

Conservación y sostenibilidad de los ecosistemas de alta montaña en Latinoamérica: Consideraciones a partir del estudio de la vegetación paramuna Colombiana

Jairo H. Pinto-Zárate. Biólogo, M.Sc. Grupo de Investigación en Biodiversidad y Conservación, Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, D.C., Colombia. jhpintoz@unal.edu.co

Artículo de Reflexión, Foro Electrónico 'Biodiversidad en Montañas' - Alianza para las Montañas y CONDESAN, Octubre 11-15 de 2010

Historia evolutiva y biodiversidad

La región de vida paramuna, comprendida entre el margen superior de los bosques montanos y el límite inferior de las nieves, se distribuye esencialmente a lo largo de las montañas centroamericanas de Costa Rica y Panamá y los sistemas Andinos y extraandinos de Venezuela, Colombia y Ecuador, alcanzando propiamente algunos sectores de Perú y los valles orientales de Los Yungas en Bolivia (Beck *et al.* 1993, Hofstede *et al.* 2003, Luteyn 1999). El modelado de los ambientes andinos de alta montaña comparte una larga historia evolutiva con los seres vivos que allí habitan, condicionados por grandes fenómenos como el levantamiento de las cordilleras, la conexión entre Norte y Suramérica por el cierre del arco Centroamericano, y las glaciaciones del Cuaternario. Especialmente durante éste último período se presentaron cambios intensos en factores como precipitación, humedad, temperatura y radiación solar, los cuales propiciaron procesos de migración, colonización, intercambio genético y especiación de organismos nativos y foráneos como respuesta adaptativa. Los sucesivos avances y retrocesos de los glaciares influyeron en los desplazamientos altitudinales de las franjas de vegetación y la composición de organismos a nivel local y regional (van der Hammen 1992), actuando sobre la topografía de la zonas montañosas debido al efecto de modelado del hielo, impulsando en cada avance y retirada la formación de laderas pronunciadas y planicies así como depresiones, cubetas y morrenas, éstos últimos donde hoy día se sitúan lagunas, charcas y humedales (Flórez 2000).

En las etapas dominadas por el frío las franjas de vegetación paramuna llegaron a estar interconectadas a lo largo de la cordillera conformando corredores extensos, pero en los períodos interglaciares, y especialmente a partir del final de la última glaciación (10 mil años a.p.), los ambientes Andinos se tornaron considerablemente más cálidos, obligando a los organismos tropicales adaptados al frío a desplazarse gradualmente y establecerse en las cumbres. Desde entonces, las áreas que actualmente ocupan los páramos se encuentran separadas geográficamente en las cimas a manera de resguardos o islas ecológicas, cuyo aislamiento prolongado ha propiciado la aparición de numerosas especies únicas para cada macizo especialmente adaptadas para el medio en el que se encuentran, soportando condiciones extremas como alta radiación solar, cambios drásticos diarios de temperatura, baja presión atmosférica y niveles bajos de oxígeno en el aire. Los organismos responden asociándose e interactuando entre sí, conformando comunidades de una gran complejidad interna. En cuanto a la vegetación, los conjuntos adoptan formas fisionómicas bastante diversas y características, siendo comunes las combinaciones de bosques enanos, matorrales, chuscales, frailejonales, pajonales, pastizales, herbazales, rosetales y prados, al igual que cojines y tapetes hasta formas propiamente acuáticas (Sturm 1998). No obstante, aunque a través del paisaje paramuno la arquitectura de la vegetación pueda parecer bastante similar, la composición florística de sus comunidades es fuertemente específica, integradas por elementos de distribución endémica exclusivos de cada región.

En el caso del bioma paramuno colombiano, para el comienzo de la presente década habían sido documentados cerca de 330 tipos de formaciones vegetales 'zonales' propias de sectores firmes y bien drenados (Rangel 2000b), mientras que evaluaciones más recientes a escala regional han permitido identificar alrededor de 31 unidades vegetales propias del Parque Nacional Natural Los Nevados en la cordillera Central (Salamanca *et al.* 2003), 21 para los macizos del norte de Colombia (Pinto & Rangel 2010a), 14 de naturaleza zonal para la cordillera Occidental (Pinto & Rangel 2010b), y cerca de 140 tipos 'azonales' característicos de los humedales de la cordillera Oriental (Pinto 2005), además de numerosas formaciones establecidas en el macizo de Sumapaz (Cleef *et al.* 2008). Otros estudios permitieron determinar 26 tipos de comunidades paramunas para Centroamérica (Brak *et al.* 2005, Chaverri & Cleef 1996), mientras que revisiones generales hacen referencia a cerca de 35 grandes grupos de formaciones vegetales (alianzas fitosociológicas) propias de alta montaña reseñadas para Latinoamérica (Galán de Mera 2005). Respecto a su riqueza florística, en general el páramo cuenta con cerca de 125 familias, 500 géneros y 3400 especies de plantas vasculares (helechos, gimnospermas y plantas con flores), además de 130 familias, 365 géneros y 1300 especies de plantas no vasculares (musgos, hepáticas y líquenes) (Luteyn 1999). Para Colombia la flora vascular paramuna reúne alrededor de 3380 especies y subespecies de 570 géneros y 120 familias, con cerca del 72% de las plantas con flores registradas para la región de vida. Las proporciones son similares para los demás grupos vegetales: 85% de hepáticas, 96% de

líquenes y 98% de helechos (Rangel 2000c). En su conjunto, constituye de lejos la flora de alta montaña más rica del planeta (Smith & Cleef 1988).

Servicios ecosistémicos vs. Problemática ambiental

Los servicios ambientales que estos ecosistemas prestan a la sociedad son estratégicos para su subsistencia, siendo vital el papel de la cobertura vegetal en la protección de los suelos, relacionados con la regulación de los cauces debido a su alta capacidad de retención hídrica, además la vegetación también participa en la interceptación de 'lluvia horizontal' a partir de la humedad disponible en el aire. Estos procesos son decisivos para asegurar los aportes de agua para consumo de las poblaciones concentradas en la zona Andina y de los asentamientos humanos que se abastecen de sus vertientes: los páramos colombianos, aunque ocupan menos del 3% del territorio, participan directamente en el aprovisionamiento de agua potable para un 70% de la población nacional (¡unos 28 millones de personas!). Estudios recientes también destacan el rol de los depósitos orgánicos atrapados en las 'turberas' paramunas como grandes sumideros de carbono, los cuales pueden equipararse a los montos almacenados en numerosos tipos de bosques montanos. La fauna asociada a los ecosistemas naturales promueve gratuitamente mecanismos de control biológico al consumir anualmente toneladas de organismos nocivos para la agricultura en sus alrededores, siendo a su vez fundamentales en los procesos de polinización. Igualmente importantes son sus servicios como fuente de alimentos, especies ornamentales, materiales y fibras artesanales, recursos genéticos, medicinales y biotecnológicos, y sus paisajes como espacios ecológicos, espirituales y recreativos, entre muchos otros. Sin embargo, la implementación desordenada de actividades humanas en estos ambientes se ha acelerado en las últimas décadas, ocasionando la fragmentación de los ecosistemas y la reducción de las coberturas naturales, el deterioro de sus procesos biológicos, y gradualmente la pérdida de su biodiversidad junto con sus servicios ecosistémicos asociados. Estimaciones preliminares para el año 2000 indicaban que por lo menos 70 tipos de vegetación paramuna se encontraban amenazados, lo que corresponde a un 22% de las comunidades caracterizadas para ese entonces; igualmente, alrededor de 350 especies botánicas de 120 géneros y 60 familias taxonómicas ya enfrentaban algún grado de amenaza, representando cerca del 10% de la flora. Como es de esperarse, la franja con mayor grado de intervención es el subpáramo, la cual presenta mayor contacto con los frentes de colonización (Rangel 2000a).

En numerosas regiones paramunas se adelantan labores productivas inapropiadas respecto a la verdadera vocación de uso del suelo dictada por sus características físicas y bióticas: concesiones mineras (oro, carbón) y forestales (pino, eucalipto), agricultura, ganadería, extracción intensiva de leña y materiales (bambúes, paja, juncos), turismo masivo, entre otras. La piscicultura basada en la introducción de especies foráneas agresivas (trucha arcoiris) en los cuerpos naturales de agua elimina en poco tiempo la fauna propia de las corrientes y los sistemas lacustres (peces, insectos, anfibios). La implementación de cultivos en las partas altas, frecuentemente precedida por quemas, se ve favorecida por la presencia reducida de plagas, no obstante, el reemplazo de los organismos y las comunidades nativas simplifica su biodiversidad, facilitando la llegada de especies invasivas y de plagas cada vez más resistentes. Las labores agrícolas generalmente demandan aplicaciones intensivas de correctivos de la acidez y fertilizantes ricos en nutrientes debido a los bajos niveles de pH, la fertilidad media y la baja productividad agronómica de los sustratos, afectando drásticamente las características propias de sus suelos (Malagón & Pulido 2000). El establecimiento de obras civiles y áreas de pastoreo requiere también el drenaje de amplias zonas, práctica que origina la subsidencia de los terrenos y la compactación irreversible de los sustratos, los cuales terminan perdiendo su capacidad de retención de agua y transformándose en ambientes biológicamente secos e improductivos (Malagón *et al.* 1995). La exposición de los materiales orgánicos depositados en los pantanos conlleva a su descomposición y meteorización, fomentando la liberación de cientos de toneladas de CO₂ a la atmósfera. Adicionalmente, los efectos globales del actual cambio climático tienen consecuencias especialmente agravadas en los ecosistemas de alta montaña del trópico, donde las alteraciones de los factores ambientales se intensifican respecto a su magnitud en las zonas bajas. Las franjas de vegetación tienden a ascender a medida que la temperatura media del aire se incrementa, lo cual representa una amenaza directa para la supervivencia de los organismos propiamente paramunos dadas las limitaciones para migrar a sitios más elevados, situación particularmente crítica en el caso de los macizos de altitud restringida.

Infortunadamente, no parece existir una relación proporcional entre la megadiversidad propia de estas áreas y el bienestar de sus pobladores, sin embargo, la deformación y devastación de los páramos, con las nefastas consecuencias que esto implica, no puede convertirse en la estrategia principal para la reducción de la desigualdad social y económica de las poblaciones humanas en las regiones altoandinas.

Estrategias basadas en procesos naturales

Cada especie desempeña un papel único al interior de las intrincadas redes de relaciones que se establecen en las comunidades biológicas, particularmente complejas en ecosistemas altamente diversos como los tropicales,

beneficiándose a su vez de la interacción con los demás elementos. En consecuencia, su conservación en un entorno natural es virtualmente insostenible a largo plazo sin la preservación de cada uno de los componentes que integran las comunidades y del equilibrio propio de los ambientes en los cuales se desarrollan, circunstancia especialmente crítica en el caso de especies de distribución restringida o en condiciones de riesgo. Las interacciones entre los organismos giran en torno al proceso de fotosíntesis y la producción primaria de las plantas, de manera que el edificio vegetal no sólo suministra la energía básica esencial para las cadenas tróficas, sino que constituye como tal el medio físico en el cual la fauna habita y se desenvuelve. La presencia de coberturas vegetales maduras también suele estar asociado a la estabilización de las propiedades atmosféricas y edáficas en su interior (temperatura, humedad, viento, luminosidad, disponibilidad de nutrientes...), requeridas necesariamente por numerosos elementos florísticos y faunísticos para su subsistencia. De ésta forma, el estudio de la vegetación representa un instrumento de gran utilidad para la comprensión de las relaciones entre los ecosistemas y el entorno en el que se desarrollan, siendo la expresión biológica más evidente respecto a unas condiciones ambientales determinadas.

Diferentes metodologías de investigación han sido establecidas con el propósito de simplificar la complejidad de las formaciones vegetales, buscando alcanzar una mejor comprensión de las relaciones comunidad-ambiente y su evolución en el tiempo. Las técnicas varían en cuanto a los criterios empleados para su caracterización (composición, fisionomía, dominancia, área de muestreo...), pero en general su aproximación se basa en 'evidencias' obtenidas directamente en el campo (parcelas, levantamientos, transectos), sistematizadas y complementadas por herramientas computarizadas como los sistemas de información geográfica que permiten su espacialización a diferentes escalas y discernir su interacción con el medio físico (geología, geomorfología, edafología, hidrología...), además de evaluar su condición en el paisaje (Arellano & Rangel 2008). Finalmente se obtienen modelos abstractos detallados de las comunidades vegetales en el paisaje a partir de sus particularidades, convirtiéndose en verdaderos 'ecosistemas de referencia' hacia los cuales deberían estar dirigidos los programas de conservación y restauración. Entre los métodos más relevantes se destacan el de transectos (Gentry 1982), de aplicación práctica en evaluaciones ecológicas rápidas, y el de la escuela fitosociológica (Braun-Blanquet 1979), distinguido por su grado de detalle (véase Kent & Coker 1992). Las poblaciones animales pueden emplear numerosas unidades vegetales o restringirse a unas pocas de acuerdo con su movilidad, sus requerimientos y los vínculos ecológicos que establezcan.

Durante la historia reciente la humanidad está presenciando no solamente la pérdida de ciertos elementos de la flora y fauna de una región, sino la extinción de ecosistemas completos a lo largo de grandes extensiones producto de sus actividades fuera de control. Los resultados de esta clase de investigaciones biológicas aportan criterios fundamentales para la planeación de estrategias de conservación y manejo efectivas que se ajusten a las características particulares de los ecosistemas de acuerdo a la complejidad propia de las respectivas regiones de montaña, convirtiéndose en instrumentos de apoyo para la toma de decisiones acertadas en el desarrollo de marcos legales y políticas ambientales. La implementación de planes que ignoran el funcionamiento natural de estos sistemas frágiles puede llegar a ser fuertemente nocivo, agravando aún más las condiciones de degradación. No obstante, aunque a partir de la década de 1970 se producen los principales esfuerzos para caracterizar las formaciones vegetales paramunas colombianas, principalmente a partir de estudios a escala local y subregional, el deterioro ambiental avanza mucho más rápido que los trabajos dirigidos hacia su comprensión. Gran parte de la información disponible se encuentra disgregada y desactualizada, difícilmente procesada mediante herramientas automatizadas de consulta e intercambio como bases de datos. La ausencia de síntesis regionales de vegetación impide contar con referencias históricas precisas sobre los diferentes tipos de coberturas naturales establecidos a lo largo de las regiones de alta montaña. El estudio de los patrones ecológicos y de distribución geográfica también se ve afectado por los enormes vacíos de investigación, dado que regiones enteras carecen virtualmente de muestreos, son muy antiguos, o los pocos realizados tienen una representatividad mínima frente a la extensión enorme de las localidades. Estas limitaciones parecen repetirse entre los diversos países montañosos de América Latina.

Recomendaciones: Conocimiento y conservación integral de los ecosistemas

No existe una única solución definitiva ante la problemática ambiental que enfrenta la región Andina. Ningún mecanismo de conservación puede ser realmente efectivo sin asegurar la viabilidad social y económica de las poblaciones humanas que allí habitan, no obstante, sus formas de subsistencia no son sostenibles en éstos ambientes tan frágiles si no logran entablar un equilibrio con su entorno, respetando los espacios naturales que deben ser preservados. La mejor estrategia a adoptar debe ser combinada y adaptable: los diversos sectores de la sociedad deben estar dispuestos a aportar y abiertos a aprender, rectificar y conciliar. El enfoque debe ser claro: imitar los sistemas biológicos de cada región, probados *in situ* tras miles de años de experimentación de la naturaleza, para lo cual debe procurarse un conocimiento detallado de su funcionamiento. Cualquier clase de uso de los recursos debe estar acorde con las características de cada región de montaña, sin ir más allá de su propia capacidad: debe considerarse seriamente la restricción de las explotaciones mineras y las grandes obras de

infraestructura, las labores agropecuarias y las plantaciones forestales, fomentando el aprovechamiento racional de especies no tradicionales (artesanales, follajes, alimentos...), la exploración de usos potenciales de la biodiversidad y el turismo ecológico según la capacidad de carga respectiva. La preservación de ecosistemas estratégicos es una de las claves, especialmente aquellos establecidos en sectores de recarga de acuíferos y regulación de cauces, o los que representan núcleos de concentración de organismos y corredores biológicos. Aunque la desaparición de ciertas especies y la transformación de sus ecosistemas será inevitable como consecuencia de los fenómenos globales asociados al cambio climático, asegurar la permanencia de los espacios naturales permitirá su conservación de acuerdo a la continuidad de los procesos evolutivos, acudiendo a la capacidad de adaptación y recuperación propia de las comunidades y a la plasticidad genética de las especies (los organismos que habitan actualmente la alta montaña son descendientes de aquellos que sobrevivieron a períodos sucesivos de cambio climático).

Siguiendo los conceptos expuestos a lo largo del presente documento, algunas tareas y recomendaciones específicas que deben tenerse en consideración con el propósito de facilitar la comprensión sobre el medio natural y la planeación y toma de decisiones acordes con las características del mismo son:

- *Acelerar los inventarios de biodiversidad y ecosistemas y el estudio de los recursos biológicos asociados:* Promover en las regiones montañosas la continuación sistemática de los inventarios básicos de flora y fauna así como la caracterización integral de sus ecosistemas, contemplando aspectos como sus patrones florísticos, la composición y organización biológica al interior de las unidades vegetales, su distribución geográfica y las principales relaciones que presentan respecto a diversos factores ambientales, permitiendo la identificación de especies, poblaciones y comunidades estratégicas o en riesgo. La construcción gradual de modelos ecológicos que integren estos conceptos permitirá determinar los *ecosistemas de referencia* hacia los cuales deberán enfocarse los programas de conservación y restauración de la cobertura vegetal altoandina a diferentes escalas, de manera que consideren efectivamente los elementos nativos que la componen y su distribución natural en el entorno físico, preservando sus relaciones ecosistémicas a través del papel de hábitat que desempeña el edificio vegetal para las poblaciones faunísticas y su influencia en los ciclos abióticos regionales y locales (hidrológicos, edáficos...). Los resultados de estos estudios son fundamentales para alcanzar una mejor comprensión sobre los procesos biogeográficos, las dinámicas sucesionales y otros fenómenos como el de cambio climático, proporcionando el conocimiento básico sobre los recursos ambientales de alta montaña que facilite solucionar los conflictos de uso en la región y satisfacer las necesidades de las comunidades biológicas y humanas allí establecidas. Debe considerarse igualmente la evaluación del potencial de aprovechamiento de los componentes de la biodiversidad, valorando tanto el uso tradicional en las respectivas regiones (etnobiología) como la exploración de nuevos usos a diferentes niveles (alimenticias, forrajeras, ornamentales, fibras, colorantes, cercas vivas, control biológico, biorremediación, farmacéuticas...).

- *Adelantar inventarios precisos de coberturas naturales y de uso del suelo:* Recurrir a tecnologías de sistemas de información geográfica y sensores remotos (imágenes satelitales, fotografía aérea) como apoyo para el desarrollo de cartografía temática de calidad (división política, medio físico...), la delimitación de las coberturas actuales de uso del suelo, la distribución de ecosistemas, y la georreferenciación de la información derivada de los estudios de biodiversidad. Un inventario preciso de las unidades del paisaje no sólo constituye una herramienta fundamental para determinar la vocación apropiada de uso del suelo, identificar las áreas que actualmente ocupan los ecosistemas estratégicos, o diseñar planes de manejo e investigación acordes con los vacíos de conocimiento y las prioridades de conservación, sino que permite establecer aproximaciones hacia la extensión potencial de dichos ecosistemas en el pasado reciente, así como evaluar las dinámicas históricas de transformación de las coberturas naturales. Para Colombia se destacan aportes como el 'Mapa de Ecosistemas de los Andes Colombianos' a escala 1:1.000.000 (IAvH 2004), y actualmente el 'Mapa de Ecosistemas Continentales, Costeros y Marinos de Colombia' a escala 1:500.000 (IDEAM *et al.* 2007), los cuales determinaron las principales coberturas naturales y antrópicas del país mediante combinaciones de criterios ambientales y fisionómicos amplios. No obstante, para aplicaciones locales de manejo se requieren productos a escalas más finas (1:50.000-1:10.000) que involucren un conocimiento detallado de los ecosistemas a nivel fisionómico y fitosociológico. Para ésta tarea, la adaptación e implementación para el Trópico de propuestas integrales como las de UNESCO (1973) y su posterior desarrollo para el Programa de Caracterización de la Vegetación de los Estados Unidos (FGDC 2008, TNC 1994) sería un instrumento de enorme valor para propósitos de conservación en Latinoamérica.

- *Planeación enfocada hacia la conservación integral de ecosistemas:* La interacción entre los resultados derivados de las caracterizaciones ecológicas y las aplicaciones de sistemas de información geográfica es clave para lograr la planeación sistemática de nuevas investigaciones enfocadas hacia la exploración de áreas aún no evaluadas o prácticamente desconocidas, el monitoreo de los ecosistemas previamente caracterizados, y el establecimiento de programas de conservación y de recuperación de la cobertura vegetal y sus funciones ecosistémicas en zonas prioritarias alteradas, basándose en el conocimiento sobre la extensión actual, pasada y

potencial de las unidades naturales del paisaje junto con la distribución de los tipos puntuales de vegetación y el funcionamiento de sus componentes asociados. Mantener una valoración continua es esencial para aprender sobre las dinámicas sucesionales y emplearlas en acciones de restauración, dirigir las revegetalizaciones hacia la estructura y composición original de las comunidades de referencia, y aprovechar los elementos florísticos propios de las diferentes regiones para el diseño de sistemas agroecológicos que imiten a los sistemas naturales, valiéndose de sus procesos implícitos de control biológico. Estos principios revisten una singular importancia, dado que frecuentemente los programas de conservación se enfocan estrictamente en mantener o proporcionar cualquier tipo de cobertura vegetal sobre el suelo, sin considerar la historia evolutiva precedente, la pérdida de biodiversidad generada, o la degradación de las funciones ecosistémicas que sostienen a los servicios ambientales prestados. Dado que las poblaciones requieren territorios con extensiones muy diferentes para ser viables en el tiempo (p.ej. insectos terrestres vs. aves migratorias), la preservación de núcleos de vegetación natural de distintos tamaños interconectados por redes de corredores parece ser una de las estrategias más efectivas para proporcionar el espacio suficiente que asegure la viabilidad de la mayor cantidad de organismos en una región determinada. Garantizar la permanencia de los ecosistemas nativos también permite acudir a su capacidad inherente de adaptación frente al cambio climático, mientras que las coberturas naturales, maduras y equilibradas, han demostrado ser una barrera eficaz contra la dispersión de especies invasoras y plagas, entre muchas otras funciones.

- *Planes complementarios de conservación enfocados hacia especies puntuales*: Implementación de programas de propagación y conservación de especies vegetales destacadas por su importancia, ya sea por su papel principal en la estructura de las comunidades naturales (dominantes, vital para acelerar procesos de restauración), por su vulnerabilidad (especies endémicas o en riesgo, especialmente para repoblación o reintroducción), o por su valor como productos aprovechables (especies promisorias, variedades silvestres de plantas cultivadas...). Como herramientas de conservación *in situ* debe considerarse la propagación en viveros de alta montaña junto con su inclusión como parte activa en el diseño de cercas vivas y agroecosistemas locales, y bajo condiciones *ex situ* opciones como preservación en jardines botánicos y bancos de semillas, además de alternativas biotecnológicas como cultivo de tejidos y bancos de germoplasma, especialmente útiles en circunstancias donde la extinción local o definitiva de ciertos elementos es inminente. Estrategias equivalentes dirigidas hacia el componente faunístico también deben considerarse. Los proyectos concentrados hacia ciertas especies carismáticas presentan un fuerte componente emocional y mediático de gran utilidad para propósitos de educación ambiental y consecución de recursos, pero por sí solos no conllevan necesariamente hacia un verdadero impacto a nivel ecosistémico.

Algunas estrategias suplementarias pueden facilitar la profundización en el conocimiento de los ecosistemas, el éxito a largo plazo de las actividades de conservación, y la sostenibilidad de los habitantes de las franjas altoandinas, entre ellas:

- *Creación de sistemas integrados de información*: Consolidación de sistemas regionales en línea que permitan la sistematización, estandarización, articulación y amplia disponibilidad de la información de campo y los modelos propuestos de vegetación y ecosistemas de referencia. Algunas iniciativas transnacionales en otras partes del mundo han sido ampliamente exitosas, entre ellas los programas de la Comunidad Europea 'CORINE – Co-ordination of Information on the Environment' y 'European Vegetation Survey' implementados entre las décadas de 1980-1990, y recientemente sistemas como 'SynBioSys Europe' y 'EUNIS – European Nature Information System', enfocados en el uso práctico de éste conocimiento como instrumento para la evaluación de los ecosistemas y la generación de mecanismos efectivos de conservación con énfasis en el viejo mundo (Davies *et al.* 2004, Izco 1997, Schaminée *et al.* 2009). En Colombia se adelantan actualmente varias propuestas de este tipo, entre ellas el 'Sistema Nacional de Información en Biodiversidad – SiB' coordinado por el Instituto Alexander von Humboldt en asocio con otras instituciones académicas y ambientales. En el caso de los páramos se destacan los aportes integradores del proyecto 'Síntesis fitosociológica de la vegetación de la región de vida paramuna colombiana', desarrollado por el Grupo de Investigación en Biodiversidad y Conservación adscrito al Instituto de Ciencias Naturales - Universidad Nacional de Colombia (Pinto & Rangel 2010a, 2010b).

- *Mejoramiento de redes integradas de investigación ecológica, educación ambiental y trabajo social*: Dinamización de mecanismos regionales y transnacionales que faciliten la coordinación de redes integradas de trabajo enfocadas hacia la investigación ecológica, la educación ambiental y la asistencia social en áreas de montaña, involucrando tanto organismos multilaterales (Naciones Unidas, Alianza para las Montañas, Mountain Forum, CONDESAN) e instituciones gubernamentales y académicas (ministerios, institutos, universidades, colecciones biológicas, jardines botánicos), así como donantes, ONG's, grupos de investigación, investigadores independientes y grupos de base comunitaria. Estos mecanismos permitirían la articulación de actividades de cooperación y la gestión de recursos materiales y financieros que impacten directamente en los diferentes sectores de la sociedad, incluyendo la búsqueda coordinada de alternativas económicas sostenibles, la educación

ambiental con énfasis en la población joven, y el entrenamiento de nuevos investigadores, especialmente aquellos oriundos de las regiones de montaña, multiplicando los resultados y evitando la duplicación de esfuerzos.

- *Ajuste de las legislaciones nacionales a la realidad ambiental:* Impulsar la adaptación de diversas políticas ambientales nacionales de acuerdo a la realidad ecológica de la alta montaña, especialmente en la definición de marcos normativos precisos que regulen el tipo y alcance de las actividades productivas permitidas en estas áreas. Uno de estos casos tiene que ver con la verdadera extensión altitudinal de la franja de vida altoandina. Las restricciones legales adoptadas recientemente en algunos de nuestros países respecto a la ejecución de actividades como minería y pastoreo por encima de cotas preestablecidas entre 3000-3200 m son un avance enorme en conservación, sin embargo, debe procurarse que la legislación tenga la suficiente flexibilidad para incluir otros ecosistemas altoandinos situados por fuera de éste intervalo de elevación. Diversos estudios evidencian que la extensión vertical de los cinturones de vegetación montañosa varía localmente de acuerdo con la altitud de los macizos, así como entre sus flancos húmedos y secos (Sturm 1998). Para el caso colombiano, mientras que en la Sierra Nevada de Santa Marta pueden observarse matorrales altoandinos establecidos desde 3200 m, en otras zonas especiales del país se conocen 'paramillos' que descienden incluso hasta 2400-2500 m, entre ellos el PNN Tatamá y el Cerro El Torrá en la cordillera Occidental, o el sector de La Candelaria en el Macizo Colombiano (Pinto & Rangel 2010a, 2010b, Rangel & Lozano 1986, Silverstone & Ramos 1995). Esta condición es frecuente en diferentes regiones montañosas de América Latina, incluyendo áreas de la Sierra de Mérida, la Cordillera de la Costa (Pico Naiguatá) o la Serranía de Perijá (Mesa Turik) en Venezuela, donde se conocen formaciones vegetales de tipo paramuno situadas entre 2100-2800 m (Azócar & Fariñas 2003, Galán *et al.* 1992), además de otros puntos como el páramo de Yamoca y la jalca de Las Estacas a 2350 m en Perú (Luteyn 1999), y el sitio El Empalme (turberas La Chonta y La Trinidad de Dota, cordillera de Talamanca) entre 2000-2300 m en Costa Rica (Brak *et al.* 2005).

- *Pago por servicios ecosistémicos y otros incentivos accesibles a la población:* Impulsar propuestas que permitan adoptar mecanismos justos de pago por servicios ambientales como verdaderas políticas de estado, transformándolas en una alternativa real de ingresos por conservación para los pobladores que habitan las áreas de montaña, dado que bajo los esquemas actuales la conservación no constituye para ellos una opción rentable, fomentando el ascenso de la frontera agrícola y la proliferación de actividades extractivas. Dada la exigencia de los requerimientos, gran parte de los recursos por secuestro de carbono derivados de iniciativas del Mecanismo de Desarrollo Limpio del protocolo de Kioto regularmente resultan dirigidos a programas gubernamentales y grandes proyectos forestales de empresas y consorcios, principalmente en áreas boscosas extensas manejadas técnicamente como parques nacionales y plantaciones comerciales. Dichas condiciones difícilmente favorecen a los pequeños productores Andinos, cuyas reservas y relictos distribuidos en sus predios integran verdaderas redes de conservación. Adicionalmente, la preservación de la estructura de los ecosistemas naturales no es un interés prioritario para éste mecanismo, promoviendo la introducción de especies forestales foráneas de mayor porte, la transformación y el reemplazamiento de la vegetación nativa y la homogenización de su composición, originando pérdidas irreparables de biodiversidad y afectando sus procesos y servicios ambientales asociados; en el caso de los páramos, desconoce además la importancia del carbono atrapado en sus enormes depósitos turbosos. Por otra parte, la legislación referente a los sistemas nacionales de áreas protegidas generalmente se encuentra ampliamente desarrollada, mientras que las regulaciones e incentivos estatales referentes a iniciativas de conservación provenientes de la sociedad civil son mínimos, ignorando los esfuerzos de los propietarios. De ésta manera, es urgente fomentar el establecimiento de leyes y mecanismos de cooperación y compensación que permitan el acceso real de las comunidades a asesoría técnica y recursos económicos por conservación, incluyendo pagos por servicios ecosistémicos (especialmente por la regulación de recursos hídricos), reducción de emisiones por deforestación y degradación de bosques (REDD, quizá a través de recursos del Fondo para Bosques y Carbono del Banco Mundial), y captura de carbono, en éste último caso mediante Certificados por Reducción de Emisiones provenientes tanto del Mecanismo de Desarrollo Limpio como de Mercados Voluntarios. Entre los programas exitosos dirigidos hacia poblaciones rurales se destacan algunos como 'Plan Vivo' ejecutado en México, Nicaragua y algunos países africanos (Plan Vivo Foundation 2008), el cual otorga asistencia técnica e ingresos por certificados de carbono en sectores deprimidos que carecen de áreas protegidas, siempre y cuando estén acompañados por iniciativas comunitarias de producción limpia, restauración y adaptación de ecosistemas nativos y aprovechamiento apropiado de productos de la biodiversidad, permitiendo a los grupos afiliados ser autosostenibles a futuro. El diseño y la adopción de programas similares donde se garantice el acceso a mercados y la implementación de mecanismos de pago justo y protección de recursos biogenéticos permitirían la diversificación de las alternativas económicas para los habitantes, motivando el retorno a los sistemas tradicionales de producción y el abandono de prácticas nocivas.

Literatura citada

- ARELLANO-P., H. & J.O. RANGEL-CH. 2008. Patrones en la distribución de la vegetación en áreas de páramo de Colombia: Heterogeneidad y dependencia espacial. *Caldasia* 30(2): 355-411.
URL: <http://www.scielo.org.co/pdf/cal/v30n2/v30n2a8.pdf>
- AZÓCAR, A. & M. FARIÑAS. 2003. Páramos. En: M. Aguilera, A. Azócar & E. González-J. Biodiversidad en Venezuela. Tomo II. Pp. 716-733. Ministerio de Ciencia y Tecnología y Fundación Polar. Ex Libris. Caracas.
- BECK, S, T.J. KILLEEN & E. GARCÍA-E. 1993. Vegetación de Bolivia. En: T.J. Killeen, E. García-E. & S.G. Beck (eds). Guía de árboles de Bolivia. Pp. 6-24. Herbario Nacional de Bolivia y Missouri Botanical Garden. La Paz.
- BRAK, B., M. VROKLAGE, M. KAPPELLE & A.M. CLEEF. 2005. Comunidades vegetales de la turbera de altura 'La Chonta' en Costa Rica. En: M. Kappelle & S.P. Horn (eds). Páramos de Costa Rica. Pp. 607-629. Instituto Nacional de Biodiversidad. Santo Domingo de Heredia. Costa Rica.
- BRAUN-BLANQUET, J. 1979. Fitosociología: Bases para el estudio de las comunidades vegetales. De Blume: 820 pp. Madrid.
- CHAVERRI, A. & A.M. CLEEF. 1996. Las comunidades vegetacionales en los páramos de los macizos del Chirripó y Buenavista, Cordillera de Talamanca, Costa Rica. *Revista Forestal Centroamericana* 5(17): 44-49.
- CLEEF, A.M., J.O. RANGEL-CH. & H. ARELLANO-P. 2008. The paramo vegetation of the Sumapaz massif (Eastern Cordillera, Colombia). En: T. van der Hammen, J.O. Rangel-Ch. & A.M. Cleef (eds). La cordillera Oriental colombiana, transecto Sumapaz. *Estudios de Ecosistemas Tropandinos* 7: 799-913. J. Cramer. Berlin-Stuttgart.
- DAVIES, C.E., D. MOSS & M.O. HILL. 2004. EUNIS Habitat Classification Revised 2004. Report to European Environment Agency and European Topic Centre on Nature Protection and Biodiversity. 310 pp. Reino Unido.
URL: http://eunis.eea.europa.eu/upload/EUNIS_2004_report.pdf
- FGDC – FEDERAL GEOGRAPHIC DATA COMMITTEE. 2008. National Vegetation Classification Standard, Version 2. Federal Geographic Data Committee – Vegetation Subcommittee. 119 pp. Reston. EUA.
URL: http://www.fgdc.gov/standards/projects/FGDC-standards-projects/vegetation/NVCS_V2_FINAL_2008-02.pdf/
- FLÓREZ, A. 2000. Geomorfología de los páramos. En: J.O. Rangel-Ch. (ed). Colombia Diversidad Biótica III: La región de vida paramuna. Pp. 24-36. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia e Instituto Alexander von Humboldt. Bogotá.
- GALÁN, C., A. VILORIA & F. HERRERA. 1992. Rasgos ecológicos y climáticos de Mesa Turik, Sierra de Perijá, Venezuela. *Boletín de la Sociedad Venezolana de Espeleología* 26: 2-6.
- GALÁN DE MERA, A. 2005. Clasificación fitosociológica de la vegetación de la región del Caribe y América del Sur. *Arnaldoa* 12(1-2): 86-111.
URL: <http://www.scielo.org.pe/pdf/arnal/v12n1-2/a10v12n1-2.pdf>
- GENTRY, A. H. 1982. Patterns of neotropical plant diversity. *Evolutionary Biology* 15: 1-84.
- HOFSTEDE, R., P. SEGARRA & P. MENA-V. (eds). 2003. Los páramos del mundo. Proyecto Atlas Mundial de los Páramos. Global Peatland Initiative, NC-IUCN y EcoCiencia. Quito.
- IAVH – INSTITUTO ALEXANDER VON HUMBOLDT. 2004. Mapa de ecosistemas de los Andes colombianos del año 2000, escala 1:1.000.000. Instituto Alexander von Humboldt. Bogotá.
URL: <http://www.humboldt.org.co/unisig/ecosistemas/andes/>
- IDEAM, IGAC, IAVH, INVEMAR, I. SINCHI E IIAP. 2007. Ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Instituto Alexander von Humboldt, Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico, Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras e Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas. 276 pp. Bogotá.
URL: http://www.invemar.org.co/redcostera1/invemar/docs/mec/ecosistemas_continentales_costeros_y_marinos.pdf
- Izco-S., J. 1997. Standardization of phytosociological names: A global perspective. *Colloques Phytosociologiques* 27: 897-914.
- KENT, M. & P. COKER. 1992. Vegetation description and analysis: A practical approach. CRC Press: 363 pp. Boca Raton. EUA.
- LUTEYN, J.L. 1999. Páramos: A checklist of plant diversity, geographical distribution, and botanical literature. *Memoirs of The New York Botanical Garden* 84: 278 pp. The New York Botanical Garden Press. Nueva York.
URL: <http://www.botanypages.org/neill/paramos/index.htm>
- MALAGÓN-C., D., C. PULIDO-R., R. LLINÁS & C. CHAMORRO. 1995. Suelos de Colombia. IGAC: 632 pp. Bogotá.
- MALAGÓN-C., D. & C. PULIDO-R. 2000. Suelos del páramo colombiano. En: J.O. Rangel-Ch. (ed). Colombia Diversidad Biótica III: La región de vida paramuna. Pp. 37-84. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia e Instituto Alexander von Humboldt. Bogotá.
- PINTO-Z., J.H. 2005. La vegetación azonal paramuna de la cordillera Oriental colombiana: Síntesis fitosociológica preliminar. Trabajo de grado. Departamento de Biología, Universidad Nacional de Colombia. 193 pp. Bogotá.
- PINTO-Z., J.H. & J.O. RANGEL-CH. 2010a. La vegetación de los páramos del norte de Colombia (Sierra Nevada de Santa Marta, Serranía de Perijá). En: J.O. Rangel Ch. (ed). Colombia Diversidad Biótica X: Cambio global (natural) y climático (antrópico) en el páramo colombiano. Pp. 289-410. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.

- PINTO-Z., J.H. & J.O. RANGEL-CH. 2010b. La vegetación paramuna de la cordillera Occidental colombiana I: Las formaciones zonales. En: J.O. Rangel Ch. (ed). Colombia Diversidad Biótica X: Cambio global (natural) y climático (antrópico) en el páramo colombiano. Pp. 181-287. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- PLAN VIVO FOUNDATION. 2008. The Plan Vivo Standards. Plan Vivo Foundation. 47 pp. Edimburgo.
URL: <http://planvivo.org.34spreview.com/wp-content/uploads/Plan-Vivo-Standards-2008.pdf>
- RANGEL-CH., J.O. 2000a. Flora y vegetación amenazada. En: J.O. Rangel Ch. (ed). Colombia Diversidad Biótica III: La región de vida paramuna. Pp. 785-813. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia e Instituto Alexander von Humboldt. Bogotá.
- RANGEL-CH., J.O. 2000b. La diversidad beta: Tipos de vegetación. En: J.O. Rangel Ch. (ed). Colombia Diversidad Biótica III: La región de vida paramuna. Pp. 658-719. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia e Instituto Alexander von Humboldt. Bogotá.
- RANGEL-CH., J.O. 2000c. Síntesis final: Visión integradora sobre la región del páramo. En: J.O. Rangel Ch. (ed). Colombia Diversidad Biótica III: La región de vida paramuna. Pp. 814-836. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia e Instituto Alexander von Humboldt. Bogotá.
- RANGEL-CH., J.O. & G. LOZANO-C. 1986. Un perfil de vegetación entre La Plata (Huila) y el volcán del Puracé. *Caldasía* 14(68-70): 503-547.
- SALAMANCA-V., S., A.M. CLEEF & J.O. RANGEL-CH. 2003. The paramo vegetation of the volcanic Ruiz-Tolima massif. En: T. van der Hammen & A.G. dos Santos (eds). La cordillera Central colombiana, transecto Parque Los Nevados (tercera parte). *Estudios de Ecosistemas Tropandinos* 5: 1-78. J. Cramer. Berlín-Stuttgart.
- SCHAMINÉE, J.H.J., S.M. HENNEKENS, M. CHYTRÝ & J.S. RODWELL. 2009. Vegetation-plot data and databases in Europe: an overview. *Preslia* 81: 173-185.
URL: <http://www.ibot.cas.cz/preslia/P093Schaminee.pdf>
- SILVERSTONE-S., P.A. & J.E. RAMOS-P. 1995. Floristic exploration and phytogeography of the Cerro del Torrá, Chocó, Colombia. En: S.P. Churchill, H. Balsev, E. Forero & J.L. Luteyn (eds). Biodiversity and conservation of neotropical montane forests. Proceedings of the Neotropical Montane Forest Biodiversity and Conservation Symposium. Pp.169-186. The New York Botanical Garden Press. Nueva York.
- SMITH, J.M.B. & A.M. CLEEF. 1988. Composition and origins of the world's tropicalpine floras. *Journal of Biogeography* 15: 631-645.
- STURM, H. 1998. The Ecology of the Páramo Region in Tropical High Mountains. Verlag Franzbecker: 286 pp. Hildesheim-Berlín.
- TNC – THE NATURE CONSERVANCY. 1994. Standardized National Vegetation Classification System – Final Draft. NBS/NPS Vegetation Mapping Program. U.S. Department of Interior, National Biological Survey and National Park Service. The Nature Conservancy – Environmental Systems Research Institute. 210 pp. Redlands. EUA.
URL: <http://biology.usgs.gov/npsveg/standards/classificationrpt.pdf>
- UNESCO. 1973. Clasificación internacional y cartografía de la vegetación. *Ecology and Conservation* 6: 101 pp. UNESCO. París.
URL: <http://unesdoc.unesco.org/images/0000/000050/005032MB.pdf>
- VAN DER HAMMEN, T. 1992. Historia, ecología y vegetación. Corporación Araracuara. Gente Nueva: 411 pp. Bogotá.