subnacional con suficiente detalle y modelamiento del comportamiento hídrico.	Trabajo interno en el IDEAM. Colaboración con el proyecto HERB (Mark Mulligan)

Pasa a la página siguiente

Cuadro 13 Síntesis de recomendaciones prioritarias. Viene a la página anterior.

Biodiversidad como indicador de cambio climático	
Programa de monitoreo de largo plazo del superpáramo.	Convenio con el Instituto Humboldt, el ICN, alguna universidad o una CAR.
Monitoreo de largo plazo de cambios estructurales y funcionales en el Bosque Enano Nublado de Macuira.	Convenio con Instituto Humboldt, alguna Universidad y la Unidad de Parques (y la autoridad indígena).
Accesoría para el Ordenamiento Territorial	
Desarrollar un modelo de Estructura Ecológica (principal o de soporte) como guía para la planificación del Ordenamiento Territorial.	IDEAM. Asesoramiento de entidad especializada.
Diseñar un instrumento técnico para el apoyo, guía y accesoria de los procesos de ordenamiento territorial en el ámbito de las entidades competentes (municipios, departamentos, etc.)	IDEAM
Expansión de áreas de conservación	
Desarrollar un programa nacional de corredores de conservación para el apoyo a la adaptación de los ecosistemas ante el cambio	Convenio con Instituto Humboldt, Unidad de Parques y ONG climático ambientalistas que trabajan en este tema (WWF, CI, etc.)
Restauración ecológica y prevención de la desertificación, para contribuir a la adaptación de ecosistemas ante el cambio climático.	Trabajo conjunto con el Ministerio del Medio Ambiente.
Fortalecimiento técnico	
Creación de un órgano para la divulgación y discusión científica, en el ámbito del SINA y la comunidad científica y ambiental. Podría ser una revista arbitrada moderna, que podría llamarse Ecosistemas Colombianos, o Gestión de Ecosistemas.	IDEAM como entidad líder, como parte del sistema de información talista ambiental, y en alianza con entidades del SINA.
Creación de un grupo de expertos sobre cambio climático y ecosistemas, como órgano asesor y de seguimiento a las políticas y acciones (similar a los comités Ramsar).	Liderado por el IDEAM.

Anexo 1 Síntesis de Información para los Principales Tipos de Ecosistemas

Tipo General de Bioma	Bioma	Ecosistema	Vegetación	Variables Climáticas Claves	Principales Zonas de Vida Holdridge	Observaciones Vulnerabilidad al CC
Zonobioma del Bosque Húmedo Tropical	Bosques Tropicales de la Amazonía y Orinoquía	Bosque Alto Denso (BAD) de las terrazas antiguas de los grandes ríos	Goupia, Inga, Oenocarpus	Precipitación total y distribución anual de las lluvias. Alta humedad del suelo por más de seis meses del año. Ausencia de estaciones secas superiores a seis meses. Dos estaciones de lluvias.	Bh-T	
		BAD Planicie sedimentaria fuertemente ondulada del sur	Eschweilera, Virola, Cedrelinga	idem	Bh-T	
		Bosque Medio Denso (BMD) de los planos estructurales arenosos	Lauraceae, Phenakospermum	idem	Bh-T	Cambio humedad del suelo
		BMD de la planicie arenosa residual ligeramente ondulada del oriente amazónico	Eperua, Lauraceae	idem	Bh-T	Cambio humedad del suelo
		BMD de la planicie arenosa residual fuertemente ondulada del oriente amazónico	Eperua, Clathrotropis, Oenocarpus	idem	Bh-T	Cambio humedad del suelo
		BMD de las planicies residuales arenosas	Leopoldinia, Virola, Hevea, Qualea, Xylopia	idem	Bh-T	Cambio humedad del suelo
Zonobioma del Bosque Húmedo Tropical	Bosques Tropicales de la Amazonía y Orinoquía	Bosque Alto Denso (BAD) en planicie sedimentaria lig. Ondulada del norte	Goupia, Clathrotropis	Precipitación total y distribución anual de las lluvias. Alta humedad del suelo por más de seis meses del año. Ausencia de estaciones secas superiores a seis meses. Una sola estación de lluvias.	Bh-T	Reducción esperada de las precipitaciones. Aumento ETP, insolación, vientos.

Continúa en la página siguiente

Anexo 1 Síntesis de Información para los Principales Tipos de Ecosistemas (Viene de la página anterior)

Tipo General de Bioma	Bioma	Ecosistema	Vegetación	Variables Climáticas Claves	Principales Zonas de Vida Holdridge	Observaciones Vulnerabilidad al CC
		BAD Planicie sedimentaria fuertemente ondulada del norte	Swartzia, Clathrotropis	idem	Bh-T	Reducción esperada de las precipitaciones. Aumento ETP, insolación, vientos.
		BAD Planicie sedimentaria ligeramente ondulada del sur	Eschweilera, Matisia, Pseudolmedia	idem	Bh-T	Reducción esperada de las precipitaciones. Aumento ETP.
		BAD Planicie del piedemonte llanero	Manilkara, Hymenaea, Pseudolmedia	idem	Bh-T Bmh-T	Cambio de las precipitaciones. Aumento ETP.
Pedobiomas y Helobiomas del Zonobioma de Bosque Húmedo Tropical	Peinobiomas Amazónicos	Bosque Medio Denso (BMD) Caatingas altas	Micrandra, Eperua, Mauritia carana	Precipitación total y distribución anual de las lluvias. Alta humedad del suelo por más de seis meses del año. Ausencia de estaciones secas superiores a seis meses. Dos estaciones de lluvias.	Bh-T	Cambio humedad del suelo. Aumento ETP.
		Bosque Bajo Abierto (BBA) Caatingas bajas	Aspidosperma, Dimorphandra, Retiniphyllum	idem	Bh-T	Cambio humedad del suelo. Aumento ETP.
Zonobioma del Bosque Húmedo Tropical	Bosques Tropicales del Pacífico	BAD de las terrazas y la planicie sedimentaria ligeramente ondulada	Eschweilera, Cavallinesia, Prioria, Dacryodes	Precipitación total y distribución anual de las lluvias. Alta humedad del suelo por más de nueve meses del año. Ausencia de estaciones secas superiores a dos meses. Lluvias uniformes todo el año.	Bh-T Bmh-TBp-- T	Aumento de las precipitaciones.

Continúa en la página siguiente

Anexo 1 Síntesis de Información para los Principales Tipos de Ecosistemas (Viene de la página anterior)

Tipo General de Bioma	Bioma	Ecosistema	Vegetación	Variables Climáticas Claves	Principales Zonas de Vida Holdridge	Observaciones Vulnerabilidad al CC
		BAD Planicie sedimentaria fuertemente ondulada	Anacardium, Cavallinesia, Manilkara	idem	Bh-T Bmh-TBp-- T	Aumento de las precipitaciones.
		BAD de las colinas altas	Macrocnemum, Castilla, Eschweilera	idem	Bh-T Bmh-TBp-- T	Aumento de las precipitaciones.
Zonobioma del Bosque Seco Tropical	Bosques Secos del Caribe	BMD caducifolios de las planicies disectadas y colinas	Trichilia, Capparis, Bauhinia, Machaerium	Precipitación total y distribución anual de las lluvias. Alta humedad del suelo por más de seis meses del año. Ausencia de estaciones secas superiores a cuatro meses. Una estación de lluvias.	Bs-TBms-- TBs-St	Disminución de las precipitaciones. Aumento ETP, insolación, vientos.
Zonobioma del Bosque Húmedo Tropical	Bosques Tropicales del Magdalena Medio	BAD de las terrazas	Anacardium, Ceiba	Precipitación total y distribución anual de las lluvias. Alta humedad del suelo por más de seis meses del año. Ausencia de estaciones secas superiores a cuatro meses. Dos estaciones secas alternadas y zonas con lluvias uniformes todo el año.	Bh-T Bmh-TB- mh-St	Zona de cambio en las precipitaciones. Cambios locales en ETP, insolación, vientos.
		BAD Planicie sedimentaria fuertemente ondulada	Hymenaea, Cariniana, Cochlospermum	Idem	Bh-T Bmh-TB- mh-StBp-- St (Floren- cia, Caldas)	Zona de cambio en las precipitaciones. Cambios locales en ETP, insolación, vientos.

Continúa en la página siguiente

Anexo 1 Síntesis de Información para los Principales Tipos de Ecosistemas (Viene de la página anterior)

Tipo General de Bioma	Bioma	Ecosistema	Vegetación	Variables Climáticas Claves	Principales Zonas de Vida Holdridge	Observaciones Vulnerabilidad al CC
Pedobiomas y Helobiomas del Zonobioma de Bosque Húmedo Tropical	Peinobiomas amazónicos	Sabanas hiperestacionales de ciperáceas y rapataceas	Schoenocephalium, Annona, Borreria, Clusia, Ormosia	Precipitación total y distribución anual de las lluvias. Alta humedad del suelo por más de seis meses del año. Ausencia de estaciones secas superiores a seis meses. Dos estaciones de lluvias.	Bh-T	Cambio humedad del suelo
	Peinobiomas Llaneros	Sabanas de altillanura plana	Trachypogon, Axonopus	Precipitación total, distribución de la lluvia en una sola estación, alta humedad del suelo por más de tres meses, ausencia de estación seca por más de nueve meses.	Bh-TBs-T- (Bms-T)	Disminución de las precipitaciones. Aumento ETP, insolación, vientos.
		Sabanas de altillanura muy disectada	Paspalum, Bulbostylis	Idem	Bh-TBs-T- (Bms-T)	Disminución de las precipitaciones. Aumento ETP, insolación, vientos.
		Sabanas de la altitlanura arenosa Guayanesa	Trachypogon Leptocoryphium, Bulbostylis	Idem	Bh-TBs-T	Disminución de las precipitaciones. Aumento ETP, insolación, vientos.
		Sabanas no inundables del piedemonte	Trachypogon, Andropogon, Curatella	Idem	Bh-TBs-T	Disminución de las precipitaciones. Aumento ETP, insolación, vientos.
		Sabanas con arbustos de los medianos	Paspalum, Andropogon, Byrsonima, Curatella	Idem	Bh-TBs-T	Disminución de las precipitaciones. Aumento ETP, insolación, vientos.

Continúa en la página siguiente

Anexo 1 Síntesis de Información para los Principales Tipos de Ecosistemas (Viene de la página anterior)

Tipo General de Bioma	Bioma	Ecosistema	Vegetación	Variabes Climáticas Claves	Principales Zonas de Vida Holdridge	Observaciones Vulnerabilidad al CC
		Sabanas inundables de la llanura eólica	Andropogon, Mesosetum	Precipitación total, distribución de la lluvia en una sola estación, inundación del suelo por más de dos meses, ausencia de estación seca por más de nueve meses.	Bh-TBs-T	Disminución de las precipitaciones. Aumento ETP, insolación, vientos. Cambio en los patrones de inundación.
		Mosaico de las sabanas inundables y bosques de la llanura de desborde	Andropogon, Leersia - Manilkara, Hymenaea, Pseudolmedia	Precipitación total, distribución de la lluvia en una sola estación, inundación del suelo por más de dos meses, alta humedad del suelo por tres meses adicionales, ausencia de estación seca por más de nueve meses.	Bh-TBs-T	Disminución de las precipitaciones. Aumento ETP, insolación, vientos. Cambio en los patrones de inundación.
	Peinobiomas del Caribe	Sabanas de las terrazas antiguas	Trachypogon, Andropogon, Curatella, Byrsonima	Precipitación total, distribución de la lluvia en una sola estación, alta humedad del suelo por más de tres meses, ausencia de estación seca por más de nueve meses.	Bh-TBs-T	Disminución de las precipitaciones. Aumento ETP, insolación, vientos.
Zonobioma de Desierto Tropical	Formaciones Xerofíticas de la Guajira	Bosque Bajo Abierto caducifolio	Prosopis, Poponax, Caesalpinia, Bursera	Precipitación total, distribución de la lluvia en una sola estación, alta humedad del suelo por tres meses, estación seca por nueve meses.	Bs-TBms--TMe-St	Disminución de las precipitaciones. Aumento ETP, insolación, vientos.

Continúa en la página siguiente

Anexo 1 Síntesis de Información para los Principales Tipos de Ecosistemas (Viene de la página anterior)

Tipo General de Bioma	Bioma	Ecosistema	Vegetacion	Variables Climáticas Claves	Principales Zonas de Vida Holdridge	Observaciones Vulnerabilidad al CC
		Arbustal abierto caducifolio	Capparis, Prospis, Cactaceas	Precipitación total, distribución de la lluvia en una sola estación, alta humedad del suelo por menos de tres meses, estación seca por nueve meses.	Bms-TMe-- StMd-St	Disminución de las precipitaciones. Aumento ETP, insolación, vientos.
		Arbustal abierto subdesértico con suculentas	Cactáceas, Capparis, Libidibia	Precipitación total, distribución errática de la lluvia, alta humedad del suelo por menos de tres meses, estación seca por más de nueve meses.	Bms-TMe-- StMd-St	Disminución de las precipitaciones. Aumento ETP, insolación, vientos.
Zonobioma de Desierto Tropical	Formaciones Xerofíticas de la Guajira (No es claro si estas dos hacen parte de la samnofitia de IDEAM)	Dunas con vegetación escasa	Cereus, Castela	Precipitación total, distribución errática de la lluvia, alta humedad del suelo por dos meses, estación seca por más de nueve meses.	Bms-TMe-- StMd-St	Disminución de las precipitaciones. Aumento ETP, insolación, vientos.
		Vegetación dispersa del desierto de La Guajira	Castela, Cercidium, Melocactus, Opuntia	Precipitación total, distribución errática de la lluvia, alta humedad del suelo por menos de tres meses, estación seca por más de nueve meses, años secos.	Bms-TMe-- StMd-StD-- T	Disminución de las precipitaciones. Aumento ETP, insolación, vientos.

Continúa en la página siguiente

Anexo 1 Síntesis de Información para los Principales Tipos de Ecosistemas (Viene de la página anterior)

Tipo General de Bioma	Bioma	Ecosistema	Vegetación	VARIABLES CLIMÁTICAS CLAVES	Principales Zonas de Vida Holdridge	Observaciones Vulnerabilidad al CC
Pedobiomas y Helobiomas del Zonobioma de Bosque Húmedo Tropical	Helobiomas momposinos	BMA aluviales y vegetación en pantanos y ciénagas	Eichhornia, Erythrina, Pachina Trichilia, Montrichardia, Pistia	Alta humedad del suelo por más de seis meses del año. Inundación del suelo por más de 4 meses al año. El descenso de las aguas y la estación seca no alcanzan a secar el suelo por más de tres meses.	Bh-T Bs-T	Zona de cambio en las precipitaciones. Cambios locales en ETP, insolación, vientos. Cambio en los patrones de inundación.
	Helobiomas de La Guajira	BMA aluviales de los rios de agua semi-permanentes		Precipitación total, distribución de la lluvia en una sola estación, inundación temporal del suelo, alta humedad del suelo por cerca de tres meses, estación seca por más de nueve meses.	Bs-T Bms-TMe-StMd-St	Disminución de las precipitaciones. Aumento ETP, insolación, vientos. Cambio en los patrones de inundación.
Pedobiomas y Helobiomas del Zonobioma de Bosque Húmedo Tropical	Helobiomas de la Amazonia	BAD de las llanuras de inundación de rios andinos (aguas blancas)	Theobroma, Oxandra, Iriarte, Mauritia	Alta humedad del suelo por más de seis meses del año. Inundación del suelo por más de 3 meses al año. El descenso de las aguas y la estación seca no alcanzan a secar el suelo por más de tres meses.	Bh-TBmh--T	Cambio en los patrones de inundación.
		BAD de las varzeas amazónicas	Bombax, Ceiba, Carapa, Cedrela	Alta humedad del suelo por más de seis meses del año. Inundación del suelo por más de 4 meses al año. El descenso de las aguas y la estación seca no alcanzan a secar el suelo por más de dos meses.	Bh-TBmh--T	Cambio en los patrones de inundación.

Continúa en la página siguiente

Anexo 1 Síntesis de Información para los Principales Tipos de Ecosistemas (Viene de la página anterior)

Tipo General de Bioma	Bioma	Ecosistema	Vegetación	Variables Climáticas Claves	Principales Zonas de Vida Holdridge	Observaciones Vulnerabilidad al CC
		BMD y BBD de llanuras de inundación de ríos amazónicos (aguas negras)	Acosmium, Amanoa, Virola, Eschweilera, Dipterix	Alta humedad del suelo por más de seis meses del año. Inundación del suelo por más de 3 meses al año. El descenso de las aguas y la estación seca no alcanzan a secar el suelo por más de tres meses.	Bh-TBmh--T	Cambio en los patrones de inundación.
Pedobiomas y Helobiomas del Zonobioma de Bosque Húmedo Tropical	Helobiomas de la Orinoquía	BMD de los bosques de galería y morichales	Mauritia, Caraipa, Protium, Tabebuia	Alta humedad del suelo por más de seis meses del año. Inundación del suelo por más de 3 meses al año. El descenso de las aguas y la estación seca no alcanzan a secar el suelo por más de tres meses.	Bs-TBh-T	Disminución de las precipitaciones. Aumento ETP, insolación, vientos. Cambio en los patrones de inundación.
Pedobiomas y Helobiomas del Zonobioma de Bosque Húmedo Tropical	Helobiomas del Pacífico y Atrato	BAD inundables de catival	Copaifera, Pterocarpus	Alta humedad del suelo por más de seis meses del año. Inundación del suelo por más de 6 meses al año. El descenso de las aguas y la estación seca no alcanzan a secar el suelo por más de pocos días.	Bh-TBmh--T	Aumento de las precipitaciones. Cambio en los patrones de inundación.

Continúa en la página siguiente

Anexo 1 Síntesis de Información para los Principales Tipos de Ecosistemas (Viene de la página anterior)

Tipo General de Bioma	Bioma	Ecosistema	Vegetación	VARIABLES CLIMÁTICAS CLAVES	Principales Zonas de Vida Holdridge	Observaciones Vulnerabilidad al CC
		BMA aluviales y vegetación en pantanos y ciénagas	Eichhornia, Erythrina, Pachira, Trichilia, Montrichardia	Alta humedad del suelo por más de seis meses del año. Inundación del suelo por más de 6 meses al año. El descenso de las aguas y la estación seca no alcanzan a secar el suelo por más de pocos días.	Bh-TBmh--T	Aumento de las precipitaciones. Cambio en los patrones de inundación.
Pedobiomas y Helobiomas del Zonobioma de Bosque Húmedo Tropical	Litobiomas Amazónicos	Arbustales esclerófilos de cimas de las Serranías	Clusia, Acantella, Rodognaphalopsis	Precipitación total y distribución anual de las lluvias. Ausencia de estaciones secas superiores a seis meses. Dos estaciones de lluvias.	Bh-T	Cambio humedad del suelo. Aumento ETP.
		Sabanas casmofitas de cimas de las Serranías Guayanesas	Vellozia, Andropogon, Epidendrum	Idem	Bh-T	Cambio humedad del suelo. Aumento ETP.
Pedobiomas y Helobiomas del Zonobioma de Bosque Húmedo Tropical	Especial Rupícola del Caribe En Etter (1994) no es posible Homologarlo			Precipitación total, distribución de la lluvia en una sola estación, alta humedad del suelo por tres meses, estación seca por nueve meses.	Bs-TBms--TMe-St	Disminución de las precipitaciones. Aumento ETP, insolación, vientos.
Pedobiomas y Helobiomas del Zonobioma de Bosque Húmedo Tropical	Halobiomas	Bosque alto denso de manglar hiperhúmedo (Pacífico)	Laguncularia, Rhizophora, Pellicera	Nivel de aguas máximas de pleamar. Patrones de sedimentación y deriva de arenas costeras. Frecuencia de tormentas medias a bajas, frecuencia decadal de Tsunamis.	Bh-TBmh--T	Aumento de precipitaciones. Cambio en frecuencia de tormentas y niveles máximos. Cambio e patrones de sedimentación y corrientes de deriva costeras.

Continúa en la página siguiente

Anexo 1 Síntesis de Información para los Principales Tipos de Ecosistemas (Viene de la página anterior)

Tipo General de Bioma	Bioma	Ecosistema	Vegetación	Variabes Climáticas Claves	Principales Zonas de Vida Holdridge	Observaciones Vulnerabilidad al CC
	Helobiomas del Pacífico y Atrato	BMD y BBA inundables de Natal, Sajal y Naidizal	Camposperma, Otoba, Mora	Alta humedad del suelo por más de seis meses del año. Inundación del suelo por más de 6 meses al año. El descenso de las aguas y la estación seca no alcanzan a secar el suelo por más de pocos días.	Bh-TBmh--TBp-T	Aumento de las precipitaciones. Cambio en los patrones de inundación.
	Halobiomas	Bosque bajo denso de manglar en clima seco (Caribe)	Rhizophora, Avicennia	Nivel de aguas máximas de pleamar. Patrones de sedimentación y deriva de arenas costeras. Frecuencia de tormentas medias a bajas.	Bh-TBs-T-Bms-TMe--StMd-St	Disminución de las precipitaciones. Aumento ETP, insolación, vientos. Cambio en frecuencia de tormentas y niveles máximos. Cambio e patrones de sedimentación y corrientes de deriva costeras.
Orobiomas del Zonobioma de Bosque Húmedo Tropical	Orobioma Andino	Nival		Temperaturas medias cercanas o inferiores a punto de congelación. Heladas nocturnas. Presencia de granizo, cellizca, agua nieve y nevadas.	NTp-A	Cambio en precipitaciones. Aumento de temperatura.
Orobiomas del Zonobioma de Bosque Húmedo Tropical	Orobioma Andino	Páramos húmedos	Espeletia, Chusquea, Aragoa, Hypericum	Frecuencia de heladas nocturnas en dos estaciones en el año (estaciones secas). Frecuencia de nubes y nieblas alta. Precipitaciones frecuentes, con presencia de granizo, cellizca, agua nieve y nevadas de corta duración.	Bmh-MBp-MPmh--sApp-sA	Cambio en precipitaciones. Aumento de temperatura.

Continúa en la página siguiente

Anexo 1 Síntesis de Información para los Principales Tipos de Ecosistemas (Viene de la página anterior)

Tipo General de Bioma	Bioma	Ecosistema	Vegetación	Variabes Climáticas Claves	Principales Zonas de Vida Holdridge	Observaciones Vulnerabilidad al CC
		Páramos secos	Espeletia, Calamagrostis	Frecuencia de heladas nocturnas en dos estaciones en el año (estaciones secas). Frecuencia de nieblas alta. Precipitaciones bajas, el rocío como fuente importante de agua.	Bmh-MP-mh-sA	Cambio en precipitaciones. Aumento de temperatura.
		Superpáramo	Musgos, Líquenes, Draba, Senecio	Heladas nocturnas durante todo el año. Frecuencia de nieblas alta. Precipitaciones con presencia de granizo, cellizca, agua nieve y nevadas.	Tp-APp-s-A	Cambio en precipitaciones. Aumento de temperatura.
Orobiomas del Zonobioma de Bosque Húmedo Tropical	Orobiomas Andinos	Bosques Húmedos Sub-andinos	Cedrela, Dendropanax	Precipitación total y distribución anual de las lluvias. Ausencia de estaciones secas superiores a seis meses. Dos estaciones de lluvias. Brillo solar y nubosidad. Humedad de los suelos por más de 9 meses. Ausencia total de heladas.	Bh-STBm-h-ST	Cambio en precipitaciones. Aumento de temperatura. Cambio en nubosidad y brillo solar.

Continúa en la página siguiente

Anexo 1 Síntesis de Información para los Principales Tipos de Ecosistemas (Viene de la página anterior)

Tipo General de Bioma	Bioma	Ecosistema	Vegetacion	Variables Climáticas Claves	Principales Zonas de Vida Holdridge	Observaciones Vulnerabilidad al CC
		BMD Húmedos Andinos	Ocotea, Cinchona, Ceroxylon	Precipitación total y distribución anual de las lluvias. Ausencia de estaciones secas superiores a 4 meses. Alta humedad del suelo por más de seis meses del año. Dos estaciones de lluvias. Brillo solar y nubosidad. Heladas moderadas en una sola temporada al año.	Bh-MbB-mh-MbB-p-Mb	Cambio en precipitaciones. Aumento de temperatura. Cambio en nubosidad y brillo solar. Ausencia de heladas.
		BBD alto-andinos húmedos y de niebla	Weinmania, Ocotea, Hedyosmum, Brunella, Cedrela	Precipitación total y distribución anual de las lluvias. Alta nubosidad y humedad del suelo por más de 8 meses del año. Ausencia de estaciones secas superiores a 3 meses. Dos estaciones de lluvias. Heladas moderadas en dos temporadas al año.	Bh-MbB-mh-MbB-p-Mb	Cambio en precipitaciones. Aumento de temperatura. Cambio en nubosidad y brillo solar. Ausencia de heladas y reducción de su intensidad.
		Sabanas de altillanura muy disectada	Paspalum, Bulbostylis	Idem	Bh-TBs-T-(Bms-T)	Disminución de las precipitaciones. Aumento ETP, insolación, vientos.

Continúa en la página siguiente

Anexo 1 Síntesis de Información para los Principales Tipos de Ecosistemas (Viene de la página anterior)

Tipo General de Bioma	Bioma	Ecosistema	Vegetación	Variables Climáticas Claves	Principales Zonas de Vida Holdridge	Observaciones Vulnerabilidad al CC
		Sabanas no inundables del piedemonte	Trachypogon, Andropogon, Curatella	Idem	Bh-TBs-T	Disminución de las precipitaciones. Aumento ETP, insolación, vientos.
		Sabanas con arbustos de los medianos	Paspalum, Andropogon, Byrsonima, Curatella	Idem	Bh-TBs-T	Disminución de las precipitaciones. Aumento ETP, insolación, vientos.
		Sabanas inundables de la llanura eólica	Andropogon, Mesosetum	Precipitación total, distribución de la lluvia en una sola estación, inundación del suelo por más de dos meses, ausencia de estación seca por más de nueve meses.	Bh-TBs-T	Disminución de las precipitaciones. Aumento ETP, insolación, vientos. Cambio en los patrones de inundación.
		Mosaico de las sabanas inundables y bosques de la llanura de desborde	Andropogon, Leersia - Manilkara, Hymenaea, Pseudolmedia	Precipitación total, distribución de la lluvia en una sola estación, inundación del suelo por más de dos meses, alta humedad del suelo por tres meses adicionales, ausencia de estación seca por más de nueve meses.	Bh-TBs-T	Disminución de las precipitaciones. Aumento ETP, insolación, vientos. Cambio en los patrones de inundación.
	Peinobiomas del Caribe	Sabanas de las terrazas antiguas	Trachypogon, Andropogon, Curatella, Byrsonima	Precipitación total, distribución de la lluvia en una sola estación, alta humedad del suelo por más de tres meses, ausencia de estación seca por más de nueve meses.	Bh-TBs-T	Disminución de las precipitaciones. Aumento ETP, insolación, vientos.

Continúa en la página siguiente

Anexo 1 Síntesis de Información para los Principales Tipos de Ecosistemas (Viene de la página anterior)

Tipo General de Bioma	Bioma	Ecosistema	Vegetación	Variables Climáticas Claves	Principales Zonas de Vida Holdridge	Observaciones Vulnerabilidad al CC
Zonobioma de Desierto Tropical	Formaciones Xerofíticas de la Guajira	Bosque Bajo Abierto caducifolio	Prosopis, PoPONax, Caesalpinia, Bursera	Precipitación total, distribución de la lluvia en una sola estación, alta humedad del suelo por tres meses, estación seca por nueve meses.	Bs-TBms--TMe-St	Disminución de las precipitaciones. Aumento ETP, insolación, vientos.
		Arbustal abierto caducifolio	Capparis, Prospis, Cactaceas	Precipitación total, distribución de la lluvia en una sola estación, alta humedad del suelo por menos de tres meses, estación seca por nueve meses.	Bms-TMe--StMd-St	Disminución de las precipitaciones. Aumento ETP, insolación, vientos.
		Arbustal abierto subdesértico con suculentas	Cactáceas, Capparis, Libidibia	Precipitación total, distribución errática de la lluvia, alta humedad del suelo por menos de tres meses, estación seca por más de nueve meses.	Bms-TMe--StMd-St	Disminución de las precipitaciones. Aumento ETP, insolación, vientos.
Zonobioma de Desierto Tropical	Formaciones Xerofíticas de la Guajira (No es claro si estas dos hacen parte de la samnofitia de IDEAM)	Dunas con vegetación escasa	Cereus, Castela	Precipitación total, distribución errática de la lluvia, alta humedad del suelo por dos meses, estación seca por más de nueve meses.	Bms-TMe--StMd-St	Disminución de las precipitaciones. Aumento ETP, insolación, vientos.
		Vegetación dispersa del desierto de La Guajira	Castela, Cercidium, Melocactus, Opuntia	Precipitación total, distribución errática de la lluvia, alta humedad del suelo por menos de tres meses, estación seca por más de nueve meses, años secos.	Bms-TMe--StMd-StD--T	Disminución de las precipitaciones. Aumento ETP, insolación, vientos.

Continúa en la página siguiente

Anexo 1 Síntesis de Información para los Principales Tipos de Ecosistemas (Viene de la página anterior)

Tipo General de Bioma	Bioma	Ecosistema	Vegetación	Variabes Climáticas Claves	Principales Zonas de Vida Holdridge	Observaciones Vulnerabilidad al CC
		BBD alto-andinos secos	Weinmania, Alnus, Ocotea, Clusia	Precipitación total y distribución anual de las lluvias. Alta nubosidad y humedad del suelo por más de 6 meses del año. Ausencia de estaciones secas superiores a 4 meses. Dos estaciones de lluvias. Heladas moderadas en dos temporadas al año.	Bh-MbB-mh-Mb	Cambio en precipitaciones. Aumento de temperatura. Cambio en nubosidad y brillo solar. Ausencia de heladas y reducción de su intensidad.
	(Serranía de Macuira)	Bosque Bajo Abierto (BBA) secos y Bosque Bajo Denso de niebla de la Macuira		Precipitación total y distribución anual de las lluvias. Alta nubosidad y humedad del suelo por más de 6 meses del año. Presencia de nieblas al amanecer y intenso efecto de rocío.	Bh-sTBs--T	Cambio en los patrones de vientos, disminución de las precipitaciones, humedad, nubosidad y nieblas, aumento de la temperatura, aumento de la ETP.
	Orobiomas del Caribe	Bosque Medio Denso de las serranías guayanesas	Roucheria, Anacardiaceae, Lauraceae, Fabaceae	Precipitación total y distribución anual de las lluvias. Alta nubosidad y humedad del suelo por más de 8 meses del año. Ausencia de estaciones secas superiores a 3 meses. Dos estaciones de lluvias.	Bh-sTBm-h-sTBp-sT	Cambio en los patrones de vientos, disminución de las precipitaciones, humedad, nubosidad y nieblas, aumento de la temperatura, aumento de la ETP.

Continúa en la página siguiente

Anexo 1 Síntesis de Información para los Principales Tipos de Ecosistemas (Viene de la página anterior)

Tipo General de Bioma	Bioma	Ecosistema	Vegetacion	Variables Climáticas Claves	Principales Zonas de Vida Holdridge	Observaciones Vulnerabilidad al CC
	Orobiomas Amazónicos	Bosque Alto Denso Submontanos de la Sierra de La Macarena	Cariniana, Brosinum Billia, Eschweilera	Precipitación total y distribución anual de las lluvias. Alta nubosidad y humedad del suelo por más de 8 meses del año. Ausencia de estaciones secas superiores a 3 meses. Dos estaciones de lluvias.	Bh-sTBm-h-sTBp-sTBh-MbB-mh-MbB-p-Mb	Cambio y posible reducción en precipitaciones. Aumento de temperatura. Cambio en nubosidad y brillo solar.
		Bosques Medios Densos montanos de la Sierra de La Macarena		Precipitación total y distribución anual de las lluvias. Alta nubosidad y humedad del suelo por más de 8 meses del año. Ausencia de estaciones secas superiores a 3 meses. Dos estaciones de lluvias.	Bh-MbB-mh-MbB-p-Mb	Cambio y posible reducción en precipitaciones. Aumento de temperatura. Cambio en nubosidad y brillo solar. Ausencia de heladas y reducción de su intensidad.
		Bosques Bajos Densos de niebla de la Sierra de La Macarena		Precipitación total y distribución anual de las lluvias. Alta nubosidad y humedad del suelo por más de 8 meses del año. Ausencia de estaciones secas superiores a 3 meses. Dos estaciones de lluvias.	Bh-sTBm-h-sTBp-sT	Cambio y posible reducción en precipitaciones. Aumento de temperatura. Cambio en nubosidad y brillo solar.

Continúa en la página siguiente

Anexo 1 Síntesis de Información para los Principales Tipos de Ecosistemas (Viene de la página anterior)

Tipo General de Bioma	Bioma	Ecosistema	Vegetación	Variables Climáticas Claves	Principales Zonas de Vida Holdridge	Observaciones Vulnerabilidad al CC
Pedobiomas y Helobiomas del Zonobioma de Bosque Húmedo Tropical	Pedobiomas andinos	Bosque Medio Denso Andinos y Alto-Andinos de roble	Quercus, Billia, Myrsine, Clusia	Precipitación total y distribución anual de las lluvias. Media nubosidad y humedad del suelo por más de 6 meses del año. Ausencia de estaciones secas superiores a 4 meses. Dos estaciones de lluvias. Heladas moderadas en una temporada al año.	Bh-MbB-mh-Mb	Cambio y posible reducción en precipitaciones. Aumento de temperatura. Cambio en nubosidad y brillo solar. Ausencia de heladas y reducción de su intensidad.
		Sabanas Intra-Andinas mayor a 1500 m	Trachypogon, Andropogon			
Orobiomas del Zonobioma de Bosque Húmedo Tropical	Orobiomas Andinos	Bosques secos y matorrales secundarios xerofíticos subandinos de valles intracordilleranos (Ecosistema con alto nivel de degradación)	Prosopis, Cercidium Cactáceas	Precipitación total, distribución errática de la lluvia, alta humedad del suelo por menos de tres meses, estación seca por más de nueve meses.	Bs-sTBh--sT	Cambio y posible reducción en precipitaciones. Aumento de temperatura. Cambio en nubosidad y brillo solar.
		Matorrales xerofíticos andinos y altoandinos (Ecosistema con alto nivel de degradación)	Dodonea, Opuntia, Caesalpinia	Precipitación total, distribución errática de la lluvia, alta humedad del suelo por menos de tres meses, estación seca por más de nueve meses. Heladas en una estación al año.	Bs-Mb	Cambio y posible reducción en precipitaciones. Aumento de temperatura. Cambio en nubosidad y brillo solar.
Pedobiomas y Helobiomas del Zonobioma de Bosque Húmedo Tropical	Helobiomas Andinos	Humedales del Altiplano Cundiboyacense	Juncus, Callitriche, Eichornia, Salix	Precipitaciones y caudales para mantener niveles estables.	Bs-MbBh--Mb	Cambio en las precipitaciones, cambio en la ETP.

Continúa en la página siguiente

Anexo 1 Síntesis de Información para los Principales Tipos de Ecosistemas (Viene de la página anterior)

Tipo General de Bioma	Bioma	Ecosistema	Vegetación	Variabiles Climáticas Claves	Principales Zonas de Vida Holdridge	Observaciones Vulnerabilidad al CC
Zonobioma del Bosque seco tropical	Bosques Secos del Caribe	BMD caducifolios de las planicies disectadas y colinas	Trichilia, Capparis, Bauhinia, Machaerium	Precipitación total, distribución de la lluvia en una sola estación, alta humedad del suelo por cuatro meses, estación seca por 4 meses.	Bs-TBms--T	Disminución de las precipitaciones. Aumento ETP, insolación, vientos.
Orobiomas del Zonobioma de Bosque Húmedo Tropical	Orobiomas Andinos	Bosques secos y matorrales secundarios xerofíticos subandinos de valles intracordilleranos (Ecosistema con alto nivel de degradación)	Prosopis, Cercidium Cactáceas	Precipitación total, distribución errática de la lluvia, alta humedad del suelo por menos de tres meses, estación seca por más de nueve meses.	Bs-sTBh--sT	Cambio y posible reducción en precipitaciones. Aumento de temperatura. Cambio en nubosidad y brillo solar.
Pedobiomas y Helobiomas del Zonobioma de Bosque Húmedo Tropical	Halobiomas	BBD de manglar en clima seco (Caribe)	Rhizophora, Avicennia	Nivel de aguas máximas de pleamar. Patrones de sedimentación y deriva de arenas costeras. Frecuencia de tormentas medias a bajas.	Bh-TBs-T-Bms-TMe--StMd-St	Disminución de las precipitaciones. Aumento ETP, insolación, vientos. Cambio en frecuencia de tormentas y niveles máximos. Cambio e patrones de sedimentación y corrientes de deriva costeras.
Zonobioma del Bosque Húmedo Tropical	Bosques Tropicales del Pacífico	BAD planicie sedimentaria fuertemente ondulada.	Anacardium, Cavallinesia, Manilkara	Precipitación total y distribución anual de las lluvias. Alta humedad del suelo por más de nueve meses del año. Ausencia de estaciones secas superiores a dos meses. Lluvias uniformes todo el año.	Bh-T Bmh-TBp--T	Aumento de las precipitaciones.

Continúa en la página siguiente

Anexo 1 Síntesis de Información para los Principales Tipos de Ecosistemas (Viene de la página anterior)

Tipo General de Bioma	Bioma	Ecosistema	Vegetacion	Variables Climáticas Claves	Principales Zonas de Vida Holdridge	Observaciones Vulnerabilidad al CC
Zonobioma del Desierto Tropical	Formaciones Xerofíticas	Vegetación dispersa del desierto		Precipitación total, distribución errática de la lluvia, alta humedad del suelo por menos de tres meses, estación seca por más de nueve meses, años secos.	Bms-TMe-- StMd-StD-- T	Disminución de las precipitaciones. Aumento ETP, insolación, vientos.

Anexo 2 Síntesis de Información Sobre Agroecosistemas

Tipo General de Bioma	Bioma	Ecosistema	Vegetacion	Variables Climáticas Claves	Principales Zonas de Vida Holdridge	Observaciones Vulnerabilidad al CC
Zonobioma del Bosque Húmedo Tropical	Bosques tropicales de Amazonía.	Agroecosistema de Palma Africana	Arbórea permanente	Precipitación, humedad, brillo solar.	Bh-TBmh-- T	Cambio (aumento) precipitaciones, humedad del suelo.
	Bosques tropicales de Orinoquía.	Agroecosistema de Palma Africana	Arbórea permanente	Precipitación, humedad, brillo solar.	Bh-TBmh-- T	Disminución de precipitaciones, aumento brillo solar.
	Bosques tropicales del Magdalena Medio.	Agroecosistema de Palma Africana	Arbórea permanente	Precipitación, humedad, brillo solar.	Bh-T	Cambio (aumento) precipitaciones, humedad del suelo.
	Bosques tropicales de la Zona Caribe.	Agroecosistema de Palma Africana	Arbórea permanente	Precipitación, humedad, brillo solar.	Bh-T	Disminución de precipitaciones, aumento brillo solar.
	Bosques tropicales del Pacífico.	Agroecosistema de Palma Africana	Arbórea permanente	Precipitación, humedad, brillo solar.	Bh-TBmh-- T	Aumento en las precipitaciones, disminución del brillo solar.

Continúa en la página siguiente

Anexo 2 Síntesis de Información Sobre Agroecosistemas (Viene de la página anterior)

Tipo General de Bioma	Bioma	Ecosistema	Vegetación	Variables Climáticas Claves	Principales Zonas de Vida Holdridge	Observaciones Vulnerabilidad al CC
	Bosques tropicales de Zona Caribe.	Agroecosistema Bananero	Herbácea alta permanente	Precipitación, humedad, brillo solar.	Bh-T	Disminución de precipitaciones, aumento brillo solar.
	Bosques tropicales de Urabá.	Agroecosistema Bananero	Herbácea alta permanente	Precipitación, humedad, brillo solar.	Bh-T	Cambio (aumento) precipitaciones, humedad del suelo.
Orobioma del Zonobioma del Bosque Húmedo y seco tropical	Orobiomas andinos Zona interandina de Huila y Tolima.	Agroecosistema empresarial arrocero de riego	Herbácea temporal	Precipitación, brillo solar	Bs-TBh-T	Cambio de las precipitaciones y brillo solar.
Helobiomas del zonobioma de Bosque húmedo Tropical	Helobiomas del Piedemonte Llanero	Agroecosistema empresarial arrocero de riego	Herbácea temporal	Precipitación, brillo solar	Bs-TBh-T	Disminución de precipitaciones, aumento brillo solar.
Zonobioma del Bosque Húmedo Tropical	Bosques tropicales de Amazonía.	Agroecosistema empresarial de secano (soya, sorgo, algodón)	Herbácea temporal	Precipitación, humedad, brillo solar, ETP.	Bh-TBmh-T	Cambio (aumento) precipitaciones, humedad del suelo.
	Bosques tropicales de Orinoquía.	Agroecosistema empresarial de secano (soya, sorgo, algodón)	Herbácea temporal	Precipitación, humedad, brillo solar, ETP.	Bs-TBh-T	Disminución de precipitaciones, aumento brillo solar.
	Bosques tropicales del Magdalena Medio.	Agroecosistema empresarial de secano (soya, sorgo, algodón)	Herbácea temporal	Precipitación, humedad, brillo solar, ETP.	Bh-T	Cambio (aumento) precipitaciones, humedad del suelo.
	Bosques tropicales de la Zona caribe.	Agroecosistema empresarial de secano (soya, sorgo, algodón)	Herbácea temporal	Precipitación, humedad, brillo solar, ETP.	Bs-TBh-T	Disminución de precipitaciones, aumento brillo solar.
	Bosques tropicales de Urabá.	Agroecosistema empresarial de secano (soya, sorgo, algodón)	Herbácea temporal	Precipitación, humedad, brillo solar, ETP.	Bs-TBh-T	Cambio (aumento) precipitaciones, humedad y cambio en brillo solar.
Zonobioma del Bosque Húmedo Tropical	Bosques tropicales de Amazonía.	Agroecosistema ganadero semi-intensivo e intensivo	Herbácea permanente	Precipitación, humedad, brillo solar, ETP.	Bh-TBmh-T	Cambio (aumento) precipitaciones, humedad del suelo.

Anexo 3 Cuadro Comparativo Entre el Mapa de Coberturas del IDEAM y el Mapa de Ecosistemas del Instituto Humboldt

IDEAM (1996)			Instituto A. Von Humboldt(1998)			
Gran Cobertura	Cobertura (1:1.500.000)	Tipo de Cobertura (1:500.000)	Tipo General de Bioma	Bioma	Ecosistema	Vegetacion
Cobertura Vegetal	Piso Basal (entre 0 y 1000 m)	Bosque (Selva) Basal Amazónico (400 - 1100 m)	Zonobioma del Bosque Húmedo Tropical	Bosques Tropicales de la Amazonia y Orinoquia	Bosque Alto Denso (BAD) de las terrazas antiguas de los grandes ríos	Goupia, Inga, Oenocarpus
					BAD Planicie sedimentaria fuertemente ondulada del sur	Eschweilera, Virola, Cedrelinga
					Bosque Medio Denso (BMD) de los planos estructurales arenosos	Lauraceae, Phenakospermum
					BMD de la planicie arenosa residual ligeramente ondulada del oriente amazónico	Eperua, Lauraceae
					BMD de la planicie arenosa residual fuertemente ondulada del oriente amazónico	Eperua, Clathrotropis, Oenocarpus
					BMD de las planicies residuales arenosas	Leopoldinia, Virola, Hevea, Qualea, Xylopia
		Bosque Basal Orinoquia	Zonobioma del Bosque Húmedo Tropical	Bosques Tropicales de la Amazonia y Orinoquia	Bosque Alto Denso (BAD) en planicie sedimentaria ligeramente Ondulada del norte	Goupia, Clathrotropis
					BAD Planicie sedimentaria fuertemente ondulada del norte	Swartzia, Clathrotropis
					BAD Planicie sedimentaria ligeramente ondulada del sur	Eschweilera, Matisia, Pseudolmedia
					BAD Planicie del piedemonte llanero	Manilkara, Hymenaea, Pseudolmedia

Continúa en la página siguiente

Anexo 3 Cuadro Comparativo Entre el Mapa de Coberturas del IDEAM y el Mapa de Ecosistemas del Instituto Humboldt (Viene de la página anterior)

IDEAM (1996)			Instituto A. Von Humboldt(1998)				
Gran Cobertura	Cobertura (1:1.500.000)	Tipo de Cobertura (1:500.000)	Tipo General de Bioma	Bioma	Ecosistema	Vegetacion	
Cobertura Vegetal	Piso Basal (entre 0 y 1000 m)	Pedobiomas y Helobiomas del Zonobioma de Bosque Húmedo Tropical	Peinobiomas Amazónicos	Bosque Medio Denso (BMD) Caatingas altas	Micrandra, Eperua, Mauritia carana		
					Bosque Bajo Abierto (BBA) Caatingas bajas	Aspidosperma, Dimorphandra, Retiniphyllum	
		Bosque (Selva) Basal del Pacífico	Zonobioma del Bosque Húmedo Tropical	Bosques Tropicales del Pacífico	BAD de las terrazas y la planicie sedimentaria ligeramente ondulada	Eschweilera, Cavallinesia, Pioria, Dacryodes	
					BAD Planicie sedimentaria fuertemente ondulada	Anacardium, Cavallinesia, Manilkara	
					BAD de las colinas altas	Macrocnemum, Castilla, Eschweilera	
		Bosque (Selva) Basal del Caribe	Zonobioma del Bosque Seco Tropical	Bosques Secos del Caribe	BMD caducifolios de las planicies disectadas y colinas	Trichilia, Capparis, Bauhinia, Machaerium	
		Zonobioma del Bosque Húmedo Tropical		Bosques Tropicales del Magdalena Medio	BAD de las terrazas	Anacardium, Ceiba	
					BAD Planicie sedimentaria fuertemente ondulada	Hymenaea, Cariniana, Cochlospermum	
		Pedobiomas y Helobiomas del Zonobioma de Bosque Húmedo Tropical			Peinobiomas amazónicos	Sabanas hiperestacionales de ciperáceas y rapatáceas	Schoenocephalum, Annona, Borreria, Clusia, Ormosia
					Peinobiomas Llaneros	Sabanas de altillanura plana	Trachypogon, Axonopus
						Sabanas de altillanura muy disectada	Paspalum, Bulbostylis
						Sabanas de la altillanura arenosa Guayanesa	Trachypogon Leptocoryphium, Bulbostylis

Continúa en la página siguiente

Anexo 3 Cuadro Comparativo Entre el Mapa de Coberturas del IDEAM y el Mapa de Ecosistemas del Instituto Humboldt (Viene de la página anterior)

IDEAM (1996)			Instituto A. Von Humboldt(1998)				
Gran Cobertura	Cobertura (1:1.500.000)	Tipo de Cobertura (1:500.000)	Tipo General de Bioma	Bioma	Ecosistema	Vegetacion	
Cobertura Vegetal	Piso Basal (entre 0 y 1000 m)	Sabanas (arbustivas, herbáceas y arboladas)			Sabanas no inundables del piedemonte	Trachypogon, Andropogon, Curatella	
					Sabanas con arbustos de los medianos	Paspalum, Andropogon, Byrsonima, Curatella	
					Sabanas inundables de la llanura eólica	Andropogon, Mesosetum	
					Mosaico de las sabanas inundables y bosques de la llanura de desborde	Andropogon, Leersia - Manilkara, Hymenaea, Pseudolmedia	
				Peinobiomas del Caribe	Sabanas de las terrazas antiguas	Trachypogon, Andropogon, Curatella, Byrsonima	
			Xerofitia del Piso Basal	Zonobioma de Desierto Tropical	Formaciones Xerofíticas de la Guajira	Bosque Bajo Abierto caducifolio	Prosopis, Poponax, Caesalpinia, Bursera
					Arbustal abierto caducifolio	Capparis, Prospis, Cactáceas	
					Arbustal abierto subdesértico con suculentas	Cactáceas, Capparis, Libidibia	
			Samnofitia	Zonobioma de Desierto Tropical	Formaciones Xerofíticas de la Guajira (No es claro si estas dos hacen parte de la samnofitia de IDEAM)	Dunas con vegetación escasa	Cereus, Castela
						Vegetación dispersa del desierto de La Guajira	Castela, Cercidium, Melocactus, Opuntia
			Especial Pantanos del Caribe	Pedobiomas y Helobiomas del Zonobioma de Bosque Húmedo Tropical	Helobiomas momposinos	BMA aluviales y vegetación en pantanos y ciénagas	Eichhornia, Erythrina, Pachina Trichilia, Montrichardia, Pistia
					Helobiomas de La Guajira	BMA aluviales de los ríos de agua semi-permanentes	

Continúa en la página siguiente

Anexo 3 Cuadro Comparativo Entre el Mapa de Coberturas del IDEAM y el Mapa de Ecosistemas del Instituto Humboldt (Viene de la página anterior)

IDEAM (1996)			Instituto A. Von Humboldt(1998)			
Gran Cobertura	Cobertura (1:1.500.000)	Tipo de Cobertura (1:500.000)	Tipo General de Bioma	Bioma	Ecosistema	Vegetacion
Cobertura Vegetal	Piso Basal (entre 0 y 1000 m)	Especial Pantanos de la Amazonia	Pedobiomas y Helobiomas del Zonobioma de Bosque Húmedo Tropical	Helobiomas de la Amazonia	BAD de las llanuras de inundación de ríos andinos (aguas blancas)	Theobroma, Oxandra, Iriarteia, Mauritia
					BAD de las varzeas amazónicas	Bombax, Ceiba, Carapa, Cedrela
					BMD y BBD de llanuras de inundación de ríos amazónicos (aguas negras)	Acosmium, Amanoa, Virola, Eschweilera, Dipterix
		Especial Pantanos del Orinoco (No determinada en el nivel escalar laborado)	Pedobiomas y Helobiomas del Zonobioma de Bosque Húmedo Tropical	Helobiomas de la Orinoquía	BMD de los bosques de galería y morichales	Mauritia, Caraipa, Protium, Tabebuia
		Riparia				
		Especial Pantanos del Pacífico (Tapón del Darién)	Pedobiomas y Helobiomas del Zonobioma de Bosque Húmedo Tropical	Helobiomas del Pacífico y Atrato	BAD inundables de catival	Copaifera, Pterocarpus
					BMA aluviales y vegetación en pantanos y ciénagas	Eichhornia, Erythrina, Pachira, Trichilia, Montrichardia
		Especial Rupícola Amazónica	Pedobiomas y Helobiomas del Zonobioma de Bosque Húmedo Tropical	Litobiomas Amazónicos	Arbustales esclerófilos de cimas de las Serranías	Clusia, Acantella, Rodognaphalopsis
			Sabanas casmofitas de cimas de las Serranías Guayanesas	Vellozia, Andropogon, Epidendrum		

Continúa en la página siguiente

Anexo 3 Cuadro Comparativo Entre el Mapa de Coberturas del IDEAM y el Mapa de Ecosistemas del Instituto Humboldt (Viene de la página anterior)

IDEAM (1996)			Instituto A. Von Humboldt(1998)			
Gran Cobertura	Cobertura (1:1.500.000)	Tipo de Cobertura (1:500.000)	Tipo General de Bioma	Bioma	Ecosistema	Vegetacion
Cobertura Vegetal	Piso Basal (entre 0 y 1000 m)	Especial Rupícola del Caribe	Pedobiomas y Helobiomas del Zonobioma de Bosque Húmedo Tropical			
		Manglares	Pedobiomas y Helobiomas del Zonobioma de Bosque Húmedo Tropical	Halobiomas	Bosque alto denso de manglar hiperhúmedo (Pacífico)	Laguncularia, Rhizophora, Pellicera
				Helobiomas del Pacífico y Atrato	BMD y BBA inundables de Natal, Sajal y Naidizal	Camptosperma, Otoba, Mora
				Halobiomas	Bosque bajo denso de manglar en clima seco (Caribe)	Rhizophora, Avicennia
		Agroecosistema Basal	Zonobioma del Bosque Húmedo Tropical		Agroecosistema de Palma Africana	
					Agroecosistema Bananero	
					Agroecosistema empresarial arrocero de riego	
					Agroecosistema empresarial de secano (soya, sorgo, algodón)	
					Agroecosistema ganadero semi-intensivo e intensivo	
					Agroecosistema colonos mixtos	
		Agroecosistema Basal Fragmentado	General		Áreas rurales intervenidas no diferenciadas (20 a 50% de ecosistemas originales remanentes)	

Continúa en la página siguiente

Anexo 3 Cuadro Comparativo Entre el Mapa de Coberturas del IDEAM y el Mapa de Ecosistemas del Instituto Humboldt (Viene de la página anterior)

IDEAM (1996)			Instituto A. Von Humboldt(1998)			
Gran Cobertura	Cobertura (1:1.500.000)	Tipo de Cobertura (1:500.000)	Tipo General de Bioma	Bioma	Ecosistema	Vegetacion
Cobertura Vegetal	Piso Basal (entre 0 y 1000 m)	Agroecosistema Interandino	General		Areas rurales intervenidas no diferenciadas (20 a 50% de ecosistemas originales remanentes)	
					Areas rurales intervenidas no diferenciadas (< 20 de ecosistemas originales remanentes)	
		Bosque Basal Plantado	Etter en este piso altitudinal no los discrimino			

Bioma = Ambientes grandes y uniformes de la geo-biosfera (Walter, 1980)

Zonobioma = Unidades delimitadas por las zonas climáticas que determinan tipos zonales de vegetación (9 a nivel mundial)

Orobioma = Ambientes montañosos al interior de los zonobiomas, que pueden subdividirse en franjas altitudinales

Pedobioma = resultan de condiciones azonales dentro de los zonobiomas. En este caso la vegetación y los procesos ecológicos en general, están más directamente influenciados por las condiciones edáficas e hidrológicas que por las climáticas. Dependiendo del tipo de condicionante se pueden distinguir diferentes clases de pedobiomas

Litobioma = con suelo incipiente sobre roca dura

Psammobiomas = en suelos arenosos lavados

Helobioma =

Hydrobiomas = condiciones pantanosas

Referencias bibliográficas

- ÁLVAREZ LÓPEZ, H. 2001. Especies registradas para Colombia después de 1986. Apéndice E. En. S. L. Hilty & W.L. Brown. Guía de las Aves de Colombia. Versión en Español. SAO, ABC & Universidad del Valle. Colombia
- ANDRADE, G.I. 1993. Biodiversidad y conservación en Colombia. En. Pp. 25-42. Nuestra Diversidad Biológica. CEREC, Fescol y Fundación Angel Escobar. Bogotá.
- ANDRADE, G.I. 1998. Los humedales del altiplano de Cundinamarca y Boyacá: ecosistemas en peligro de desaparecer. En: Guerrero, E. (ed.). Una aproximación a los Humedales en Colombia. Fondo FEN, Comité Colombiano de la UICN y UICN Regional. Bogotá..
- ANDRADE, G.I. & C.A. MEJÍA. 1987. Cambios estacionales en la distribución de la avifauna en el Parque Nacional Macuira. *Trianea* 1: 145-169.
- ANDRADE, G.I. & H. RUBIO. 1994. Sustainable use of the tropical rain forest. Evidence from the avifauna in a shifting cultivation habitat mosaic in the Colombian Amazon. *Conservation Biology* 8 (2):545-554.
- ANDRADE, G. I. & A.M FRANCO. 1998. Hacia una definición de prioridades de conservación. En. Pp. 95-106. Memorias Normatividad, gestión y administración de fauna silvestre. Ministerio del Medio Ambiente e ICFC. Bogota.
- ANÓNIMO. 1999. Colombia Biodiversidad Siglo XXI. Agenda de investigación en sistemática. Asociación Colombiana de Herbarios, Universidad Nacional de Colombia-Instituto de Ciencias naturales y Facultad de Ciencias, Instituto Humboldt. Santafé de Bogotá, 1999.
- ASOCIACIÓN BOGOTANA DE ORNITOLOGÍA. ABO. 2000. Guía de aves de la Sabana de Bogota. ABO, CAR. Bogotá.
- AYALA, S.C.1986. Saurios de Colombia. Lista actualizada y distribución de ejemplares colombianos en los museos. *Caldasia* 15(71-75): 555-575.
- BAPTISTE, L.G. & S. HERNÁNDEZ. 1998. Elementos para la valoración económica de la biodiversidad colombiana. En. Diversidad Biológica y Cultural. Retos y propuestas desde América Latina. Grupo ad hoc sobre diversidad biológica, ILSA, IGEA & WWF. Bogotá.
- BASLEV, H. & L.J. LUTEYN (EDS). 1992. Paramo. An ecosystem under Human Influence. Academic Press. London.
- BELLA, S.A., R. JACOBS, H. LI. 1994. Ecophysiological responses of plants to climate change. *Environmental Management* 18 (4): 489-500.
- BERRÍO, J.C., H. BEHLING, M. WILLE, H. HOOGHMESTRA. 2000. Climate and vegetation history of the Colombian savannas since the last glacial maximum; a transect through the Llanos Orientales. ICN, Universidad Nacional Bogotá.
- BETANCUR, J. & W.J. KRESS. 1995. Distribución geográfica y altitudinal del genero *Heliconia* (Heliconiaceae) en Colombia. in: *Biodiversity and Conservation of Neotropical Montane Forests*. The New York Botanical Garden.
- BLAUSTEIN, A. 2001. Amphibian mortality linked to climate change. [Press Release], Oregon State University. (<http://www.eurekalert.org:80/releases/osu-aml040301.html>)
- BOUMA, M.J., G. POVEDA, W. ROJAS, D. CAVASE, M. QUIÑONES, J. COX & J. PATZ. Predicting high risk years for malaria in Colombia, using parameter of El Niño Southern Oscillation. *Trop. Med. Int. Health* 2 (12): 1122-7
- BREURE, A. 1984. Survey of the land Mollusca of the Sierra Nevada de Santa Marta. En *Ecoandes* 1.
- BULLOCK, S.H., H.A. MOONEY & E. MEDINA. (eds.) 1995. Seasonally dry tropical forests. Cambridge University Press. Cambridge England.
- CALDERÓN, E. 1994. Patrones de endemismo en plantas vasculares de la cordillera occidental, del departamento del Valle (Colombia). En: Memorias del primer congreso nacional de Biodiversidad (Universidad del Valle e Instituto de Estudios del Pacifico). Cali.

- CALDERÓN, E. 1997. Lista de plantas amenazadas de Colombia. Instituto Alexander von Humboldt. Bogotá.
- CALLAHAN, J.T. 1984. Long-term ecological research. *BioScience* 34: 363-367
- CASTAÑO-URIBE CARLOS, MARCELA CANO Editores. El Sistema de Parques Nacionales de Colombia UAESPNN, Ministerio del Medio Ambiente, Bogotá.
- CAVELIER, J. & G. GOLDSTEIN. 1989. Mist and fog interception in elfin cloud forest in Colombia and Venezuela. *Journal of Tropical Ecology* 5: 309-322.
- CAVELIER, J., T.M. AIDE, C. SANTOS, A.M. EUSSE Y J.M. DUPUY. 1998. The savannization of moist forests in the Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia. *Journal of Biogeography* 25: 901-912
- CEBALLOS, G. 1995. Vertebrate diversity, ecology, and conservation in neotropical dry forests. Bullock, S.H., H.A. Mooney & E. Medina. (eds.) 1995. Seasonally dry tropical forests. Cambridge University Press. Cambridge England.
- CLEEF, A.M. 1981. The Vegetation of the Colombian Cordillera Oriental. Thesis (Ph.D.). Rijksuniversiteit. Utrecht. The Quaternary of Colombia No. 9. *Dissertationes Botanicae* No 61. Vaduz, Cramer.
- CONSTANTINO, L.M. 1995. Diversidad, cría y conservación de mariposas del Pacífico colombiano. En: I Congreso Nacional sobre Biodiversidad. Ministerio del Medio Ambiente-Proyecto Biopacífico. Cali.
- CONNEL, J.H. & R.O. SLATYER. 1977. Mechanisms of succession in natural communities and the role in community stability and organization. *American Naturalist* 111
- CRONK, Q.C.B. & J.L. FULLER. Plan invaders. The threat to natural ecosystems. Chapman & Hall. London. U.K.
- CUATRECASAS, J. 1934. Observaciones geobotánicas en Colombia. Trabajos del Museo Nacional de Ciencias Naturales. Serie Botánica 27. Madrid, España.
- CUATRECASAS, J. 1958. Aspectos de la vegetación natural de Colombia. *Revista Academia Colombiana de Ciencias* 10: 221-268
- CUATRECASAS, J. 1986. Speciation and radiation of the Espeletinae in the Andes. en. High altitude tropical Biogeography. Oxford University Press.
- CUERVO-DÍAZ, A. C.E. BARBOSA Y J. DE LA OSA. 1986. Aspectos ecológicos y etológicos de los primates, con énfasis en *Alouatta seniculus* (Cebidae), de la región de Colosó, serranía de San Jacinto (Sucre), costa norte de Colombia. *Caldasia* 14(68-70): 709-741.
- CUERVO-DÍAZ, A., J. HERNÁNDEZ Y A. CADENA. 1986. Lista actualizada de los mamíferos de Colombia. Anotaciones sobre su distribución. *Caldasia* 15(71-75): 471-501.
- DA SILVA, J.M.C. & M. TABARELLI. 2000. Tree species impoverishment and the future of the flora of the Atlantic forest of northeast Brazil. *Nature* 404: 72-74.
- DEBOUK, D.G. & D. LIBREROS FERLA. 1995. Neotropical Montane Forests: A fragile home of genetic resources of wild relatives of New World crops. In. S.P. Churchill et al. Eds. Biodiversity and Conservation of Neotropical Montane Forests. New York Botanical Garden. New York.
- DEFLEUR, T. 2001. Conservación y la Amazonia Colombiana. En. Imani Mundo: estudios en la Amazonía Colombiana. C.E. Franky Calvo y C. G. Zárate (Eds.). Universidad Nacional de Colombia. Instituto Amazónico de Investigaciones Imani. Leticia.
- DINERSTEIN, E., D.M. OLSON, D.J. GRAHAM, A. L. WEBSTER, S.A. PIMM, M.P. BOOGBINDER & G. LEDEC. 1995. A conservation assessment of the terrestrial ecoregions of Latin America and the Caribbean. The World Bank and World Wildlife Fund. Washington D.C. U.S.A.
- DONATO, J. 1998. Los sistemas acuáticos de Colombia: síntesis y revisión. En: E. Guerrero (Ed.).

- Una aproximación a los humedales en Colombia. Fondo FEN, UICN. Santafé de Bogotá.
- DUIVENVOORDEN, J.F. & J.M. LIP. 1993. Ecología del paisaje del Medio Caquetá. Tropenbos. Bogotá, Colombia.
- DUGAND, A. 1973. Elementos para un curso de geobotánica Colombia. *Cespedesia* 2 (6-8). Cali.
- DUGAND, A. 1962. Geobotánica, botánica y ecología vegetal. Reedición Corporación Autónoma Regional del Atlántico. Barranquilla.
- ELLEMBERG, H. 1979. Man's influence on tropical mountain ecosystems of South América. *Journal Ecology* 67: 401-416
- ETTER, A. 1992. Aproximación ecológica general y estado de intervención de la Amazonia colombiana. En: Andrade, G.I., A. Hurtado y R. Torres (eds.). Amazonia colombiana: diversidad y conflicto. CEGA, Conciencias. Bogotá.
- ETTER, A. 1993. Diversidad ecosistémica en Colombia hoy. En. Pp. 43-61. Nuestra Diversidad Biológica. CEREC, Fescol y Fundación Ángel Escobar. Bogotá.
- Etter, A. 1994. Consideraciones generales para el análisis de la cobertura vegetal. En: IGAC & SIG-PAFC. Memorias del Primer Taller sobre Cobertura Vegetal. Clasificación y Cartografía. Subdirección de Geografía, Instituto Geográfico "Agustín Codazzi" y SIG-PAFC. Plan de Acción Forestal para Colombia. Bogotá.
- Etter, A. 1998. Diversidad Ecosistémica, Introducción General. En: Cháves y Arango (Eds.). Informe Nacional sobre el Estado de la Biodiversidad, Colombia. Tomo I. Diversidad Biológica. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos, Alexander von Humboldt. Bogotá.
- ETTER, A. 1998. Sabanas, En.: IAvH. Informe sobre el estado de la biodiversidad de Colombia. 1997
- ETTER, A. & P. BOTERO. 1990. Efectos de procesos climáticos y geomorfológicos en la dinamita del bosque húmedo tropical de la Amazonia Colombiana. *Colombia Amazónica* 4 (2): 7-22.
- FAO. 1990. Evaluación de los recursos forestales 1990. Procedimiento de Interpretación y recopilación de datos de alta resolución para evaluación de la situación actual y el cambio de la cubierta forestal. Programa de Cooperación de Gobierno. Documento de Proyecto. Bogotá.
- FERNÁNDEZ, A, 1978. The preparation of the endangered species list of Colombia. Segundo Congreso Iberoamericano del Medio Ambiente. Bogota.
- FJELDSÅ, J. 1985. Origin, evolution, and status of the avifauna of Andean wetlands. En: Neotropical Ornithology. *Ornithological Monographs* 36. AOU.
- FJELDSÅ, J. & N. KRABBE. The Birds of the High Andes. Copenhagen Zoological Museum. Apollo Books. Svendborg, Denmark.
- FJELDSÅ, J. E. LAMBLIN & E. MERTENS. 1999. Correlation between endemism and local ecological stability documented by comparing Andean bird distributions and remotely sensed land surface data. *Ecography* 22: 63-78.
- FORERO, E. 1985. Estado Actual del Conocimiento de la Vegetación y la Flora del Choco. Pp. 185-192. In D.Arcy, W. and M.D. Correa. La Botánica e Historia Natural de Panamá. *Monographs in Systematic Botany* 10. Missouri Botanical Garden. St. Louis.
- GALEANO, G. 1992. Patrones de distribución de las palmas de Colombia. *Bulletin Institut Français Etudes Andines* 21(2): 599-607
- GENTRY, A 1986. Species richness and floristic composition of Chocó region plant communities. *Caldasia* 15 (71-75): 71-79.
- GENTRY, A. 1995. Diversity and floristic composition of neotropical dry forests. In :S.H. Bullock, H.A. Mooney & E. Medina (eds.). Seasonally Dry Tropical Forests. Cambridge University Press, Cambridge, England.
- GITAY, H., S. BROWN, W. EASTERLING & B. JALLOW. 2001. Ecosystems and their goods and services. In: McCarthy, J.J., O.F. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken & K.S. White (Eds.). Climate change 2001: Impacts, adaptation, and vulne-

- rability. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press.
- 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. Vulnerabilidad de las Coberturas Vegetales de Colombia. Maestría en Medio Ambiente y Desarrollo. Instituto de Estudios Ambientales (IDEA), Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- HAFFER, J. 1967. Zoogeographical notes on the "nonforest" lowland bird faunas of Northwestern South America. *Hornero* 10(4): 316-333.
- HAFFER, J. 1974. Avian Speciation in Tropical South America. *Publ. Nutall Ornithological Club*, no. 14. Cambridge, Mass.
- HARTSHORN, G. S. 1990. An overview of Neotropical forest dynamics. In: A.H. Gentry ed. Four Neotropical Forests. Yale University Press. New Haven. U.S.A.
- HARTSHORN, G. S. 1992. Possible Effects of Global Warming on the Biological Diversity in Tropical Forests. In. R.L. Peters & T.E. Lovejoy. Global Warming and Biological Diversity. Yale University Press. New Haven. U.S.A.
- HERNÁNDEZ, J. & H. SÁNCHEZ. 1992. Biomasa terrestres d Colombia. En: Pp. 153-174. G. Halffter (Ed). La Diversidad Biológica de Iberoamérica. *Acta Zoológica Mexicana* (Volumen Especial) 1992.
- HERNÁNDEZ, J.I. , T. WALSCHBURGER, R. ORTÍZ & A. HURTADO. 1992. Unidades biogeográficas de Colombia. En: Pp. 105-152. G. Halffter (Ed.). La Diversidad Biológica de Iberoamérica. *Acta Zoológica Mexicana* (Volumen Especial) 1992.
- HERNÁNDEZ, J.I. , A. HURTADO, R. ORTIZ & T. WALSCHBURGER. 1992. Centros de endemismos en Colombia.. En: Pp. 175-190. G. Halffter (Ed). La Diversidad Biológica de Iberoamérica. *Acta Zoológica Mexicana* (Volumen Especial) 1992.
- HERNÁNDEZ, J.I.. 1992. Especies de vertebrados extintas y en peligro de extinción en Colombia. Unidades biogeográficas de Colombia. En: Pp. 217-224. G. Halffter (Ed.). La Diversidad Biológica de Iberoamérica. *Acta Zoológica Mexicana* (Volumen Especial) 1992.
- HOFSTEDE, R. & N. AGUIRRE. 1999. Biomasa y dinámica del carbono en relación con las actividades forestales en la Sierra del Ecuador. En. El páramo como espacio de mitigación de carbono atmosférico. *Serie Páramo* 1: 29-46.
- HOOGHMESTRA, H. H. MOMMERSTEEG, R. MERCHANT, A. BOOM, R. VAN VEER 6 G. ISLEBE. 2000. Climate instability, biome evolution, floral evolution, and climate dependent C3-C4 plant competition during the Pleistocene of Colombia: non-analogs and non-linearity vs. "the present is the key to the past". ICN Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- HUBER, O. Y C. ALARCÓN. 1988. Mapa de Vegetación de Venezuela (1:2'000.000). Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables (MARNR) y The Nature Conservancy. Caracas, Venezuela.
- IDEAM. 2001. Documento técnico para el cálculo del inventario nacional de gases de efecto invernadero generados por el cambio del uso de la tierra y silvicultura Años 1990 y 1994. Bogotá.
- IDEAM 2001. Inventario nacional de gases de efecto invernadero, módulo cambio en el uso del suelo y silvicultura Para 1990 y 1994. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, Ministerio del Medio Ambiente, Bogotá.
- IAvH 1998. Instituto Alexander von Humboldt. Informe Nacional sobre el estado de la biodiversidad 1997 INSEB - Colombia. M.E. Cháves & N. Arango (Eds.). Instituto Humboldt, PNUMA, Ministerio del Medio Ambiente 1998 3 Vol. Santafé de Bogotá..
- IAvH 1998. Instituto Alexander von Humboldt. Investigaciones ecológicas a largo plazo: un vacío espacial y temporal en Colombia. *Boletín Biosíntesis* 18: 1-4

- IaVH. 2000. Instituto Alexander von Humboldt. Colombia megadiversa: cinco años explorando la riqueza de un país biodiverso. Bogotá.
- IaVH. 1997. Instituto Alexander von Humboldt. Caracterización ecológica de cuatro remanentes de bosque seco tropical de la región Caribe colombiana. Informe interno. Villa de Leiva.
- IaVH 2000. Instituto Alexander von Humboldt.. Incentivos para la conservación y uso sostenible de la biodiversidad. Bogota.
- IGAC. 1963. Formaciones Vegetales de Colombia y Mapa Ecológico. Departamento Agrológico. Bogotá.
- JANZEN D. H. 1986. Guanacaste National Park: tropical ecological and cultural restoration. Editorial Universidad Estatal a Distancia, San Jose, Costa Rica.
- JANZEN. D. 2000. Good fences make good neighbours: The Area de Conservación Guanacaste, Costa Rica. *Parks* 11 (2): 41-50
- KAPOS, V. 1989. Effects of isolation on the water status of forest patches in the Brazilian Amazon. *Journal of Tropical Ecology* 5: 173-185.
- KATTÁN, G. & H. ÁLVAREZ. 1996. Preservation and Management of Birds in Fragmented Landscapes in the Colombian Andes. In: Schellias, J. & R. Greenberg. (eds.). *Forest Patches in Tropical Landscapes*. Island Press. Washington DC. U.S.A.
- KATTÁN, G. H., H. ÁLVAREZ-LÓPEZ & M. GIRALDO. 1994. Forest Fragmentation and Bird Extinctions: San Antonio Eighty years Later. *Conservation Biology* 8 (1): 138-146-
- LAEGAARD, S. 1991. Influence of fire in the grass páramo vegetation of Ecuador. In. Baslev, H. & L.J. Luteuyn (eds). *Paramo. An ecosystem under Human Influence*. Denmark.
- LEIGH, E. G., S. RAND & D. WINSOR. Eds. 1982. *The Ecology of a Tropical Forest: Seasonal rhythms and long term changes*. Smithsonian Institution Press. Washington, D.C.
- LERDAU, M., J. WHITBECK Y N M. HOLBROOK. 1991. Tropical Deciduous Forest: Death of a Biome. *Trends in Ecology and Evolution* 6 (7)
- MACE, G.M. AND S.N. STUART. 1994. Draft IUCN Red List Categories, Version 2.2. *Species* 21-22:13-24.
- MAGNUSON, J.J. & T.K. KRATZ. 2000. Lakes in the landscape: approaches to regional limnology. *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung fuer Limnologie*. 27:1-4.
- MALLEUX O., J. 1988. Revisión de los sistemas de clasificación de bosques de la región amazónica y propuesta de un sistema regional concordado. Manejo de Recursos Forestales tropicales en América Latina y Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Documento de Campo No. 7. Lima.
- MARES, N.A. 1992. Neotropical Mammals and the Myth of Amazonian Biodiversity. *Science* 255: 976-979.
- MARNR. Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales de Venezuela. 1993. Mapa de la Vegetación de Venezuela (1:250.000). Dirección de Vegetación. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables (MARNR). Caracas, Venezuela.
- MÁRQUEZ, G. 1996. Ecosistemas Estratégicos y Otros Estudios de Ecología Ambiental. Fondo FEN Colombia. Bogotá.
- MÁRQUEZ, G. 2001. De la abundancia a la escasez. La transformación de ecosistemas en Colombia. En. G. Palacios (ed). *La Naturaleza en Disputa. Ensayos de Historia Ambiental de Colombia 1850-1995*. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- MACNEELY, J.A., K.R. MILLER, W.V. REID, R. A. MITTERMEIER AND T.B. WERNER. 1990. *Conserving the world's biological diversity*. IUCN, WRI, CI, WWF-US, The World Bank.
- MALCOLM, J.R. & A. MARKHAM. 2000. *Global Warming and Terrestrial Biodiversity Decline*. Informe preparado para WWF.

- MCCANN, K. S. 2000. The diversity- stability debate. *Nature* 405: 228-233
- MCCARTHY, J.J., O.F. CANZIANI, N.A. Leary, D.J. Dokken & K. S. White (eds.). 2001. *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. IPCC. Cambridge University Press..
- METZ, B., O. DAVIDSON, R. SWART & J. PAN. 2001. *Climate Change 2001: Mitigation*. IPCC. Cambridge University Press.
- MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. 2000. Primer informe nacional de Implementación de la Convención de las Naciones Unidas de lucha contra la Desertificación y la Sequía.
- MITTERMEIER, R.A., P. ROBLES & C. GOETTCH. 1997. Megadiversidad. Los países biológicamente más ricos del mundo. Cemex. México D.F.
- NARANJO, L.G., G.I. ANDRADE & E. PONCE. 1999. Humedales interiores de Colombia. Bases técnicas para su conservación y uso sostenible. Instituto Alexander von Humboldt y Ministerio del Medio Ambiente. Bogotá.
- NOSS, R.F. 1990. Indicators for monitoring biodiversity: A hierarchical approach. *Conservation Biology* 4: 355-364.
- NOSS, R.F. & A.Y. COOPERRIDER. 1994. *Saving Nature's Legacy. Protecting and Restoring Biodiversity*. Island Press. Washington, D.C.
- OCHOA, J. G. & G.I. ANDRADE. 2000. The introduced flora to Machu Picchu Sanctuary: inventory and management priorities for biodiversity conservation. *Aliens* 12: 3-4
- OLSON, D., B. CHENOFF, G. BURGESS, I. DAVIDSON, P. CAVEVARI, E. DINERSTEIN, G. CASTRO, V. MORISETT, R. ABELL & E. TOLEDO. 1997. *Freshwater biodiversity in Latin America and the Caribbean: a conservation assessment*. Santa Cruz de la Sierra Workshop. Bolivia.
- PARMESAN, C. 1996. Climate and species range. *Nature* 382:765-766.
- PARMESAN, C., T.L. ROOT & M.R. WILLIG. 2000. Impacts of extreme weather and climate on terrestrial biota. *Bulletin of the American Meteorological Society* 81:443-450.
- PARMESAN, C., N. RYRHOLM, C. STEFANESCU, J.K. HILL, C.D. THOMAS, H. DESCIMON, B. HUNTLEY, L. KAILA, J. KULLBERG, T. TAMMARU, W.J. TENNENT, J.A. THOMAS & M. WARREN. 1999. Poleward shifts in geographical ranges of butterfly species associated with regional warming. *Nature* 399:579-583.
- PERFECTO, I., R.A. RICE, R. GREENBERG & M. VAN DER VOORT. 1996. Shade Coffee: A Disappearing Refuge for Biodiversity. *BioScience* 46 (8); 598-608
- PETERS, R.J. & T. E. LOVEJOY (eds.). 1992. *Global Warming and Biological Diversity*. Yale University Press. New Haven.
- POUNDS, J.A. 2001. Climate and amphibian declines. *Nature* 410: 639-640.
- POUNDS, J.A. & M.L. CRUMP. 1994. Amphibian decline and climate disturbance: the case of the golden toad and the harlequin frog. *Conservation Biology* 8:72-85.
- POUNDS, J.A., M.P.L. FOGDEN & J.H. CAMPBELL. 1999. Biological response to climate change on a tropical mountain. *Nature* 398: 611-615.
- POVEDA, G. & O.J. MESA. 1997. Feedbacks between hydrological processes in tropical South America and large scale oceanic-atmospheric phenomena. *Journal of Climate* 10: 2690-2701.
- POVEDA, G. & W. ROJAS. 1997. Evidencias de la asociación entre brotes epidémicos de malaria en Colombia y el fenómeno El Niño-Oscilación del Sur. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias* 21 (81):421-429.
- POVEDA, G., N.E. GRAHAM, P. EPSTEIN, W. ROJAS, I.D. VÉLEZ, M.L. QUIÑÓNEZ & P. MARTENS. 1999a. Climate and ENSO variability associated with vector-borne diseases in Colombia. In: Díaz, H.F. & V. Markgraf (Eds.). *El Niño and the southern oscillation, multiscale variability and global and regional impacts*. Cambridge, Cambridge University Press, United Kingdom and New York

- POVEDA, G., A. JARAMILLO, M.M. GIL, N. QUI-CENO & R. MANTILLA. 2001. Seasonality in ENSO-related precipitation, river discharge, soil moisture and vegetation index (NDVI) in Colombia. *Water Resources Research* (in press).
- PUTNEY, A. 2000. Editorial. In: Non-material Values of Protected Areas. *Parks* 10: 1-2.
- RANGEL, O. 2000. Vegetation of Colombia: reconstruction implication in the global and local changes. ICN, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- RANGEL, O, O. CASTAÑO, G. STILES, P. RUÍZ, P. LOWY, H. SÁNCHEZ, M. AGUILAR Y A. GARZÓN. 1995. Estudio de la Diversidad Biótica en Colombia. en pp. 25-31. Memorias I Congreso Nacional sobre Biodiversidad. Cali. Diciembre, 1994.
- REDFORD, K.H. Y G.A.B. DA FONSECA. 1986. The Role of Gallery Forests in the Zoogeography of the Cerrado's Non-volant Mammalian Fauna. *Biotropica* 18(2): 126-135.
- REMSEN, J. Y T. PARKER. 1983. Contribution of river-created habitats to species richness in Amazonia. *Biotropica* 15(3) 223-231.
- Renjifo, L.M. 1999. Composition Changes in a Subandean Avifauna after Long-Term Forest Fragmentation. *Conservation Biology* 13 (5): 1124-1139
- RENJIFO, L.M., A.M. FRANCO, H. ÁLVAREZ-LÓPEZ, M. ÁLVAREZ, R. BORJA, J.E. BOTERO, S. CÓRDOBA, S. DE LA ZERDA, G. DIDIER, F. ESTELA, G. KATTÁN, E. LONDOÑO, C. MÁRQUEZ, M.I. MONTENEGRO, C. MURCIA, J.V. RODRÍGUEZ, C. SAMPER & W.H. WEBER. 2000. Estrategia nacional para la conservación de las aves de Colombia. Instituto Alexander von Humboldt, Bogotá, Colombia.
- RESTREPO, C. & L.G. NARANJO. 1987. Recuento histórico de la disminución de humedales y la desaparición de la avifauna acuática en el Valle del Cauca, Colombia. En: G. Kattán & C. Murcia (eds.). Memorias III Congreso de Ornitología Neotropical. ICBP, USFWS & SVO, Cali, Colombia.
- RUÍZ, P.M., M.C. ARDILA & J.D. LYNCH. 1996. Lista actualizada de la fauna Amphibia de Colombia. *Rev. Acad. Col. Cien. Exac. Físicas y Naturales*. 20(77): 365-415.
- SALAMAN, P., T. CUADROS, J.G. JARAMILLO & W.H. WEBER. 2001. Lista de chequeo de las aves de Colombia. Sociedad Antioqueña de Ornitología SAO, Medellín, Colombia
- SALATI, E. & P.B. VOSE. 1984. Amazon Basin : a system in equilibrium. *Science* 225: 129.138
- SALO, J., R. KALLIOKA, I. HAKKINEN, Y. MAKINEN, P. NIEMELA, M. PUKKARA Y D. COLEY. 1986. River dynamics and the diversity of Amazon lowland forests. *Nature*, 322: 254.
- SÁNCHEZ, H., H. CASTAÑO, O. & A.G. CÁRDENAS. 1995. Diversidad de reptiles en Colombia. En: Colombia. O. Rangel. (Ed.) Diversidad biológica de Colombia. ICN Bogotá.
- SARMIENTO, G. 1975. The dry plant formations of South America and their floristic connections. *Journal of Biogeography* 2: 233-51.
- SARMIENTO, G. 1984. The ecology of tropical savannas. Harvard University Press. Cambridge Mass. USA.
- SMITH, N.J.H. 1996. Effects of Land-Use Systems on the Use and Conservation of Biodiversity. In. Srivastava, J.P., N. Smith & D.A. Forno. 1996. Biodiversity in Agricultural Intensification. *Environmentally Sustainable Development Studies and Monographs Series* No. 11. The World Bank. Washington D.C. U.S.A.
- SHUKLA, J., C. NOBRE & P. SELLERS. 1990. Amazonian deforestation and climate change. *Science* 247: 1322-1325.
- TERBORGH, J. & B. WINTER. 1982. Evolutionary circumstances of species with small ranges. Pp. 587-600 in G.T. Prance Ed. Biological Diversification in the Tropics. Columbia University Press, New York.
- THE ASSOCIATED PRESS. 2001. Warmer weather is killing toads. Study finds shallower lakes and ponds leave amphibians susceptible to disease.

- UHL, C. & J.B. KAUFFMAN. 1990. Deforestation and fire susceptibility, and potential tree responses to fire in the Eastern Amazon. *Ecology* 71(2): 437-449
- UNESCO. 1973. Clasificación internacional y cartografía de la vegetación. Comité permanente de la UNESCO para la clasificación y cartografía de la vegetación sobre una Base Mundial. París. 93 p.
- UNIÓN MUNDIAL DE CONSERVACIÓN (UICN). 1994. Categorías de las listas rojas de la UICN. Gland, Suiza.
- URREGO, L.E., D. URREGO Y. L.F. RAMÍREZ. 2000. Succession Reconstruction in the forested wetlands in the Biogeographical Chocó. ICN, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- VAN DER HAMMEN, T. 1984. Zonal ecosystems of the northern flank of the Sierra Nevada de Santa Marta (Transecto Buritaca – La Cumbre). *Ecoandes* 2.
- VAN DER HAMMEN, T. 1993. Global Change, Biodiversity, and Conservation of Neotropical Montane Forests. In S.P. Churchill, H. Balslev, E. Forero & J.L. Luteyn. Biodiversity and Conservation of Neotropical Montane Forests. New York Botanical Garden. New York. U.S.A.
- VAN DER HAMMEN, T. 1995. Zonal ecosystems of the west and east flanks of the Colombian central cordillera (Parque Los Nevados Transect). *Ecoandes* 5.
- VAN DER HAMMEN, T. & A.M. CLEEF. 1986. Development of the High Andean Paramo Flora and Vegetation. Pp 153-201 In F. Vuilleumier and M. Monasterio. High Altitude Tropical Biogeography. Oxford University Press. New York.
- VAN WIJNGAARDEN, W. 1994. Elaboración de mapas y clasificación de vegetación: desarrollos recientes. En: IGAC & SIG-PAFC. Memorias del Primer Taller sobre Cobertura Vegetal – Clasificación y Cartografía. Subdirección de Geografía, Instituto Geográfico “Agustín Codazzi” y SIG-PAFC (Sistemas de Información Geográfica, Plan de Acción Forestal para Colombia. Bogotá.
- VENEKLAAS, E.J. 1995. Water and nutrient fluxes in two montane rain forest canopies, central cordillera, Colombia., In: *Studies on Tropical Andean Ecosystems* 4: 463-474.
- VERWEIJ, P.A. 1995. Spatial and temporal modeling of vegetation patterns. Burning and Grazing in the páramo of Los Nevados National Park. Colombia. ITC Publication number 30.
- VERWEIJ, P.A. & H. BEUKEMA. 1991. Aspects of human influence on upper Andean forests line vegetation. In. Baslev, H. & L.J. Luteyn (eds). Paramo. An ecosystem under Human Influence. Denmark.
- Verweij, P.A. & K. Kok 1991. Effects of fire and grazing on *Espeletia hartwegiana* populations. In. In. Baslev, H. & L.J. Luteyn (eds). Paramo. An ecosystem under Human Influence.
- WALTER, H. 1980. Vegetation of the Herat and ecological systems of the geo-biosphere. Springer Verlag. Berlin.
- WALSCHBURGER, T., A. HURTADO, M. ROMERO, P. RIVAS, C.S. POLO & M.L. AHUMADA. 1997. Zonificación biogeográfica de la región del Pacífico colombiano. En. Proyecto de Zonificación Ecológica del Pacífico Colombiano. Proyecto Biopacífico. Ministerio del Medio Ambiente, GEF, PNUD e IGAC. Bogotá, Colombia.
- WIJMSTRA, T.A. & T. VAN DER HAMMEN. 1966. Palynological data on the history of tropical savannas in northern South America. *Leidse Geologische Mededelingen* 38: 71.90.
- WILSON, A. M: & D. B. LINDENMAYER. 1995. Wildlife Corridors and the Conservation of Biodiversity: A Review. Centre for Resource and Environmental Studies. The Australian National University. Canberra, Australia.

Notas

- 1 *Sobresale la gran cantidad de información publicada en las series de The Quaternary of Colombia (El cuaternario de Colombia) y del proyecto Ecoandes.*
- 2 Ver:
http://www.bgc-jena.mpg.de/bgc_prentice/projects/biome6000/latina.html
- 3 *Un análisis mas detallado de los alcances y diferencias de ambos sistemas de clasificación y mapeo para los fines del presente ejercicio se encuentra más adelante.*
- 4 Ver:
<http://www.biodiv.org/EcosysApproach/Principles.html>
- 5 $v = 1/r$
- 6 *La literatura científica sobre dinámica de los ecosistemas colombianos no es muy amplia. Dado el carácter general de esta revisión, muchos de los criterios básicos han sido extraídos de la extensa literatura sobre ecosistemas similares en otros países del Neotrópico, privilegiando el caso colombiano cuanto fue posible.*
- 7 *Los términos se usan en el sentido de la Convención de las Naciones Unidas de lucha contra la desertificación y la sequía (Ministerio del Medio Ambiente 2000).*
- 8 *Condición actual de algunos de los principales agroecosistemas andinos.*
- 9 *El monitoreo centrado en la biodiversidad no excluye por su puesto el monitoreo de componentes de los procesos físico bióticos y antrópicos que determinan la estructura de los ecosistemas.*
- 10 *Este comentario puede considerarse especialmente válido para los estudios de biomasa y contenido de carbono en la vegetación.*
- 11 *La identificación de todas las opciones de política que favorecen la adaptación al cambio climático rebasa el objeto de este trabajo; se presentan solo algunas a manera de ejemplo.*