

# Aportes a la conservación estratégica de los páramos de Colombia: actualización de la cartografía de los complejos de páramo a escala 1:100.000



**MinAmbiente**  
Ministerio de Ambiente  
y Desarrollo Sostenible

**PROSPERIDAD  
PARA TODOS**





## Aportes a la conservación estratégica de los páramos de Colombia: actualización de la cartografía de los complejos de páramo a escala 1:100.000

Carlos Enrique Sarmiento Pinzón, Camilo Esteban Cadena Vargas,  
María Victoria Sarmiento Giraldo y Jessica Andrea Zapata Jiménez



**MinAmbiente**  
Ministerio de Ambiente  
y Desarrollo Sostenible

**PROSPERIDAD  
PARA TODOS**



Licencia Creative Commons CC de Atribución – Sin Derivar – No comercial por la cual este material puede ser distribuido, copiado y exhibido por terceros solo si se muestra en los créditos. No se pueden realizar obras derivadas y no se puede obtener ningún beneficio comercial.

#### **Contribución Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt No. 486**

© Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible  
© Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt

#### **Equipo de investigación**

##### **Dirección**

Brigitte Baptiste, Directora General  
Jerónimo Rodríguez Rodríguez, Subdirector Científico (2012)

##### **Coordinación Técnica**

Carlos Enrique Sarmiento Pinzón, Geógrafo M.Sc. Ciencias-Biología

##### **Análisis climático y distribución geográfica potencial de especies**

María Victoria Sarmiento, Bióloga, M.Sc. Ciencias-Biología  
Camilo Esteban Cadena Vargas, Biólogo, M.Sc. Ecología

##### **Análisis espacial y edición cartográfica**

Diana Patricia Ramírez, Ing. Catastral, Esp. SIG  
Luisa Fernanda Pinzón, Ing. Ambiental, Esp. SIG M.Sc. Geomática  
July Andrea Medina Triana, Geógrafa

##### **Análisis de indicadores y publicación Web**

Jessica Andrea Zapata Jiménez, Administradora Ambiental

##### **Coordinación editorial**

Jimena Cortés-Duque, Carlos Enrique Sarmiento Pinzón y Adriana Patricia Suárez Mejía

##### **Revisión técnica**

Carlos Enrique Sarmiento Pinzón, Olga Adriana León Moya

##### **Fotografía**

Banco de Imágenes Ambientales (BIA) del Instituto Alexander von Humboldt, Elizabeth Jiménez,  
Carlos Enrique Sarmiento Pinzón

##### **Ilustración de carátula**

©2013 Shutterstock.com

##### **Diseño e impresión:**

Legis S.A.  
ISBN: 978-958-8343-89-1  
Primera Edición, 2013: 1500 ejemplares  
Impreso en Bogotá, D.C., Colombia

Documento preparado por el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt en el marco de los convenios interadministrativos de asociación 11-103 y 12-092 suscritos con el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

#### **Cita sugerida de la obra**

##### **De la memoria técnica**

Sarmiento, C., C. Cadena, M. Sarmiento, J. Zapata y O. León. 2013 Aportes a la conservación estratégica de los páramos de Colombia: Actualización de la cartografía de los complejos de páramo a escala 1:100.000. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D.C. Colombia.

##### **De las hojas cartográficas (PDF)**

Sarmiento, C., D. Ramírez, L. Pinzón, J. Medina y J. Zapata. 2013 Complejo de Páramos de Sumapaz. Distrito Boyacá, Sector Cordillera Oriental. Hoja 1 de 2. Esc. 1:100.000. Instituto de Investigación en Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D.C. Colombia.

##### **De la cartografía digital (Shape file o Geodatabase)**

Actualización del Atlas de páramos de Colombia Esc. 1:100.000. Base de datos formato *Geodatabase*. Versión 1, 10 de julio de 2012. Convenio Interadministrativo de Asociación 11-103, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Bogotá, D.C. Colombia.

Aportes a la conservación estratégica de los Páramos de Colombia: Actualización de la cartografía de los complejos de páramo a escala 1:100.000 / Carlos Enrique Sarmiento Pinzón, [et al.]. – Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, 2013.  
88 p.: il., col.; 28 cm.

Incluye bibliografía y tablas

ISBN: 978-958-8343-89-1

1. ECOSISTEMAS DE MONTAÑA – PÁRAMOS – COLOMBIA. 2. PÁRAMOS – CARTOGRAFÍA – COLOMBIA 3. ECOLOGÍA DE PÁRAMOS – COLOMBIA. 4. CONSERVACIÓN. I. Sarmiento Pinzón, Carlos, II. Cadena Vargas, Camilo. III. Sarmiento Giraldo, María Victoria. IV. Zapata Jiménez, Jessica Andrea. V. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

CDD: 577.3 Ed. 23

Número de contribución: 486

Registro en el catálogo Humboldt: 14925

Catalogación en la publicación – Biblioteca Instituto Humboldt – Nohora Alvarado.

## Asesores científicos

### Antoine Cleef



Profesor emérito de Ecología de las universidades de Amsterdam y de Wageningen, Holanda. El grado de PhD lo obtuvo en 1981 con el prof. Dr. Thomas van der Hammen como promotor. Desde 1971 investiga la flora y vegetación de los páramos de Colombia, en especial en la cordillera Oriental, con más de 10000 números de plantas, ejemplares colectados y depositados en el Herbario Nacional Colombiano; coordinador académico de Tropenbos-Colombia desde 1989; miembro de la Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de Colombia; asesor de organizaciones de la Comunidad Europea, NWO-Wotro, Colciencias y DFG (Alemania), entre otros; autor de más de 150 publicaciones en revistas nacionales e internacionales arbitradas. Recibió en 1996 el Premio Korber de Ciencia Europea en Hamburgo; fue condecorado en 2006 con la Orden de San Carlos por el Gobierno de Colombia y en 2011 recibió la Medalla Valentijn de la Fundación Treub.

### Robert Hofstede



Robert Hofstede visitó por primera vez los Andes colombianos en 1988 como parte de su especialización en la carrera de Ecología Tropical en la Universidad de Amsterdam. Desde 1996 está radicado en Ecuador en donde desarrolló el programa andino para la misma universidad. Entre 2003 y 2006 trabajó en Condesán, donde formuló y coordinó el Proyecto Páramo Andino. Posteriormente se vinculó a la Oficina Regional para América del Sur de la UICN, como coordinador regional del programa y director regional (encargado). En el Ecuador es miembro fundador de la Corporación EcoPar, ONG para la conservación de ecosistemas andinos.

### David Rivera Ospina



Biólogo egresado de la Universidad Nacional de Colombia con amplia experiencia en ecología y conservación de ecosistemas de alta montaña tropical. Ha publicado varios libros de gran formato en los que se destaca el titulado "Páramos de Colombia". Ha sido investigador, docente universitario y asesor de varias instituciones públicas y privadas. David Rivera se desempeñó como coordinador del grupo de investigadores que participaron en la definición y análisis de criterios de delimitación para los ecosistemas de páramo en el año 2010.

### REPÚBLICA DE COLOMBIA

JUAN MANUEL SANTOS CALDERÓN  
Presidente de la República

#### MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE

LUZ HELENA SARMIENTO VILLAMIZAR  
Ministra de Ambiente y Desarrollo Sostenible

JUAN GABRIEL URIBE  
Ministro de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2012-2013)

FRANK JOSEPH PEARL  
Ministro de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2011-2012)

PABLO ABBA VIEIRA SAMPER  
Viceministro de Ambiente y Desarrollo Sostenible

ADRIANA SOTO CARREÑO  
Viceministra de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2011-2013)

MARÍA CLAUDIA GARCÍA  
Directora de Bosques, Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos

OMAR FRANCO TORRES  
Director de Bosques, Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos (2012)

XIOMARA SANCLEMENTE MANRIQUE  
Directora de Bosques, Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos (2011)

ZORAIDA FAJARDO RODRÍGUEZ  
Profesional Especializado, Supervisora Convenio MADS – Instituto Alexander von Humboldt

#### INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE RECURSOS BIOLÓGICOS ALEXANDER VON HUMBOLDT

BRIGITTE L. G. BAPTISTE  
Directora General

MARÍA PAOLA AVILÁN REY  
Subdirectora Científica

JERÓNIMO RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ  
Subdirector de Servicios Científicos y Proyectos Especiales

#### Consejo Científico del Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt

Germán Andrade, *Universidad de los Andes*

Julio Carrizosa Umaña, *Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*

Santiago Madriñán Restrepo, *Universidad de los Andes*

Enrique Forero González, *Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*

Francisco González Ladrón de Guevara, *Pontificia Universidad Javeriana*

María Teresa Reguero Reza, *Universidad Nacional de Colombia*

María Claudia López Pérez, *Pontificia Universidad Javeriana*

Luis Germán Naranjo Henao, *WWF Colombia*

## Con el apoyo de los investigadores del Instituto Humboldt:



Laura Carolina Bello, Laboratorio de Biogeografía Aplicada  
María Cecilia Londoño, Laboratorio de Biogeografía Aplicada  
Juliana Rodríguez Cajamarca, Programa de Gestión e Información del Conocimiento  
Viviana Guzmán, pasante Dirección General

## Equipo del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible



MinAmbiente  
Ministerio de Ambiente  
y Desarrollo Sostenible



Zoraida Fajardo, Profesional Especializado.  
Oscar Manrique, Profesional Especializado  
Edgar Olaya, Ingeniero Forestal  
Claudia P. Fonseca T., Ingeniera Geógrafa M.Sc. SIG

## Instituciones colaboradoras

Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible (CAR)  
Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC)  
Instituto de Meteorología, Hidrología y Estudios Ambientales (IDEAM)  
Servicio Geológico Colombiano  
Departamento Nacional de Estadística (DANE)



FUNDACIÓN  
ALEJANDRO ÁNGEL ESCOBAR

Premio en Ciencias 2013 – Categoría Medio Ambiente y Desarrollo.

Fundación Alejandro Ángel Escobar

<http://www.faae.org.co/html/ganadoresanoc.htm>



## Agradecimientos

Los autores agradecen a todas las personas e instituciones que de una u otra manera contribuyeron a la realización de esta obra:

Al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Dirección de Bosques, Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos por el apoyo técnico y financiero para la realización de la presente obra.

Al Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), al Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), al Servicio Geológico Colombiano, al Departamento Nacional de Estadística (DANE) y a las Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible (CAR) por sus aportes científicos, técnicos y de información, necesarios para la actualización de la cartografía de páramos.

A los asesores científicos y al consejo científico del Instituto Alexander von Humboldt por su valiosa orientación en el proceso.

A los docentes Abdón Cortés y Sergio Gaviria por sus valiosas orientaciones en las temáticas de suelos e hidrogeología.

A Zoraida Fajardo, Edgar Ayala y Claudia Fonseca T. quienes apoyaron el proceso y contribuyeron en su realización. A Adriana Patricia Suárez Mejía, por la asesoría editorial y la revisión de estilo de los textos, del proyecto Insumos para la Delimitación de Ecosistemas Estratégicos: Páramos y Humedales. A Claudia Villa por su colaboración en la revisión del documento y a Olga A. León Moya por la revisión técnica y sus aportes en el marco conceptual del mismo.

Un especial reconocimiento a Jimena Cortés Duque por su esfuerzo en la compilación y edición de los contenidos de esta publicación y para su presentación ante la Fundación Alejandro Ángel Escobar, lo cual dio como resultado la Medalla de Plata en la Categoría Medio Ambiente y Desarrollo (2013).

## Tabla de contenido

Prólogo .....	15
Presentación.....	17
1. <b>Introducción</b> .....	19
2. <b>Marco conceptual y normativo</b> .....	21
2.1 Distribución altitudinal de los ecosistemas de la alta montaña en Colombia.....	21
2.2 Definición de páramo.....	23
2.3 Variación biofísica y por actividad antrópica del límite altitudinal del ecosistema de páramo.....	25
2.4 Principios y criterios actuales para la delimitación de los páramos.....	30
2.5 Indicadores demográficos y de actividades económicas de los ecosistemas de alta montaña.....	33
3. <b>Antecedentes en el mapeo de los páramos</b> .....	35
3.1 Marco normativo: identificación y delimitación de los páramos.....	36
4. <b>Objetivos</b> .....	39
5. <b>Métodos</b> .....	40
5.1 Área de estudio.....	40
5.2 Actualización de la cartografía de páramos.....	40
5.2.1 Fuentes de información .....	43
5.2.2 Técnicas de modelamiento espacial para la identificación de los páramos del país.....	44
5.2.2.1 Modelo de distribución original de los ecosistemas de alta montaña.....	45
5.2.2.2 Modelos de distribución potencial de los ecosistemas de páramos.....	47
5.2.3 Identificación de aspectos edafológicos y morfogénicos.....	52
5.2.3.1 Formaciones superficiales (geoformas) asociadas a las últimas glaciaciones y procesos actuales.....	52
5.2.3.2 Características edafológicas representativas de la alta montaña.....	53
5.2.4 Respuestas espectrales de la vegetación en imágenes satelitales ópticas de media y alta resolución .....	55
5.2.5 Mapeo preliminar a escala 1:100.000.....	55
5.2.6 Validación y ajuste para el mapeo final a escala 1:100.000 .....	56
5.3 Caracterización socioecosistémica: indicadores demográficos y productivos .....	57
6. <b>Resultados</b> .....	59
6.1 Identificación preliminar de áreas de páramos en el país.....	59
6.2 Complejos de páramos actualizados y validados .....	66
6.3 Evaluación del resultado final .....	68
6.4 Caracterización socio ecosistémica: algunos indicadores demográficos y productivos .....	69
6.4.1 Indicadores socioeconómicos y demográficos .....	69
6.4.2 Indicadores de estado de conservación .....	73
6.4.3 Indicadores asociados a la actividad minera en páramos.....	75
7. <b>Conclusiones</b> .....	82
8. <b>Referencias citadas</b> .....	84

## Índice de figuras

Figura 1.	Alta montaña colombiana definida por la acción del modelado glaciar .....	22
Figura 2.	Vertientes de las cordilleras colombianas .....	27
Figura 3.	Área de estudio .....	41
Figura 4.	Flujo de trabajo para la actualización de la cartografía de páramos .....	42
Figura 5.	Modelos de distribución geográfica del ecosistema paramuno empleados para su mapeo .....	45
Figura 6.	Configuración empleada (pestañas Basic y Advance) de MaxEnt 3.3.3.k .....	48
Figura 7.	Ejemplo de curva ROC para un modelo generado en MaxEnt .....	49
Figura 8a.	Umrales térmicos para localidades de páramo registradas .....	60
Figura 8b.	Zonificación altitudinal de ecosistemas de alta montaña .....	61
Figura 8c.	Integración de modelos de distribución potencial de especies de flora representativas de la transición bosque-páramo.....	62
Figura 8d.	Integración de modelos de distribución potencial de especies de fauna representativas de la transición bosque-páramo.....	63
Figura 8e.	Distribución potencial de páramos, basada en localidades de comunidades florísticas .....	64
Figura 9a.	Porcentaje y número de solicitudes mineras a 2008 por complejo de páramos del 2012 .....	75
Figura 9b.	Porcentaje y número de solicitudes mineras a 2012 por complejo de páramos del 2012 .....	75
Figura 10.	Porcentaje y número de títulos mineros a 2008 y 2012 por complejo de páramos del 2008 y del 2012.....	76
Figura 11.	Extensión en hectáreas con título minero por complejo de páramos del 2012. ....	77
Figura 12.	Producción de carbón nacional y de los municipios con páramos del país.....	79
Figura 13.	Producción de carbón departamental total frente a producción de municipios con páramo .....	80
Figura 14.	Producción de oro nacional y de los municipios con páramos del país.....	80
Figura 15.	Producción de oro departamental total frente a producción de municipios con páramo .....	81

## Índice de tablas

Tabla 1.	Fuentes de información usadas en el proceso de actualización.....	43
Tabla 2.	Umrales altitudinales identificados para pisos bioclimáticos de la alta montaña .....	46
Tabla 3.	VARIABLES bioclimáticas utilizadas en la modelación de las localidades de páramo.....	52
Tabla 4.	Superficie de los complejos de páramos (2012).....	67
Tabla 5.	Bases de datos de especies de plantas características de los ecosistemas paramunos en Colombia .....	68
Tabla 6.	Municipios con superficie mayor al 50% en los complejos de páramos (2012).....	70
Tabla 7.	Población total (mujeres/hombres y cabecera/resto) en los municipios con superficie en páramos.....	71
Tabla 8.	Coberturas de la tierra por complejos de páramos (datos en hectáreas) .....	72
Tabla 9.	Evolución de los diferentes tipos de ecosistema en los complejos de páramos .....	74
Tabla 10.	Tasas de cambio de superficie de diferentes tipos de cobertura en los complejos de páramos, periodo 1985-2005 .....	74
Tabla 11.	Superficie total de los complejos de páramos (2012) incluidos en áreas protegidas ....	74
Tabla 12.	Superficie concesionada en títulos mineros (2011). Datos en hectáreas .....	78

## Índice de mapas (anexo digital e impreso)

Hojas cartográficas por complejo de páramos (anexo digital) Esc. 1:100.000 (815 x 1050 mm)		Distritos y sectores de páramos (impreso) <sup>1</sup> Esc. 1:400.000 (420 x 594 mm)
1. CC-BM-BMR (Belmira)	20. CE-MF-MRF (Miraflores)	1. Mapa 1-Sector Nariño-Putumayo
2. CC-CT-CBG (Chilí-Barragán)	21. CE-PJ-PRJ (Perijá)	2. Mapa 2a -Sector CC Distrito Macizo Colombiano y Valle-Tolima
3. CC-CT-NVS (Nevados)	22. CE-ST-ALM (Almorzadero)	3. Mapa 2b-Sector CC Distrito Viejo Caldas-Tolima-Sonsón
4. CC-MC-GPC (Guanacas-Puracé-Coconucos)	23. CE-ST-JSB (Santurbán)	4. Mapa 3a-Sector CE Distrito Miraflores-Picachos
5. CC-MC-STR (Sotará)	24. CE-ST-TMA (Tamá)	5. Mapa 3b-Sector CE Distrito Cundinamarca
6. CC-SN-SSN (Sonsón)	25. CE-ST-YRG (Yariguíes)	6. Mapa 3c-Sector CE Distrito Boyacá
7. CC-VT-HMS (Las Hermosas)	26. CW-DC-FRC (Farallones de Cali)	7. Mapa 3d-Sector CE Distrito Santanderes
8. CC-VT-NHM (Huila-Moras)	27. CW-DC-PND (Duende)	8. Mapa 3e-Sector Sierra Nevada de Santa Marta y Perijá
9. CE-BY-GLR (Guantiva)	28. CW-DC-PLT (Cerro Plateado)	9. Mapa 4a-Sector CW Distrito Paramillo Frontino-Urao y Belmira (CC)
10. CE-BY-IGM (Iguaque)	29. CW-FT-CTR (Citará)	10. Mapa 4b-Sector CW Distrito Duende-Cerro Plateado
11. CE-BY-PSB (Pisba)	30. CW-FT-FRU (Frontino-Urao)	
12. CE-BY-SNC (Cocuy)	31. CW-FT-TTM (Tatamá)	
13. CE-BY-TBM (Tota)	32. CW-PM-PRM (Paramillo)	
14. CE-CM-CHG (Chingaza)	33. NP-NP-CHC (Chiles-Cumbal) 1/2	
15. CE-CM-GER (Guerrero)	34. NP-NP-CHC (Chiles-Cumbal) 2/2	
16. CE-CM-RRB (Rabanal)	35. NP-NP-DJP (Doña Juana-Patascoy)	
17. CE-CM-SCV (Sumapaz)1/2	36. NP-NP-LCP (La Cocha)1/2	
18. CE-CM-SCV (Sumapaz)2/2	37. NP-NP-LCP (La Cocha)2/2	
19. CE-LP-PIC (Picachos)	38. SM-SM-SMT (Santa Marta)	
		<b>Mapa general (impreso)<sup>2</sup></b> <b>(731 x 594 mm)</b>
		1. Mapa general Esc. 1:1'500.000

Nota: La codificación corresponde a la siguiente forma: Sector **SS**-Distrito **DD**-Complejo **CCC**. En algunos casos un complejo fue dividido en más de una hoja cartográfica. Los códigos asignados a los sectores y distritos se muestran a continuación:

**Sectores (5):** 1. Cordillera Occidental (**CW**) 2. Cordillera Central (**CC**) 3. Cordillera Oriental (**CE**), 4. Sierra Nevada de Santa Marta (**SM**), 5. Nariño-Putumayo (**NP**).

**Distritos (17):** Altiplano Cundiboyacense (**AC**) Belmira (**BM**), Boyacá (**BY**), Duende-Cerro Plateado (**DC**), Cundinamarca (**CM**), Los Picachos (**LP**), Miraflores (**MF**), Macizo Colombiano (**MC**), Nariño-Putumayo (**NP**), Paramillo (**PM**), Perijá (**PJ**), Santanderes (**ST**), Sierra Nevada de Santa Marta (**SM**), Sonsón (**SN**), Valle-Tolima (**VT**), Viejo Caldas-Tolima (**CT**).

1. Esta cartografía se encuentra disponible en [www.humboldt.org.co](http://www.humboldt.org.co)

2. Ibid.



## Prólogo

Hablar de nuestros ganadores es hablar de los mejores investigadores de Colombia, y *Aportes a la conservación estratégica de los páramos de Colombia: actualización de la cartografía de los complejos de páramo a escala 1:100.000*, premio Alejandro Ángel Escobar en la categoría de Medio Ambiente y Desarrollos Sostenible 2013, es la prueba de esta afirmación.

En este libro se presentan los resultados de esta investigación, la cual es producto de un trabajo riguroso, que retoma y revisa importantes investigaciones realizadas con anterioridad en esa área e involucra herramientas de análisis y desarrollos tecnológicos en el área de los sistemas de información geográfica. Resalta además el carácter interdisciplinario del proceso, con una amplia mirada para poder entender la magnitud e importancia de los páramos para Colombia y el mundo.

El desarrollo de este trabajo involucró el establecimiento de alianzas entre diversas instituciones relacionadas con el Sistema Nacional Ambiental (SINA), lo cual demuestra el esfuerzo por aportar diferentes enfoques en el trabajo, y es un claro ejemplo de colaboración y una plataforma conceptual para contribuir a la formulación de políticas y al proceso de toma de decisiones en el ordenamiento territorial.

En cuanto a la metodología para identificar el límite inferior de los ecosistemas el grupo de trabajo consideró múltiples complejidades entre las que se cuentan las condiciones climáticas, de humedad y de exposición a vientos; la radiación solar; la historia biogeográfica; los suelos y las geoformas, de igual manera las múltiples trayectorias de uso de los ecosistemas de alta montaña.

Bien lo dijo el jurado calificador que le otorgó el premio: “el trabajo contiene desarrollos teóricos y metodológicos que aportan al debate y los desafíos sobre la conservación desde una perspectiva multidisciplinaria y transdisciplinaria que integra aspectos biofísicos, sociales, económicos, políticos e institucionales de alta pertinencia para la definición de políticas de manejo de los ecosistemas de alta montaña en el país”.

Los autores de esta obra, vinculados al Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, son investigadores inquietos, sólidos intelectualmente y preocupados en este caso por la conservación de la biodiversidad de los páramos, la integridad de sus ecosistemas y el mantenimiento de las funciones ecológicas, que se traducen en servicios para toda la sociedad. Nada más cercano a la filosofía visionaria de don Alejandro Ángel Escobar, quien pensaba que conocer y conservar nuestros recursos era una tarea de gran importancia para Colombia.

Desde hace 58 años la Fundación Alejandro Ángel Escobar premia a los mejores, y *Aportes a la conservación estratégica de los páramos de Colombia: actualización de la cartografía de los complejos de páramo a escala 1:100.00* se gana este calificativo porque más allá de ser una investigación académica "ofrece también una visión del estado y potencial de los servicios ecosistémicos y en especial el papel de los flujos y regulación hídrica de los páramos, tema de gran importancia para la conservación, manejo y gestión de este ecosistema".

Basados en una rigurosa metodología con este trabajo se concluye que la vegetación típica de páramo y la vegetación boscosa al interior de los complejos identificados está disminuyendo a un ritmo superior porcentualmente a la reducción de los bosques amazónicos, lo cual requiere de la adopción urgente de medidas de manejo, y que delimitar los páramos constituye una decisión administrativa inminente.

La superficie identificada, a escala 1:100.000, se amplió en un 30% con respecto a la identificada en 2007, producto del aumento en la escala cartográfica (que permite registrar unidades no identificadas previamente) y de la incorporación de los criterios de delimitación empleados.

Otra conclusión importante es que la inclusión de aspectos socioeconómicos, en especial el análisis actual de las solicitudes y títulos mineros, permiten tener una mejor imagen de la situación de los páramos y de los procesos económicos que se están presentando y que juegan un papel fundamental en su estructura y función como ecosistema estratégico.

Finalmente y para recalcar por qué esta investigación fue merecedora del premio hay que decir que esta propuesta de delimitación de los páramos de Colombia a una escala 1:100.000 es un ejercicio juicioso, riguroso, que hace un aporte importante no solo al conocimiento de estos ecosistemas sino que provee una información de carácter multidisciplinario con la que no se contaba previamente y cuyos aportes esperamos sean considerados por el Gobierno Nacional, así como por las instituciones ambientales relacionadas con la toma de decisiones en términos de conservación de estos vitales ecosistemas.

Fundación Alejandro Ángel Escobar



## Presentación

Brigitte Baptiste, Directora General, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

Los páramos, como ecosistemas de alta montaña presentes únicamente en la zona neoeccuatorial del planeta, son valorados por su gran diversidad biológica, cultural y paisajística. Hoy en día sabemos que son ecosistemas vitales para mantener la estabilidad de los ciclos climáticos e hidrológicos, sosteniendo la provisión de servicios ecosistémicos de regulación, soporte y aprovisionamiento para la población colombiana. Por ello Colombia posee una amplia tradición, no solo en la investigación de su diversidad biológica y cultural sino en los mecanismos institucionales y comunitarios para su protección.

Las disposiciones legales recientes, en relación con la delimitación y zonificación de estos ecosistemas han generado la necesidad de contar con información actualizada, estandarizada y más detallada acerca de la localización y características socioecosistémicas de los páramos, lo cual supone nuevos retos para las instituciones públicas responsables de la información oficial, el sector ambiental y la academia. En este sentido, el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt en asocio con el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible lideró la discusión de principios, criterios e indicadores para la identificación y delimitación de los páramos bajo un enfoque socioecosistémico, considerando los páramos como un sistema emergente cuya complejidad llama a la necesidad de ampliar nuestra perspectiva y por tanto el conocimiento que actualmente se tiene de estos espacios.

Lo anterior se logró mediante la participación de más de cien especialistas del sector académico e institucional y fue consignado en la "Guía divulgativa de criterios para la delimitación de páramos de Colombia" (Rivera y Rodríguez 2011), la cual aportó las orientaciones generales y bases conceptuales para el desarrollo posterior de instrumentos metodológicos, dirigidos a la elaboración de los *estudios técnicos, económicos, sociales y ambientales* (tal como lo sugería Thomas van der Hammen diez años atrás) pertinentes a la delimitación de los páramos, en mandato de la legislación vigente.

En el camino, como apoyo al proceso de delimitación y zonificación de los páramos, el Instituto Humboldt elaboró una nueva cartografía de cubrimiento nacional a escala 1:100.000, para lo cual recopiló y procesó información que pudiera dar cuenta de los criterios de delimitación previamente definidos, logrando un valioso insumo que busca identificar el límite inferior del ecosistema, considerando la variabilidad climática, topográfica, geológica, biogeográfica y socioeconómica del país.

Este trabajo contó con la validación de especialistas en aspectos ecológicos y sociales de los páramos andinos así como de las autoridades ambientales que participaron en su elaboración. Este insumo está ante todo dirigido a las autoridades ambientales, academia y al público en general, con el fin de aportar a la conservación de la diversidad biológica, cultural y paisajística de estos valiosos ecosistemas.



Banco de Imágenes Ambientales (BIA), Instituto Alexander von Humboldt

## 1. Introducción

Los páramos son ecosistemas únicos de la alta montaña, considerados como islas biogeográficas; su conformación es el resultado de la sinergia entre fenómenos geológicos y climáticos que permitieron la configuración de características edáficas, geomorfológicas e hidrológicas particulares y procesos de adaptación y especiación, que conformaron las comunidades florísticas y faunísticas actuales, las cuales contienen un importante número de especies endémicas que por lo general son exclusivas para cada páramo.

Los páramos se describen como un corredor interrumpido entre la cordillera de Mérida en Venezuela hasta la depresión de Huancabamba en el norte del Perú, con dos complejos más separados, que son los páramos en Costa Rica y la Sierra Nevada de Santa Marta (Hofstede *et al.* 2003), encontrándose solo en Ecuador, Perú, Venezuela, Costa Rica y Colombia. En nuestro país ocupan una superficie cercana al 3% del área continental del territorio nacional; no obstante, este porcentaje representa el 50 % de los páramos del mundo.

Estos ecosistemas son reconocidos principalmente por su singularidad biológica y los servicios que prestan a la población, entre los que se destacan la continua provisión de agua en cantidad y calidad y el almacenamiento de carbono atmosférico, que ayuda a controlar el calentamiento global, entre otros.

No es exagerado decir que prácticamente todos los sistemas fluviales de los países andinos septentrionales nacen en el páramo y que los sistemas de riego, agua potable e hidroelectricidad dependen, en gran medida, de la capacidad del ecosistema de páramo para regular los flujos hídricos (Hofstede 2002). Es importante resaltar que el páramo y los bosques altoandinos tienen una estrecha relación que se fundamenta en su integridad ecológica, y que funciones como la regulación hídrica están estrechamente asociadas a la conexión de estos dos ecosistemas.

Dada su importancia y condición estratégica las acciones de conservación de la biodiversidad, y por tanto de los servicios ecosistémicos que presta, deben estar enmarcadas en un escenario de planificación, ejecución y monitoreo, definido entre los intereses de la sociedad y el mantenimiento de dichos servicios, con el fin de maximizar el bienestar de las sociedades humanas (PNGIBSE 2012).

De conformidad con esto, el Plan de Desarrollo 2010-2014 (Ley 1450 de 2011) contempla la necesidad de fortalecer la protección de la biodiversidad y la gestión del riesgo de pérdida de la misma junto con los servicios ecosistémicos que provee. Por esta razón en el Artículo 202 de dicha ley se establece que los páramos deben ser *delimitados* a escala 1:25.000 con base en estudios técnicos, económicos, sociales y ambientales, los cuales deben ser realizados por las autoridades ambientales.

Atendiendo a la gran importancia de estos ecosistemas para la sociedad, y propendiendo por la conservación de su diversidad biológica, la integridad de sus ecosistemas y el mantenimiento de las funciones ecológicas, que se traducen en servicios para la sociedad, el Instituto Humboldt realizó la actualización cartográfica de los páramos a escala 1:100.000.

Esta fue un paso en el proceso de delimitación de tales ecosistemas a la escala exigida por la ley, a partir de un ejercicio riguroso que integró una primera fase de fundamentación conceptual validada con expertos en páramos y autoridades ambientales, seguida de otra que incluyó, entre otras técnicas, la aplicación de modelos de distribución geográfica potencial de especies y otros niveles de organización biológica, así como el análisis de variables físicas como el clima, la geología, la geomorfología y los suelos, y del entorno socioeconómico de estos ecosistemas. El resultado final contó además con la revisión y validación de las autoridades ambientales regionales y de los asesores científicos del proyecto.

Finalmente, a partir de las lecciones aprendidas de esta actualización se integrarán nuevos datos, con otras perspectivas y herramientas que permitirán refinar el proceso a seguir en el acompañamiento a las autoridades ambientales para la delimitación de los páramos de Colombia a escala 1:25.000, exigida por la ley. A continuación presentamos el desarrollo de cada una de las fases del proceso que culminó en un insumo vital para apoyar la gestión integral de los páramos de Colombia.



## 2. Marco conceptual y normativo

### 2.1 Distribución altitudinal de los ecosistemas de la alta montaña en Colombia

La alta montaña colombiana (figura 1) es definida como el espacio geográfico correspondiente a las culminaciones altitudinales de las cordilleras andinas a partir de los 2700 +/- 100 m, en cuyo modelado han intervenido procesos de origen glaciar y periglacial (actual y heredado), junto con la acción volcánica en la cordillera Central y el Macizo Colombiano (Flórez 1997). Así mismo, se define como el área ligada a la influencia directa del hielo, durante la última glaciación (IDEAM-UNAL 1997).

Esta zona se caracteriza por la presencia de volcanes, glaciares, cuencas hidrográficas altas receptoras de humedad, y sistemas lagunares; adicionalmente, posee la máxima densidad de cuerpos de agua respecto a las demás áreas del país, exceptuando las zonas inundables de los ríos. Esto implica un gran valor paisajístico y una oferta hídrica excepcional, de la cual dependen numerosas comunidades ubicadas en áreas altitudinalmente más bajas y, desde luego, quienes habitan dentro de la misma alta montaña (IDEAM-UNAL 1997).

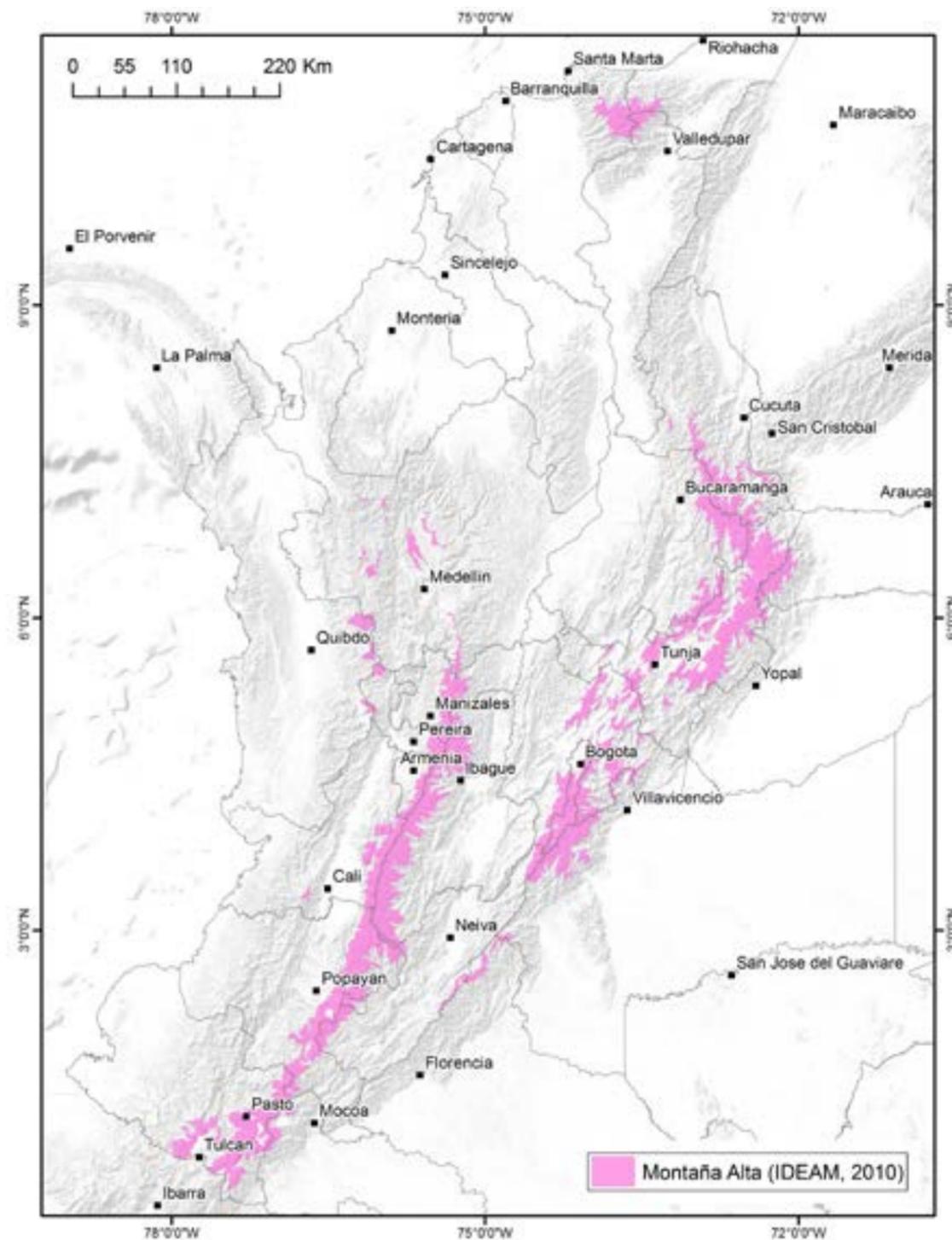
Desde el punto de vista geomorfológico se divide a la alta montaña en cuatro franjas o pisos morfológicos, definidos de la siguiente

manera: los glaciares actuales, el periglacial actual, modelado glaciar heredado y el periglacial heredado (Flórez 1997, IDEAM 2010).

En la alta montaña se encuentran los **bosques andinos**, donde son dominantes o subdominantes las especies de *Quercus humboldtii* y *Podocarpus* sp.; posteriormente aparece también el **bosque altoandino** con doseles de menor altura, mayor desarrollo de las epífitas y dominancia de especies de géneros como *Weinmannia*, *Hesperomeles*, *Clethra* y *Escallonia*.

Este tipo de vegetación se suele intersectar con una primera franja de páramo conocida como **subpáramo o páramo bajo**, caracterizada por el predominio de la vegetación arbustiva, dominada por especies de *Diplostephium*, *Pentacalia* y *Gynoxys* (Asteraceae), *Hypericum* (*H. laricifolium*, *H. ruscoides*, *H. juniperinum*), *Pernettya*, *Vaccinium*, *Bejaria* y *Gaultheria* (Rangel *et al.* 2000). Una segunda franja de páramo, dominada por gramíneas y frailejonales o rosetales (con especies de *Espeletia*) presenta especies de *Calamagrostis* y los chuscales de *Chusquea tessellata*; y una tercera franja anterior a los bordes de nieve y glaciares remanentes es el **superpáramo**, y se identifica por la discontinuidad de la vegetación y la apreciable superficie de suelo desnudo (Rangel *et al.* 2000).

Figura 1. Alta montaña colombiana definida por la acción del modelado glaciar



## 2.2 Definición de páramo

Muchos autores coinciden en la dificultad de obtener una definición única de páramo (Hofstede *et al.* 2003, Luteyn 1999, Rangel *et al.* 2000), dada la enorme complejidad y múltiples aspectos que encierra esta definición.

Como parte del I Congreso Mundial de Páramos del año 2002 que se llevó a cabo en Paipa (Boyacá), Hofstede (2002) trató de sintetizar la información referente a estos ecosistemas, y propuso su definición como “un ecosistema, un bioma, un paisaje, un área geográfica, una zona de vida, un espacio de producción, un símbolo, inclusive un estado de clima”, y concluyó que a pesar de ser un término tan complejo, descriptivo, de diferentes sujetos similares y con anotaciones históricas, académicas, políticas y culturales es evidente la gran importancia que reviste en todos estos ámbitos.

Molano (2005) se refiere a un predominio del naturalismo como fundamento de las definiciones que se han dado al páramo, derivado de disciplinas como la biología, la ecología y la geografía física. Vargas y Pedraza (2004) se refieren a una variedad de características y factores geográficos, geológicos, climáticos, fisiológicos y florísticos que son inherentes a cada localidad y determinan el área geográfica del ecosistema.

Algunas de las definiciones que se encuentran son:

- Para Cuatrecasas (1958) los páramos son las regiones más elevadas y descubiertas de las cordilleras tropandinas, donde concurren especiales condiciones físicas, climáticas y meteóricas de tipo tropical, determinantes de formas particulares de vegetación. Los divide en subpáramo, páramo y superpáramo.

- Región natural que se encuentra en una situación tropical, casi ecuatorial, con un límite inferior por arriba de 3000 m y un límite superior entre 4500-4800 m (Monasterio 1980).

- Guhl (1982) se refiere a los páramos como las regiones montañosas de los Andes ecuatoriales húmedos, por encima del límite superior del bosque, con una geomorfología hasta periglacial y bajo condiciones ambientales extremas.

- Región de vida que comprende extensas zonas que coronan las cordilleras entre el bosque andino y el límite inferior de las nieves perpetuas. Están definidos como región natural por la relación entre el suelo, el clima, la biota y la influencia humana (Rangel-Ch 2.000).

- Ecosistema natural entre el límite del bosque cerrado y la nieve perpetua en los trópicos húmedos (Hofstede *et al.* 2003).

- Biomás exclusivos de las montañas neotropicales, localizados entre el límite superior de la vegetación boscosa (3200-3800 m de altitud) y el límite inferior de las nieves perpetuas (4400-4700 m de altitud) en los sistemas andinos (Vargas y Pedraza 2004).

La Resolución 769 de 2002 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible establece en el artículo 2 la definición de páramo como:

Ecosistema de alta montaña, ubicado entre el límite superior del bosque andino y, si se da el caso, con el límite inferior de los glaciares o nieves perpetuas, en el cual domina una vegetación herbácea y de pajonales, frecuentemente frailejones y pueden haber formaciones de bosques



bajos y arbustivos y presentar humedales como los ríos, quebradas, arroyos, turberas, pantanos, lagos y lagunas. Comprende tres franjas en orden ascendente: el subpáramo, el páramo propiamente dicho y el superpáramo. Los límites altitudinales en que se ubican estos ecosistemas varían entre las cordilleras, debido a factores orográficos y climáticos locales. La intervención antrópica también ha sido un factor de alteración en la distribución altitudinal del páramo, por lo cual se incluyen en esta definición los páramos alterados por el hombre.

Otros autores como De la Rue y colaboradores (1960, citado en Molano 2005) incluyen la intervención humana a la definición del páramo, y lo describen como grandes extensiones herbáceas, desprovistas de árboles, las cuales se hallan entre las zonas de cultivo y las proximidades de los altos cerros.

Molano (2005) reconoce además la perspectiva y elementos sociales y culturales de los páramos, y hace referencia a estos de la siguiente forma:

La montaña, la nieve, las lagunas, los campos de frailejones, los osos de anteojos, el azadón, la danta, el sembrado, las ovejas, el duende, la casa, la quebrada, la luz que dibuja arcoíris, el camino, mi vecino, la danta, mis recuerdos, la enjalma, los perros, el tiple... No son simples palabras o inventarios, son componentes que nombran realidades y expresan significados múltiples, son términos, conceptos, objetos, signos, que hablan no solo de los paisajes altoandinos, sino de horizontes más amplios y profundos. La esencia de dichos paisajes y prácticas cotidianas descansa sobre amplias experiencias culturales surgidas y recreadas en el espacio-tiempo de la conformación de los Andes ecuatoriales y de la construcción territorial de sus culturas.



Y va más allá al considerar al páramo como una construcción social, que tiene unidad no solo en su conformación geohistórica sino en la existencia de los individuos, las sociedades y las instituciones, que crean el cimiento de lo local y que tienen la fuerza de producir ideas y generar políticas de construcción territorial (Molano 2002).

Teniendo en consideración lo anterior, proponer una definición del término páramo que satisfaga la multiplicidad de visiones y enfoques no es una tarea sencilla. Por esta razón, para esta publicación se precisó el aporte de expertos tales como Antoine Cleef, Robert Hofstede y David Rivera. Adicionalmente, contó con la participación de las autoridades ambientales regionales que conocen el territorio y sus problemáticas de primera mano y otras entidades relacionadas con el tema. Como resultado, esta definición se concreta de la siguiente manera:

Un socioecosistema propio de la alta montaña ecuatorial ubicado predominantemente entre el límite superior del bosque andino y, si se da el caso, con el límite inferior de los glaciares y bordes de nieve, con predominio de clima frío y relieve modelado predominantemente por la acumulación y retiro de las masas glaciares. Como rasgo distintivo, presenta vegetación de pajonales, frailejonales, chuscales, matorrales y formaciones discontinuas de bosque altoandino, con presencia de turberas, humedales, lagos y lagunas, quebradas y ríos, entre otras fuentes hídricas subterráneas o subsuperficiales. Es además un territorio pluriétnico y multicultural, en la medida que se reconoce que los páramos en general han sido habitados, intervenidos y transformados, moldeando los patrones preexistentes.

Respecto a la organización de sus ambientes naturales, presenta en el gradiente altitudinal tres franjas ge-

nerales: el páramo bajo, el páramo alto y el superpáramo. Se incluyen además en esta definición los páramos azonales y aquellos páramos transformados por la actividad humana (páramos antropizados). Los límites altitudinales del páramo varían entre las cordilleras y sus vertientes (exteriores e interiores), debido a factores orográficos, edafológicos y climáticos locales, así como por la trayectoria de las intervenciones humanas.

De igual manera que la definición misma la representación cartográfica de los páramos del país está sujeta a la interpretación de los múltiples significados, la escala de mapeo y a la disponibilidad de información que representan las diferentes variables que se pueden derivar de las definiciones previamente propuestas. Hoy en día la disponibilidad de registros biológicos de organismos propios de la alta montaña, imágenes satelitales de alta y media resolución, series de datos climáticos en diferentes escalas, y bases de datos de indicadores socioeconómicos permiten desarrollar diferentes aproximaciones que pueden dar cuenta de algunas de las definiciones expuestas.

### 2.3 Variación biofísica y por actividad antrópica del límite altitudinal del ecosistema de páramo

La investigación en los páramos se ha centrado especialmente en la descripción de sus especies y en la distribución de las comunidades vegetales así como en el clima, suelos y, en general, en los procesos morfogénicos. Gracias a las contribuciones de importantes investigadores como Cuatrecasas, Van der Hammen, Cleef, Rangel-Ch y Luteyn, se conoce la distribución **zonal** en el gradiente altitudinal y su variabilidad en función del clima y la orografía del país, así como los factores que controlan su

distribución fuera de las condiciones esperadas (azonalidad).

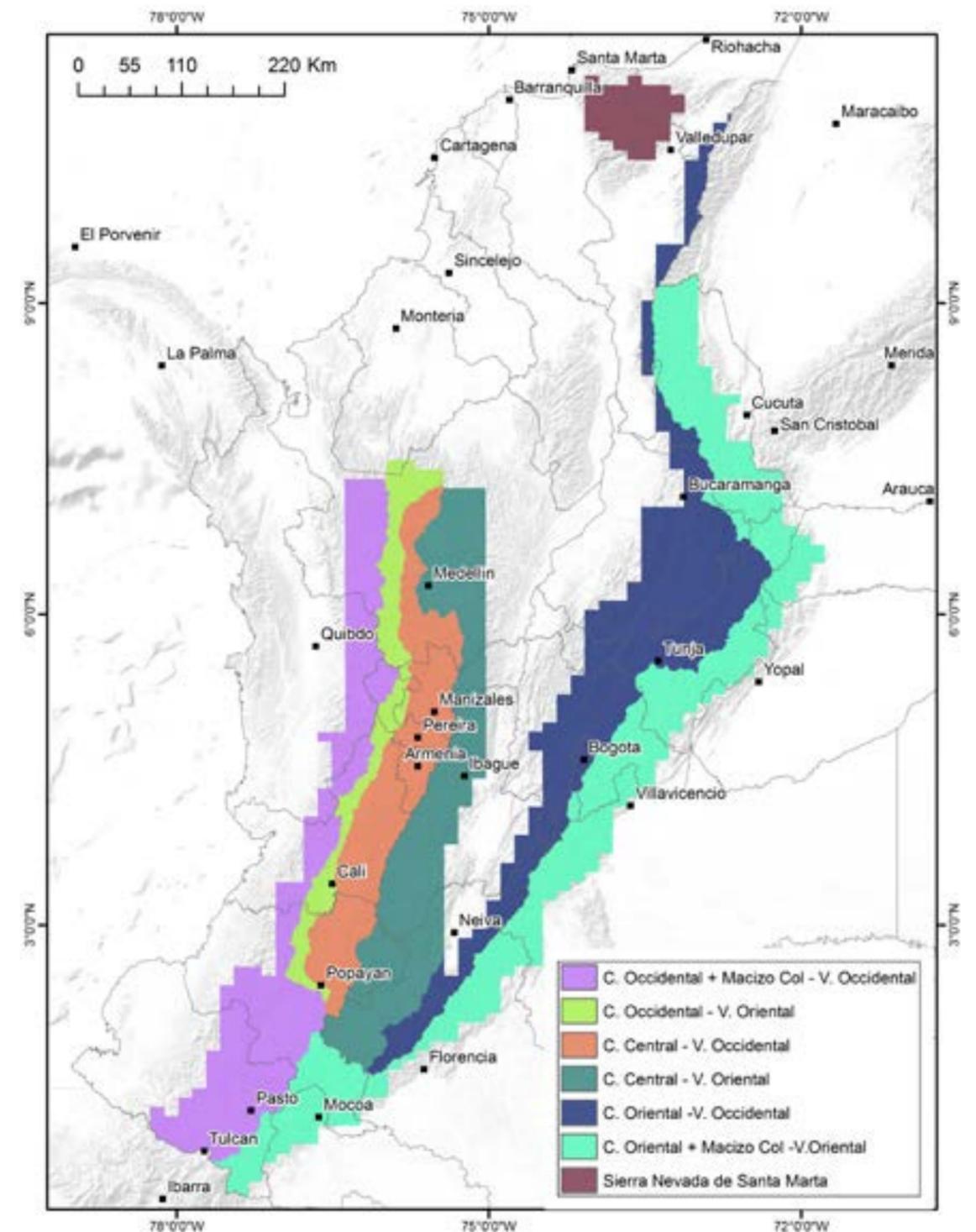
Más recientemente las investigaciones han abarcado otras perspectivas dirigidas a entender su evolución, patrones de especiación, impactos del cambio climático y otras características relacionadas con las funciones del ecosistema, de las cuales se derivan los servicios que la sociedad obtiene de él.

El escalonamiento altitudinal de los ecosistemas de páramo está determinado principalmente por la temperatura media, así como la precipitación y la humedad también muestran relación con esta distribución. Dentro de estas zonas altitudinales la composición florística, la cobertura y la fisonomía se encuentran determinadas por la precipitación, la humedad y los factores edáficos. Por esta razón, las diferencias entre vertientes atmosféricamente secas y húmedas puede ser considerables (Van der Hammen 1998).

De esta manera, en relación con la distribución altitudinal de las formaciones vegetales andinas las diferentes vertientes de las cordilleras colombianas muestran una asimetría, en la que los bosques de las vertientes externas del sistema cordillerano tienden a ubicarse en posiciones más altas, debido a los niveles de humedad con respecto a las vertientes interandinas (figura 2). Así, en donde la precipitación es mayor se han registrado formaciones boscosas en alturas superiores a los 3600 m s.n.m., al tiempo que en áreas con déficit de precipitación la vegetación de diferentes especies propias de los páramos se puede ubicar incluso debajo de los 3000 m s.n.m. (Cleff 1981, Van der Hammen et al. 1983 y 2007).



Figura 2. Vertientes de las cordilleras colombianas





Entendido el páramo como un ecosistema dominado por vegetación abierta –generalmente herbácea– y ubicado sobre el límite altitudinal superior del bosque se ha abordado la cuestión de si como ecosistema excluye a los bosques y especies arbóreas, desde la misma composición de especies hasta los aspectos funcionales (interacciones ecológicas). Sin embargo, de acuerdo con Sevink y Hosftede (en prensa) la diversidad florística de los páramos incluye varias especies de árboles, cuya presencia se debe a diferentes causas, entre otras, adaptaciones específicas de ciertas especies, ambientes protegidos dentro del páramo, estructura del límite altitudinal del bosque y plantación de árboles.

Para el caso de la alta montaña colombiana la proximidad entre los bosques andinos y los ecosistemas de páramo ha sido caracterizada como una franja de transición de formaciones vegetales que se interdigitan en el paisaje (Arzac *et al.* 2011, Körner y Paulsen 2004, Sarmiento *et al.* 2003, Suárez del Moral y Chacón-Moreno 2011).

En esta, el bosque continuo da paso a formaciones arbustivas antes de dominar la vegetación formada por herbazales y rosetas y está constituida por vegetación semiabierto, arbustiva y boscosa, con una gran variabilidad en su composición florística, cobertura y fisonomía (Van der Hammen 1997, Sarmiento *et al.* 2003), razón por la cual muestra una alta riqueza y diversidad de especies (Bader *et al.* 2007, Ramírez *et al.* 2009, Yáñez 1998, citado en Llambí *et al.* en prensa).

En literatura más reciente, este fenómeno se ha abordado considerando la estructura espacial de la vegetación en dicha transición y los mecanismos ambientales que pueden explicar su estructura (Körner y Paulsen 2004, Bader *et al.* 2007).

De esta manera, se ha observado que en diferentes contextos geográficos las limitantes para el desarrollo de bosques continuos están asociadas a la disminución de la temperatura en función de la altura (isotermas comunes en



macroambientes específicos) y a la ausencia de humedad (Körner y Paulsen 2004). Previamente Grubb (1971) ya había expuesto el efecto de masa (mecanismo por el cual el límite superior del bosque se ve condicionado por el tamaño, grado de exposición y posición geográfica de los sistemas montañosos). Por otra parte, Sarmiento y Frolich (2002) argumentaron que esta línea está igualmente condicionada al efecto de la acción antrópica, especialmente al pastoreo y la quema.

De acuerdo con lo anterior, la distribución de formaciones boscosas y vegetación típicamente paramuna está determinada por la precipitación y la humedad atmosférica, con variaciones de orden local ligadas a la topografía, al origen y procesos de formación del suelo y a la intervención humana. La amplitud de la transición entre estos dos ecosistemas (ecotono) tampoco es homogénea, y está determinada por diversos factores biofísicos y por el tipo e intensidad del uso en ellos.

Particularmente, este último aspecto ha logrado una continua alteración de las franjas superiores de los bosques andinos y altoandinos y el ecotono páramo-bosque altoandino, lo que ha ocasionado la llamada paramización, fenómeno que consiste en la ocupación paulatina de especies de páramo altamente competitivas (pioneras) en niveles altitudinales inferiores a los que típicamente le corresponden, como producto de las alteraciones causadas por efectos antrópicos y ocasionalmente por deslizamientos en masa (Hernández-Camacho 1997).

El descenso de las especies de páramo, causado por las actividades antrópicas, ha ocurrido en muchas zonas de bosque y a diferentes alturas en diversas montañas tropicales (Verweij y Beukema 1992, Kok *et al.* 1993, Keating 1998). Esta detención o desviación del proceso de sucesión está estrechamente relacionada con la frecuencia e intensidad de las actividades antrópicas.

Tal fenómeno se ha observado en franjas alrededor de los 3000 m s.n.m. +/-200 m,

especialmente en la cordillera Oriental, en los departamentos de Cundinamarca, Boyacá y Santander. Van Der Hammen (1997) lo registró hasta altitudes de 2900 m. Así, paradójicamente, la vegetación de páramo y subpáramo ahora ocuparían más superficie que en el principio de la habitación humana (Luteyn 1992).



Molano (2002) reconoce que este proceso debe entenderse no solo como la colonización de las altas vertientes, los valles altos y los paisajes de turberas y acumulados glaciares por la vegetación y fauna del páramo, muy resistente, con una suficiente plasticidad genética y con una considerable amplitud ecológica, sino como un proceso de pérdida de la biodiversidad al destruirse los equilibrios ecológicos de la adaptación y evolución de la vida en estos paisajes por la pérdida de los ecotonos de interacción, que deben ser objeto de transferencia de condiciones para repoblar el páramo o para restaurar la selva andina.

No obstante, los cambios altitudinales del ecotono se deben también a procesos naturales. Los análisis palinológicos realizados por Hooghiemstra y Cleef (1993) en la cordillera Oriental colombiana muestran cambios climáticos continuos en la vegetación del bosque y el páramo durante los últimos 3,2 millones de años. Durante las fases extremas de los períodos glaciales el páramo llegó a su máxima extensión, y durante los interglaciares su extensión fue mínima, partiéndose en muchas islas continentales que corresponden a las partes más altas de la cordillera (Van der Hammen 1998).

De esta manera, la identificación del límite se dificulta debido a todos los aspectos anteriormente expuestos. Por esta razón, la definición de los criterios de delimitación es una herramienta indispensable en la definición de los límites. Una importante aproximación nacional fue desarrollada por Morales *et al.* (2007) que identificaron el límite inferior del páramo en altitudes que varían entre 3000 y 3300 m s.n.m., donde en otras partes se encuentra bosque andino superior. Así, se ha establecido que tanto bosques andinos como páramos han sido coexistentes y su posición geográfica ha variado como consecuencia de la interacción de los factores ya mencionados.

Por ello se considera que los páramos pueden ser definidos como verdaderos socioecosistemas o sistemas emergentes, pues su condición de naturalidad ha sido fuertemente alterada,

especialmente a lo largo del establecimiento de las sociedades poshispánicas, modificando su composición, estructura y dinámica espacio-temporal.

## 2.4 Principios y criterios actuales para la delimitación de los páramos

Debido a que actualmente los páramos se reconocen como ecosistemas estratégicos, desde comunidades rurales que conviven estrechamente con ellos hasta las áreas urbanas e industriales que dependen del suministro del agua que regulan naturalmente, la delimitación de los páramos no debe reducirse a la identificación exclusiva de arreglos espaciales de vegetación o a un tipo de cobertura de la tierra remanente sino que debe regirse por criterios que aborden los niveles de un socioecosistema.

Debe tener en cuenta tanto la organización biológica como los procesos, funciones e interacciones entre organismos y su ambiente, así como las características estructurales y funcionales del paisaje, y debe considerar los modelados, la formación de los suelos, la hidrología superficial y subterránea, el clima regional y local, entre otros factores formadores.

Asimismo, y considerando el alcance legal de este insumo, el proceso de delimitación debe tomar en cuenta decisiones administrativas previas que cumplan con la normativa vigente. A la fecha se han emitido diferentes actos administrativos que buscan puntualizar la ubicación de los páramos, tales como las resoluciones MAVDT 0739 de 2002 y 0869 de 2003, que mediante rangos altitudinales daban las directrices para el ámbito de aplicación de las regulaciones de uso de ese entonces.

Más recientemente, mediante la resolución MADS 0937 de 2011, se dio reconocimiento formal al "Atlas de páramos de Colombia" (Mo-

rales *et al.* 2007) y se estipularon diferentes directrices en relación con la adopción de cartografía de mayor detalle:

- La identificación de los límites inferiores debe hacerse en escalas cartográficas superiores a 1:50.000.
- No debe reducir la superficie ya reconocida en el "Atlas de páramos de Colombia" (2007).
- Debe contar con la aprobación de las instancias directivas de la autoridad ambiental pertinente.

Basados en un enfoque ecosistémico promovido desde el Convenio de Diversidad Biológica (CDB) el Instituto Humboldt orientó la discusión y selección de una serie de criterios para la delimitación del páramo, plasmados en la "Guía divulgativa de criterios para la delimitación de páramos de Colombia" (Rivera y Rodríguez 2011), que considera un **conjunto de principios rectores** enmarcados en los lineamientos nacionales de la política ambiental actual.

El análisis conjunto de todos los criterios establece y aporta a la comprensión integral de los ecosistemas de páramo a pesar de que no todos se traducen en variables cartográficas, de acuerdo con lo establecido por la Ley 1450 de 2011 (Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014).



Los criterios establecidos para la delimitación son los siguientes (tomado de Rivera y Rodríguez 2011):

#### Criterios biogeofísicos

- Identificar la franja de páramo bajo o subpáramo y su variabilidad en el gradiente altitudinal.
- Identificar el modelado y los procesos morfogénicos en los paisajes de páramo.
- Reconocer la presencia de ecotonos y ecoclinas en el límite inferior del páramo.
- Identificar las condiciones de orden local que han facilitado la ubicación de los páramos fuera de los límites de distribución esperados (páramos azonales).
- Considerar el rol de los ecosistemas de alta montaña en el ciclo hidrológico

y la relación de estos procesos con la integridad del ecosistema.

#### Integridad ecológica

- Evaluar la conectividad entre el bosque altoandino y el páramo.
- Reconocer la variabilidad de la franja inferior del páramo frente al cambio climático y las medidas de adaptación necesarias para la mitigación de los impactos.
- Considerar franjas de ecosistemas adyacentes que faciliten la conectividad entre áreas de menor extensión de ecosistemas paramunos.

#### Elementos socioeconómicos y culturales

- Reconocer a las comunidades presentes en el páramo, sus sistemas de producción y organización social.

- Identificar páramos que han sido total o parcialmente transformados.
- Identificar áreas paramizadas (aquellas en las que elementos florísticos propios de páramo se han extendido sobre áreas disturbadas, usualmente más bajas, fuera de los límites de distribución esperados).

## 2.5 Indicadores demográficos y de actividades económicas de los ecosistemas de alta montaña

La actividad humana en los páramos, y por ende su proceso de transformación por disturbios antrópicos, inició aproximadamente hace 10 000 años (Van der Hammen 1974). El uso en los páramos durante los siglos XIII y XIV era principalmente ceremonial; para el siglo XV se registraba en algunas zonas pastoreo de camélidos andinos, cultivo de papas y tubérculos nativos.

Durante el periodo de la Conquista y la Colonia (s. XVI y XVII) se dio el establecimiento de los sistemas de encomienda, repartimiento, huasipungo, entre otros, que transformaron radicalmente en algunas zonas la organización social y cultural de las sociedades indígenas prehispánicas, produciendo un primer período de marginación, dependencia y pobreza para la población local. En este momento se inició el pastoreo ovino-vacuno y el cultivo de cereales en los páramos, actividades que siguieron intensificándose con el pasar del tiempo (Monasterio 1980).

Más allá de la transformación del paisaje el páramo y la alta montaña han sido copados por las culturas americanas, que generaron una acción humana progresiva de apropiación, reconocimiento y ocupación temporal, y posteriormente estable, con las cuales la alta montaña,

desde entonces atiende a un proyecto socio-cultural que integra la energía de las montañas con las representaciones mágicas creadoras y reguladoras de sus ambientes (Molano 2002).

Hoy en día las principales actividades humanas que tienen impacto sobre los páramos incluyen la agricultura, la ganadería, la forestación con especies exóticas, la minería y el turismo. Además se suma el impacto del cambio climático global que se evidencia de manera dramática en procesos como el retroceso de los glaciares andinos (Llambí s.f.).

Como consecuencia de los cambios drásticos en las coberturas originales el clima ecuatorial, el desarrollo de formas de producción campesina y agroindustriales, la expansión de la ganadería y el establecimiento de potreros, el surgimiento de un considerable número de poblaciones y ciudades en los márgenes de la alta montaña y en su interior el páramo ha avanzado sobre las zonas periglaciares de manera creciente ante el retroceso de los hielos, y ha descendido considerablemente copando los espacios de los bosques alto andinos y andinos hasta alcanzar alturas cercanas a los 2700 m s.n.m. (Molano 2002).

Así, la sociedad y el ambiente han venido sufriendo paulatinamente grandes cambios en las diferentes dimensiones que los componen; sus interacciones producen transformaciones (cada vez de mayor magnitud) de interés para la sociedad puesto que condicionan y modifican las formas de vida y de desarrollo de la población.

Entender tales cambios y acercarse a ellos de forma cuantitativa es uno de los principales objetos del desarrollo de indicadores. Estos generan evidencias críticas dentro de procesos de monitoreo, decisión e intervención (Cepal 2009), de manera que su desarrollo, cálculo e interpretación dependerá del propósito para el cual se creen. Los indicadores están basados en información verificable que, más que una serie de datos, intentan representar situaciones de la realidad, enmarcadas en un contexto histórico o temporal.



La información que acopia un indicador permite, según sus características, reducir la incertidumbre ante los eventos evaluados. De acuerdo con la Cepal (2009) tal información debe cumplir con ciertas características de calidad, entre las que incluye: 1. Confiabilidad, 2. Precisión, 3. Relevancia, idoneidad y pertinencia, 4. Integralidad, 5. Actualización, 6. Contextualización, 7. Organización, 8. Presentación y 9. Adecuación según demanda. Por tanto, los indicadores requieren una apropiada gestión de la información y un flujo constante de la misma, que permita actualizar los procesos en el tiempo.

En este sentido, los indicadores son parte central de la toma de decisiones efectivas y de la gestión adaptativa, además de que proveen mediciones del progreso o éxito de las políticas y acciones implementadas y pueden ser parte de un sistema de alerta temprana para detectar problemas emergentes (BIP 2010). No obstante, conviene aclarar que los indicadores no suplen toda la información necesaria para la toma de decisiones.

En el año 2000, el Instituto Humboldt, como parte de los resultados del proyecto "Conservación y uso sostenible de la biodiversidad

en los Andes colombianos", desarrolló un sistema de indicadores de seguimiento y evaluación de la Política de Nacional de Biodiversidad.

Este sistema consta de un conjunto de indicadores simples de seguimiento como base del mismo y de un modelo de indicadores complejos de evaluación de gestión y de impacto. Los primeros se proponen en este proyecto bajo un modelo PER (presión, estado, respuesta) y se ciñen a la descripción de una situación respectiva, sin emitir juicios de valor sobre ella; por su parte, los indicadores de evaluación de la gestión de la política evalúan acciones institucionales, y los indicadores de evaluación del impacto hacen referencia a los resultados de la política sobre su objeto de trabajo (Instituto Alexander von Humboldt 2000).

Es importante señalar que no todos los datos procesados y los cálculos generados se pueden considerar como indicadores, sino que algunos más bien se definen como estadísticas de las principales dinámicas ambientales en un tiempo y lugar definido. Claramente los indicadores son estadísticas seleccionadas que tienen la capacidad de mostrar un fenómeno y resultan de procesar las series de datos de forma tal que representen el estado, evolución o tendencia del fenómeno estudiado.

### 3. Antecedentes en el mapeo de los páramos

La identificación y mapeo de los ecosistemas de páramo no es una preocupación reciente. Gracias al continuo desarrollo de herramientas tecnológicas y a la producción de nueva información se han generado múltiples ejercicios que se aproximan a la identificación cartográfica nacional o regional de los páramos, a partir de estudios en las formaciones vegetales de Colombia (Espinell y Montenegro 1963), en ecosistemas tropandinos (Van der Hammen *et al.* 1983-2007) y diferentes mapas nacionales y regionales (Etter 1998, IDEAM 2002, Romero *et al.* 2004, Rodríguez *et al.* 2004, IDEAM *et al.* 2007, Cormagdalena-IGAC 2007, Morales *et al.* 2007, ANH-Instituto Alexander von Humboldt 2008), entre muchos otros.

Van der Hammen (1998), para el Informe Nacional del Estado de la Biodiversidad de 1997, introdujo un mapa general de los páramos del país (Unidades Biogeográficas de los Páramos de Colombia), y los clasificó en sectores, distritos y complejos; para ello se basó en la propuesta de Hernández-Camacho de Provincias y Distritos Biogeográficos. Este mapa consideraba como ecosistema de páramo las superficies ubicadas por encima de los 3000 m s.n.m.

Posteriormente, y como una importante aproximación nacional, Morales *et al.* (2007) presentaron el "Atlas de páramos de Colombia", en el que retomando la propuesta de Van der Hammen (1997) identificaron 34 complejos de páramos a escala 1:250.000, con una su-

perficie aproximada de 1 932 000 hectáreas, agrupadas en 5 sectores y 14 distritos.

Los límites inferiores para los páramos fueron trazados con apoyo de imágenes satelitales y modelos digitales de terreno. Este esfuerzo, que contó con la asesoría del profesor Thomas van der Hammen, describió también importantes aspectos de la composición de especies, así como múltiples características socioculturales y diferentes elementos asociados a su estado de conservación y manejo. Esta cartografía fue adoptada como referencia mínima para su delimitación por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible mediante la Resolución No. 0937 de 2011, la cual continúa vigente.

Actualmente se cuenta con un gran volumen de información acerca de los páramos de Colombia, producto del esfuerzo de la academia, autoridades ambientales, institutos de investigación, organizaciones no gubernamentales y comunidades locales. Por su parte, algunas Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible, en cumplimiento de las resoluciones 0769 de 2002 y 0839 de 2003, han desarrollado los estudios del estado actual de los páramos presentes en su jurisdicción, en algunos de los cuales se incluye su delimitación y mapeo a escala cartográfica no inferior a 1:50.000.

Por ello, durante 2009 y 2010, el Instituto Humboldt implementó un proceso de acopio y evaluación de dicha información (Rubio *et al.* 2010), en el que encontró que es altamente he-



terogénea en cuanto a alcances, fuentes, vigencia y métodos, y que en consecuencia requiere de procesos de homologación y actualización, especialmente de la cartografía, y diferentes recursos de información espacial que son clave para su delimitación, caracterización y monitoreo, en especial, aspectos climáticos, geopedológicos, florísticos y de cobertura de la tierra, así como de elementos socioeconómicos.

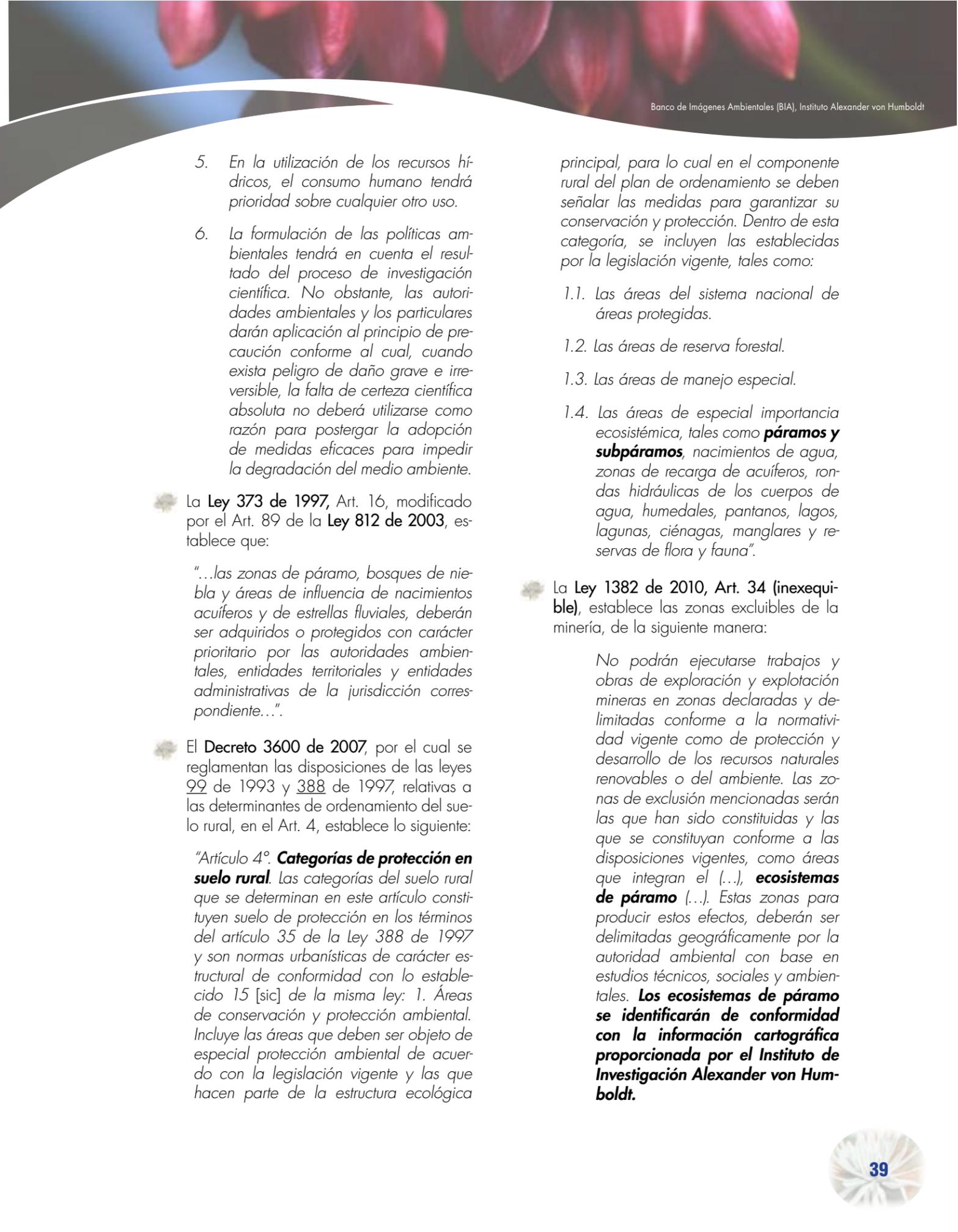
### 3.1 Marco normativo: identificación y delimitación de los páramos

Con la delimitación de los páramos se busca definir un espacio geográfico concreto para implementar todos los mecanismos legales vigentes para su protección y funcionamiento, atendiendo a la gran importancia de estos ecosistemas para la sociedad. Se busca ante todo propender por la conservación de su diversidad biológica, la integridad de sus ecosistemas y el mantenimiento de las funciones ecológicas que se traducen en servicios para la sociedad.

La delimitación de los páramos, vista como acto administrativo para la aplicación de los efectos legales, puede interpretarse desde diferentes normas vigentes (resaltadas fuera de los textos originales).

La **Ley 99 de 1993**, por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, Sina, y se dictan otras disposiciones, establece en el Artículo 1 los principios ambientales generales que deben guiar la gestión ambiental en el país. Entre ellos se encuentran:

4. Las zonas de páramos, subpáramos, los nacimientos de agua y las zonas de recarga de acuíferos serán objeto de protección especial.



5. En la utilización de los recursos hídricos, el consumo humano tendrá prioridad sobre cualquier otro uso.
6. La formulación de las políticas ambientales tendrá en cuenta el resultado del proceso de investigación científica. No obstante, las autoridades ambientales y los particulares darán aplicación al principio de precaución conforme al cual, cuando exista peligro de daño grave e irreversible, la falta de certeza científica absoluta no deberá utilizarse como razón para postergar la adopción de medidas eficaces para impedir la degradación del medio ambiente.

La **Ley 373 de 1997**, Art. 16, modificado por el Art. 89 de la **Ley 812 de 2003**, establece que:

"...las zonas de páramo, bosques de niebla y áreas de influencia de nacimientos acuíferos y de estrellas fluviales, deberán ser adquiridos o protegidos con carácter prioritario por las autoridades ambientales, entidades territoriales y entidades administrativas de la jurisdicción correspondiente..."

El **Decreto 3600 de 2007**, por el cual se reglamentan las disposiciones de las leyes **99** de 1993 y **388** de 1997, relativas a las determinantes de ordenamiento del suelo rural, en el Art. 4, establece lo siguiente:

"Artículo 4°. **Categorías de protección en suelo rural.** Las categorías del suelo rural que se determinan en este artículo constituyen suelo de protección en los términos del artículo 35 de la Ley 388 de 1997 y son normas urbanísticas de carácter estructural de conformidad con lo establecido 15 [sic] de la misma ley: 1. Áreas de conservación y protección ambiental. Incluye las áreas que deben ser objeto de especial protección ambiental de acuerdo con la legislación vigente y las que hacen parte de la estructura ecológica

principal, para lo cual en el componente rural del plan de ordenamiento se deben señalar las medidas para garantizar su conservación y protección. Dentro de esta categoría, se incluyen las establecidas por la legislación vigente, tales como:

- 1.1. Las áreas del sistema nacional de áreas protegidas.
- 1.2. Las áreas de reserva forestal.
- 1.3. Las áreas de manejo especial.
- 1.4. Las áreas de especial importancia ecosistémica, tales como **páramos y subpáramos**, nacimientos de agua, zonas de recarga de acuíferos, rondas hidráulicas de los cuerpos de agua, humedales, pantanos, lagos, lagunas, ciénagas, manglares y reservas de flora y fauna".

La **Ley 1382 de 2010**, Art. 34 (**inexequible**), establece las zonas excluíbles de la minería, de la siguiente manera:

No podrán ejecutarse trabajos y obras de exploración y explotación mineras en zonas declaradas y delimitadas conforme a la normatividad vigente como de protección y desarrollo de los recursos naturales renovables o del ambiente. Las zonas de exclusión mencionadas serán las que han sido constituidas y las que se constituyan conforme a las disposiciones vigentes, como áreas que integran el (...), **ecosistemas de páramo** (...). Estas zonas para producir estos efectos, deberán ser delimitadas geográficamente por la autoridad ambiental con base en estudios técnicos, sociales y ambientales. **Los ecosistemas de páramo se identificarán de conformidad con la información cartográfica proporcionada por el Instituto de Investigación Alexander von Humboldt.**

- El **Decreto 2372 de 2010, Art. 29**, Ecosistemas estratégicos.

*Las zonas de páramos, subpáramos, los nacimientos de agua y las zonas de recarga de acuíferos como áreas de especial importancia ecológica gozan de protección especial, por lo que las autoridades ambientales deberán adelantar las acciones tendientes a su conservación y manejo, las que podrían incluir su designación como áreas protegidas bajo alguna de las categorías de manejo previstas en el presente decreto.*

- La **Ley 1450 de 2011** (Plan de Desarrollo 2010-2014), **Art. 202**, define que "...los páramos deberán ser delimitados a escala 1:25.000 con base en estudios técnicos, económicos, sociales y ambientales, los cuales deben ser realizados por las autoridades ambientales".

- El **Decreto-Ley 3570 de 2011**, por el cual se modifican los objetivos y estructura del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, define en el Art. 2 las funciones de dicho ministerio, entre ellas, la del **Numeral 15**: "Elaborar los términos de referencia para la realización de los estudios (...) para la delimitación de los ecosistemas de páramo y humedales, sin requerir la adopción de los mismos" y del **Numeral 16**: "Expedir los actos administrativos para la delimitación de los páramos".

Asimismo, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible ha emitido las siguientes resoluciones, relativas a la elaboración de estudios,

planes de manejo e identificación y delimitación de los páramos:

- 0769 de 2002**: Disposiciones para contribuir a la protección, conservación y sostenibilidad de páramos.
- 0839 de 2003**: Términos de referencia para la elaboración del Estudio sobre el Estado Actual de los Páramos (EEAP) y del Plan de Manejo Ambiental de los Páramos (PMA).
- 1128 de 2006**: Faculta a las autoridades ambientales para aprobación de EEAP y PMA de páramos.
- 0937 de 2011**: Mediante la cual se "adapta la cartografía elaborada a escala 1:250.000, proporcionada por el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt para la identificación y delimitación de los Ecosistemas de Páramos".

De acuerdo con el marco normativo vigente, la delimitación de los páramos adoptada mediante la expedición de un acto administrativo es responsabilidad de las autoridades ambientales en cabeza del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Con lo anterior, es claro que la delimitación de los páramos se constituye en una decisión administrativa que debe valorar tanto el conocimiento científico como las implicaciones sobre la sociedad de dicha decisión, considerando principios constitucionales como el derecho a un ambiente sano, la prelación del interés general sobre el particular y el principio de precaución.

## 4. Objetivos

Realizar el mapeo y caracterización socioecosistémica (a través de indicadores priorizados) de los ecosistemas de páramo del país, mediante métodos y fuentes de información oficiales y de amplio reconocimiento, aportando criterios técnicos y científicos para su delimitación, en atención a las necesidades actuales de información veraz, interoperable y unificada sobre estos ecosistemas.

En este sentido, a nivel específico se busca:

1. Compilar información biofísica, social, económica, política y cultural para la aplicación de los criterios indicados en Rivera y Rodríguez (2011) para la delimitación de páramos en Colombia.
2. Proponer y desarrollar diferentes métodos de procesamiento de información dirigida a la identificación sistemática de los ecosistemas de páramo en el país.
3. Identificar la variabilidad de los ecosistemas de páramos en diferentes gradientes ambientales, con especial atención en el límite altitudinal inferior, en diferentes contextos socioecosistémicos.
4. Proponer un límite inferior de la franja de transición entre el subpáramo y el bosque altoandino, a escala 1:100.000, dirigido a cumplir con los criterios de integridad ecológica, funcionalidad y conectividad, y los criterios básicos de delimitación.

5. Aportar elementos de caracterización de los páramos de Colombia, bajo un enfoque socioecosistémico y mediante indicadores concretos, dirigidos a proveer a autoridades públicas y a la sociedad en general un marco de referencia para la gestión integral de estos ecosistemas vitales para el país.

Banco de Imágenes Ambientales (BIA), Instituto Alexander von Humboldt



## 5. Métodos

### 5.1 Área de estudio

El área de estudio seleccionada (figura 3) se encuentra entre los 0° 22' y 11° 11' Latitud Norte y entre 71° 46' y 78° 15' Longitud Oeste, con una superficie de 22 805 000 ha y comprende todos los sistemas cordilleranos andinos, desde la Sierra Nevada de Santa Marta hasta el Nudo de los Pastos en la frontera con Ecuador, así como las cordilleras Occidental, Central y Oriental, con sus respectivas vertientes (externas e internas).

### 5.2 Actualización de la cartografía de páramos

Para la actualización cartográfica a escala 1:100.000 se tomó como punto de partida el "Atlas de páramos de Colombia" (Morales *et al.* 2007), el cual se caracteriza por:

- Estar estructurado en un sistema de clasificación que se basa en criterios biogeográficos, e identifica sectores, distritos y complejos. Los sectores incluyen varios distritos y estos, a su vez, varios complejos.
- La división entre sectores se basa en diferencias en la composición de géneros y especies relacionada con el aislamiento geográfico. Las diferencias entre los distritos se presentan en cuanto a las especies (composición, presencia de especies endémicas, coincidencia de los límites de las distribuciones y relaciones de cambios históricos).
- La cartografía de cada uno de los complejos se elaboró con base en información de sensores remotos (imágenes satelitales, *Landsat TM* y *ETM*) y del modelo digital de eleva-

ción con resolución de 90 m (*Shuttle Radar Topographic Mission –SRTM*).

No obstante, su uso ha sido restringido en la toma de decisiones debido a las limitaciones que presenta (Caro 2010) en aspectos como:

- La escala de trabajo (1:250.000), debido a que pudo omitir páramos de menor extensión (se esperaba que áreas inferiores a 156 hectáreas no se encontraran representadas). En consecuencia, páramos azonales o con distribución en alturas inferiores a 3000 m s.n.m. podrían haber sido excluidos del mismo.
- Al momento de su producción el país no contaba con una base cartográfica para uso oficial unificada, al tiempo que existían múltiples aproximaciones que al no ser reconocidas oficialmente limitaban su uso en el ámbito legal.
- La identificación se basó principalmente en criterios de altura y tipos de ecosistemas (Rodríguez *et al.* 2004) así como en imágenes satelitales de resolución media.

De acuerdo con lo anterior, se propuso la actualización de la cartografía de páramos a una escala 1:100.000, que no solo buscó representar los criterios de delimitación expuestos en Rivera y Rodríguez (2011) sino que permitió vincularla como respuesta a las necesidades sugeridas dentro del marco legal vigente, en relación con la conservación de los páramos a través de su delimitación, además de incorporar elementos de integridad ecológica al reconocer la relación del páramo con los ecosistemas adyacentes. La metodología que permitió la construcción del mapa preliminar se encuentra en la figura 4.

Figura 3. Área de estudio

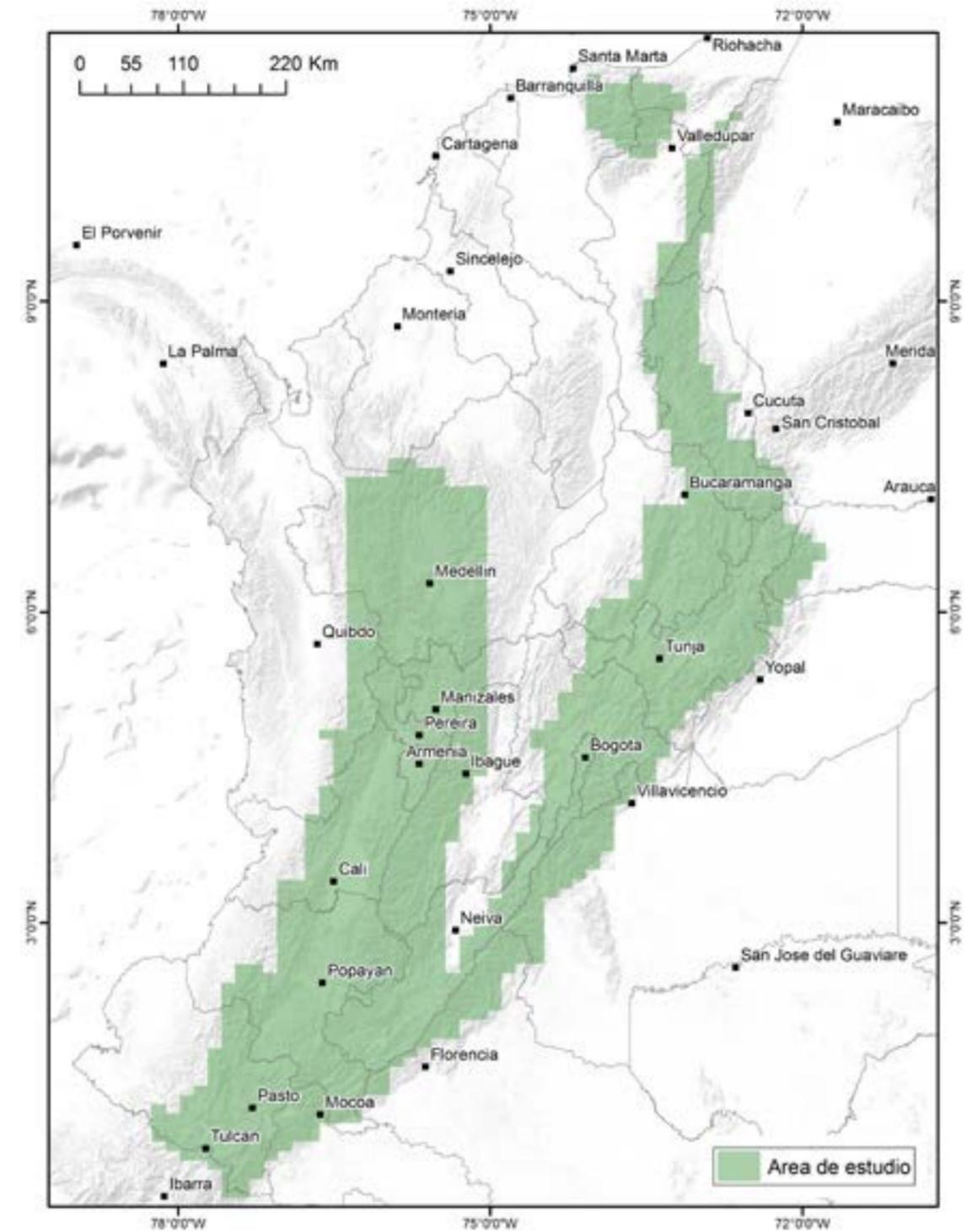
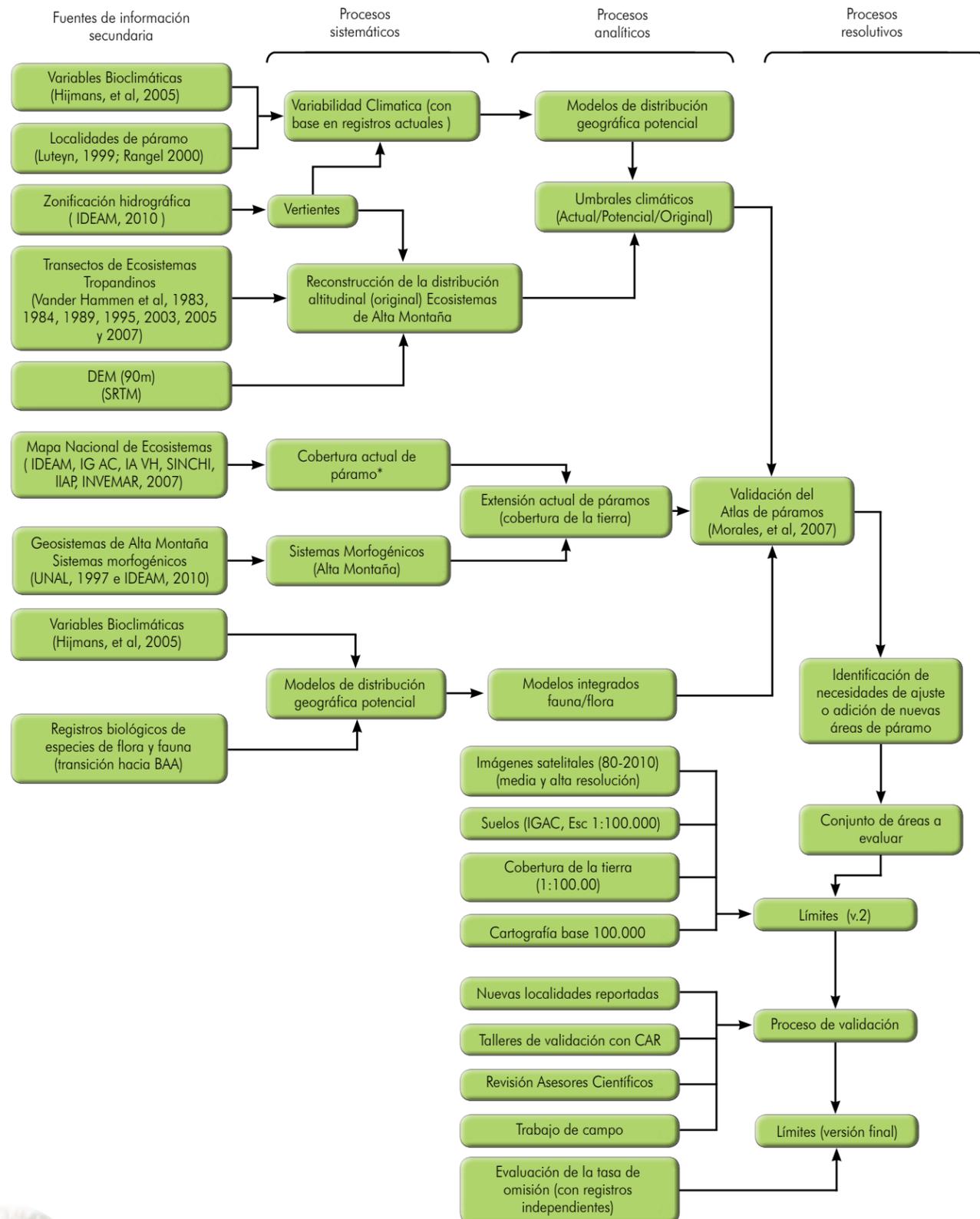


Figura 4. Flujo de trabajo para la actualización de la cartografía de páramos



### 5.2.1 Fuentes de información

Se emplearon diferentes fuentes de información en relación con los factores que determinan la distribución espacial y los límites inferiores de los ecosistemas de páramo, de acuerdo con las

variaciones ya documentadas sobre el clima, la altitud y la topografía. Dado el alcance de este proyecto se otorgó un mayor peso a fuentes de información oficial o de amplio reconocimiento en cada temática especializada (tabla 1).

Tabla 1. Fuentes de información usadas en el proceso de actualización

Variable	Fuente	Formato y escala
Levantamientos de vegetación, clasificados como páramo y subpáramo	Localidades de páramo: Luteyn y Gavilanes (1999) y Rangel-Ch (2000)	Registros georreferenciados, nivel de precisión variable
Variables climáticas (comportamiento anual e intranual de la temperatura y la precipitación)	Base de datos <i>WorldClim</i> (Hijmans <i>et al.</i> 2005)	Raster (Grid). 1 km <sup>2</sup> de resolución espacial
Topografía y altura	DEM (90m). <i>Shuttle Radar Topography Mission</i>	Raster (Grid). 90 m de resolución espacial
Sistemas morfogénicos de alta montaña	UNAL-IDEAM (1997)	ShapeFile (1:200.000)
	IDEAM (2010)	ShapeFile (1:500.000)
Suelos	IGAC (varias fechas)	ShapeFile (1:100.000)
Ecosistemas y cobertura de la tierra	Mapa Nacional de Ecosistemas (IDEAM, IGAC, Instituto Alexander von Humboldt, Invemar, Sinchi e IIAP 2007)	Personal Geodatabase (1:500.000)
	Ecosistemas de los Andes – Instituto Alexander von Humboldt (1985-2004, Rodríguez <i>et al.</i> 2004)	Raster (GRID) 90 m (1:250.000)
	Cobertura de la tierra ( <i>Corine Land Cover</i> ) (IDEAM, IGAC, Instituto Alexander von Humboldt, Sinchi, IIAP, Invemar, 2011)	File Geodatabase (1:100.000)
Zonificación hidrográfica (áreas hidrográficas, zonas y subzonas)	IDEAM (2011)	ShapeFile (1:100.000)
Áreas protegidas y figuras de conservación	Registro Único Nacional de Áreas Protegidas (último acceso, marzo de 2012)	ShapeFile (1:100.000)
	Inventario de Áreas Naturales Protegidas (CI, 2010)	ShapeFile (1:100.000)
Cartografía base	IGAC (2012)	File Geodatabase (Esc. 1:100.000)

## 5.2.2 Técnicas de modelamiento espacial para la identificación de los páramos del país

Como se puede derivar de los criterios de delimitación expuestos en Rivera y Rodríguez (2011) la identificación de los páramos trasciende a un ejercicio de interpretación de la cobertura actual de la tierra, o de selección de cotas altitudinales en relación con los tipos de vegetación descritos.

Por ello se requiere que, con base en el conocimiento actual e histórico, se entiendan los patrones de distribución espacial del ecosistema, los factores bióticos y abióticos que inciden en su estructura y composición, y de acuerdo con ello, se empleen técnicas que logren sugerir la distribución potencial del ecosistema en relación con los factores formadores y (relativamente) estables en el tiempo, tales como el clima (especialmente la radiación, la temperatura y la precipitación), y otros factores abióticos como las rocas, los suelos y la topografía.

Para esto se realizó una aproximación a los patrones de distribución geográfica de los páramos en Colombia mediante la combinación de diferentes técnicas de modelamiento espacial (figura 5). En términos generales estos modelos se construyen mediante la extrapolación de los datos disponibles y del conocimiento actual de los patrones de distribución y restricciones ecológicas (Eliith y Leathwick, 2009; Schmolke *et al.* 2010).

De esta manera, los modelos de distribución potencial de especies y otros niveles de organización, como los ecosistemas, se pueden considerar una alternativa sólida cuando se busca identificar y muchas veces “reconstruir” virtualmente patrones de biodiversidad que ya han sido alterados por la intervención antrópi-

ca, a efectos de tomar decisiones en la gestión del territorio.

Un reto importante de este proyecto fue la incorporación de un componente biótico espacialmente explícito como variable para la identificación de los páramos, dado que, por su naturaleza, no es común que la información sobre distribución de organismos y comunidades bióticas se exprese cartográficamente. Si bien a partir de los levantamientos de campo se describe la localización mediante coordenadas o localidades el nivel de precisión de la misma varía y por lo tanto se requiere de una exhaustiva evaluación para su uso en técnicas de modelamiento espacial.

Bajo un primer enfoque se obtuvieron modelos de distribución geográfica basados en los umbrales térmicos y/o altitudinales ya conocidos para los pisos bioclimáticos de las regiones andinas colombianas (enfoque determinístico).

Posteriormente, con una perspectiva probabilística y mediante el empleo de diferentes técnicas de modelamiento de la distribución geográfica potencial a nivel de especies, –*Species Distribution Models* (SDM)– y de ecosistemas de alta montaña se procedió a identificar la extensión *potencial* de los páramos en el territorio nacional. Para ello se determinaron los principales factores climáticos que explican, de acuerdo con el conocimiento actual, la distribución de los posibles límites inferiores (zonales) de estos ecosistemas en el contexto colombiano.

Estas técnicas han sido empleadas también para estimar la distribución potencial en otros niveles de organización biológica como comunidades y ecosistemas (Deblauwe *et al.* 2008, Riordan y Rundel 2009), complementando además las variables climáticas con información derivada de sensores remotos, lo cual ha abierto nuevas posibilidades para las técnicas de modelación mencionadas (Pliscoff y Fuentes-Castillo 2011).

Figura 5. Modelos de distribución geográfica del ecosistema paramuno empleados para su mapeo



Posteriormente se procedió a la identificación de los páramos con base en los criterios expuestos en Rivera y Rodríguez (2011), en función de la información disponible, considerando especialmente la ubicación de los de menor extensión y azonales, omitidos en Morales *et al.* (2007) por razones de escala, principalmente. Muchas de estas áreas de menor extensión se encuentran en cimas y divisorias de aguas aisladas, pero con importantes áreas de bosques altoandinos y andinos que contribuyen a su conectividad e integridad.

### 5.2.2.1 Modelo de distribución original de los ecosistemas de alta montaña

Se realizó la evaluación de los umbrales altitudinales y térmicos ya conocidos para los diferentes ecosistemas zonales de la alta montaña, que han sido documentados a partir de los resultados del Proyecto Estudios de Ecosistemas Tropandinos (Van der Hammen *et al.* 1983-2007) y que reflejan la variabilidad altitudinal

de los diferentes pisos bioclimáticos en condiciones cercanas a la original bajo el actual escenario climático, es decir, minimizando el efecto de la intervención humana.

Para esto, se llevaron a cabo representaciones comparativas del límite inferior del páramo bajo (subpáramo) basadas en: 1) Límites térmicos inferiores sugeridos por Rangel-Ch (2000) y Van der Hammen (1983; 2007), con-

siderando que la “distribución zonal del páramo bajo” propuesta por estos autores se expresa en condiciones naturales bajo la isoterma de los 9°C (+/-2°C) de temperatura promedio anual, con variaciones locales de orden topográfico, edafológico, exposición a frentes de humedad y régimen de disturbios y 2) Umbrales altitudinales identificados para pisos bioclimáticos de cada vertiente de las cordilleras (tabla 2).

**Tabla 2.** Umbrales altitudinales identificados para pisos bioclimáticos de la alta montaña

Piso bioclimático	Cordillera Occidental		Cordillera Central		Cordillera Oriental		SNSM
	V. Occ	V. Oriental	V. Occ	V. Oriental	V. Occ	V. Oriental	
Superpáramo	No aplica	No aplica	4400-4800	4300-4800	4300-4800	4400-3800	4300-4800
Páramo alto	3800-4400	3800-4400	3800-4400	3800-4300	3800-4300	3700-4400	3800-4300
Páramo bajo	-	-	-	-	3600-3800	3600-3700	3300-3800
Bosque altoandino	3300-3800	3300-3800	3300-3800	3200-3800	3400-3600	3200-3600	-
Bosque andino alto	2600-3300	2600-3300	2800-3300	2800-3200	2600-3400	2700-3200	2500-3300

**Fuente:** Van der Hammen *et al.* (1983-2007) en Morales *et al.* (2007).



Los umbrales anteriores se consideran como un modelo que representa, en condiciones de baja a nula intervención, la distribución de los ecosistemas zonales de la alta montaña ecuatorial. Por ello pueden no representar adecuadamente la distribución actual (influida por los diferentes regímenes de disturbios) y por las condiciones de azonalidad.

Para evaluar dicha diferencia se compilaron y evaluaron dos bases de datos: i) Luteyn y Gavilanes (1999), basados en diferentes publicaciones y notas de campo para el ecosistema de páramo con 682 registros y ii) Compilación de Rangel-Ch (2000) con 602 registros. Estos registros fueron analizados de acuerdo con la temperatura promedio anual y la precipitación anual (Hijmans *et al.* 2005) y la altura del terreno, obtenida de modelo digital de terreno a 90 m de resolución. Luego se compararon estas distribuciones con los umbrales térmicos y altitudinales propuestos en Van der Hammen *et al.* (1983-2007).

### 5.2.2.2 Modelos de distribución potencial de los ecosistemas de páramos

Con ayuda del programa *MaxEnt* 3.3.3k (Phillips *et al.* 2006, Phillips y Dudík 2008) se generaron múltiples modelos de distribución potencial basados en el concepto de nicho ecológico. A partir de ellos se obtuvo la distribución de especies representativas del ecosistema de

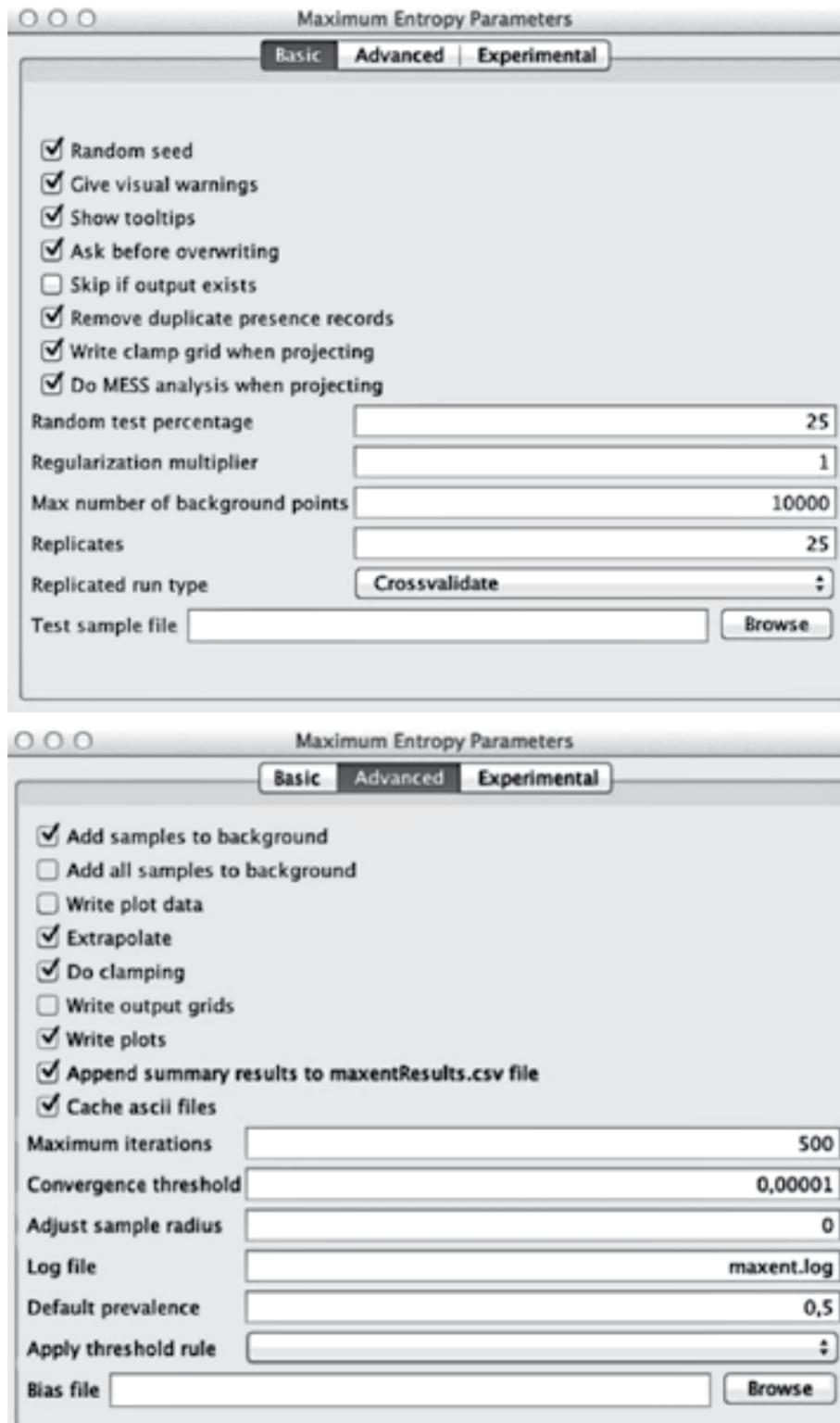
páramo y la transición hacia otros ecosistemas, y se evaluó su aplicabilidad en otros niveles de organización biológica, como las localidades que describen tipo de vegetación (comunidades bióticas).

Este programa usa datos de presencia y estima el área potencial buscando la distribución de máxima entropía (la distribución más cercana a la uniformidad), sujeto a la restricción de coincidencia entre el valor esperado de cada variable predictora y las estimaciones de sus promedios empíricos (Phillips *et al.* 2006). El modelo resultante muestra la probabilidad relativa de la distribución de la especie en toda una cuadrícula de celdas en un área geográfica definida, en la cual un valor de probabilidad alto, asociado a una celda en particular, indica la probabilidad de esta de tener las condiciones ambientales adecuadas para la entidad biológica que se está modelando (Elith *et al.* 2006).

Se procedió entonces al ajuste de la configuración de *MaxEnt* (figura 6) a fin de usar puntos de evaluación distintos cada vez que se procesaran los mismos datos (opción “*Randomseed*”). Para alcanzar modelos robustos fue necesario contar con más de 10 registros por especie, con diferente localización (eliminando duplicados) y en lo posible distribuidos de forma homogénea en el área de estudio. Se decidió usar el 75 % de los datos como núcleo de entrenamiento y el 25% restante como núcleo de prueba para evaluar el modelo. Se realizaron 25 réplicas para cada entidad modelada con el objetivo de seleccionar el modelo promedio.



Figura 6. Configuración empleada (pestañas *Basic* y *Advance*) de *MaxEnt* 3.3.3.k



Se seleccionó el formato de salida logístico, debido a que es más robusto y fácil de interpretar, en comparación con el formato de salida acumulativo (Phillips y Dudík 2008). Dado que durante el estudio se optó por la replicación (25 para cada entidad biológica) el programa generó igual número de salidas geográficas (en formato JPEG y ASC), además de las estadísticas respectivas y reportes en formato HTML. En consecuencia se produjo una alta cantidad de archivos para cada entidad modelada, razón por la cual se escogió la opción "Write outputs plots" que permite la generación de ASC estadísticas (mínimo, máximo, promedio, desviación estándar, entre otras).

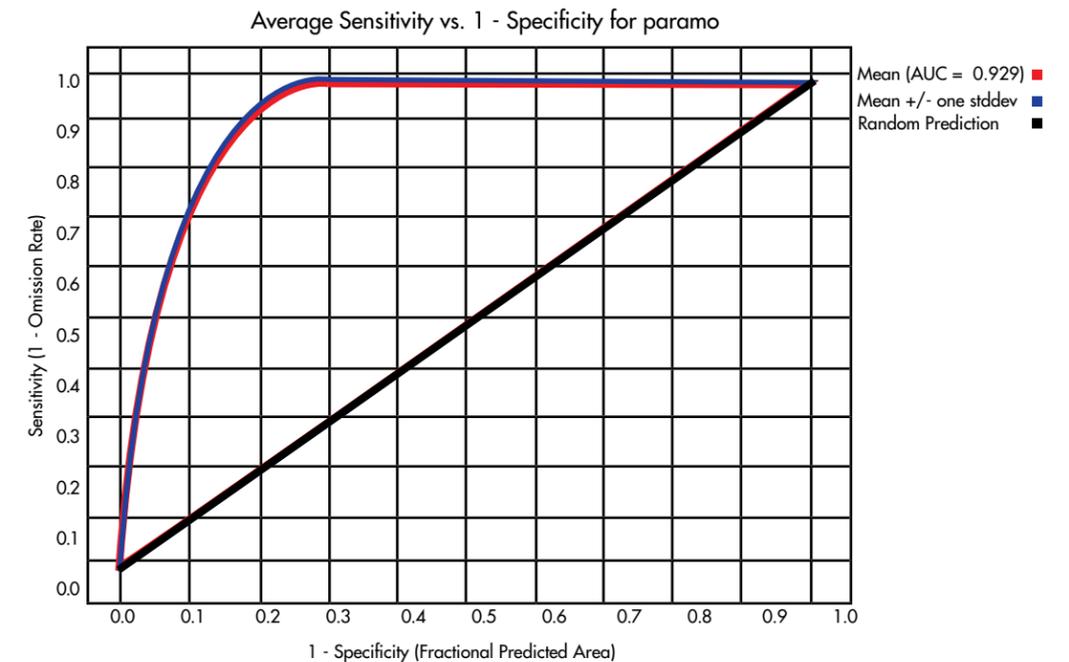
De esta forma se consideró el modelo promedio (definido como el promedio de todas las réplicas) como modelo consenso, siempre que la desviación estándar no fuera significativa. Una alta desviación estándar se interpretó como un indicador de inconsistencia o insuficiencia en los registros de entrada.

## Evaluación y selección de modelos de distribución potencial

La evaluación de cada modelo se realizó con diferentes técnicas. En primer lugar se evaluó con las curvas ROC (*receiver-operating classifier*), en las que se muestra gráficamente la sensibilidad (verdaderos positivos) contra 1-especificidad (verdaderos negativos). Posteriormente se seleccionaron los modelos cuyo valor de AUC (área bajo la curva) de los datos de entrenamiento fuera  $> 0,75$  (Elith *et al.* 2006).

La opción de replicación permite evaluar la desviación estándar de los valores de probabilidad para el conjunto de réplicas generadas y definir la coherencia del modelo de consenso, de acuerdo con lo sugerido por Anderson *et al.* (2003). El método de replicación usado fue el de *bootstrap*. En la gráfica ROC se representa como la franja de color azul (figura 7).

Figura 7. Ejemplo de curva ROC para un modelo generado en *MaxEnt*





Se emplearon los valores de *Minimum Training Presence* (MTP) y *10 Percentile* (10PCT) como umbrales para reclasificar los valores de probabilidad y traducirlos en mapas de presencia/ausencia para cada especie. Dicho resultado fue evaluado respecto al área de distribución conocida para cada especie. Se seleccionaron solo los modelos que presentaran coherencia con dicha distribución.

### Modelos de distribución geográfica potencial (SDM) a nivel de especies

La fauna y la flora, como elementos bióticos de los ecosistemas de páramo, contribuyen a su funcionamiento y por lo tanto también a su definición. En este sentido, ambos componentes bióticos funcionan como criterios que aportan a la "búsqueda y mantenimiento de la integridad ecológica de los ecosistemas de páramo" (Rivera y Rodríguez 2011, p. 18), en el marco de los principios generales que deben guiar el proceso de delimitación de los páramos colombianos.

De acuerdo con revisiones de diferentes autores y el apoyo de especialistas de los grupos de fauna y flora analizados se estableció como criterio de selección la capacidad de un conjunto de especies para indicar la transición del bosque altoandino hacia el páramo. De esta manera se identificaron diferentes especies de fauna y flora que pudieran aportar información para el proceso de mapeo de los páramos.

En general la selección de especies de flora se basó principalmente en la recopilación hecha por Rangel-Ch (2000), que en plantas reporta cerca de 124 familias, 644 géneros y 4696 especies. Se recopilaron 1930 registros que corresponden a 191 especies, de las cuales 62 cumplieron con los requerimientos mínimos para su uso en modelamiento.

Para la zona de páramo se analizaron diferentes especies características (principalmente especies de la subtribu *Espeletiinae*), teniendo en cuenta que muchas de estas son endémicas de este ecosistema (Luteyn 1999), hacen parte del proceso de sucesión ecológica (Vanegas y

Rivera s.f.) y se presentan en la mayor parte de las subfranjas. Algunas se encuentran en categorías de amenaza a nivel nacional y global e incluso pueden estar en riesgo por los efectos del cambio climático (Calderón *et al.* 2005, Diazgranados *et al.* 2009).

Además de especies rosetales se tomaron en consideración elementos arbustivos representativos de los páramos y subpáramos, entre ellos especies de los géneros *Diplostephium* y *Pentalia*. De igual forma, comprendiendo la franja baja del subpáramo, se incluyeron especies de los géneros *Aragoa*, *Bejaria*, *Cavendishia* y *Gaultheria*; dichos géneros son reconocidos por Sklenár *et al.* (2011) como neotropicales y con distribución restringida a las franjas inferiores de los páramos.

En el caso de fauna se priorizaron los grupos de aves, anfibios y mamíferos, de acuerdo con lo mencionado por Rangel-Ch (2000), para un total de 112 especies. Sin embargo, se ha considerado la posibilidad de incluir posteriormente otros grupos como reptiles y mariposas, cuya representatividad en cuanto a riqueza de especies es considerable para la alta montaña (Rangel-Ch 2000).

En el grupo de las aves se tuvieron en cuenta aquellas especies que según Hilty y Brown (1986) tienen un rango de distribución a partir de los 2600 m s.n.m. (57 especies de aves). En el caso de los anfibios se partió de la lista de anfibios paramunos publicado por Lynch y Suárez-Mayorga (2002) y se complementó con los reportes de especies endémicas para la serranía de Perijá, de Moreno y Medina (2007), para un total de 50 especies. Finalmente, en el grupo de mamíferos solo se incluyeron aquellas especies cuya distribución partiera de los 2600 m s.n.m. (cinco especies en total), de acuerdo con lo definido por Alberico y colaboradores (2000).

Para su uso en el proceso de revisión de la cartografía se integraron por adición todos los modelos seleccionados, manteniendo flora y fauna por separado.

### Modelo de distribución geográfica potencial (SDM) por localidades de páramo

Usando el enfoque de modelamiento de la distribución geográfica potencial de especies ya mencionada se modeló la distribución potencial del páramo (como conjunto de formaciones florísticas predominantemente herbáceas y arbustivas), basando los modelos en un conjunto de variables bioclimáticas y registros de localidades de páramo, publicados en Rangel-Ch (2000) y Luteyn y Gavilanes (1999).

A pesar de que la aplicación más conocida para los modelos de distribución es la de modelar la distribución geográfica de especies, estas técnicas pueden ofrecer la posibilidad de aplicar dicha perspectiva a niveles jerárquicos superiores como el de comunidad y ecosistema, toda vez que la distribución geográfica de estas entidades biológicas está parcialmente determinada por "n" variables ambientales. Esta perspectiva ha sido empleada entre otros por Deblauwe *et al.* (2008), Pliscoff y Fuentes-Castillo (2011) y Riordan y Rundel (2009).

Para este caso, cuyo objetivo fue evaluar la posibilidad de modelación de la distribución geográfica potencial del páramo como ecosistema, usando un conjunto de variables climáticas (Hijmans *et al.* 2005; tabla 3) y registros de localidades previamente verificadas, se emplearon 8 de las 19 variables de *Worldclim*, teniendo en cuenta que fueran las menos correlacionadas entre sí y que tuvieran algún tipo de importancia ecológica para la definición de la entidad a ser modelada (W. Thuiller, A. Guisan y N. Zimmerman, com. pers.).

Por lo tanto, se seleccionaron las variables relacionadas con los valores máximos y mínimos, los promedios anuales y las variaciones estacionales de la temperatura y la precipitación, basados en el hecho de que el páramo se ve fuertemente influenciado por las variaciones extremas de la temperatura y la precipitación (Rangel-Ch 2000).

**Tabla 3.** Variables bioclimáticas utilizadas en la modelación de las localidades de páramo

Código	Variable
BIO 1	Temperatura promedio anual
BIO4	Estacionalidad de la temperatura
BIO5	Temperatura máxima del mes más cálido
BIO6	Temperatura mínima del mes más frío
BIO 11	Temperatura promedio del trimestre más frío
BIO 12	Precipitación anual
BIO 13	Precipitación del mes más húmedo
BIO 14	Precipitación del mes más seco
BIO 15	Estacionalidad de la temperatura

Como registros de presencia se usó la base de datos de localidades de páramo, compilada por Rangel-Ch (2000), que incluye registros a su vez compilados en Luteyn y Gavilanes (1999). Previo a la modelación se evaluó y depuró la georreferenciación de los registros. Este proceso consistió en eliminar aquellos sin coordenadas (ubicados por fuera del territorio continental, en áreas urbanas localizadas a altitudes inferiores a 3000 m s.n.m., en otras localidades ubicadas por debajo de 2700 m s.n.m. o sobre los 4800 m s.n.m.) y en descartar las localidades duplicadas (más de un registro ubicado en un mismo píxel).

Se estableció entonces un número de 25 réplicas usando el método de *bootstrap* y se ajustó la configuración para que usara el 70 % de los datos como de entrenamiento y el 30% de los datos como conjunto de prueba para evaluar el modelo. La calidad de los modelos resultantes fue evaluada teniendo en cuenta dos criterios: en primer lugar, el valor de AUC (área bajo la curva) de los datos de entrenamiento, el cual se sugiere que sea mayor de 0,75 con un valor de  $p < 0,05$  (Elith *et al.* 2006), en se-

gundo lugar, la tasa de omisión de los datos de entrenamiento, cuya curva no debería superar la tasa de omisión predicha (gráfica resultante del análisis de omisión y comisión que realiza *MaxEnt*). Finalmente, el modelo fue reclasificado en términos de presencia/ausencia.

Los modelos de distribución de especies y del ecosistema en general sirvieron de base para identificar posibles límites para los páramos, por lo cual se usaron de manera independiente a las variables climáticas. A su vez, estos modelos, al ser de baja resolución espacial, permitieron establecer diferentes "hipótesis" sobre la presencia y distribución de los páramos en el país, a la vez que sirvieron de apoyo para sugerir un primer límite altitudinal para cada uno de ellos (ajustado a la cartografía base oficial 1:100.000). Posteriormente, se sometieron estos límites a un proceso de validación y ajuste en el cual participaron todas las autoridades ambientales regionales que tienen páramos en su jurisdicción, así como el grupo de asesores científicos del proyecto.

### 5.2.3 Identificación de aspectos edafológicos y morfogénicos

Siguiendo los criterios de delimitación, y a manera de complemento de los modelos ya descritos, empleamos diferentes indicadores de factores abióticos que inciden en la formación del ecosistema de páramo, entre ellos los sistemas morfogénicos y geoformas, así como las unidades de suelos.

#### 5.2.3.1 Formaciones superficiales (geoformas) asociadas a las últimas glaciaciones y procesos actuales

Una de las características fundamentales de los ecosistemas de alta montaña es el relieve en sí mismo. De acuerdo con Flórez (2000), una de las condiciones para la existencia de los páramos en las latitudes ecuatoriales son las

altitudes elevadas y temperaturas relativamente bajas. Dicha condición se desarrolló en el territorio colombiano a partir del levantamiento de las cordilleras hace de siete a cinco millones de años (final del periodo Terciario) exponiendo extensos territorios a nuevas condiciones de temperatura, inestabilidad y humedad.

El páramo como geosistema se formó entonces gracias al levantamiento de las cordilleras andinas, proceso que continúa en el presente (Flórez 2003). El periodo Cuaternario se caracterizó por la sucesión de periodos fríos o glaciales y la formación de masas glaciares (glaciaciones).

Flórez, *et al.* (2010) proponen el uso del término montaña alta, definida de acuerdo con las condiciones estructurales orogénicas, y morfo-climáticamente por las herencias y funcionamiento actual; dichos autores consideran la alta montaña como el espacio a partir del cual operaban los procesos periglaciares durante la última glaciación (periglacial heredado). Asimismo, establecen que el modelado periglacial heredado tiende a coincidir con el piso bioclimático altoandino, marcando su inicio (de abajo hacia arriba) sobre los 2700 m s.n.m. aproximadamente, principalmente en sectores de la cordillera Oriental.

Dicho proceso generó las condiciones ambientales que permitieron el desarrollo de la vegetación conocida actualmente. Los cambios ambientales que se han dado posterior al periodo explican las diferentes adaptaciones y fluctuaciones altitudinales (zonales) de la vegetación de páramo, de allí la importancia de su reconocimiento. Los elementos del paisaje que marcan dicha dinámica constituyen las evidencias del movimiento (acumulación/retiro) de los glaciares, presentes en las cumbres andinas especialmente durante el Pleistoceno.

La formación y posterior retiro (o retroceso) de las masas glaciares modeló superficialmente el relieve, cuya expresión más clara la constituyen los depósitos morrénicos longitudinales, los cuales se definen como depósitos detríticos

originados en el trituramiento del sustrato rocoso por el movimiento de las masas glaciares.

De acuerdo con lo anterior, para la identificación de los páramos se consideraron los límites altitudinales asociados al modelado periglacial heredado (2700 a 3200 m s.n.m.) y al modelado glacial heredado (3200 a 4200 m s.n.m.) y registrados a escala 1:200.000 en el Proyecto Geosistemas de Alta Montaña (UNAL-IDEAM, 1997) y a escala 1:500.000 en el Proyecto Sistemas Morfogénicos del Territorio Colombiano (Flórez *et al.* 2010).

El uso de este indicador requiere comprobaciones de campo y apoyo en criterios complementarios. K. Robertson (com. pers.) reconoce la importancia del criterio pero afirma que el mapeo de la franja altitudinal ligada a los procesos periglaciares heredados es de hecho difícil, aun empleando fotografías aéreas, y puede que su extensión sea menor a la registrada.

Las evidencias en campo de estos procesos están asociadas a las morrenas transversales (formas y materiales producto del avance glacial) y a la presencia de gravillas, producto del proceso de selección granulométrica ligado al escurrimiento difuso en condiciones periglaciares (Flórez 2003). Adicionalmente, dada la escala y bases cartográficas preexistentes en dichos proyectos, hemos encontrado que el uso de esta información requiere de una adaptación a bases cartográficas actuales, dificultando su uso y análisis con datos más recientes.

#### 5.2.3.2 Características edafológicas representativas de la alta montaña

Un indicador de la distribución y límites inferiores de los ecosistemas de páramo es la presencia de varios grupos taxonómicos de suelos, específicamente aquellos que se formaron bajo condiciones extremas de relieve y bajas temperaturas. Los grupos predominantes en la franja



del páramo bajo (3000 a 3250 m s.n.m.) lo constituyen andisoles, inceptisoles, entisoles e histosoles (Malagón 2000).

La mayoría de ellos son suelos jóvenes, poco evolucionados (baja mineralización) y con alto contenido de materia orgánica, lo cual marca su importancia en el almacenamiento de carbono y retención hídrica. Las variaciones en la distribución geográfica de estos órdenes están determinadas por las condiciones de humedad y temperatura, que regionalmente son explicadas por la exposición de las vertientes de las cordilleras y localmente por la disposición del relieve y procesos asociados al frío (criogenia y baja actividad biológica) y a la inestabilidad del terreno.

Asimismo, reconocemos variaciones importantes en la conformación de los suelos, de acuerdo con el sustrato geológico, información que recientemente fue facilitada por INGEOMINAS a escala 1:100.000 y 1:200.000.

Con apoyo de la Subdirección de Agrología del IGAC, consistente en la selección y suministro de la cartografía de suelos originada en estudios departamentales a escala 1:100.000, se incorporó esta variable como indicador de los límites inferiores del geosistema. Los tipos de suelos asociados a condiciones extremas de temperatura (regímenes críticos, en temperaturas inferiores a 8°C) se asocian a la dinámica periglacial actual (superpáramo y páramo en la escala bioclimática) al tiempo que los



suelos derivados de regímenes isomésicos (temperaturas entre 8° y 15°, 3600/3800 a 3000 m s.n.m.) se pueden asociar a las formaciones de subpáramo y bosques altoandinos.

#### 5.2.4 Respuestas espectrales de la vegetación en imágenes satelitales ópticas de media y alta resolución

Un método complementario para el mapeo de los ecosistemas de páramo es la interpretación de imágenes satelitales. Para ello hacemos uso del marcado contraste en la respuesta espectral que un sensor remoto puede registrar de la cobertura asociada a formaciones vegetales ralas y arbustivas (muchas de ellas típicas de la vegetación de páramo), frente a la que caracteriza las formaciones boscosas densas.

El uso de esta aproximación permite determinar eficientemente la distribución de los ecosistemas, independientemente de su zonalidad, pues su identificación en la imagen no depende de variables climáticas. No obstante, se requiere precisar las respuestas espectrales típicas de diferentes formaciones vegetales asociadas inequívocamente al páramo, y a sus variaciones ambientales, que han sufrido diferentes disturbios de carácter antrópico. Las imágenes satelitales pueden estar afectadas por interferencias atmosféricas y factores topográficos, lo cual puede limitar su uso, particularmente en áreas de trabajo predominantemente montañosas.

En primera instancia se usaron imágenes satelitales de resolución espacial media (30 a 70m) de la década de los ochenta. Con ello buscamos establecer los patrones de distribución y dinámica de transformación de los ecosistemas de páramo, gracias a que permiten un barrido general (cobrimiento nacional) y fechas relativamente homogéneas, y establecer los límites del ecosistema en condiciones de menor disturbio frente al momento actual.

Por otra parte, el Banco Nacional de Imágenes, administrado por el IGAC, suministró un amplio conjunto de imágenes satelitales de alta resolución espacial (SPOT y *Rapid Eye*), apropiadas para la identificación y mapeo de los páramos en escalas de hasta 1:10.000. Estas imágenes permitieron tanto la identificación de áreas de páramo no reportadas en el Atlas como la delimitación cartográfica en mayor nivel de detalle, así como analizar el tipo y grado de disturbio, especialmente por quemas, actividades mineras y agropecuarias e infraestructura. Se usaron también imágenes satelitales de media resolución (sensor *Landsat* Proyecto *Global Land Survey*, tomadas desde la década de los ochenta hasta la actualidad).

#### 5.2.5 Mapeo preliminar a escala 1:100.000

Este paso consistió en realizar el trazado preliminar de límites inferiores del páramo, con base en la cartografía base existente y aprobada para usos oficiales, para lo cual se integraron las variables previamente consideradas con sus respectivos atributos (variables cualitativas) o umbrales (variables cuantitativas), y se definió un límite que se ajustara a uno o más criterios, siguiendo los trazados ya existentes (incluyendo límites previamente propuestos por las corporaciones y el Atlas a escala 1:250.000 (Morales *et al.* 2007).

A estos criterios se le añadieron otras áreas que pudieran corresponder a páramo cuando hubo evidencias para ello, a través de la revisión de las imágenes satelitales de alta resolución.

Adicionalmente, se sugirieron franjas de transición hacia bosques altoandinos y andinos, basados en los modelos integrados de especies de fauna y flora construidos y en las estimaciones de tasas de cambio de riqueza de especies (obtenidas a partir de modelos de distribución potencial de especies previamente construidos). Así, las franjas sugeridas cumplieron con los si-



Banco de Imágenes Ambientales (BIA), Instituto Alexander von Humboldt

### 5.2.6 Validación y ajuste para el mapeo final a escala 1:100.000

Los límites propuestos fueron puestos a consideración de funcionarios de las CAR, de Parques Nacionales Naturales y ONG, que frecuentemente poseen estudios de mayor nivel de detalle y conocimiento de campo. Esta tarea se desarrolló mediante la realización de cinco talleres regionales, en donde se expusieron las bases conceptuales y metodológicas, y las propuestas de delimitación de los páramos conforme a lo mencionado anteriormente.

En estos espacios se incorporaron aquellas áreas de páramo que siendo identificadas previamente por las corporaciones autónomas cumplieran con lo dispuesto en la resolución MADS 0937 de 2011. Los insumos y procedimientos empleados, así como las primeras aproximaciones y resultados, contaron con una revisión por parte del grupo de asesores científicos del proyecto.

Siendo la vegetación uno de los indicadores más importantes en la identificación y la delimitación del ecosistema, el resultado final, posterior a la validación y complementación por parte de las autoridades ambientales regionales, fue evaluado usando diferentes bases de datos de especies de plantas características de los ecosistemas paramunos en Colombia. Para ello se emplearon las siguientes fuentes de información:

- Los datos de localidades que reunieron Luteyn y Gavilanes (1999), de diferentes publicaciones y notas de campo para el ecosistema de páramo (682 registros).
- Las localidades de la compilación publicada en Rangel (2000), (602 registros).
- Los registros de la subtribu *Espeletinae* (Diazgranados-Cadello 2012).

guientes criterios propuestos por Rivera y Rodríguez (2011):

- Presencia potencial de elementos bióticos propios de la **transición bosque/páramo**.
- Posible relación con el mantenimiento de procesos ecohidrológicos entre ecosistemas adyacentes (integridad ecológica) y flujo genético entre ecosistemas del mismo tipo (conectividad).



Dicha base de datos (3284 registros para Colombia) posee la mejor compilación de información primaria y secundaria de la subtribu, que abarca cerca de 86 especies de los géneros *Coespeletia*, *Espeletia*, *Espeletiopsis*, *Libanothamnus*, *Paramiflos*, *Ruilopezia* y *Tamania*.

- Registros biológicos puestos a disposición en el Sistema de Información sobre Biodiversidad (SIB), conformando un recurso de información con 2250 registros.

Es conveniente resaltar que la información de las bases de Luteyn y Gavilanes (1999) y Rangel (2000) en gran parte presentan coordenadas representadas por grados y minutos y en algunos casos dicho dato está ausente. Debido a esto se procedió a la depuración parcial de la información, reubicando algunos puntos a partir de la referencia de la localidad. Además se realizó la selección de los registros que se encontraron en el área de estudio. Finalmente estas bases contaron con 507 registros (Luteyn y Gavilanes 1999) y 496 (Rangel 2000).

El procedimiento de validación consistió en ubicar geográficamente los registros de las bases de datos mencionadas, al mayor nivel de precisión posible, y en calcular el número de registros que se ubicaron por fuera de los polígonos que conforman la cartografía actualizada a 2012, comparándolos contra el insumo anterior (Morales *et al.* 2007), lo cual permitió establecer la tasa de omisión (posibles valores verdaderos no detectados).

### 5.3 Caracterización socioecosistémica: indicadores demográficos y productivos

La caracterización socioecosistémica busca brindar criterios de gestión y manejo

de los páramos posterior a su validación, así como actualizar los contenidos del “Atlas de páramos de Colombia” con información más reciente. Una vez se obtuvo el límite inferior de los páramos del país, ya concertado con especialistas y sector público, se integró al enfoque general una mirada hacia los indicadores que dieran cuenta de aspectos demográficos y socioeconómicos.

Con el fin de reducir el error de estimación de los parámetros demográficos y productivos se seleccionaron únicamente los municipios que tienen más del 50% de su territorio al interior de límites identificados para el ecosistema de páramo.

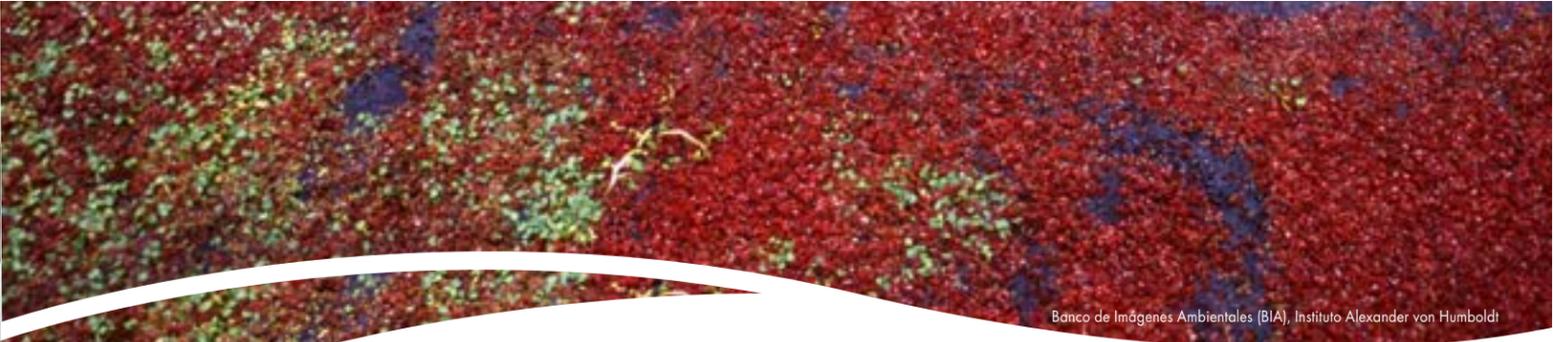
El análisis de la información disponible, bajo el cumplimiento de los criterios de oficialidad y escala, permitió seleccionar los indicadores o estadísticas a ser medidos en relación con la cartografía de los páramos de Colombia obtenida a escala 1:100.000. En este sentido se desarrollaron los planteamientos y cálculos respectivos para los siguientes indicadores:

#### Indicadores demográficos

- Número de habitantes de los municipios con territorio en páramos.
- Índice de desarrollo endógeno para los municipios con presencia de páramos.
- Número y extensión de títulos mineros otorgados en áreas de páramo.

#### Indicadores de transformación del ecosistema

- Tipos de cobertura de la tierra por unidad de páramo.
- Tasa anual de transformación de los ecosistemas.



Banco de Imágenes Ambientales (BIA), Instituto Alexander von Humboldt

## 6. Resultados

### 6.1 Identificación preliminar de áreas de páramos en el país

A continuación se presentan los modelos obtenidos para la identificación preliminar de las áreas de páramo del país:

- Modelo 1. Umbrales térmicos para localidades de páramo registradas.
- Modelo 2. Zonificación altitudinal de ecosistemas de alta montaña, según Van der Hammen *et. al.* (1983-2007).
- Modelo 3. Integración de modelos de distribución potencial de especies de flora representativas de la transición bosque-páramo.
- Modelo 4. Integración de modelos de distribución potencial de especies de fauna representativas de la transición bosque-páramo.
- Modelo 5. Distribución potencial de páramos, basada en localidades de comunidades florísticas.

#### Indicadores relativos a jurisdicciones territoriales (administrativas) y áreas protegidas

- Superficie y porcentaje de páramo por jurisdicción de la corporación autónoma regional y de desarrollo sostenible.
- Superficie y porcentaje de páramo con áreas naturales protegidas declaradas.
- Superficie y porcentaje de páramo en territorios colectivos indígenas (resguardos) y afrocolombianos.

Estos indicadores permitieron dar cuenta del estado de conservación de los complejos de páramo, con especial énfasis en los procesos de transformación de la cobertura que caracteriza estos ecosistemas, así como de las características sociodemográficas y económicas más relevantes del entorno local (municipal) de las áreas de páramo.

En esta versión impresa se detallan los indicadores relativos a transformación del ecosistema, demografía y producción minera, considerados fundamentales en la coyuntura actual frente a la restricción de actividades mineras y agropecuarias en el páramo.



Banco de Imágenes Ambientales (BIA), Instituto Alexander von Humboldt

Figura 8a. Umbrales térmicos para localidades de páramo registradas

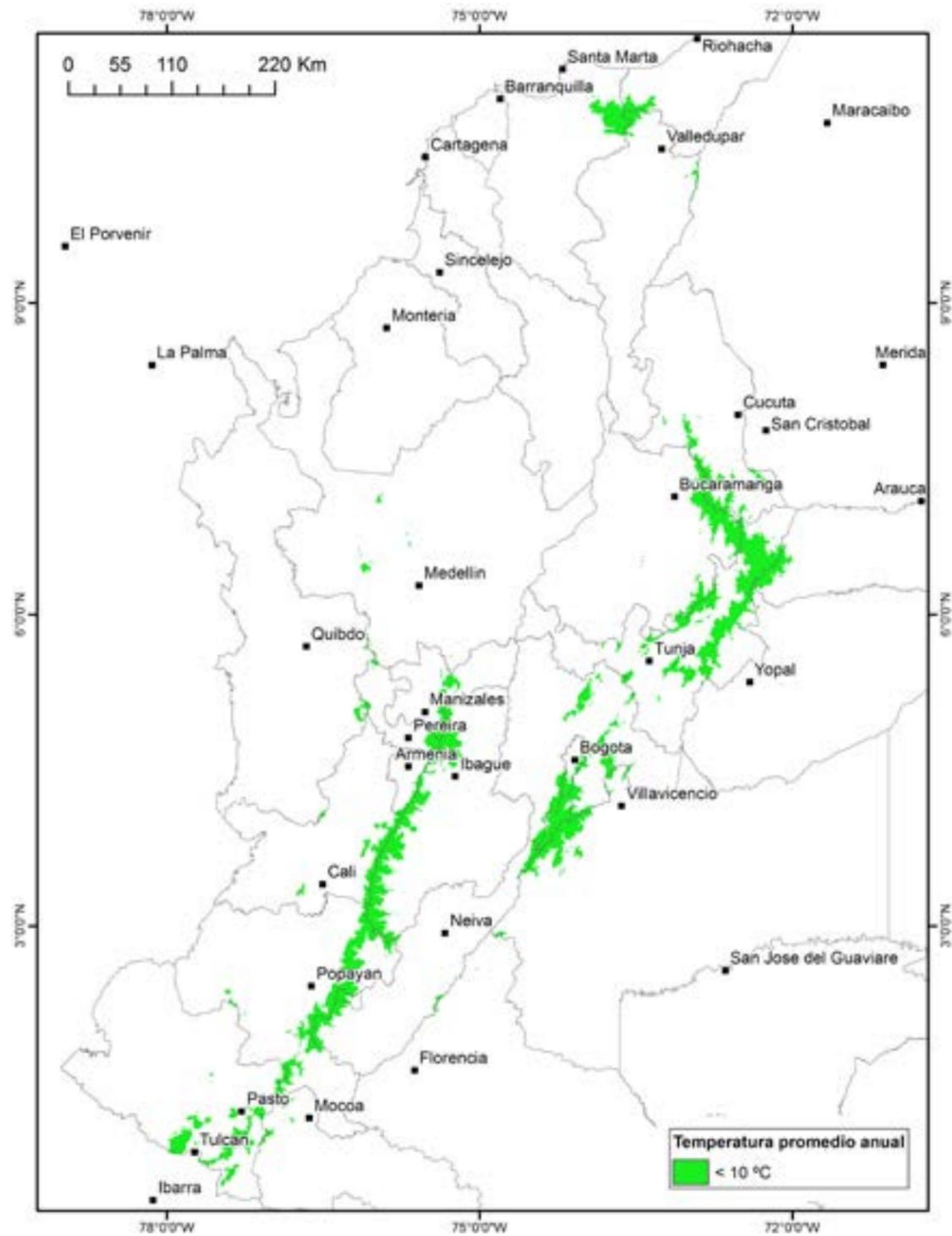


Figura 8b. Zonificación altitudinal de ecosistemas de alta montaña

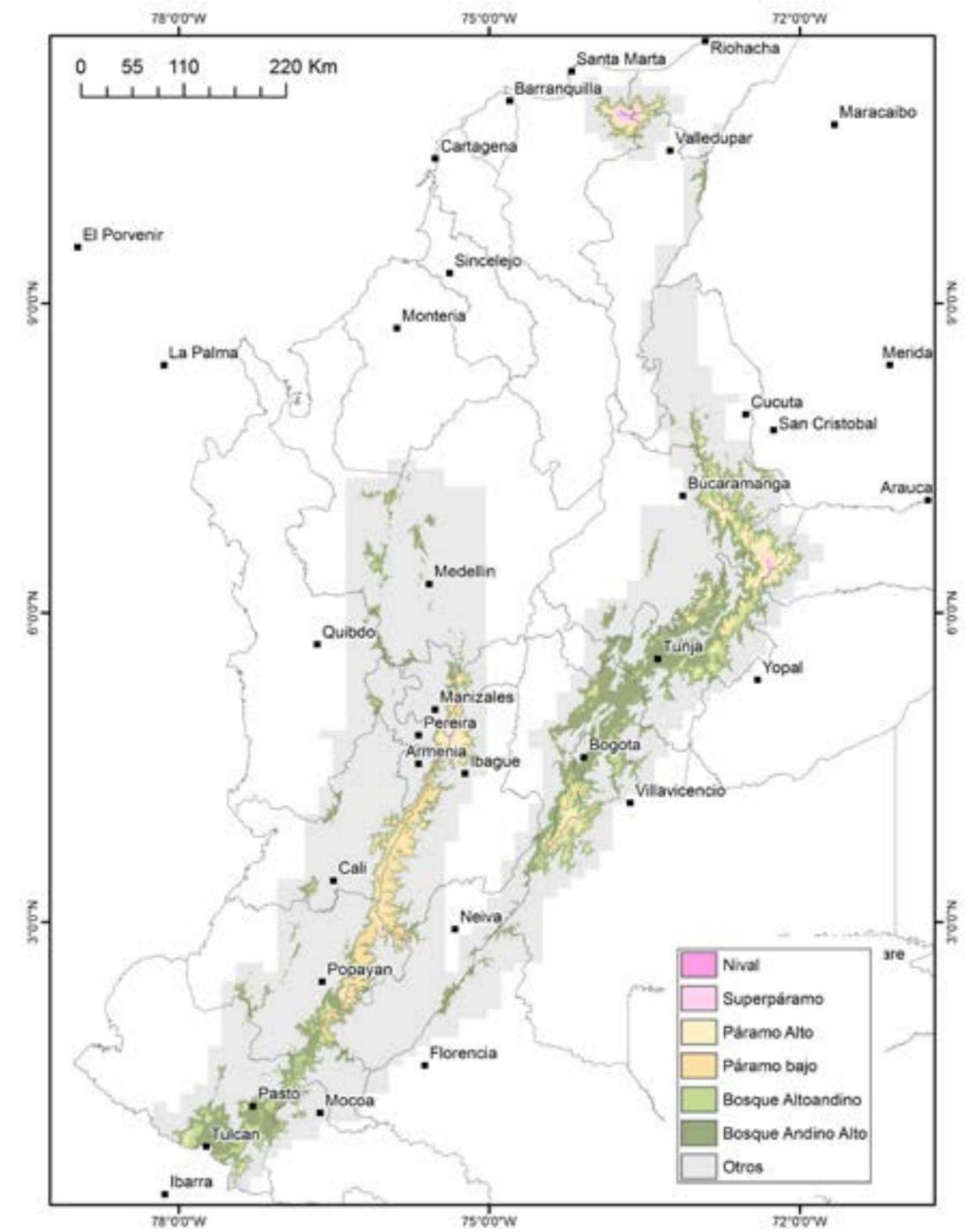


Figura 8c. Integración de modelos de distribución potencial de especies de flora representativas de la transición bosque-páramo

Figura 8d. Integración de modelos de distribución potencial de especies de fauna representativas de la transición bosque-páramo

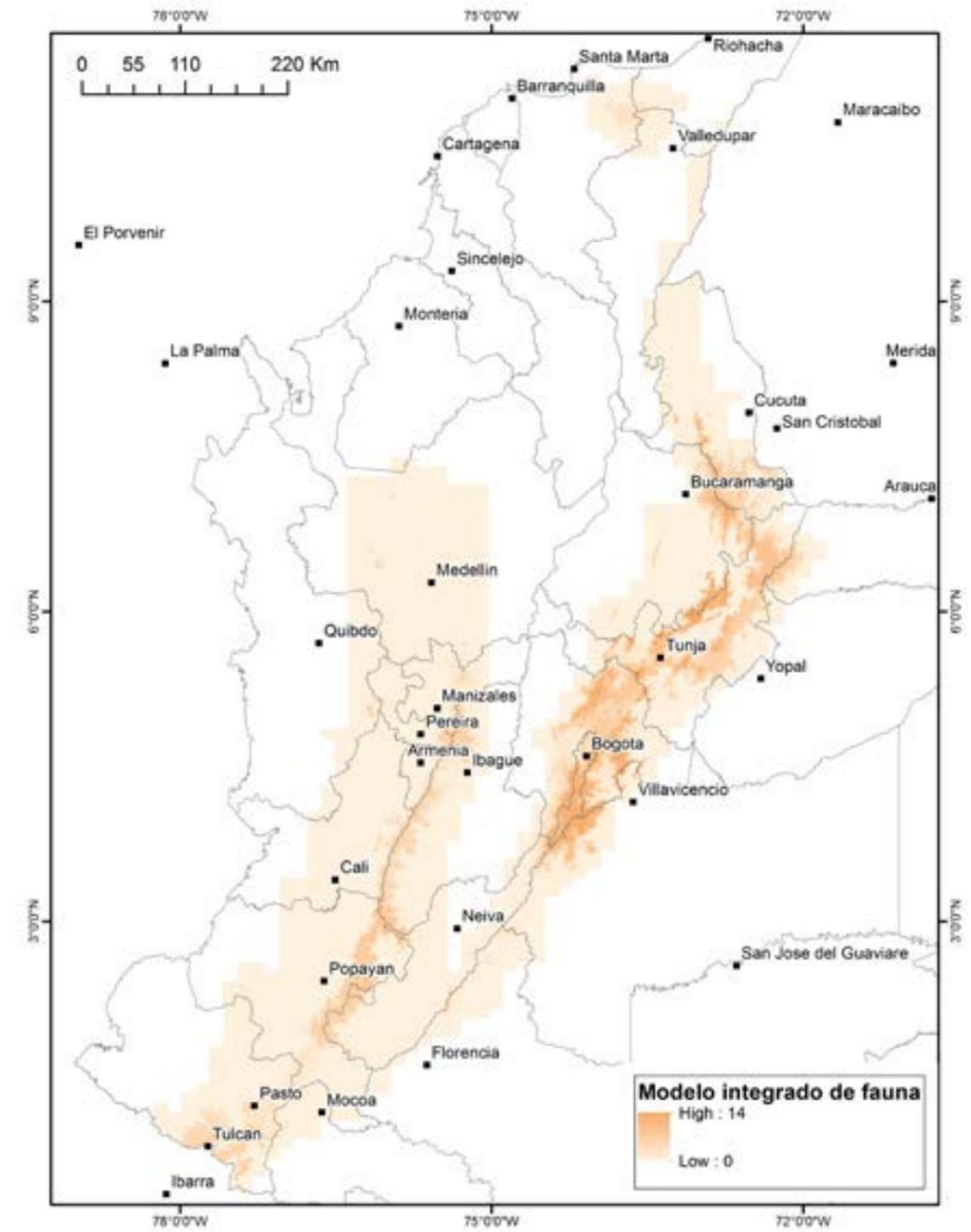
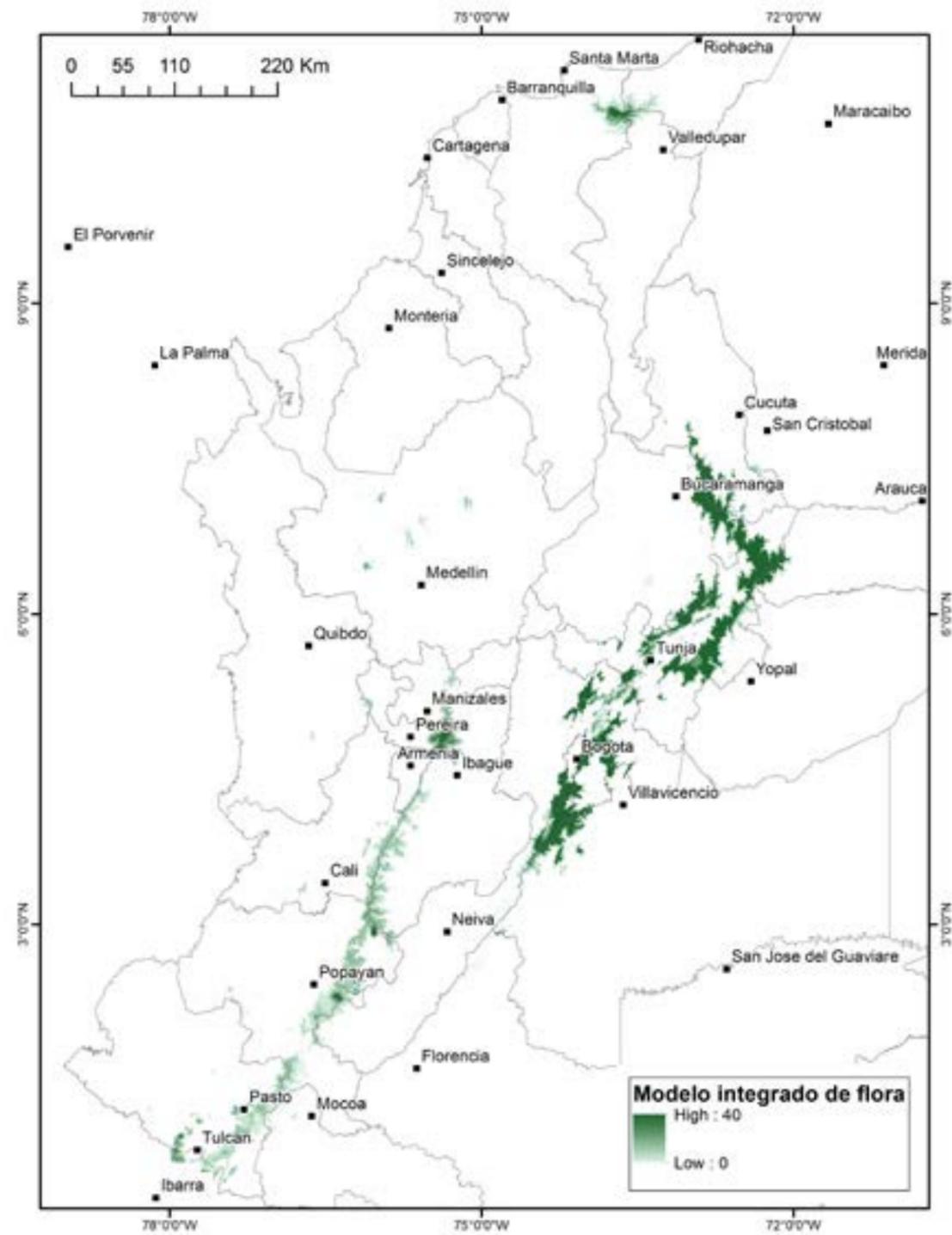
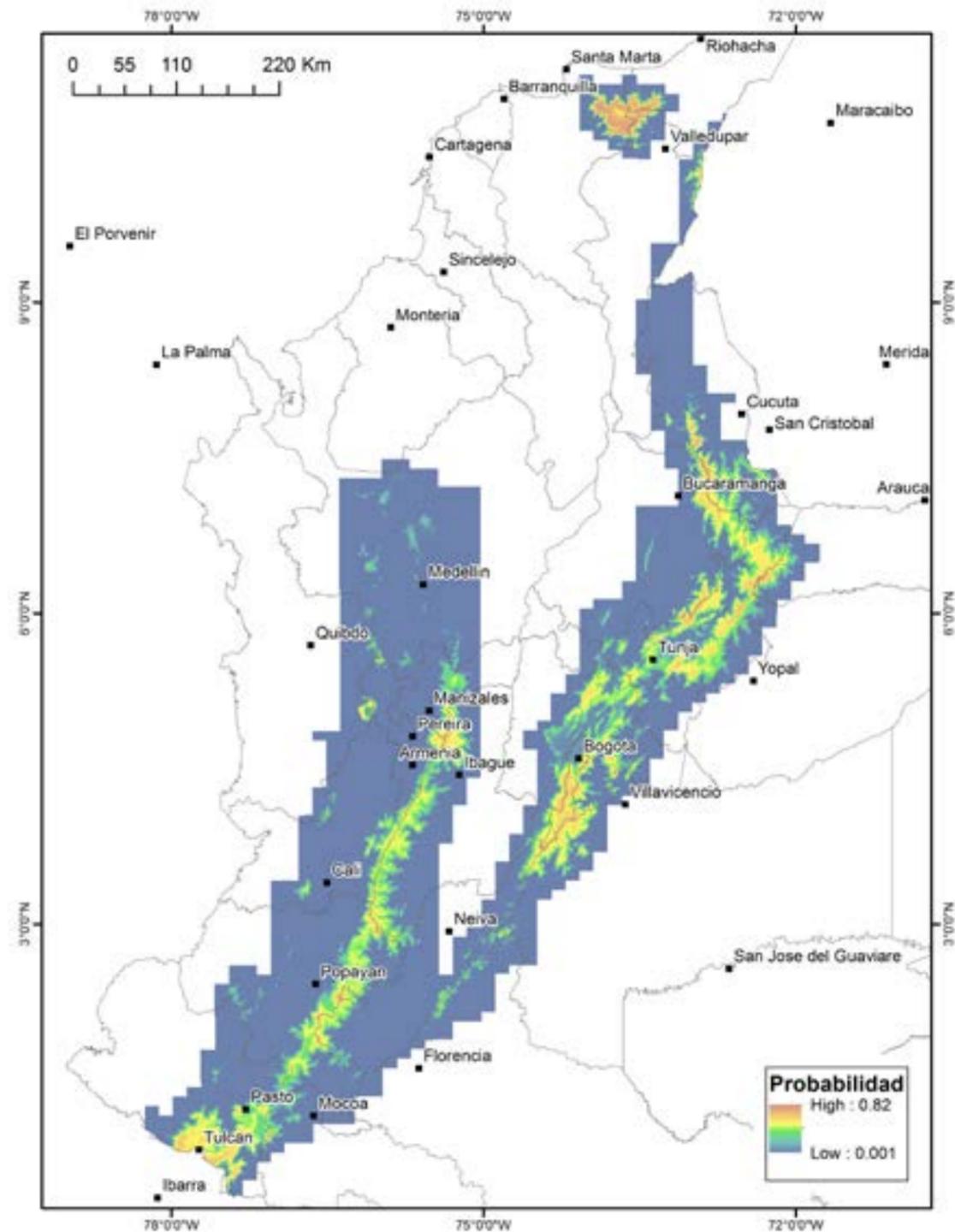


Figura 8e. Distribución potencial de páramos, basada en localidades de comunidades florísticas



Con estos modelos se evaluó el alcance de la versión previa del “Atlas de páramos de Colombia” (Morales *et al.* 2007). Se observó un buen ajuste en comparación con los resultados actuales, ya que no se identificaron áreas con predominio de otro tipo de coberturas que pudieran considerarse completamente ajenas al páramo en sí mismo.

Los métodos de modelación aplicados permitieron identificar las áreas actuales cubiertas por vegetación zonal de páramo, e incluir una franja ecotonal o transición hacia otros ecosistemas altoandinos. La extensión de dicha franja requiere mayor comprobación con datos de campo, lo cual será objeto de fases posteriores, en mayores niveles de detalle cartográfico (1:25.000).

A su vez, los modelos construidos también permitieron trazar hipótesis sobre la presencia de páramos que posiblemente fueron total o parcialmente transformados, al punto de que hoy no se reconoce su existencia en estudios de autoridades ambientales y otras fuentes documentales.

Esta situación fue particularmente frecuente en sectores aislados alrededor de la sabana de Bogotá (superiores a 3100 m s.n.m. +/-100 m) en donde la verificación de la existencia de flora paramuna requiere la aplicación de técnicas diferentes a los levantamientos de vegetación tradicionales por ausencia de remanentes que atestigüen condiciones pasadas.

Las áreas consideradas “azonales”, entre ellas la vegetación natural fuera de los límites de distribución esperados, no fueron objeto de modelación por cuanto su formación se explica en factores edafológicos y topo-climáticos locales que requieren datos de alto grado de resolución espacial, sin embargo, se identificaron con base en imágenes satelitales y estudios previamente existentes que aumentaron la representatividad de estos ecosistemas particulares dentro de los límites propuestos.

En algunos casos fue posible observar que los límites de los complejos de páramos se encuentran debajo de la cota de los 3000 m s.n.m., alcanzando incluso los 2600 m s.n.m. Esto se presenta principalmente por la presencia de páramos azonales, especialmente en

el distrito Nariño-Putumayo y en el complejo Huila-Moras, entre otros, donde al parecer la influencia de suelos volcánicos y formaciones asociadas a depósitos de lava recientes ha favorecido la presencia de vegetación paramuna.

En otros páramos, especialmente en la cordillera Oriental, estos rangos se explican por la inclusión de áreas boscosas, presuntamente ecotonales andinos, frecuentemente (no exclusivamente) en relación con áreas protegidas de orden regional, conforme a la sugerencia de las corporaciones autónomas y a la "Guía divulgativa de criterios para la delimitación de páramos de Colombia" (Rivera y Rodríguez 2011).

Las áreas boscosas presentes se explican por la aplicación del criterio de integridad ecológica (Rivera y Rodríguez 2011) y por su presencia en la matriz dominante de páramo, ya que como se mencionó, en la práctica no son criterios del todo excluyentes pues se documentó la presencia de masas boscosas que en determinadas circunstancias mostraron la capacidad de ascender hasta una cota de 3600 m s.n.m., especialmente sobre valles estrechos de cañadas en vertientes húmedas.

De acuerdo con la identificación de las coberturas presentes dentro de los límites propuestos en el "Atlas de páramos de Colombia" (Morales *et al.* 2007) no se encontraron sobreestimaciones significativas del área de páramo en dicha cartografía, bajo la cual se registran 1 980 454 hectáreas, con diferentes tipos de cobertura asociadas al ecosistema de páramo como áreas boscosas inmersas y adyacentes (predominantemente bosques medios densos según la propuesta de Rodríguez *et al.* 2004).

## 6.2 Complejos de páramos actualizados y validados

Se identificó un total de 2 906 137 hectáreas distribuidas en 140 unidades discretas (polígonos) y clasificadas en sectores (5), distritos (17) y complejos (36), de acuerdo con el sistema propuesto en Morales *et al.* (2007).

Se adicionaron dos complejos: Sonsón, en el departamento de Antioquia, y el del Altiplano Cundiboyacense, el cual contiene diferentes cimas aisladas de la sabana de Bogotá (3100 m s.n.m. +/-100m); estas se encuentran total o parcialmente transformadas (ausencia de vegetación natural) en donde pudo estar presente vegetación subparamuna y paramuna bajo los modelos construidos.

En el anexo cartográfico impreso de este documento se presenta un mapa general a escala 1:1'500.000 de los páramos identificados en 2012, así como diez mapas a escala de impresión 1:400.000 agrupados por distritos. Los resultados del mapeo a escala 1:100.000 se encuentran organizados en 38 hojas cartográficas (anexo digital). Estos mapas incluyen la base cartográfica oficial del IGAC, así como algunos elementos de caracterización relativos al clima, topografía, división político-administrativa y cobertura de la tierra.

De igual forma, en la página web [www.humboldt.org.co](http://www.humboldt.org.co) se ha puesto a disposición diferentes herramientas de consulta de resultados y de la información gestionada durante este proceso. En los siguientes enlaces se pueden consultar la cartografía y tablas de datos asociadas a algunos de los indicadores ya mencionados:

- Complejos de páramos: <http://geocommons.com/maps/206672>
- Indicadores demográficos: <http://geocommons.com/maps/210275>
- Indicadores de estado de conservación: <http://geocommons.com/maps/210896>
- Áreas protegidas: <http://geocommons.com/maps/208512>
- Cambios en la riqueza de ecosistemas (1985-2005) <http://geocommons.com/maps/214955>

Las hojas cartográficas generales y detalladas se pueden consultar en el vínculo <http://www.humboldt.org.co> (Nueva Cartografía de

los Páramos, Diversidad, Territorio e Historia, en proceso de construcción).

La tabla 4 contiene los resultados en cuanto a extensión, identificada para cada uno de

los complejos de páramo del país. Esta actualización supone un incremento del 47% aproximadamente respecto a los límites previamente existentes, que equivale ahora a un 2,55% de la superficie continental colombiana.

Tabla 4. Superficie de los complejos de páramos (2012)

Sector	Distrito	Complejo	Total (ha)
Cordillera Central	Belmira-Santa Inés	Belmira-Santa Inés	10.622
	Macizo Colombiano	Guanacas-Puracé-Coconucos	137.677
		Sotará	80.929
	Sonsón	Sonsón	8.707
	Valle-Tolima	Las Hermosas	208.011
		Nevado del Huila-Moras	150.538
	Viejo Caldas-Tolima	Chilí-Barrangán	80.708
Los Nevados		146.027	
Cordillera Occidental	Duende-Cerro Plateado	Cerro Plateado	17.070
		El Duende	4.454
		Farallones de Cali	4.545
	Frontino-Tatamá	Citará	11.233
		Frontino-Urrao	13.921
	Tatamá	10.930	
Paramillo	Paramillo	6.744	
Cordillera Oriental	Altiplano	Altiplano Cundiboyacense	4.657
	Boyacá	Guantiva-La Rusia	119.750
		Iguaque-Merchán	28.311
		Pisba	106.243
		Sierra Nevada del Cocuy	271.033
	Cundinamarca	Tota-Bijagual-Mamapacha	151.498
		Chingaza	109.956
		Cruz Verde-Sumapaz	333.420
		Guerrero	42.325
		Rabanal y río Bogotá	24.650
	Los Picachos	Los Picachos	23.725
	Miraflores	Miraflores	19.928
	Perijá	Perijá	29.723
Santanderes	Almorzadero	156.552	
	Jurisdicciones-Santurbán-Berlín	142.608	
	Tamá	16.339	
	Yariguíes	4.252	

Sector	Distrito	Complejo	Total (ha)
Nariño-Putumayo	Nariño-Putumayo	Chiles-Cumbal	63.223
		Doña Juana-Chimayoy-Juanoy	69.263
		La Cocha-Patascoy	145.539
Sierra Nevada de Santa Marta	Santa Marta	Sierra Nevada de Santa Marta	151.021
<b>Total general</b>			<b>2.906.137</b>

### 6.3 Evaluación del resultado final

La tabla 5 muestra la evaluación del mapa actualizado a 2012 en relación con diferentes bases de datos que contienen registros de plan-

tas consideradas propias de los ecosistemas de páramo en el país.

**Tabla 5.** Bases de datos de especies de plantas características de los ecosistemas paramunos en Colombia

Versión de la cartografía	Luteyn y Gavilanes (1999)	Rangel (2000)	Base de datos flora (Cadena 2012)	Subtribu Espeletiinae (Diazgranados 2012)
No. de registros en páramo (versión 2007)	241	138	1881	2803
Porcentaje no detectado	52.4%	72.1%	26.2%	14.6%
No. de registros en páramo (versión 2012)	297	158	2110	3002
Porcentaje no detectado	41.4%	68.1%	17.2%	8.5%

Como resultado, se evidencian altos valores de omisión en las bases de Luteyn y Gavilanes (1999) y Rangel (2000). Por el contrario, los valores menores de omisión se reconocen en las bases con mayor número de registros. Este resultado se debe a la precisión en las coordenadas de los datos y a la necesidad de un mayor control de calidad en las coordenadas de las bases de localidades.

Esto también conlleva a evaluar el uso de bases de datos de localidades como fuente de validación y reconsiderar si representan una verdadera omisión, ya que en los listados empleados no hay posibilidad de identificar el origen de los registros, esto es, si corresponden a un sitio de colecta o hace parte de topónimos históricos. Por otro lado, el uso de listados de grupos taxonómicos permite analizar si la omisión puede estar relacionada con las características



Banco de Imágenes Ambientales (BIA), Instituto Alexander von Humboldt

de las especies que la componen, e identificar cuáles registros pueden ser realmente útiles de acuerdo con la correspondencia entre áreas o zonas de vida y especies.

La base de la subtribu *Espeletiinae* (Diaz-Granados 2012) presenta los menores valores de omisión, a pesar de poseer la mayor cantidad de datos. Lo anterior debido a la alta calidad en la georreferenciación y la pertinencia del grupo con el área de la zona de vida evaluada.

Respecto a la ubicación de los registros omitidos en las bases de datos de flora y *Espeletiinae*, la mayoría se presentan en la cordillera Oriental, por lo cual con otra información de soporte es necesario analizar si corresponde a áreas muy transformadas que albergaron dichas especies y no se consideraron en la delimitación o es el resultado de la historia de vida de las mismas.

De acuerdo con los resultados de esta evaluación la delimitación que se propone acoge a gran parte de los registros de un grupo tan característico de los páramos como son las especies de la subtribu *Espeletiinae*, aunque por lo mismo es relevante considerar las razones de las omisiones y si los registros no detectados pueden llegar a incluirse en procesos de mayor detalle.

### 6.4 Caracterización socio ecosistémica: algunos indicadores demográficos y productivos

#### 6.4.1 Indicadores socioeconómicos y demográficos

El 36% del total de municipios del país, equivalente a 400 municipios, posee territorio en los complejos de páramos identificados a 2012. De estos, 10 tienen el 70% de su superficie en páramo y 31 municipios el 50% (tabla 6).

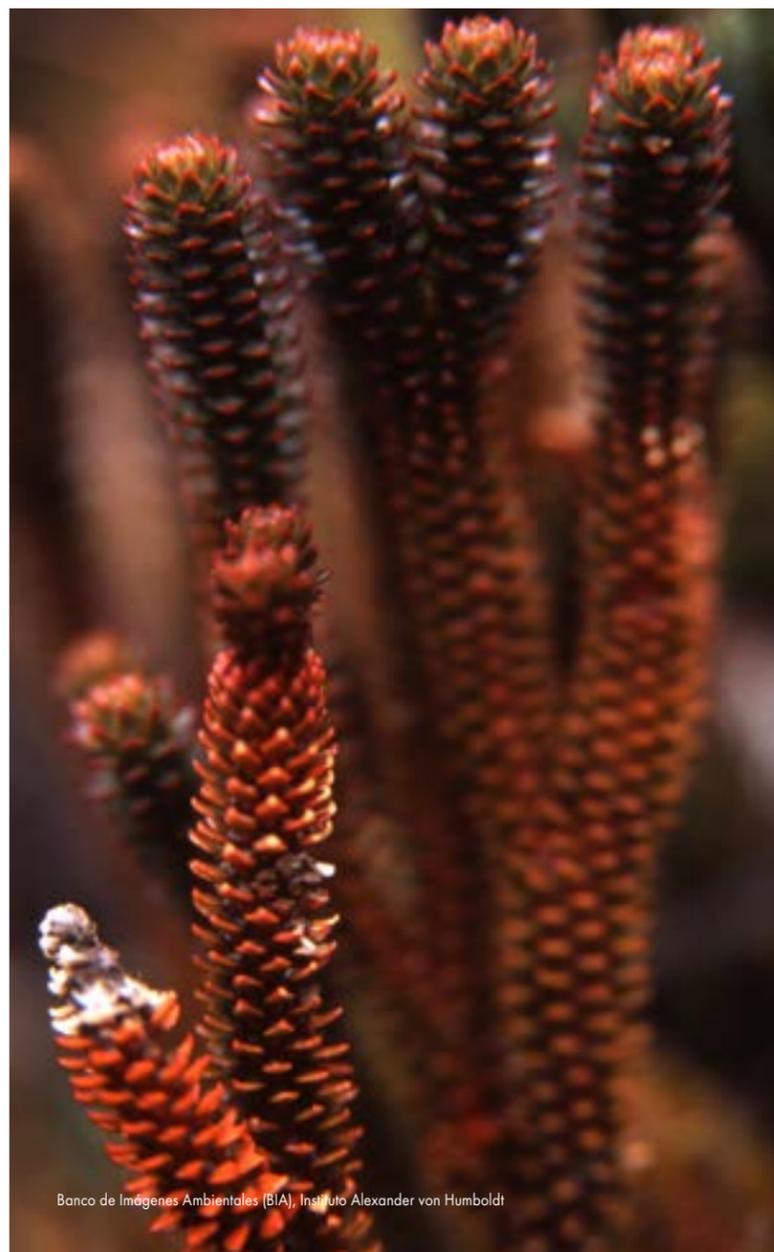
Se identificaron 32 áreas pobladas (corregimientos, inspecciones de policía, entre otros) en los límites de los páramos, acorde con la cartografía base IGAC escala 1:100.000 y como único municipio que tiene ubicada su cabecera al interior de un complejo de páramos (560 habitantes de 1700 en total, según censo de 2005) está el municipio de Vetas en el departamento de Santander.

**Tabla 6.** Municipios con superficie mayor al 50% en los complejos de páramos (2012)

Departamento	Municipio	Porcentaje del municipio en complejo de páramo	
Bogotá, D.C.	Bogotá, D.C.	56,2	
	Aquitania	59,9	
	Belén	54,9	
	Chiscas	78,4	
	Chita	67,0	
	Duitama	52,5	
	El Cocuy	90,7	
	Gámeza	73,9	
	Güicán	81,0	
	Mongua	51,2	
	Boyacá	Monguí	76,1
		Sativanorte	53,2
		Siachoque	52,0
		Socha	62,2
Socotá		65,4	
Sogamoso		50,1	
Susacón		53,4	
Tasco		69,4	
Tota		61,9	
Tutazá		77,2	
Cauca	Puracé	55,7	
Cundinamarca	Fómeque	59,6	
	Une	55,7	
Norte de Santander	Mutiscua	66,7	
	Silos	76,8	
Santander	Carcasí	61,4	
	Cerrito	86,5	
	Concepción	76,5	
	Guaca	54,8	
	Tona	58,3	
	Vetas	82,9	

Fuente: Este proyecto con datos de IGAC (2011).

La tabla 7 muestra la población que habita los municipios que tienen superficie en páramo con respecto a aquellos municipios que tienen más del 50% en los complejos identificados. Se puede observar que cerca de 20 millones de habitantes viven en municipios que tienen superficie en páramos, lo cual equivale a un poco menos del 50% de los habitantes de Colombia. De este porcentaje, un poco más de 7 millones viven en municipios que tienen más del 50% de su superficie en páramo. De ellos 184 000 viven en áreas rurales, según datos del censo 2005, lo cual permite una aproximación a la población total que habita los complejos de páramos en el país.



**Tabla 7.** Población total (mujeres/hombres y cabecera/resto) en los municipios con superficie en páramos

Cod	Variable	Total (400 municipios)	Superficie mayor al 50% en páramo
Población total	Población total (cabecera + resto)	19,655,266	7,185,960
	Hombres total (cabecera + resto)	9,540,005	3,441,023
Total	Mujeres total (cabecera + resto)	10,115,261	
	Total población cabecera	16,144,060	
	Total hombres cabecera	7,703,324	
	Total mujeres cabecera	8,440,736	
	Total población resto (rural)	3,511,206	
	Total hombres resto (rural)	1,836,681	
Total mujeres resto (rural)	1,674,525		

Fuente: Este proyecto con datos de DANE (Censo 2005)

En cuanto a calidad de vida (según Índice de Necesidades Básicas Insatisfechas, NBI) se estima que el 53% de los habitantes de este grupo de municipios presentan algún tipo de carencia. Según datos del Departamento Nacional de Planeación (DNP), 143 000 habitantes de las zonas rurales de estos municipios, aproximadamente, se sitúan bajo el umbral de pobreza multidimensional, lo cual equivale al 77 % de la población rural.

### Actividad agropecuaria

La actividad agropecuaria en páramos no cuenta con datos robustos, dado que las zonas con alturas superiores a 3000 m s.n.m. no han sido incluidas en las encuestas agropecuarias, por lo tanto se emplearon datos de cobertura de la tierra que permiten hacer una inferencia sobre el uso de la misma, especialmente de la actividad agropecuaria (tabla 8).

Por otra parte, según datos del censo 2005, el 87% de las unidades censales de este grupo de municipios tiene algún tipo de activi-

dad agrícola, con un alto porcentaje dedicado a cultivos transitorios no asociados.

Sin embargo, de acuerdo con los datos de cobertura de la tierra a escala 1:100.000 (IDEAM *et al.* 2011), el 13% de la superficie de los complejos de páramos identificados está dedicado a algún tipo de actividad agropecuaria. En esta actividad se registraron 108 667 hectáreas en pastos y 8264 en cultivos transitorios, registrándose las mayores superficies en los departamentos de Santander y Boyacá.

Los tipos de vegetación y cobertura de la tierra presentes al interior de los complejos de páramos actualizados a 2012 están compuestos en un 86% por vegetación herbácea y/o arbustiva (asociada genéricamente a páramo) y bosques, y en un 13% por áreas transformadas. Estas últimas están presentes dentro de los límites propuestos y están asociadas a pastos y mosaicos de pastos y cultivos, conforme a la clasificación de *Corine Land Cover* adaptada a Colombia (IDEAM, 2010b). Las áreas urbanizadas y cultivos (transitorios y permanentes) tienen una participación muy baja (inferior al 1 %) del total del área identificada (tabla 8).

Tabla 8. Coberturas de la tierra por complejos de páramos (datos en hectáreas)

Complejos de páramo	Bosques, vegetación arbustiva y herbácea, entre otros	Áreas agrícolas heterogéneas	Cultivos permanentes	Cultivos transitorios	Pastos	Zonas de extracción minera y escombreras	Zonas urbanizadas	Sin información
Almorzadero	122,474	26,980	-	-	7,085	-	14	-
Altiplano Cundiboyacense	972	3,051	216	215	132	0	-	72
Belmira	9,562	730	-	-	330	-	-	-
Cerro Plateado	13,954	1,663	-	-	912	-	-	541
Chiles-Cumbal	47,548	12,214	-	418	3,043	-	-	-
Chilí-Barrangán	72,808	1,121	-	-	3,486	-	-	3,293
Chingaza	102,046	4,141	725	6	1,998	-	-	1,040
Citará	11,042	29	-	-	142	-	-	20
Cruz Verde-Sumapaz	294,961	25,170	259	-	9,067	-	-	3,963
Doña Juana-Chimayoy	68,333	581	-	-	349	-	-	-
El Duende	4,454	-	-	-	-	-	-	-
Farallones de Cali	4,545	-	-	-	-	-	-	-
Frontino-Urrao	13,697	-	-	-	223	-	-	-
Guanacas-Puracé-Coconucos	123,903	9,983	341	-	3,450	-	-	-
Guantiva-La Rusia	91,834	20,500	102	2,017	4,946	17	-	333
Guerrero	22,389	16,945	750	889	1,258	-	-	94
Iguaque-Merchán	20,791	4,957	-	79	924	-	0	1,561
Jurisdicciones Santurbán-Berlín	110,978	21,382	-	-	10,113	47	88	-
La Cocha-Patascoy	140,265	3,348	-	-	1,925	-	-	-
Las Hermosas	196,200	3,702	-	-	7,118	-	-	993
Los Nevados	100,520	12,609	95	1,602	18,592	-	-	12,609
Los Picachos	23,562	0	-	-	-	-	-	163
Miraflores	19,928	-	-	-	-	-	-	-
Nevado del Huila-Moras	141,950	1,076	-	-	496	-	-	7,016
Paramillo	6,744	-	-	-	-	-	-	-
Perijá	27,070	1,692	-	-	711	-	-	70
Pisba	79,823	20,143	34	897	5,277	-	-	69
Rabanal y río Bogotá	19,205	4,263	580	13	438	12	-	139
Sierra Nevada de Santa Marta	150,480	486	-	-	54	-	-	-
Sierra Nevada del Cocuy	236,019	24,688	-	-	10,326	-	-	-
Sonsón	7,903	23	-	-	782	-	-	-
Sotará	75,481	4,538	6	-	903	-	-	-
Tamá	16,207	8	-	-	79	-	-	-

Complejos de páramo	Bosques, vegetación arbustiva y herbácea, entre otros	Áreas agrícolas heterogéneas	Cultivos permanentes	Cultivos transitorios	Pastos	Zonas de extracción minera y escombreras	Zonas urbanizadas	Sin información
Tamá	10,930	-	-	-	-	-	-	-
Tota-Bijagual-Mamapacha	100,715	32,343	124	2,128	14,511	-	-	1,677
Yariguíes	3,990	221	-	-	-	-	-	40
<b>Total</b>	<b>2,493,285</b>	<b>258,589</b>	<b>3,233</b>	<b>8,264</b>	<b>108,667</b>	<b>76</b>	<b>101</b>	<b>33,692</b>
<b>Porcentaje</b>	<b>85.8%</b>	<b>8.9%</b>	<b>0.1%</b>	<b>0.3%</b>	<b>3.7%</b>	<b>0.0%</b>	<b>0.0%</b>	<b>1.2%</b>

Fuente: Este proyecto con datos de IDEAM et al. 2011.

#### 6.4.2 Indicadores de estado de conservación

##### Dinámica de la cobertura de la tierra en el periodo 1985-2005

La dinámica de la cobertura de la tierra se evaluó con base en la serie de mapas de ecosistemas de los Andes (Rodríguez *et al.* 2005), por contar con una serie de datos en un periodo más amplio (1985-2005). Las tasas de transformación halladas indican una acelerada transformación de los ecosistemas de páramo, y asociados a este último. En particular durante el periodo 2000-2005 se observa un aumento en la tasa de cambio anual para la vegetación de páramo, (equivalente a cerca de 24 000 ha/año) al tiempo que esta tasa (igualmente nega-

tiva) se mantuvo constante para la vegetación boscosa (12 000 ha/año). Otras categorías, entre las cuales se encuentran los humedales altoandinos (turberas, lagos, lagunas, entre otros) mostraron una reducción significativa en ese mismo periodo, sin embargo, para este estudio se consideró que este tipo de elementos deben ser evaluados a mayor escala.

En un periodo de 20 años (1985-2005), el cambio temporal indicó una disminución del 6,8% en las coberturas estrictamente identificadas como páramo; 90,3% en las coberturas de bosques y vegetación secundaria y 6,8% en otras coberturas menos dominantes (sin información). Así mismo, hubo un aumento del 61,3% en las coberturas consideradas antrópicas y un 86,8% en coberturas naturales de otro tipo (tabla 9).



Tabla 9. Evolución de los diferentes tipos de ecosistema en los complejos de páramos

Periodo 1985-2005. Datos en hectáreas

Tipos generales de ecosistemas	1985	2000	2005
Antrópicos	381,011	551,364	614,546
Bosques y vegetación secundaria	1,005,814	952,581	973,721
Otros naturales	12,764	23,706	16,89
Vegetación abierta paramuna	1,213,180	1,104,852	1,130,388
Sin información	293,368	273,634	170,592
Total general	2,906,137	2,906,137	2,906,137

Fuente: Este proyecto con datos de Rodríguez *et al.* 2004

De esta manera, las tasas de cambio de superficies de cobertura presentes en los complejos de páramos muestran que las coberturas denominadas antrópicas tuvieron la mayor tasa de cambio en este periodo (2,4%) (tabla 10).

Tabla 10. Tasas de cambio de superficie de diferentes tipos de cobertura en los complejos de páramos, periodo 1985-2005

Tipos generales de ecosistemas	Tasa de cambio 1985-2005
Antrópicos	2.4%
Bosques y vegetación secundaria	-0.2%
Otros naturales	1.4%
Vegetación abierta paramuna	-0.4%

Fuente: Este proyecto con datos de Rodríguez *et al.* 2005.

### Áreas protegidas y otras figuras de protección

En cuanto al porcentaje de las figuras de conservación bajo las cuales se encuentran incluidas las coberturas que componen el total de superficie de los complejos de

páramos el 39,1% se encuentra bajo figuras de conservación estricta, el 1% bajo otras figuras de conservación, el 4% presenta un uso sostenible y el 56% de hectáreas no están incluidos bajo ninguna figura de conservación (tabla 11).

Tabla 11. Superficie total de los complejos de páramos (2012) incluidos en áreas protegidas

Sin figuras de conservación		Conservación estricta				Otras figuras		Uso sostenible		Total general
ha	%	UAESPNN	%	Otras	%	ha	%	ha	%	
1.623.531	56%	971.139	33%	164.304	6%	18.161	1%	129.003	4%	2.906.137

Fuente: Este proyecto con datos de UAESPNN (junio de 2012), CI (2009) e IDEAM *et al.* (2011)

### 6.4.3 Indicadores asociados a la actividad minera en páramos

Por considerarlo de interés en la coyuntura actual, se efectuó la caracterización de la actividad minera en profundidad en varios aspectos (comparando entre 2008 y 2012, según la disponibilidad de información):

- El estado de solicitudes mineras en páramos
- Títulos mineros vigentes a 2012
- Estado de los trámites ambientales en los títulos registrados

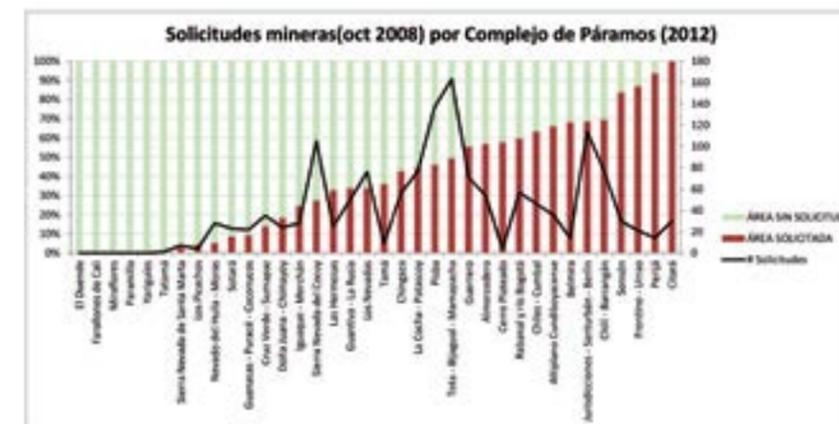
-Actividad minera en páramos y sus municipios asociados

#### Solicitudes mineras

En el caso de los páramos identificados en el año 2012 por el Instituto Humboldt a escala 1:100.000, cuya extensión asciende a las 2 906 137 hectáreas, se encontró que las solicitudes mineras dentro de estos límites en el año 2008 eran 1379 y se extendían sobre 971 777 hectáreas. De los 36 complejos identificados 13 se encuentran con más del 50% de su extensión en proceso de solicitud (figura 9a).

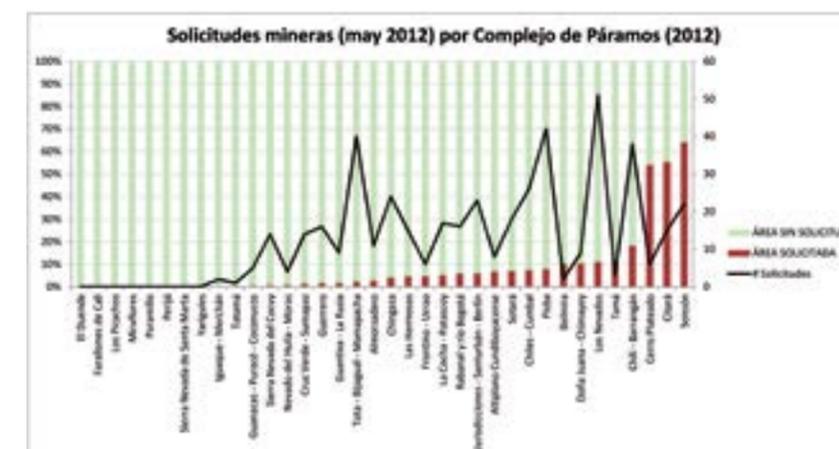
Para las solicitudes vigentes a mayo de 2012 (figura 9b) las cifras disminuyeron, sin

Figura 9a. Porcentaje y número de solicitudes mineras a 2008 por complejo de páramos del 2012



Fuente: Elaboración propia con base en Información de solicitudes mineras con corte octubre 2008 (Ingeominas).

Figura 9b. Porcentaje y número de solicitudes mineras a 2012 por complejo de páramos del 2012



Fuente: Elaboración propia con base en Información de solicitudes mineras con corte mayo 2012 (Agencia Nacional Minera).

embargo, en comparación con los complejos de páramos a escala 1:250.000 se duplicaron en cantidad ocupando cerca de seis veces más extensión. De esta forma, a 2012 existían 444 procesos de solicitud vigentes abarcando 131 200 hectáreas. Esto se debe principalmente a que los complejos actuales de páramos (2012) adicionan cerca de 1 000 000 de hectáreas a las ya identificadas en 2007, las cuales no están siendo tenidas en cuenta por la Agencia Nacional Minera (autoridad minera) en el proceso de aprobación de las solicitudes, ya que la cartografía de páramos adoptada por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible sigue siendo la presentada en el "Atlas de páramos de Colombia" de 2007.

El caso del páramo de Sonsón es un claro ejemplo de la situación descrita anteriormente: este complejo no fue identificado dentro del "Atlas de páramos de Colombia" (Morales *et al.* 2007) y por tanto no es considerado por la

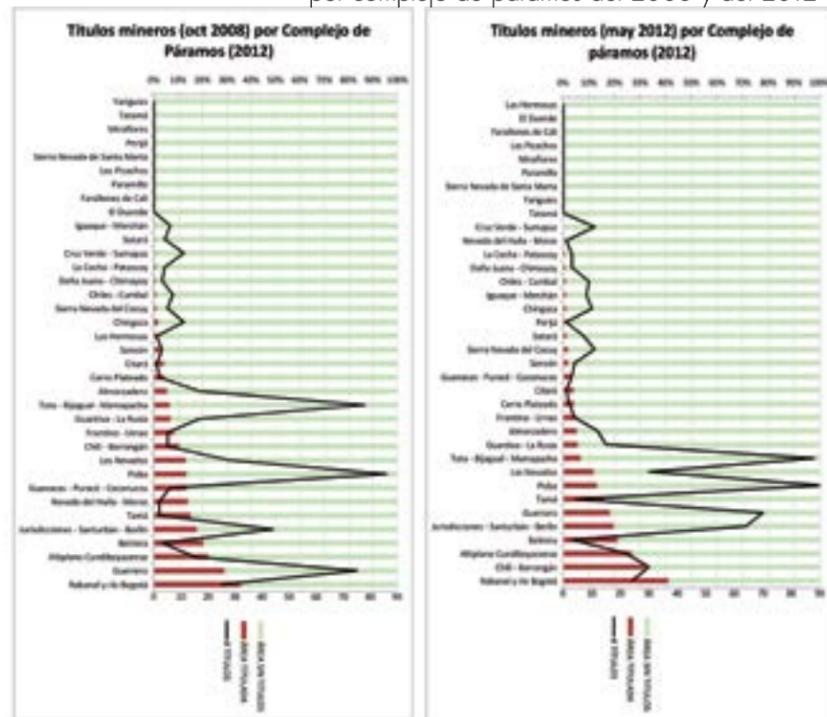
autoridad minera como un área de exclusión; en tal sentido se encuentra solicitado cerca del 40% de su extensión por empresas como AngloGold Ashanti y la Sociedad Soratama, con intereses de extracción de minerales de oro, plata, y cobre.

### Títulos mineros

La titulación minera respecto a los páramos identificados a escala 1:100.000 presentó una disminución en el área concesionada entre 2008 y 2012 de 22 733 hectáreas. Para el año 2008 el 5,9% de los páramos se encontraba con título minero y descendió a 5,1% (150 079 hectáreas para el año 2012).

Las principales disminuciones en áreas concesionadas se presentan en los complejos Guerrero, Guanacas-Puracé-Coconucos y Nevado del Huila-Moras, por las razones ya expuestas (figura 10). Para este escenario, el número de títulos también aumentó durante el

**Figura 10.** Porcentaje y número de títulos mineros a 2008 y 2012 por complejo de páramos del 2008 y del 2012



**Fuente:** Elaboración propia con base en Información de títulos mineros con corte octubre 2008 (Ingeominas) y mayo 2012 (Agencia Nacional Minera).

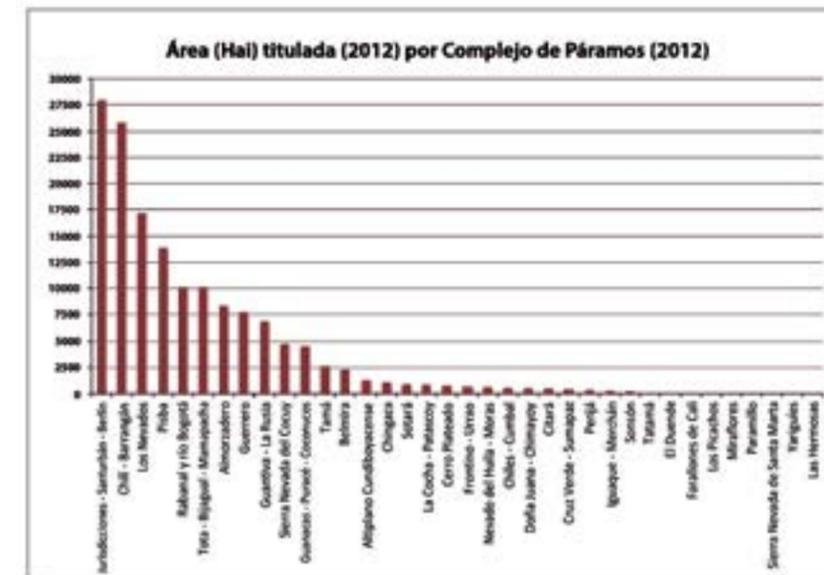


periodo estudiado pasando de 457 (2008) a 522 (2012), otorgados en su mayoría en los complejos Chilí-Barragán, Jurisdicciones-Santurbán-Berlín y Pisba.

En términos porcentuales los complejos más comprometidos en cuanto a titulación minera son Rabanal-río Bogotá, Chilí-Barragán

y el Altiplano Cundiboyacense, sin embargo, en términos de superficie medida en hectáreas quienes encabezan la lista son los complejos de los páramos de Jurisdicciones-Santurbán-Berlín (27 891 hectáreas tituladas), Chilí-Barragán (25 699 hectáreas tituladas), Los Nevados (17 089 hectáreas tituladas) y Pisba (13 897 hectáreas tituladas) (figura 11).

**Figura 11.** Extensión en hectáreas con título minero por complejo de páramos del 2012.



**Fuente:** Elaboración propia con base en Información de títulos minero con corte mayo 2012 (Agencia Nacional Minera).

### Autorizaciones Ambientales para actividad minera en páramos

Según lo establecido en el Código de Minas (Artículo 201 Ley 685 de 2001), en la etapa de prospección no se requiere de autorización o permiso ambiental, aunque si dicha prospección se encuentra en zonas que señala el artículo 34 de la misma ley la actividad se deberá sujetar a las restricciones de tales áreas para el desarrollo de trabajos o investigaciones.

Con el Código de Minas del 2001 la fase de exploración no requería de licenciamiento ambiental, sin embargo, exigía al concesionario minero el trámite de los permisos de uso, aprovechamiento o contaminación de recursos

naturales renovables a que tuviera lugar, los cuales debían ser tramitados ante la autoridad ambiental competente.

La modificación al Código de Minas (Artículo 13 Ley 1382 de 2010), hoy declarado inexecutable, incluyó la fase exploratoria dentro del proceso cubierto por la licencia ambiental, por lo cual el estudio de impacto ambiental debe contemplar las actividades de construcción, montaje y exploración cuando requiera la construcción de vías que a su vez deban tramitar licencia ambiental, la explotación objeto del contrato, beneficio del mineral y labores adicionales de exploración en la etapa de explotación.

Es importante mencionar que en la modificación al Código de Minas se establece que en caso de que a la entrada en vigencia de dicha ley se adelantaran actividades de construcción, montaje o explotación minera con título minero y licencia ambiental o su equivalente en áreas que anteriormente no estaban excluidas (páramos y humedales Ramsar) se respetarían tales actividades hasta su vencimiento, pero estos títulos no tendrían opción de prórroga (Parágrafo 1 Artículo 3 Ley 1382 de 2010).

La información utilizada para determinar los títulos mineros en páramo con algún tipo de Autorización Ambiental para la explotación (licencia ambiental, plan de manejo ambiental o plan de manejo, restauración y recuperación ambiental) fue producto de la recopilación realizada en agosto de 2011 por la Dirección Sectorial del hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. A la fecha de publicación del presente documento no se contó con una base de datos unificada y actualizada.

Dentro de estos límites de páramos se encuentran 67 títulos con autorización ambiental

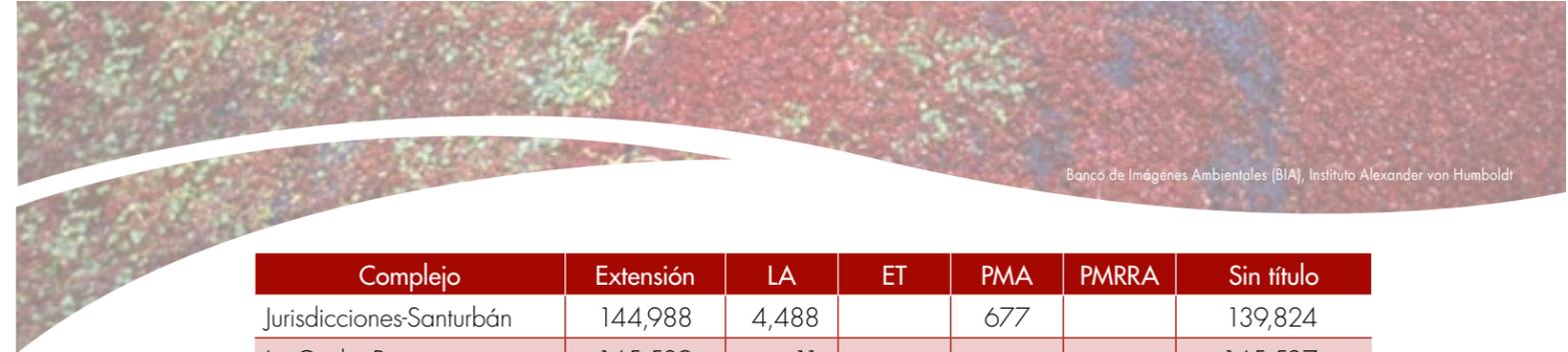
vigente y 43 en trámite. Los 67 títulos cubren un área de 14 315 hectáreas y 29 tienen más del 90% de su superficie dentro de páramo.

Conviene mencionar que existe un reporte de licenciamiento ambiental de títulos mineros entregado al Instituto Humboldt por parte del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, actualizado a septiembre de 2012, en el cual figuran 46 licencias ambientales (12 272 hectáreas) vigentes dentro de páramos, de los cuales 16 tendrían más del 90% de su superficie comprometida.

Con base en lo anterior, se agruparon los títulos por el estado del trámite (tabla 12), en cuanto a si ya cuenta con licencia ambiental, tiene plan de manejo o si este se encuentra en trámite. Los complejos de Santurbán-Jurisdicciones, Almorzadero, así como Pisba y Rabanal-río Bogotá, reúnen en conjunto un total aproximado de 20 000 hectáreas con licencia ambiental en su interior. El complejo de Guerrero es el páramo que cuenta con mayor superficie en trámite correspondiente a 3300 hectáreas, aproximadamente el 10% del área total del complejo.

**Tabla 12.** Superficie concesionada en títulos mineros (2011). Datos en hectáreas

Complejo	Extensión	LA	ET	PMA	PMRRA	Sin título
Almorzadero	151,056	1,629				149,426
Altiplano Cundiboyacense	4,657	360	24			4,273
Chiles-Cumbal	63,223	65		68		63,09
Chilí-Barragán	80,708	150				80,558
Chingaza	109,956	89	96		589	109,181
Cocuy	271,033	25				271,008
Cruz Verde-Sumapaz	333,42	112	143		24	333,141
Doña Juana-Chimayoy	69,263	17				69,247
Guanacas-Puracé-Coconucos	137,677				371	137,306
Guantiva-La Rusia	119,75	450				119,3
Guerrero	42,329	184	3,113	1,231	27	37,774
Iguaque-Merchán	28,311	4				28,307



Complejo	Extensión	LA	ET	PMA	PMRRA	Sin título
Jurisdicciones-Santurbán	144,988	4,488		677		139,824
La Cocha-Patascoy	145,539	11				145,527
Pisba	108,545	8,392				100,153
Rabanal y río Bogotá	24,65	5,819	54			18,777
Sonsón	8,707	87				8,621
Tota-Bijagual-Mamapacha	151,498	1,619				149,879

LA = Con licencia ambiental PMA = Cubierto por plan de manejo PMRRA= Plan de manejo restauración ecológica ET = En trámite

Fuente: Este proyecto con datos de Ingeominas (2011).

### Producción de minerales en páramos

El principal interés mineral en las zonas de alta montaña en Colombia se relaciona con la explotación de carbón y oro. Se examinan a continuación las cifras reportadas por la Agencia Nacional Minera, publicadas a nivel municipal, no según empresa o título minero, lo cual dificulta la aproximación al cálculo de la producción real de minerales provenientes de zonas de páramo.

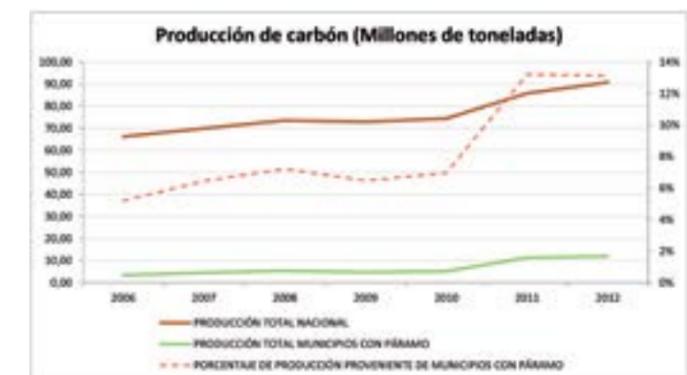
Santander) se encuentra el carbón coquizable y antracitas, de menor cantidad producida pero de mayor precio en la comercialización.

La producción de carbón en los municipios con páramos es baja a simple vista frente al total nacional (figura 12), alcanzando un máximo de participación del 13% en los últimos dos años. Sin embargo, si se excluyen las cerca de 70 millones de toneladas producidas por proyectos como Cerrejón, La Loma, y el Descanso, y se tiene en cuenta la producción del interior del país, es notorio que gran parte del carbón proviene de municipios con ecosistemas de páramo en su jurisdicción (figura 13).

### Carbón

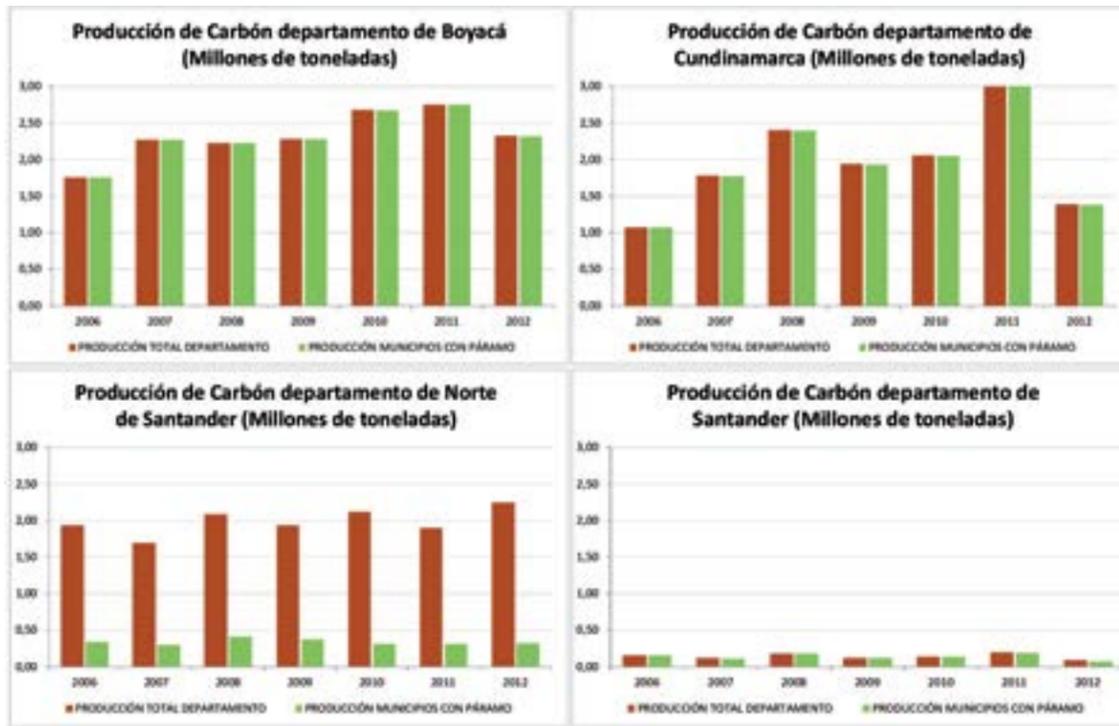
Según la Unidad de Planeación Minero Energética (Upme) Colombia es el país con mayores reservas carboníferas en Latinoamérica, con cerca de 17 000 millones de toneladas en recursos potenciales, de las cuales 7 063 Mt son medidas (Upme, 2006). El carbón térmico se explota en grandes proyectos ubicados en la costa Caribe colombiana (departamentos de La Guajira y Cesar), donde se produce aproximadamente el 90% del carbón del país. En los departamentos andinos colombianos (como Cundinamarca, Boyacá y Norte de

**Figura 12.** Producción de carbón nacional y de los municipios con páramos del país



Fuente: Elaboración propia con base en información de producción de 2006 a sept 30 de 2012 del Servicio Geológico Colombiano.

Figura 13. Producción de carbón departamental total frente a producción de municipios con páramo



Fuente: Elaboración propia con base en información de producción de 2001 a sept 30 de 2012 del Servicio Geológico Colombiano.

## Oro

El reciente auge del oro en Colombia se puede explicar por las alzas internacionales en el precio del mineral, que en el año 2011 alcanzó los US\$ 1.560,84 por onza, es decir, un crecimiento del 142% con relación al precio de 2007 (Upme 2012). Los principales incrementos en la producción se presentaron en los departamentos de Antioquia y Chocó, llegando a producir en 2011 cerca de 33 y 48 toneladas, respectivamente.

Como se aprecia en la figura 14 la participación en la producción de oro de los municipios con ecosistema

de páramo nunca sobrepasa el 10% de la producción nacional.

Figura 14. Producción de oro nacional y de los municipios con páramos del país

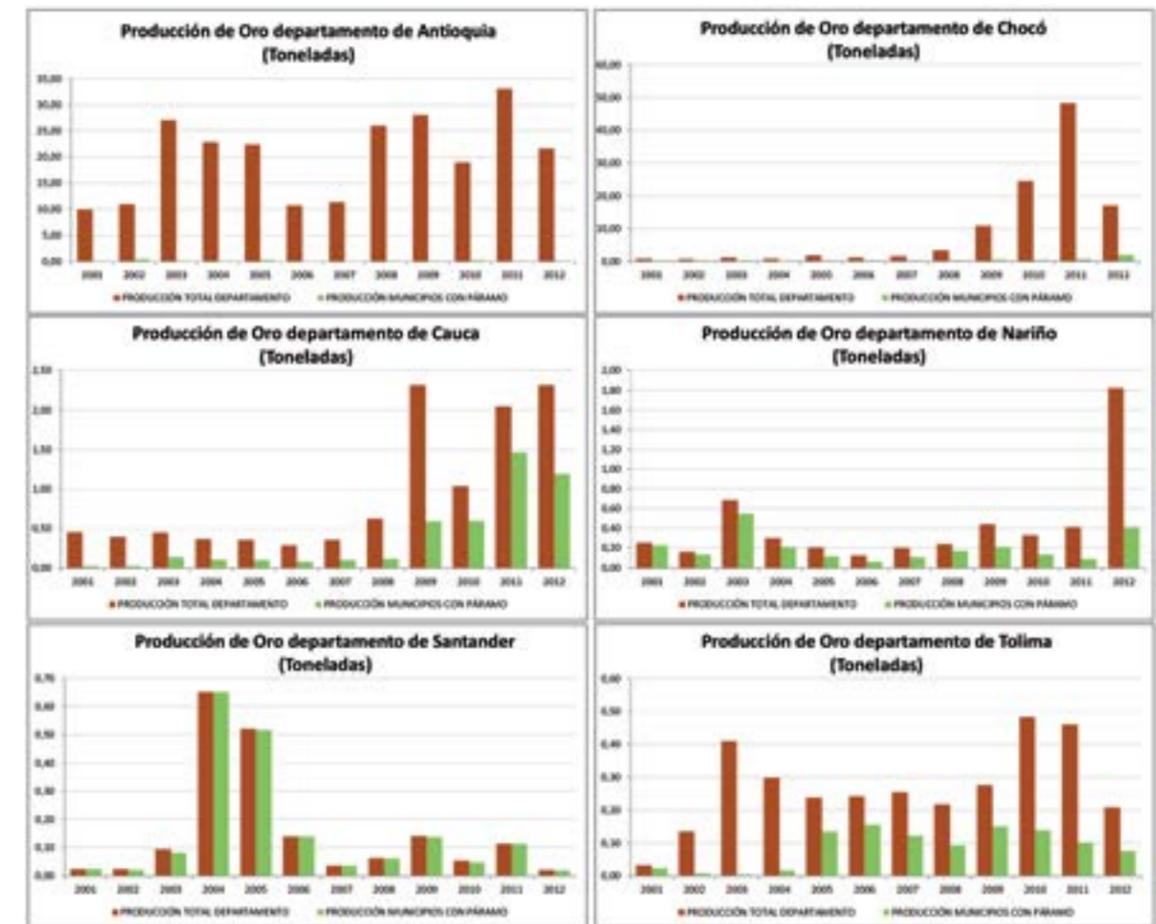


Fuente: Elaboración propia con base en información de producción de 2001 a sept 30 de 2012 del Servicio Geológico Colombiano.

Los dos principales departamentos productores de oro en el país son Antioquia y Chocó (94% del total nacional). La producción de los municipios con páramo de estos dos departamentos es mínima (menos del 1% del total de-

partamental). Sin embargo, en departamentos como Santander más del 95% del oro extraído proviene de municipios con páramo, al igual que un porcentaje considerable de los departamentos de Tolima, Cauca, y Nariño (figura 15).

Figura 15. Producción de oro departamental total frente a producción de municipios con páramo



Fuente: Elaboración propia con base en información de producción de 2001 a sept 30 de 2012 del Servicio Geológico Colombiano.

Dos de los principales proyectos auríferos que se proyectan desarrollar en el país son La Colosa (Anglogold Ashanti) y Angostura (EcoOro Resources), ubicados parcial o totalmente en ecosistemas de páramos. Estos proyectos planean producir anualmente 34,01 t/oro y 7,63 t/oro anuales respectivamente, es decir, el 43% del total nacional producido en

2011. Estas son cifras importantes en el crecimiento del sector aurífero del país, que además suponen una demanda considerable de agua, el uso de cianuro y la ocupación de grandes terrenos para disposición de estériles, sin contar los impactos según el tipo de explotación (subterránea o a cielo abierto).

## 7. Conclusiones

La reciente polémica referente al mandato de exclusión en los ecosistemas de páramo de la realización de diferentes actividades económicas representa un reto en cuanto a la discusión de nuevas amenazas y al levantamiento de información de aspectos funcionales de estos ecosistemas (Rivera y Rodríguez 2011).

Por ello, la delimitación del páramo, para efectos de una gestión efectiva y sostenible, debe considerar el criterio de funcionalidad de los ecosistemas de alta montaña. Lo anterior es pertinente en la medida en que reconoce las diferentes interrelaciones entre el páramo, los elementos boscosos presentes en su interior y la franja superior de bosques, aplicando así un concepto más amplio en su definición.

A partir de lo anterior, es necesario preguntarse cómo se puede construir una cartografía de los páramos que vaya más allá de la cobertura y vegetación típica y que considere sus componentes y factores formadores y su variabilidad natural, la dinámica propia de un ecosistema que ha estado bajo constante uso y transformación, así como las interrelaciones funcionales con ecosistemas adyacentes. De esta manera, la propuesta que aquí se presenta constituye una visión integradora, en la que se reconoce el gradiente existente entre los bosques altoandinos y los páramos como elemento funcional, necesario para su protección como ecosistema y para el mantenimiento de los servicios que provee.

La identificación de los límites inferiores de los páramos a escala 1:100.000 define un espacio geográfico concreto que contribuye a implementar los mecanismos legales vigentes para su protección, atendiendo a la gran importancia de estos ecosistemas para la sociedad.



Banco de Imágenes Ambientales (BIA), Instituto Alexander von Humboldt

En relación con los criterios de delimitación previamente construidos, la cartografía de los páramos a escala 1:100.000 que aquí se presenta cumple con las siguientes condiciones:

- Considera como parte del ecosistema de páramo la transición (ecotono) entre los bosques andinos y la vegetación herbácea y arbustiva propia del páramo alto.
- Considera posiciones altitudinales diferentes de los límites inferiores del ecosistema según la variabilidad de condiciones climáticas, edafológicas y topográficas locales y subregionales.
- Reconoce que el grado de transformación del ecosistema de páramo, así como su posible origen en actividades humanas (fenómeno de parametrización), no constituyen argumento de exclusión de la delimitación.
- Evalúa y reconoce actos administrativos de las autoridades ambientales, frente a la delimitación del páramo, en cumplimiento de la Resolución MADS 0937 de 2011 y las políticas de ordenamiento territorial definidas por las autoridades ambientales.

En el marco de las acciones para la conservación de la biodiversidad, lideradas por el Instituto Humboldt, el presente estudio aporta información de relevancia nacional que permitirá planificar, ejecutar y monitorear labores sociales y sectoriales, que ante todo busquen propender por la conservación de la diversidad biológica, la integridad y el mantenimiento de las funciones ecológicas de los páramos, que se traducen en servicios para la sociedad colombiana.

En consecuencia, se considera que el ejercicio de recopilación de información sobre aspectos biogeofísicos y socioeconómicos de los páramos del país constituye un avance en la divulgación del conocimiento de la alta montaña colombiana. En este sentido, este estudio permite definir de manera estratégica objetos de

conservación en los páramos, enmarcados en una expresión territorial más precisa, lo cual es un importante insumo para la conservación de su diversidad biológica, cultural y paisajística.

La aplicabilidad real de los criterios de delimitación se hace factible a partir de los resultados obtenidos en el presente estudio. Bajo la premisa implícita en todo ejercicio investigativo sobre la ausencia de información de base y alcances de los resultados obtenidos, se destaca un esquema metodológico replicable y dinámico en el contexto biogeofísico que se requiera.

Así mismo, el aumento del 47% en la superficie de los páramos de Colombia, identificado a partir de la actualización cartográfica realizada a escala 1:100.000, permite reconocer al páramo como un gran proveedor de funciones y servicios ecosistémicos fundamentales para el bienestar de la sociedad colombiana, y resalta la importancia de establecer la identificación de los páramos del país bajo un esquema metodológico riguroso.

En el periodo mencionado, se observa que tanto la vegetación típica de páramo como la vegetación boscosa al interior de los complejos identificados está disminuyendo a un ritmo superior porcentualmente con la reducción de los bosques amazónicos, lo cual requiere la adopción urgente de medidas de manejo, considerando el valor estratégico que tienen los ecosistemas de la alta montaña para el bienestar de la población colombiana.

De acuerdo con el marco normativo vigente, la delimitación de los páramos, como acto administrativo, es responsabilidad de las autoridades ambientales en cabeza del Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. Con lo anterior, es claro que la delimitación de los páramos se constituye en una decisión administrativa que debe considerar tanto el conocimiento científico, como las implicaciones sobre la sociedad de dicha decisión, considerando principios legales constitucionales, como el derecho a un ambiente sano, la prelación del interés general sobre el particular y el principio de precaución.

## 8. Referencias citadas

- Alberico, M., A. Cadena, J. Hernández-Camacho & Y. Muñoz-Saba. 2000. Mamíferos (Synapsida:Theria) de Colombia. *Biota Colombiana* 1(1):43-75.
- Anderson, R. P., D. Lew y A.T. Peterson. 2003. Evaluating predictive models of species' distributions: criteria for selecting optimal models. *Ecological Modelling* 162:211-232.
- ANH-Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. 2008. Ecosistemas del Caribe Colombiano Escala 1:250.000.
- Arzac A., E. Chacón-Moreno, L.D. Ilambí y R. Dulhoste. 2011. Distribución de formas de vida de plantas en el límite superior del ecotono bosque-páramo en los Andes Tropicales. *Ecotrópicos* 24 (1): 26-46.
- Bader, M., Rietkerk, M. y Bregt, A. 2007. Vegetation Structure and Temperature Regimes of Tropical Alpine Treelines. *Arctic, Antarctic and Alpine Research*. 9(3): 353-364
- BIP (Biodiversity Indicators Partnership). 2010. Bubb, P.J., Almond, R., Kapos, V., Stanwell-Smith, D., Jenkins, M. Guidance for national biodiversity indicator development and use. UNEP-WCMC, Cambridge, UK.
- Calderón, E., G. Galeano y N. García. 2005. Libro Rojo de Plantas de Colombia. Volumen 2: Palmas, Frailejones y Zamias. Serie Libros Rojos de Especies Amenazadas de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Instituto de Ciencias Naturales-Universidad Nacional de Colombia y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT). Bogotá, D.C. Colombia.
- Caro, A. (Comp.). 2010. Memorias talleres "Definición de criterios para la delimitación de los diferentes tipos de páramos del país y de lineamientos para su conservación". Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Bogotá, D.C. p.76.
- CEPAL –Comisión económica para América Latina y el Caribe–.2009. Quiroga Martínez, R. Guía metodológica para desarrollar indicadores ambientales y de desarrollo sostenible en países de América Latina y el Caribe. Santiago de Chile. 129p.
- CI –Conservación Internacional–. 2010. Áreas naturales protegidas nacionales y regionales. Bogotá, D.C. Colombia.
- Cleef, A.M. 1981. The Vegetation of the Paramo of the Colombian Cordillera Oriental. *Dissertationes Botanicae*, vol. 61 (320 pp).
- CORMAGDALENA – IGAC. 2007. Cobertura de la tierra de la cuenca Magdalena-Cauca. Escala. 1:100.000.
- Cuatrecasas, J. 1958. Aspectos de la vegetación natural de Colombia. *Rev. Acad. Col. Cienc. Ex. Fis y Nat.* 10(40): 225-264.
- DANE. 2012. Cálculo de viviendas, hogares y personas al interior del Complejo de Páramos Jurisdicciones-Santurbán-Berlín con base en Censo 2005. Información sin publicar.
- Deblauwe, V., N. Barbier, P. Coueron, O. Lejeune & J. Bogaert. 2008. The global biogeography of semi-arid periodic vegetation patterns. *Global Ecol. Biogeogr.* 17:715-723.
- Diazgranados, M y C. Cadena. 2009. Current protection status of Espeletias.I. (Asteraceae: Heliantheae) species in Colombia. Poster. Conference of Botany 2009: July 25-29th. Snowbird, Utah, USA.
- Elith J., Graham C. y Species Distribution Modelling Group. 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*. 29: 129-151.
- \_\_\_\_\_, J. and J.R. Leathwick 2009. Species distribution models: Ecological explanation and prediction across space and time. *Annu. Rev. Ecol.Syst.* 40: 677-97.
- Espinel, T. S y E. Montenegro. 1963. Formaciones Vegetales de Colombia. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá, D.C.
- Etter, A. 1998. Mapa General de Ecosistemas de Colombia. Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Flórez, A. 1989. Evidencias de inestabilidad en los sistemas morfodinámicos de la alta montaña. Colombia, sus gentes y regiones. IGAC, 3. Bogotá, D.C.
- \_\_\_\_\_, A. 1990. La recesión de los glaciares colombianos desde la pequeña Edad Glaciar. *Colombia Geográfica* XVI (1): 7-16.
- \_\_\_\_\_, A. 2003. Colombia: evolución de sus relieves y modelados. Universidad Nacional de Colombia, Unibiblos. Bogotá, D.C.
- \_\_\_\_\_, A., J. L. Ceballos, J. W. Montoya, L. A. Castro y A. F. Barajas. 1997. Geosistemas de la alta montaña en escala 1:200.000 y 1:25.000 elaborado dentro del convenio 041/97, IDEAM-Departamento de Geografía Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, D.C.
- Grubb, P. 1971. Interpretation of the "Massenerhebung" Effect of tropical mountains. *Nature*. 229 (5279): 44-45.
- Hijmans, R. J., S. E. Cameron, J. L. Parra, P. G. Jones y A. Jarvis. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*. 25: 1965-1978.
- Hilty, S. L., y W. L. Brown. 1986. A Guide to the Birds of Colombia. Princeton University Press. 836p.
- Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Conservación Internacional, Departamento Nacional de Planeación. 2000. Sistema de indicadores del seguimiento y evaluación de la política de biodiversidad en los Andes colombianos. Bogotá, D.C. 125p.
- IDEAM. 2002. Ecosistemas de páramo de Colombia para los años 70 y 90. Escala 1:250.000.
- \_\_\_\_\_. 2010. Sistemas morfogénicos del territorio colombiano, Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá, D.C. 252 pp.
- \_\_\_\_\_. 2010b. Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá, D. C. 72p.
- \_\_\_\_\_. – Universidad Nacional de Colombia. 1997. Geosistemas de la alta montaña para Colombia.
- \_\_\_\_\_. IGAC, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, 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 de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico Jhon von Neumann, Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives De Andrés e Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas Sinchi. Bogotá, D. C. 276 p. + 37 hojas cartográficas.
- \_\_\_\_\_. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, SINCHI, UAESPNN e IGAC. 2011. Mapa Nacional de Coberturas de la Tierra escala 1:100.000, metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia. Base de datos en formato Geodatabase. Convenio especial de cooperación IDEAM, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, SINCHI, UAESPNN e IGAC. Bogotá, D.C. Colombia.
- IGAC. 2011. Unidades de suelo asociados a los páramos. Base de datos en formato Shape-File. Cortesía: Subdirección de Agrología.
- \_\_\_\_\_. 2011b. Límites municipales escala 1:100.000. Bogotá, D.C. Colombia.
- \_\_\_\_\_. 2012. Geodatabase-Base de datos cartográfica escala 1:100000. Bogotá, D.C. Colombia.
- Ley 1450 de 2011. Congreso de la República. Por el cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014.
- Ley 99 de 1993. Congreso de la República. Por la cual se crea el Ministerio de Medio Ambiente, se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables,



- se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones.
- Llambí, L.D., M. Fariñas, J. K. Smith, S.M. Castañeda y B. Briceño. En prensa. Diversidad de la vegetación en dos páramos de Venezuela: un enfoque multiescalar con fines de conservación.
- Luteyn, J. L. y M. R. Gavilanes. 1999. Ecuador. In: J. L. Luteyn (ed.). Páramos, a checklist of Plant Diversity, Geographical Distribution, and Botanical Literature. New York Bot. Gard. New York. Pp: 193-218.
- Lynch, J. y Á. Suárez-Mayorga. 2002. Análisis biogeográfico de los anfibiosparamunos. *Caldasia*. 24(2), 471-480.
- Molano J. 2005. Análisis sociocultural y geopolítico de los páramos. Memorias V Conferencia Nacional de Páramos. Censat Agua Viva. Inzá-Cauca. Julio 13 al 15 de 2005
- Monasterio, M. 1998. Evolución y transformación de los páramos en la cordillera de Mérida: paisajes naturales y culturales. En: Paisajes culturales en Los Andes. Memoria narrativa, casos de estudio, conclusiones y recomendaciones de la reunión de expertos. Unesco. 17-22 de mayo, Arequipa y Chivay, Perú.
- Morales M., J. Otero, T. Van der Hammen, A. Torres, C. Cadena, C. Pedraza, N. Rodríguez, C. Franco, J. C. Betancourth, E. Olaya, E. Posada y L. Cárdenas. 2007. Atlas de páramos de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D. C. 208 pp.
- Moreno-Arias, R.A. y G.F. Medina-Rangel. 2007. Herpetofauna de alta montaña de Perijá. s.p. En Rangel-Ch, J. 2007. Colombia, Diversidad Biótica V. La alta montaña de la Serranía de Perijá. Instituto de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Colombia, CORPOCESAR. Bogotá, D.C. Colombia.
- Phillips, S., R. Anderson y R. E. Schapire. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*. 190: 231-259.
- \_\_\_\_\_, S. J. y M. Dudik. 2008. Modeling of species distributions with MaxEnt: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography* 31: 161-175.
- Pliscoff, P. y T. Fuentes-Castillo. 2011. Modelación de la distribución de especies y ecosistemas en el tiempo y espacio: una revisión de las nuevas herramientas y enfoques disponibles. *Revista de Geografía Norte Grande*. 48: 61-79.
- Ramírez, L.A. 2008. Estructura de la vegetación en la zona de transición entre el bosque y el páramo en la Sierra Nevada de Mérida. Tesis de pregrado. Universidad de los Andes, Departamento de Biología. 96 pp.
- Rangel-Ch, O. 2000. Colombia diversidad biótica III. La región de vida paramuna. Instituto Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, D.C. Colombia. 902 pp.
- Riordan, E. C., & P.W. Rundel. 2009. Modelling the distribution of threatened habitat: the California sage scrub. *J.Biogeogr.* 36: 2176-2188.
- Rivera, D. y C. Rodríguez. 2011. Guía divulgativa de criterios para la delimitación de páramos de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. 35 pp.
- Rodríguez, N., Armenteras, D., Morales, M. y Romero, M. 2004. Ecosistemas de los Andes colombianos. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D.C. Colombia. 155p.
- Romero, M., G. Galindo, J. Otero y D. Armenteras. 2004. Ecosistemas de la Cuenca del Orinoco Colombiano. Escala 1:250.000.
- Rubio, F., Jiménez, J., Gutiérrez, N. 2010. Definición de criterios para la delimitación de páramos del país y de lineamientos para su conservación. Parte II, Base de datos con información sobre estudios, planes y avances en la gestión de las autoridades ambientales regionales en materia de protección de páramos. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D.C. Colombia.
- Sarmiento L, Llambí LD, Escalona A, Márquez N. 2003. Vegetation patterns, regeneration rates and divergence in an old-field succession of the high tropical Andes. *Plant Ecology* 166: 63-74.
- Sklenár, P., J. Luteyn, C. Ulloa, P. Jorgesen y M. Dillon. 2005. Flora genérica de los páramos. Guía ilustrada de plantas vasculares. The New York Botanical Garden Press. 503p.
- Van der Hammen, T. 1983. La Cordillera Central Colombiana, Transecto Parque Los Nevados (Introducción y datos iniciales). Van der Hammen, T., Pérez P., A., & Pinto E., P. (eds). *Studies on Tropical Andean Ecosystems. Estudios de Ecosistemas Tropandinos*. J. Cramer, Vaduz. Vol. 1. 345 pp.
- Schmolke, A., P. Thorbek, D.L. DeAngelis and V. Grimm. 2010. Ecological models supporting environmental decision making: a strategy for the future. In: *Trends in Ecology and Evolution*. 25 (2010) 479-486.
- Van der Hammen, T. 1984. Temperaturas de suelo en el transecto Buritaca-La Cumbre. T. van der Hammen & Ruiz, P. M. (eds). *La Sierra Nevada de Santa Marta (Colombia), Transecto Buritaca-La Cumbre. Estudios de Ecosistemas Tropandinos*. J. Cramer (Borntraeger). Berlin-Stuttgart. 2: 67-74.
- \_\_\_\_\_. 1989. Manual of methods of mountain transect studies (Comparative studies of tropical mountain ecosystems). Van der Hammen, T., Mueller D., D., & Little, M. A. (eds). *International Union of Biological Sciences/Unesco MAB*. Paris. 6 pp.
- \_\_\_\_\_. y Fondo FEN Colombia. (eds). 1995. Thomas van der Hammen. Premio a la vida y obra. Bogotá, D.C. 51pp.
- \_\_\_\_\_. 1998. Ecosistemas Terrestres-Páramos. En: Chaves, M.E. y N. Arango (Eds.) Informe Nacional sobre el Estado de la Biodiversidad 1997, Tomo I. Instituto de Investigación en recursos biológicos Alexander von Humboldt, PNUMA, Ministerio de Medio Ambiente. 3 Vol. Bogotá, D.C. 535 p.
- \_\_\_\_\_. 2002. Diagnóstico, cambio global y conservación-Congreso mundial de páramos 2002. Paipa (Boyacá).
- \_\_\_\_\_. 2003. El lago de Humboldt. En Los humedales de Bogotá y la Sabana. Volumen I: 19-52. Acueducto de Bogotá-Conservación Internacional. Colombia.
- \_\_\_\_\_, O. Rangel, y A. Cleef (Eds.). 2005. La Cordillera Occidental colombiana, Transecto Tatamá. *Estudios de Sistemas Tropandinos*, Volumen 6, Berlín-Stuttgart.
- \_\_\_\_\_. (ed.) 2007. Estudios de ecosistemas tropandinos, volumen 7. La cordillera Oriental colombiana, Transecto Sumapaz. J. Cramer (Borntraeger). Berlín-Stuttgart.



**Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt**  
Calle 28A No. 15-09  
PBX: (57) 1 320 2767  
Bogotá, D.C., Colombia