

Métodos para investigar la disponibilidad del hábitat del oso andino

El caso de la cuenca del río Oyacachi, Ecuador

Francisco Cuesta
Manuel Peralvo
Didier Sánchez

© 2001, de EcoCiencia
Reservados todos los derechos
Impreso en el Ecuador

Producción editorial: TRAZOS diseño y comunicación visual / Cuenca
Edición: Nicolás Cuvi
Asistente de edición: Ximena Cordovez
Diseño y diagramación: Sebastián Naranjo Cuvi

Asesor científico: Luis Suárez
Asesor de comunicación: Jaime Camacho

Parabiólogos: Claudio Aigaje, Holger Aigaje, Luciano Aigaje, Patricio Aigaje,
Víctor Aigaje y Lorenzo Parión

Foto portada: Pete Oxford / Visualfund
Fotos de las páginas interiores: las de Jaime Camacho, Robert Chartier y
Mauricio Guerrón pertenecen al Archivo EcoCiencia; las de Milton H. Tierney,
Jr. al Archivo del Grupo de Especialistas del Oso Frontino (GEOF); y la de Víctor
Utreras al archivo de la Fundación Antisana
Impresión: Imprenta Monsalve Moreno, Cuenca
Primera edición
Abril de 2001
500 ejemplares

Las opiniones vertidas en este libro son de responsabilidad de los autores y no
necesariamente reflejan el punto de vista de las instituciones que ejecutan o
financian los proyectos "Biorreserva del Cóndor" y "Conservación del Oso
Andino".

La información de esta obra puede ser utilizada siempre y cuando se cite la
fuente. Esta obra debe ser citada así:

Cuesta, Francisco, Manuel Peralvo y Didier Sánchez. 2001. *Métodos para
investigar la disponibilidad del hábitat del oso andino: el caso de la cuenca
del río Oyacachi, Ecuador*. Serie Biorreserva del Cóndor no. 1. Quito:
EcoCiencia y Proyecto Biorreserva del Cóndor.

Distribución

EcoCiencia
Casilla 17-12-257
Quito – Ecuador
Teléfono: (593 2) 451-338 / 451-339
Fax: (593 2) 249-334
Correo electrónico: osos@ecociencia.org
www.ecociencia.org

Fundación Antisana
Casilla: 17-03-1486
Quito – Ecuador
Telefax: (593 2) 260-381 / 260-382
Correos electrónicos: funan@uio.telconet.net; dtfunan@uio.telconet.net

Derechos de autor: 015035
ISBN: 9978-41-743-5

Métodos para investigar la disponibilidad del hábitat del oso andino

El caso de la cuenca del río Oyacachi, Ecuador

todos fue imprescindible ejecutar dos estudios piloto que permitiesen validar si era posible obtener respuestas a preguntas como: ¿Es posible o no estudiar el hábitat del oso andino mediante el monitoreo de registros indirectos? ¿Cuán fiable es contar con un programa de monitoreo participativo? ¿Es factible cubrir superficies grandes en una topografía poco accesible como las estribaciones de los Andes?, entre otras.

Los estudios piloto fueron ejecutados en dos temporadas. La primera de abril a julio de 1999, y la segunda entre septiembre y noviembre de 1999 y en febrero de 2000. Los objetivos fueron:

- Adaptar métodos de investigación que permitan determinar la disponibilidad del hábitat del oso andino en el Ecuador, a una escala de paisaje.
- Obtener un mapa preliminar sobre la disponibilidad del hábitat del oso andino en la cuenca del río Oyacachi.
- Crear una línea base que permita, en estudios posteriores, producir información ecológica sobre el oso andino, tales como área de vida, patrones estacionales de movimiento o uso y acceso a los recursos alimenticios.

Una vez concluida la fase piloto y si bien algunos resultados deben ser tomados como preliminares, consideramos que éstos arrojan conclusiones muy positivas, sobre todo acerca de la validez de los métodos para generar información que será muy útil al momento de delinear acciones de conservación para especies en peligro de extinción como el oso andino.

Los objetivos han sido cumplidos y por ello entregamos los resultados obtenidos en esta publicación a las personas e instituciones interesadas en ejecutar estudios similares que contribuyan a la conservación del oso andino y de los ecosistemas que habita. No obstante, antes de proseguir con el estudio, presentamos algunas definiciones sobre los conceptos de hábitat, disponibilidad de hábitat y selección de hábitat. Dichas definiciones fueron fundamentales en el proceso de diseño e implementación de esta investigación.

Hábitat, selección de hábitat y disponibilidad de hábitat

El término **hábitat** puede ser definido como los recursos y las condiciones de un área que permiten la presencia de un organismo en particular, o puede ser también entendido como la relación que existe entre una

especie, población o individuo, con un área que reúne ciertas características físicas y biológicas necesarias para su existencia (Hall, Krausman y Morrison 1997). Un animal puede usar un determinado hábitat de distintas maneras, según sus posibilidades de acceder al mismo y a la **disponibilidad** que exista de éste. Esto conlleva a que cada especie, población o individuo prefiera, según sus requerimientos, un determinado hábitat sobre otro.

La **selección de hábitat** ha sido definida por Johnson (1980) como el proceso en el que el animal escoge qué componentes de un hábitat usar. Mientras tanto, Hutto (1985) la describe como un proceso jerárquico que involucra una serie de comportamientos innatos y aprendidos, de decisiones tomadas por un animal sobre qué hábitat usará en las diferentes escalas del medio natural. En este contexto, Johnson (1980) considera que la selección de hábitat ocurre a cuatro niveles. El primero se da a una escala paisajística (geográfica) y a un nivel de especie y de comportamientos genéticos innatos. Luego, el segundo nivel ocurre a escala de poblaciones, donde son los animales quienes regulan sus actividades y se toma como unidad espacial su área de vida o territorio. El tercer nivel sucede a escala de sitios específicos o de componentes específicos dentro del área de vida (microhábitats) y ocurre a escala de individuos o poblaciones. El cuarto nivel se da a escala de individuos y de cómo éstos obtienen o acceden a los recursos de cada micrositio.

Hutto (1985) agrega que la selección de hábitat a una escala paisajística probablemente es determinada genéticamente y Wiens (1972) considera que a niveles más finos la selección se da, o se ve influenciada, por hábitos etológicos aprendidos por individuos o poblaciones.

Schoen (1990) considera que debido a los requerimientos ecológicos de los osos, tales como sus extensas áreas de vida, hábitos de forrajeo omnívoro y los patrones de uso estacional de los recursos de diferentes hábitats, el manejo de estas especies requiere de una orientación dirigida a una escala paisajística. Los desplazamientos normales de los osos son tan extensos—normalmente exceden los miles de kilómetros cuadrados— que su hábitat debe ser evaluado y manejado a una escala de paisaje. Algo básico en este tópico es determinar qué hábitats son importantes para los osos y definir su tamaño óptimo, con el propósito de mantener poblaciones viables en el largo plazo.



La cuenca del río Oyacachi tiene una topografía muy accidentada; al recorrer 18 km en sentido oeste-este la altitud varía de 4.000 a 2.000 metros. Foto: Milton H. Tierney, Jr. / Archivo GEOF-EcoCiencia



El área de estudio se encuentra ubicada dentro de la Reserva Ecológica Cayambe-Coca, en la parte correspondiente a la provincia de Napo; comprende 39.143 hectáreas ubicadas en la cuenca del río Oyacachi. Esta zona también se encuentra incluida dentro del territorio ancestral de la Comuna Quichua de Oyacachi, cuya superficie es de 44.600 hectáreas (mapa 3). El área de estudio fue dividida en dos áreas contiguas denominadas cuenca alta (23.311 hectáreas) y cuenca baja (15.832 hectáreas). Esta división se debió a que es difícil acceder a la cuenca baja durante los meses más lluviosos (junio a agosto), pues los pocos lugares por los que se puede llegar a la misma –puentes y tarabitas– son intransitables durante ese período. Además, era necesario llevar a cabo dos estudios independientes para verificar la estabilidad del modelo estadístico en diferentes gradientes altitudinales.

En general, el tipo de clima que predomina en el área es el “ecuatorial mesotérmico semi-húmedo”, en el cual se registran dos estaciones lluviosas marcadas con una humedad relativa que oscila entre el 65 y el 85% (Ulloa-Ulloa y Møller Jørgensen 1993). Se calcula que la temperatura promedio anual de la comuna de Oyacachi y su zona aledaña varía entre 5 y 17° centígrados, mientras que la precipitación anual es muy variable por los efectos altitudinales: a los 4.000 m de altitud oscila entre 1.500 y 1.700 mm, en tanto que a los 1.800 m de altitud fluctúa entre 3.000 y 3.500 mm (Skov 1997).

El área de estudio tiene una topografía muy accidentada. Por ejemplo, al recorrer 18 km en sentido oeste-este, la altitud varía de 4.000 a 2.000 m. Como consecuencia, solo el 11% del área tiene inclinaciones menores a los 5° (Skov 1997). Durante el estudio de suelos y erodabilidad en la cuenca del río Oyacachi, se determinó la presencia de tres grandes grupos de suelos (Trujillo y Peralvo 2000):

Cuadro 1

Las formaciones vegetales de la cuenca del río Oyacachi según tres investigaciones

Fuente	Formación vegetal	Rango altitudinal (metros de altitud)
Ståhl, Øllgaard y Resl (1997)	Bosque montano bajo	800 - 1.800
	Bosque montano	2.000 - 2.900
	Bosque montano alto y bosques de alisos	2.900 - 3.500
	Páramo	3.500 - 4.000
	Bosque de <i>Polylepis</i>	3.500 - 3.750
Valencia et al. (1999)	Bosque siempreverde montano bajo	1.300 - 2.000
	Bosque de neblina montano	2.000 - 2.900
	Bosque siempreverde montano alto	2.900 - 3.600
	Páramo herbáceo	3.400 - 4.000
	Páramo de almohadillas	4 000 - 4 500
Báez, Cuesta y Peralvo (1999) e Iturralde et al. (2000)	Bosque de neblina montano ^a	1.800 - 3.000
	Bosque siempreverde montano alto	3.000 - 3.600
	Bosque de alisos	2.500 - 3.200
	Bosque de páramo mixto	3.600 - 4.300
	Páramo herbáceo	3.600 - 4.300
	Páramo anegado ^b	3.400 - 4.300

^a Esta formación fue definida a partir de los resultados obtenidos durante el presente estudio.

^b Esta formación también es conocida como páramo de almohadillas.

- Aluviales, localizados en terrazas y cauces de agua jóvenes, constituidos por arenas, limos, cenizas, lodos y piedras.
- Volcánicos, de cenizas finas y amorfas, con gran capacidad de retención de humedad.
- Misceláneos, constituidos por materiales diversos, generalmente una mezcla de materiales aluviales, coluviales, cenizas, orgánicos, arenosos y pedregosos.

De acuerdo con las propuestas de clasificación vegetal para la cuenca del río Oyacachi, realizadas por Báez, Cuesta y Peralvo (1999) e Iturralde et al. (2000), en el área se encuentran seis formaciones vegetales: bosque siempreverde montano alto, bosque de neblina montano, bosque de páramo mixto, páramo herbáceo, páramo anegado y bosque de alisos (cuadro 1 y mapa 4). Además, hay otras coberturas del suelo como las fincas, zonas de páramo herbáceo quemado, derrumbes, y carreteras e infraestructura de la Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito (EMAAP-Q).

La única población dentro del área de estudio es Oyacachi, conectada con la ciudad de Cayambe por una carretera que fue terminada en 1995. Una vía

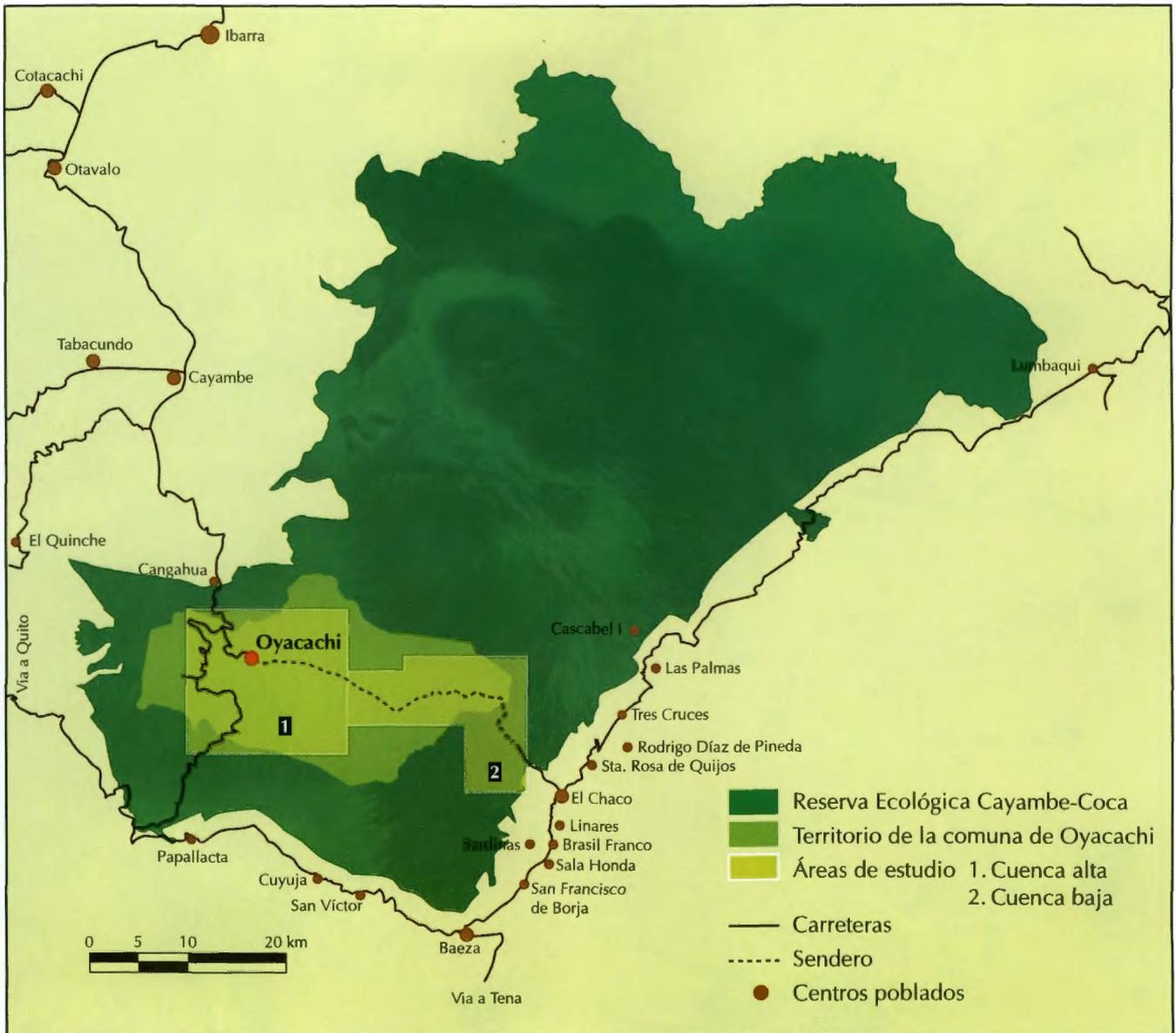
también atraviesa el páramo hacia el sur, desde Oyacachi hasta Papallacta; fue construida como parte del Proyecto de Optimización del Sistema de Agua Potable de Papallacta y terminada en 1998, pero el tránsito es permitido solo al personal de la EMAAP-Q, a la gente de Oyacachi y a personas autorizadas por el Ministerio del Ambiente. Por último, existe un camino de herradura (sendero) que conecta Oyacachi con El Chaco, un cantón ubicado a 33 km en las estribaciones orientales, lugar al que se llega luego de tres días de camino a pie (mapa 3 y recuadro 2).

Las coordenadas del área de estudio de la cuenca alta son: esquina noroeste 78°8'37" O y 0°10'0" S; y esquina sureste 78°0'0" O y 0°17'54" S. La cuenca alta limita al norte con las cabeceras de los afluentes del río Iguinto, al sur con la Laguna Encantada, al este con la localidad de Pueblo Viejo, y al oeste con las lagunas de Mogotes y Huambicocha. Esta área de estudio va de 2.659 a 4.312 m de altitud, con una pendiente promedio de 21°.

Las coordenadas del área de la cuenca baja son: esquina noroeste 78°0'0" O y 0°12'33" S; y esquina sureste 77°50'20,12" O y 0°19'59,2" S. Sus límites son: al norte la cuenca media del río Cedro, al sur el río San Juan Chico, al oeste la localidad de Pueblo

Mapa 3

Ubicación del área de estudio



Viejo y al este el río Santa María. Esta área va de los 1.584 a los 3.711 m de altitud, y su pendiente promedio es de 30°.

La Reserva Ecológica Cayambe-Coca

La Reserva Ecológica Cayambe-Coca se extiende sobre 403.103 hectáreas que albergan páramos y bosques andinos, siempreverdes, subtropicales y tropicales (mapa 3). Fue creada en 1970 y está ubicada en el nordeste de la cordillera de los Andes, sobre las provincias de Pichincha, Imbabura, Napo y Sucumbíos. En la parte alta se encuentran volcanes como el Ca-

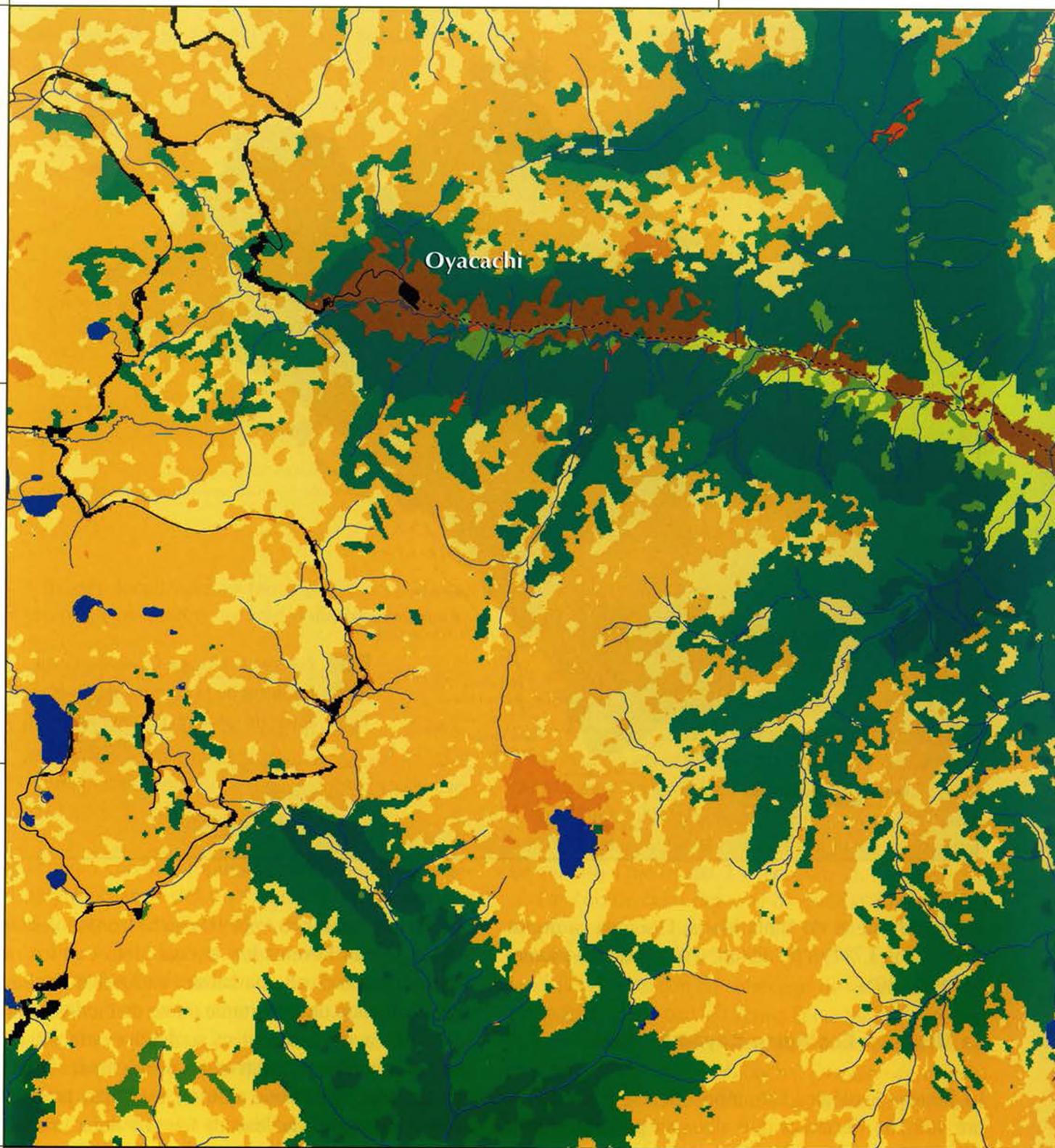
yambe y el Sarahurco, mientras en las zonas inferiores está el volcán Reventador, el cual junto con los ríos Coca y Quijos crean una barrera geográfica significativa originando un importante punto de biodiversidad.

Su ubicación geográfica y su amplia variación altitudinal, sumadas a los diferentes pisos climáticos de la región, han ocasionado que en esta área protegida exista una gran diversidad de fauna y flora, una gran calidad paisajística y una gran cantidad de recursos naturales renovables y no renovables (Fundación Antisana 1998). Por ejemplo, en su interior nacen cuatro grandes cuencas hidrográficas: las de los ríos Aguarico (1.395 km²), Quijos (2.504 km²), Mira (67 km²) y

Mapa 4

Formaciones vegetales de la cuenca del río Oyacachi

78°8'37" O
0°10'0" S

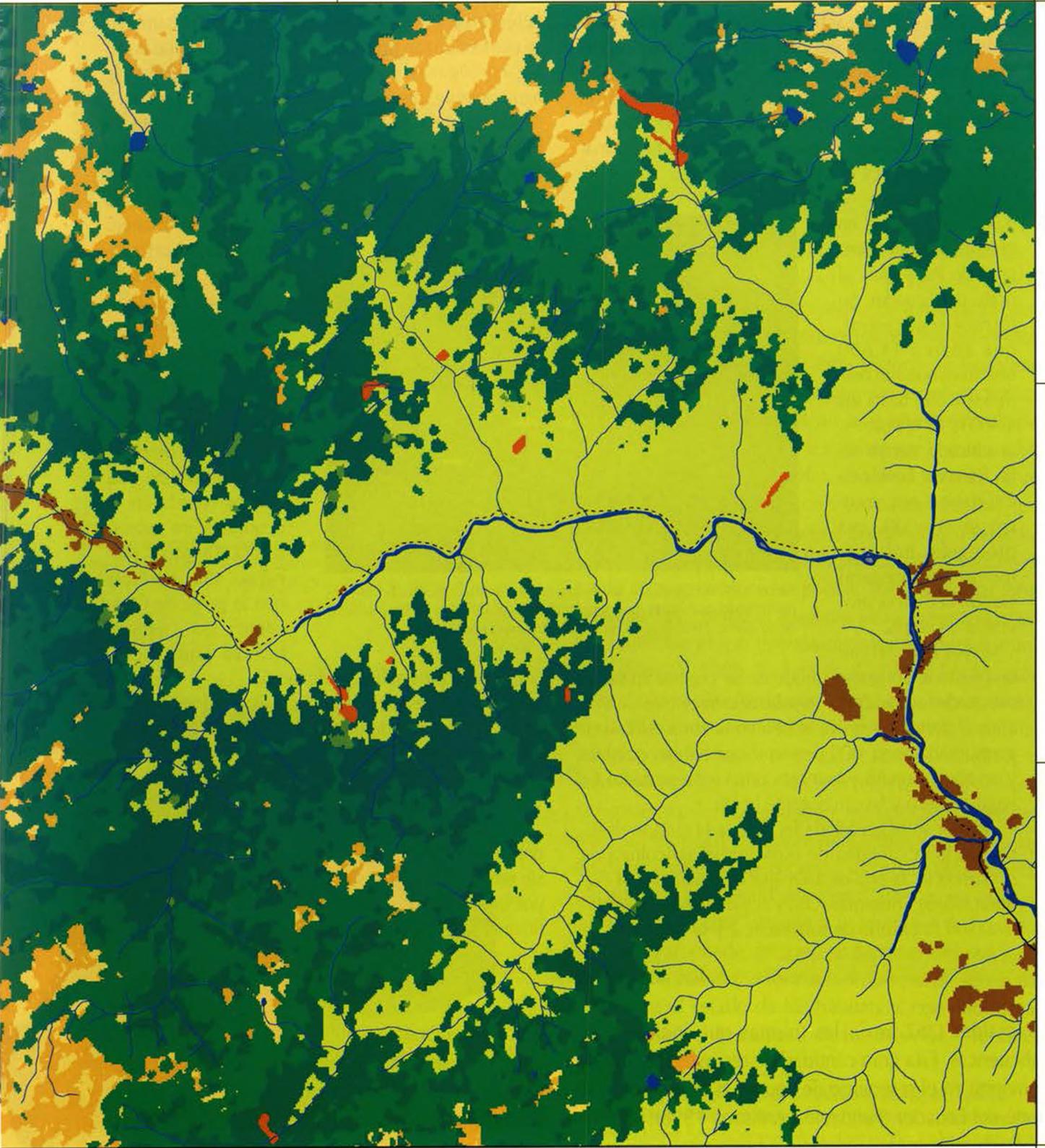


Oyacachi

78°8'37" O
0°19'59,20" S



77°50'20,12" O
0°10'0" S



77°50'20,12" O
0°19'59,20" S

Nota: Para el análisis de la disponibilidad del hábitat, las formaciones de páramo anegado, páramo herbáceo y bosque de páramo mixto fueron agrupadas en una: el páramo húmedo.



La Comuna Quichua de Oyacachi

La comuna de Oyacachi fue seleccionada para concentrar los esfuerzos del proyecto "Conservación del Oso Andino" debido a cuatro factores: su posición dentro de la Reserva Ecológica Cayambe-Coca; el amplio gradiente altitudinal de los territorios comunitarios; el buen estado de conservación de las formaciones naturales; y el interés de su gente.

Está ubicada a 3.200 m de altitud en las estribaciones orientales de los Andes, al norte del Ecuador. Su territorio ancestral, que abarca 44.600 hectáreas que van desde los 1.800 hasta los 4.400 m de altitud, está ubicado dentro de la Reserva Ecológica Cayambe-Coca y cubre el 11% del área protegida. Políticamente pertenece al cantón El Chaco, provincia de Napo.

Oyacachi tiene una historia antigua. Aunque no se conoce su fecha exacta de fundación, sí se sabe que hace más de 500 años el asentamiento ya existía en la zona. Allí viven aproximadamente 600 personas que hablan quichua y español; mujeres y hombres están representados en igual número y hay más gente joven.

Practican la ganadería lechera (a la cual se destina una gran cantidad de espacio), la agricultura de subsistencia, la cría de animales domésticos y la elaboración de artesanías. Otras actividades representativas son la cacería de subsistencia y la tala selectiva



La comuna de Oyacachi fue escogida para realizar el estudio de disponibilidad por varias razones: entre éstas el interés y la hospitalidad de su gente. Foto: Jaime Camacho / Archivo EcoCiencia

de ciertas especies arbóreas usadas para la construcción y para fabricar utensilios y artesanías (Morales y Schjellerup 1997). Sin embargo, desde 1997 también se comercializan productos básicos en las tiendas del lugar y algunas personas trabajan en proyectos de agua potable, piscicultura, conservación y turismo.

La comuna está bien organizada y su gente es muy solidaria, factores que han incidido para que deseen mejorar conjuntamente su calidad de vida. Por

ello han elaborado un plan de manejo comunitario, un proyecto de ecoturismo y realizan la truchicultura. Sin embargo, la pobreza sigue siendo un problema. Su aislamiento hasta mediados de la década de 1990 propició el desarrollo de una cultura basada en la economía de subsistencia. De todas maneras, vale destacar que la gente de Oyacachi no padece hambre y que cuenta

con servicios de salud y educación.

Existe una escuela a la que asisten niños y niñas en edad escolar. Además, hay la posibilidad de estudiar el colegio a distancia, aunque algunas personas prefieren enviar a sus hijas e hijos a la ciudad de Cayambe para que allí terminen su instrucción media.

La conservación del entorno natural ha sido siempre una preocupación de las personas de Oyacachi; sin embargo, este modo de vida está siendo afectado por la influencia externa, interacción que está modificando las costumbres y los intereses de la gente.

Esmeraldas (262 km²), las mismas que incluyen 25 subcuencas. Esta gran cantidad de recursos hídricos la convierte en el reservorio de agua más importante del norte del Ecuador (Fundación Antisana 1998).

Dada su extensa superficie y buen estado de conservación, la Reserva Ecológica Cayambe-Coca ha sido catalogada, junto con el Parque Nacional Sangay, como el área natural más importante para la conservación del oso andino y del tapir de montaña (*Tapirus*

pinchaque) (Suárez 1999). Pero también alberga muchos ecosistemas y hábitats de otras especies amenazadas entre las que se cuentan el ciervo enano (*Pudu mephistophiles*), el lobo de río (*Lontra longicaudis*), los cedros (*Ocotea* spp.), los polilepis (*Polylepis* spp.) y las palmas de cera (*Ceroxylum* spp.).



El monitoreo mediante registros indirectos tiene múltiples ventajas. Una es que no se requiere manipular a los animales. Foto: Milton H. Tierney, Jr. / Archivo GEOF-EcoCiencia



Los métodos fueron diseñados combinando tres técnicas: la colección de registros indirectos y de variables asociadas con éstos; el uso de un sistema de información geográfica para integrar los datos; y los análisis estadísticos multivariados. Al combinar estas técnicas se logró integrar la participación comunitaria con el uso tecnología de punta, lo cual permitió no solo obtener resultados confiables, sino que fueran aceptados por la comunidad.

El monitoreo de animales silvestres a través de registros indirectos como excrementos, comederos, huellas, marcas en árboles, pelos, dormideros u observaciones directas,¹ ha sido utilizado con el propósito de calcular el tamaño de las poblaciones, las variaciones de éstas, las amenazas a las que están expuestas, y para cuantificar el uso del hábitat y los hábitats disponibles (Morgan 1999, Cuesta et al. 1999). En sus estudios sobre el oso pardo europeo (*Ursus arctos arctos*) en la cordillera Cantábrica, Clevenger (1993) demostró que estos métodos son muy atractivos debido a: su bajo costo en comparación con otras técnicas como la radiotelemetría; no requieren manipulación del animal; su facilidad de implementación; su posibilidad de cubrir grandes superficies; y su capacidad de ser replicados en zonas similares con diferentes especies.

Adicionalmente, debido a la cantidad de registros obtenidos se puede determinar patrones del uso y selección del hábitat, información que puede servir para evaluar el estado de los hábitats y, con ello, desarrollar índices de calidad de los mismos.² Además,

1. Si bien la observación de un animal es un registro "directo", en esta investigación fue considerado como "indirecto" pues los registros de campo fueron hechos después de la observación, en los lugares donde los animales dejaron sus huellas.

2. Un índice de calidad de hábitat puede ser definido como el potencial de un área para albergar una especie en particular. En otras palabras, es el valor que tiene un determinado hábitat de acuerdo con su capacidad de satisfacer las necesidades de alimentación y protección de una especie a una escala de microhábitat. Así, el hábitat puede ser valorado dentro de un rango que oscila entre 0 y 1 (de completamente inadecuado a óptimo).

mediante este tipo de monitoreo se puede determinar, con mayor precisión, los lugares donde los animales han estado. De nuevo, si se lo compara con la radiotelemetría, el monitoreo de registros indirectos también es más efectivo pues los datos no son susceptibles a imprecisiones como los errores que surgen durante la triangulación (Nams 1989).

En el caso de los estudios en la cuenca del río Oyacachi, junto con los registros indirectos se obtuvo datos sobre diversas variables biofísicas, ecológicas y antropogénicas asociadas con éstos (como tipo de cobertura vegetal, pendiente, orientación, altitud o uso del suelo). Adicionalmente se recopiló y generó información sobre la zona (cartografía e imágenes satelitales) que fue procesada en el laboratorio y que sirvió para obtener datos sobre otras variables, tales como distancia a centros poblados, carreteras o senderos, las cuales pueden influir en la disponibilidad del hábitat del oso andino.

Finalmente, los datos de todas las variables seleccionadas fueron procesados en un sistema de información geográfica mediante análisis estadísticos multivariados. Con ello se obtuvo un mapa donde se observa la disponibilidad del hábitat según su probabilidad (grande, intermedia, poca o nula) de ser espacios que permiten la presencia del oso andino (véase 3.3).

A continuación se detalla los cinco pasos que se deben seguir durante la combinación de estas técnicas; en cada uno se explica cómo fueron adaptadas en el caso de la cuenca del río Oyacachi. Los cinco pasos son:

1. Seleccionar y determinar cómo se obtendrán y procesarán en el Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica (SIG) las variables que se quiere incluir en el modelo.
2. Establecer una red de monitoreo de registros indirectos y recopilar los datos.
3. Construir el modelo para determinar la disponibilidad del hábitat.
4. Realizar pruebas de estabilidad del modelo.
5. Analizar los resultados finales.

3.1 La selección y obtención de las variables

Las variaciones temporales y espaciales en la latitud, altitud, clima, topografía y calidad de un sitio a otro determinan, en gran medida, la disponibilidad de comida, protección y otros recursos que, a su vez, influyen en la distribución y abundancia de las poblaciones de osos

(Schoen 1990, van Manen y Pelton 1997). Por lo tanto, la medición de estas variables es imprescindible para conocer la disponibilidad del hábitat del oso andino.

Sin embargo, debido a la intervención humana sobre las áreas naturales y a la interacción de la gente con los osos (como competidores y depredadores), se debe considerar el hábitat en un contexto más amplio que incluya las actividades humanas tales como la agricultura, ganadería, cacería, tala selectiva, construcción de caminos, presencia de centros poblados, entre otras (Schoen 1990). Es decir, para conocer la disponibilidad del hábitat de especies como el oso andino es necesario integrar variables biofísicas, ecológicas y antropogénicas.

Existe una diferencia entre estos tres tipos de variables. Algunas como la altitud, pendiente, orientación o cobertura vegetal son variables biofísicas y ecológicas, constitutivas del hábitat del oso andino, que se replican en el paisaje de una manera aleatoria. Este tipo de variables tiene la capacidad de expandir el modelo a zonas muy distantes, más allá de la localización de la red de monitoreo. Variables biofísicas como la altitud o la cobertura vegetal están íntimamente relacionadas con la calidad del hábitat –tipo y concentración de alimento y protección del oso– (Clevenger, Purroy y Pelton 1992, Clevenger 1993, Rodríguez y Cadena sin fecha), mientras la orientación y la pendiente han sido utilizadas para obtener modelos que sirven para predecir la disponibilidad del hábitat tanto del oso negro (*Ursus americanus*) como del andino (van Manen y Pelton 1997). Asimismo, variables ecológicas como la riqueza paisajística o la distancia a los cuerpos de agua han sido identificadas como significativas durante el proceso de selección del hábitat del oso negro (Clark, Dunn y Smith 1993).

Por otra parte están aquellas variables antropogénicas, que no son elementos constitutivos de los hábitats pero sí del paisaje, tales como los pastos, cultivos, carreteras, senderos y centros poblados. Estas variables deben ser consideradas pues los modifican significativamente y, a diferencia de las variables biofísicas y ecológicas, sí restringen la expansión del modelo hacia otras zonas. Esta restricción se produce debido a que las variables antropogénicas se modelan en función de la distancia a los diferentes elementos mencionados (poblados, carreteras, cultivos, senderos), y tienen valores lineales que decrecen o se incrementan según la localización de dichos elementos. El concepto detrás de la utilización de distancias radica en la consideración de que el impacto de un elemento de-

Cuadro 2

VARIABLES SELECCIONADAS PARA DETERMINAR LA DISPONIBILIDAD DEL HÁBITAT DEL OSO ANDINO

Variable (unidad de medida)	Rango en el área de estudio		Fuente de la información y forma de procesamiento
	Cuenca alta	Cuenca baja	
BIOFÍSICAS			
Altitud (m)	2.659–4.312	1.584–3.701	Cartografía base del Instituto Geográfico Militar. Escalas 1:25.000 (cuenca alta) y 1:50.000 (cuenca baja).
Pendiente (grados) Acimut de la mayor	0–76	0–63	Calculada a partir del DTM utilizando la función <i>Slope</i> del software TNTmips
Orientación	0–360 Valor nulo -1 ^a	0–360 Valor nulo -1 ^a	Calculada a partir del DTM utilizando la función <i>Aspect</i> del software TNTmips
Cobertura vegetal (formaciones vegetales)	(véase texto)	(véase texto)	Caracterizaciones de la vegetación realizadas por Báez, Cuesta y Peralvo (1999) e Iturralde et al. (2000) con base en la clasificación digital supervisada de una imagen Landsat TM del 21 de diciembre de 1998 y de transectos <i>in situ</i> .
ECOLÓGICAS			
Distancia a cuerpos de agua (m)	0–1.877	0–1.274	Cartografía base del Instituto Geográfico Militar usando la función <i>Create distance raster</i> del software TNTmips
Riqueza paisajística (número de formaciones en área) ^b	No se tomó en cuenta	Niveles digitales de 1 a 4	A cada pixel de 30 x 30 m se le asigna un número según la cantidad de formaciones vegetales presentes en un área alrededor de 1.650 x 1.650 m, usando la función <i>FocalVariety</i> del software TNTmips
ANTROPOGÉNICAS			
Distancia a centros poblados (m)	0–13.473	0–18.877	Cálculo de la distancia a centros poblados usando la función <i>Create distance raster</i> del software TNTmips
Distancia a carreteras (m)	0–10.894	No hay carreteras	Cálculo de la distancia a la vía Cangahua–Oyacachi–Papallacta usando la función <i>Create distance raster</i> del software TNTmips
Distancia a senderos (m)	0–8.096	0–6.696	Calculada a partir de los senderos identificados por el Proyecto DIVA (1997) usando la función <i>Create distance raster</i> del software TNTmips
Distancia a la finca más cercana (m)	0–10.896	0–4.706	Distancia a las fincas que constan en la clasificación de la imagen satelital. Es calculada usando la función <i>Create distance raster</i> del software TNTmips
Uso del suelo (categorías) ^b	(véase texto)	No se tomó en cuenta	Zonas de uso delimitadas por la gente de la comunidad

^a Se incluye el valor de -1 como una alternativa para las áreas que tienen un valor nulo debido a ser zonas planas que carecen de orientación.

^b Pese a que estas variables no fueron utilizadas para obtener el mapa final, han sido incluidas en este cuadro debido a su trascendencia para la descripción de la disponibilidad del hábitat del oso andino.

La importancia de caracterizar la vegetación

La cobertura vegetal es una variable fundamental para describir la disponibilidad del hábitat del oso andino. En el caso de la cuenca del río Oyacachi, la determinación de las coberturas vegetales fue realizada a través de dos procesos paralelos: la clasificación de una imagen satelital mediante un sistema de información geográfica y la caracterización de la vegetación *in situ* (Báez, Cuesta y Peralvo 1999, Iturralde et al. 2000).

Caracterizar la vegetación *in situ* es muy importante pues proporciona criterios auxiliares que permiten afinar los resultados obtenidos mediante la clasificación de una imagen satelital, criterios que básicamente están relacionados con las cotas máximas y mínimas de presencia de cada formación vegetal. Los resultados de esta caracterización, al ser procesados



Caracterizar la vegetación *in situ* es muy importante para determinar la disponibilidad del hábitat del oso. En la foto se observa la formación de páramo herbáceo mezclada con parches de bosque de páramo mixto. Foto: Jaime Camacho / Archivo EcoCiencia

junto con los de otras variables, permiten determinar qué formaciones vegetales son seleccionadas favorablemente y cuáles son evitadas o usadas con menor frecuencia. Asimismo, se recoge información preliminar sobre la riqueza de cada formación en cuanto a su concentración de recursos alimenticios para el animal, y también sirve para realizar estudios sobre la dieta basados en el análisis de excrementos. Con estos datos también es posible determinar los patrones estacionales de movimiento y las especies vegetales críticas de cada formación vegetal.

Durante la caracterización de las formaciones vegetales de la cuenca del río Oyacachi se registró, además de la posición geográfica, la pendiente, la orientación y la altitud de cada transecto, su composición florística, la estratificación del bosque y la dominancia de especies por estratos.

terminado sobre el hábitat de cualquier especie, por ejemplo una carretera, aumenta o disminuye su intensidad de acuerdo con la distancia al mismo.

Algunas actividades humanas como la construcción de carreteras o la expansión de la frontera agrícola han sido correlacionadas con serias reducciones poblacionales del oso pardo europeo (*Ursus arctos arctos*) (Elgmork 1978, Zunino 1981; ambos citados en Clevenger, Purroy y Pelton 1992).

Durante la selección de las variables que usamos en la cuenca del río Oyacachi, seguimos como guía general los siguientes criterios:

- La variable juega un papel importante en el proceso de selección del hábitat por parte del oso.
- La variable puede ser medida en cualquier lugar del área de estudio.
- La variable debe ser lo más independiente de las demás.
- La variable describe alguna característica estructu-

ral del espacio multidimensional que define el hábitat del oso andino.

Siguiendo esta guía y con base en los criterios mencionados arriba, elegimos once variables: cuatro biofísicas, dos ecológicas y cinco antropogénicas. La forma de obtener los valores de cada variable consta a continuación y en el cuadro 2.

Variables biofísicas

Altitud. Para calcular esta variable se produjo un modelo digital del terreno, con base en las curvas de nivel que constan en las cartas topográficas del Instituto Geográfico Militar (escala 1:50.000 para la cuenca baja y 1:25.000 para la cuenca alta). Las curvas de nivel editadas fueron importadas al SIG y luego se elaboró el modelo digital de elevación con una resolución espacial de 30 x 30 m (tamaño del pixel). Esta resolución espacial fue adoptada para el resto de las variables.

Pendiente y orientación. Estas dos variables fueron calculadas a partir del modelo digital del terreno (véase altitud). El cálculo de la pendiente y de la orientación en un punto dado puede ser entendido como el ajuste de un plano respecto de los valores de altitud de los puntos vecinos; la pendiente y la dirección a la que está orientado el plano son los valores de su pendiente y orientación (Aronoff 1995).

Cobertura vegetal. Las coberturas vegetales más significativas a escala paisajística para el oso andino fueron obtenidas por Báez, Cuesta y Peralvo (1999) e Iturralde et al. (2000), quienes definieron las formaciones vegetales a partir de una imagen satelital Landsat TM y de la caracterización *in situ* mediante transectos (véase recuadro 3). Las formaciones vegetales presentes en ambas áreas de estudio fueron: bosque siempreverde montano alto, bosque de neblina montano, bosque de alisos, bosque de páramo mixto, páramo anegado y páramo herbáceo (cuadro 1 y mapa 4).

Además de las seis formaciones mencionadas, durante la clasificación de la imagen satelital se discriminaron otros cinco tipos de cobertura del suelo: fincas; derrumbes; páramo herbáceo quemado; carreteras y obras de infraestructura; y cuerpos de agua –ríos y lagunas–.

El nivel de detalle del mapa de formaciones vegetales es bastante elevado, lo que causó que esta variable produjese, durante la obtención de los resultados, un elevado nivel de fragmentación, no deseable en un estudio a escala paisajística. Esta fragmentación impide definir áreas prácticas de conservación del hábitat del oso andino en la comunidad, por lo cual para superar el inconveniente se reclasificó la variable de cobertura vegetal en formaciones más “gruesas”. Así, las formaciones de páramo herbáceo, páramo anegado y bosque de páramo mixto fueron unidas en una denominada “páramo húmedo”. Los bosques siempreverde montano alto, de neblina montano y de alisos no cambiaron.

Conviene aclarar que la caracterización de la vegetación a niveles detallados sí es importante como proceso complementario de los estudios sobre la disponibilidad del hábitat, pues ello permite desarrollar investigaciones sobre los patrones estacionales de movimiento, el acceso y uso de los recursos, entre otras.

Variables ecológicas

Distancia a cuerpos de agua (ríos, quebradas y lagunas). Se digitalizó la red hidrográfica que consta en las cartas topográficas del Instituto Geográfico Militar (1:50.000 y 1:25.000), y con ello se calculó la distan-

cia al cuerpo hídrico más cercano para cada pixel del área de estudio usando una función de proximidad.

Riqueza paisajística. La variable riqueza paisajística fue utilizada solamente en la cuenca baja, pues cuando se estudió la cuenca alta, esta variable aún no había sido construida. Consiste en otorgar a cada pixel del área de estudio un número (índice de riqueza de hábitat) de acuerdo con la cantidad de formaciones vegetales presentes en su entorno inmediato. Este índice de riqueza se obtiene usando una matriz cuadrada (“kernel”) que se desplaza sobre la cobertura “raster” de las formaciones vegetales. Con ello, se asigna un valor a cada pixel, que corresponde al número de formaciones vegetales presentes en la matriz.

La dimensión de la matriz móvil debe ser escogida en función del área de vida mínima requerida por la especie para desarrollarse normalmente. Dado que este dato es desconocido para el oso andino, decidimos usar una matriz cuadrada de 1.650 x 1.650 m, basados en el estudio de Clark, Dunn y Smith (1993), en el cual se define una matriz de esa dimensión tomando en cuenta la distancia media recorrida por una hembra adulta de oso negro americano (*Ursus americanus*) durante cuatro horas. Se considera que la superficie así definida (272 hectáreas) cubre los requerimientos diarios normales de hábitat de esta especie. Se ha utilizado la información del área de vida del oso negro pues esta especie es la que presenta más similitud, en términos de su ecología, con el oso andino (Morgan 1999, Peyton 1999).



La distancia al cuerpo de agua más cercano es una variable ecológica útil para determinar la disponibilidad del hábitat. En la foto, el río Oyacachi, y en sus riberas y montañas cercanas el bosque siempreverde montano alto. Foto: Jaime Camacho / Archivo EcoCiencia



Las fincas y el sendero que comunica los poblados de Oyacachi y El Chaco son elementos del paisaje que es indispensable considerar para determinar la disponibilidad del hábitat. En la cuenca alta estos elementos están embebidos en el bosque siempreverde montano alto. Foto: Robert Chartier / Archivo EcoCiencia

Variables antropogénicas

Distancia a centros poblados. La ubicación de la comuna de Oyacachi, único centro poblado de la cuenca alta, se obtuvo mediante la interpretación directa de la imagen satelital, mientras la ubicación de los poblados de la cuenca baja fue procesada con base en la imagen satelital y en los mapas del Instituto Geográfico Militar. Para la cuenca baja se tomaron en cuenta, además de Oyacachi, los siguientes asentamientos: Cuyuja, Papallacta, Sardinias, El Chaco, Borja, San Víctor, Baeza, Brasil Franco, Sala Honda, Linares y Santa Rosa de Quijos (mapa 3). La distancia respecto a estos puntos fue calculada mediante una función de proximidad.

Distancia a carreteras. El eje vial más importante del área de estudio es la carretera construida por la Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito (EMAAP-Q) como parte del proyecto de optimización del sistema Papallacta. Esta carretera une a la comunidad de Cangahua con el pueblo de Papallacta. Adicionalmente, existe un ramal pequeño que comienza en Yurafaccha y termina en Oyacachi (mapa 3). La vía Cangahua–Oyacachi–Papallacta fue

digitalizada a partir de la cartografía proporcionada por la EMAAP-Q y de la interpretación directa de la imagen satelital. La distancia respecto a estos puntos fue obtenida usando una función de proximidad.

Esta variable fue utilizada solamente durante el estudio de la cuenca alta. En la cuenca baja, la influencia de los ejes viales fue considerada mínima debido a que éstos se encuentran por lo menos a 5 km y a que las condiciones topográficas del área de estudio minimizan esta influencia. En efecto, el área de la cuenca baja se encuentra supeditada al valle del río Oyacachi, limitado en la vertiente norte y sur por elevadas cordilleras que actúan como barrera ante las vías de acceso, principalmente de la que va desde el río San Juan Chico hasta El Chaco.

Distancia a senderos. En la cuenca alta los senderos fueron definidos como los caminos de herradura que han sido construidos por la gente de Oyacachi y que son utilizados actualmente. Estos senderos fueron ubicados a partir de la información generada por Richard Resl (Centre for Research of Andean Rainforests 1997). En la cuenca baja solo se consideró el sendero principal que atraviesa longitudinalmente el área de estudio y que comunica a Oyacachi con El Chaco

(mapa 3), decisión que fue adoptada debido a que en los resultados de la cuenca alta se observó que los senderos alternos no tienen una incidencia significativa en el proceso de selección del hábitat del oso andino. La ubicación de estos senderos fue obtenida interpretando la imagen satelital y usando un Sistema de Posicionamiento Global (GPS por sus siglas en inglés). La distancia al sendero más próximo fue obtenida usando una función de proximidad.

Distancia a fincas. Las fincas se distribuyen a lo largo del río Oyacachi y constan como una de las coberturas de suelo discriminadas por Báez, Cuesta y Peralvo (1999) e Iturralde et al. (2000) (véase variables biofísicas y mapa 4). Su distancia respecto a cada pixel se obtuvo usando una función de proximidad.

Uso del suelo. Esta variable fue utilizada solamente durante el estudio de la cuenca alta. Inicialmente se determinaron tres categorías de uso: pastoreo; cacería y tala selectiva; y zonas sin uso, las mismas que fueron definidas a una escala paisajística y usando el criterio de poder delimitarlas espacialmente. Luego, dado que el pastoreo extensivo ha generado tres elementos del paisaje bien localizados en diferentes hábitats de la cuenca del río Oyacachi, esta categoría fue subdividida en tres: las fincas; el pastoreo en páramo herbáceo; y las zonas de páramo quemado. Con ello se definieron finalmente cinco tipos de uso del suelo:

- Las fincas ubicadas a ambas orillas del río Oyacachi, lugares que son usados para la agricultura y temporalmente para el pastoreo. Estas áreas fueron delimitadas usando las caracterizaciones de la vegetación realizadas por Báez, Cuesta y Peralvo (1999) e Iturralde et al. (2000).
- Los páramos herbáceos destinados al pastoreo, zonas no cercadas por donde los animales vagan libremente mientras se regenera el pasto de las fincas. Estas zonas fueron definidas *in situ* por los parabiólogos mediante polígonos, que fueron sobrepuestos —en el laboratorio— sobre las formaciones de páramo herbáceo. Las áreas de páramo anegado y bosque de páramo mixto fueron excluidas por no presentar características idóneas para el ganado.
- Las zonas de páramo herbáceo quemado, originadas por algunas personas de Oyacachi que luego llevan sus animales a pastar en esos lugares. Estas personas piensan que, al quemar periódicamente estas zonas, contribuyen a la “regeneración” de la paja. Estas zonas fueron discriminadas usando la imagen satelital (mapa 4).

- La cacería y la tala selectiva, dos actividades aparentemente tan disímiles entre sí, fueron agrupadas en una sola debido a que en el área de estudio se ubican en las mismas unidades espaciales. Se consideró que las zonas de bosque aledañas a las fincas presentan las condiciones más favorables para cazar y extraer madera, y por ello se definió una distancia de 800 m a partir del borde de las fincas usando la imagen satelital. Con ello se generó un polígono que cubrió esa superficie.
- Las zonas sin uso, fueron determinadas con base en la información proporcionada por los parabiólogos tomando en cuenta los lugares en los cuales no se llevan a cabo actividades productivas en la actualidad. Los factores que propician el no uso de esas zonas son su gran distancia al pueblo y su poca accesibilidad.

La decisión de incluir la variable uso del suelo fue tomada después de la implementación de la red de monitoreo. Por ello, dicha red no cubrió las categorías de uso en forma proporcional a su extensión, tal como sucedió en el caso de la variable cobertura vegetal. Este hecho conllevó algunos problemas cuando se obtuvo los resultados, por lo cual no fue utilizada para obtener el mapa final, pero sí para hacer un ensayo metodológico sobre la relación entre los cinco tipos de uso del suelo y la disponibilidad del hábitat del oso (véase recuadro 7).

En la cuenca baja no se registró la variable uso del suelo debido a que, por la distancia y el aislamiento de dicha zona, los usos extensivos del suelo allí son muy restringidos y se limitan a la presencia de pocas fincas, cuya influencia ya es considerada por la variable distancia a fincas.

3.2 La implementación de la red de monitoreo

La red de monitoreo implementada para determinar la selección del hábitat del oso andino en la cuenca del río Oyacachi (y con ello la disponibilidad del mismo en el área de estudio) fue diseñada con base en los procedimientos establecidos por Clevenger (1993) y Kendall et al. (1992), y luego adaptada a las condiciones del área de estudio por Cuesta et al. (1999). La red estuvo conformada por 52 “líneas”: 34 en la cuenca alta y 18 en la cuenca baja, cada una de 1.600 m de longitud y compuesta por dos “transectos” de 800 m de largo y 5 m de ancho. Las líneas estuvieron separa-

Cuadro 3

Longitud de la red de monitoreo sobre cada formación vegetal

Formación vegetal	Cuenca alta		Cuenca baja	
	Distancia cubierta (m)	Porcentaje	Distancia cubierta (m)	Porcentaje
Bosque de alisos	362	0,7	0	0
Páramo húmedo ^a	33.586	62	150	0,6
Bosque de neblina montano	3.637	7	21.193	86
Bosque siempreverde montano alto	15.244	28	2.575	10
Pastos y fincas	1.382	3	737	3
Total calculado^b	54.211	100	24.655	100
Total establecido	54.400	-	28.800	-

^a Incluye tres formaciones: páramo herbáceo, páramo anegado y bosque de páramo mixto.

^b La diferencia entre la superficie calculada y la establecida se debe a que las distancias fueron obtenidas usando una medición lineal que no considera las distancias reales por efecto de la pendiente.

das por lo menos por un kilómetro y distribuidas proporcionalmente según la representatividad de cada formación vegetal en el área de estudio. En algunos casos, dependiendo sobre todo de la topografía, los dos transectos de cada línea no fueron continuos.

La red de monitoreo de la cuenca baja se concentró sobre todo en la vertiente norte del río Oyacachi, debido a que el camino de herradura que comunica Oyacachi con El Chaco, está dispuesto a lo largo de esta vertiente y el acceso allí es más sencillo y posible a lo largo de todo el año. Además, debido a la escasez de puentes o cables era probable que las zonas de la vertiente sur del río Oyacachi quedasen aisladas durante los meses lluviosos y que eso impidiese el monitoreo.

En las formaciones boscosas, las líneas fueron dispuestas de manera ascendente a la pendiente y se estableció como base el límite superior de las fincas y el inicio del bosque. Fueron marcadas con cinta cada diez metros, con el objetivo de facilitar la ubicación espacial del lugar del registro, y se tomó de cinco a ocho puntos GPS en cada una con el propósito tanto de asegurar su posición como de afinar las caracterizaciones de la vegetación de Báez, Cuesta y Peralvo (1999) e Iturralde et al. (2000).

En las formaciones de páramo, las líneas fueron marcadas cada veinte metros y los puntos GPS fueron tomados cada 200 m (ocho puntos por línea).

En la cuenca alta, dado que la formación vegetal con mayor representatividad es el páramo húmedo, se estableció en éste el 62% de las líneas. En contraste, en los bosques de alisos se establecieron 362 m de línea de monitoreo, lo cual equivale a menos del 1%

del total de líneas. El restante porcentaje de líneas en esta zona fue colocado en el bosque siempreverde montano alto (28%), bosque de neblina montano (7%) y fincas (3%), como consta en el cuadro 3.

En la cuenca baja el bosque de neblina montano fue el tipo de cobertura vegetal donde se establecieron más líneas (86% del total), mientras las fincas y las formaciones de páramo fueron las menos representadas: juntas cubrieron menos del 4% del total de líneas. Las demás líneas fueron establecidas en el bosque siempreverde montano alto (10%). Los bosques de aliso no estuvieron representados (cuadro 3).

El monitoreo de la red de la cuenca alta fue llevado a cabo entre abril y julio de 1999, y luego se continuó con la cuenca baja, entre septiembre y noviembre de 1999 y en febrero de 2000. Los datos de febrero de 2000, aunque corresponden a otro período de monitoreo, fueron incluidos en el análisis para aumentar la cantidad de registros y así contar con una muestra más significativa. En total se recorrieron 224 km: 108,8 km en la cuenca alta (se recorrió dos veces cada línea) y 115,2 km en la cuenca baja (se recorrió cuatro veces cada línea).

Los registros indirectos y las variables asociadas con el hábitat fueron anotadas, junto con el tipo de registro, en fichas diseñadas con ese propósito (gráfico 1). Los datos anotados en esas fichas y la forma de obtenerlos fue como sigue: las coordenadas UTM con cuatro unidades GPS (modelos Garmin 12X y 12XL; la distancia en el transecto con base en las cintas de marcaje; la altitud con un altímetro; la cobertura vegetal según las caracterizaciones de Báez, Cuesta y Peralvo

Gráfico I

Hoja de campo utilizada durante el monitoreo de registros indirectos

N° de registro: <input style="width: 50px;" type="text"/>	Registro <u>dentro</u> del transecto <input style="width: 20px;" type="checkbox"/>	Registro <u>afuera</u> del transecto <input style="width: 20px;" type="checkbox"/>
Fecha (dd/mm/aaaa): <input style="width: 150px;" type="text"/>	Hora: <input style="width: 150px;" type="text"/>	Investigadores: <input style="width: 150px;" type="text"/>

*** Posición**

Distancia en la línea: <input style="width: 80px;" type="text"/> m.	Altitud: <input style="width: 80px;" type="text"/> msnm.	Posición UTM: E <input style="width: 120px;" type="text"/>
Línea No. <input style="width: 40px;" type="text"/>	Pendiente: <input style="width: 80px;" type="text"/>	N <input style="width: 120px;" type="text"/>
Transecto 1 <input style="width: 20px;" type="checkbox"/>	Distancia de avistamiento: <input style="width: 100px;" type="text"/> m.	Código del receptor: <input style="width: 50px;" type="text"/>
Transecto 2 <input style="width: 20px;" type="checkbox"/>	Orientación: <input style="width: 100px;" type="text"/>	

Descripción del lugar

*** Tipo de formación vegetal:**

Bosque de neblina montano <input type="checkbox"/>	Nombre de árboles _____
Bosque siempreverde montano alto <input type="checkbox"/>	_____
Bosque de alisos <input type="checkbox"/>	_____
Bosque de páramo mixto <input type="checkbox"/>	Nombre de otras plantas _____
Páramo herbáceo <input type="checkbox"/>	_____
Páramo anegado <input type="checkbox"/>	_____

*** Tipo de uso:**

Cacería y tala selectiva <input type="checkbox"/>	Sin uso <input type="checkbox"/>	<u>Observaciones</u> _____
Pastoreo <input type="checkbox"/>	Fincas <input type="checkbox"/>	_____
Pastoreo y quemas <input type="checkbox"/>		_____

*** Tipo de registro**

Heces <input type="checkbox"/>	Edad de la muestra: Vieja <input type="checkbox"/>	Muestra colectada: Sí <input type="checkbox"/>	Pelos <input type="checkbox"/>	Muestra colectada: Sí <input type="checkbox"/>
	Fresca <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>		No <input type="checkbox"/>

Huella

<input style="width: 40px;" type="text"/> cm.					

<p>Márcas en árbol <input type="checkbox"/> → Nombre del árbol <input style="width: 150px;" type="text"/> Muestra colectada: Sí <input type="checkbox"/></p> <p>Comedero <input type="checkbox"/> → Nombre de la planta <input style="width: 150px;" type="text"/> Muestra colectada: Sí <input type="checkbox"/></p> <p>Nido <input type="checkbox"/> → Nombre del árbol <input style="width: 150px;" type="text"/> Muestra colectada: Sí <input type="checkbox"/></p> <p>Observación directa <input type="checkbox"/> → N° de individuos: <input style="width: 50px;" type="text"/> Tiempo de observación: <input style="width: 50px;" type="text"/> min.</p> <p style="margin-left: 40px;">¿Crías? <input style="width: 50px;" type="text"/></p> <p>Comportamiento: _____</p> <p>_____</p> <p>_____</p>	<p>Sendero <input type="checkbox"/> → Ancho: <input style="width: 80px;" type="text"/> m.</p> <p>Restos del animal muerto <input type="checkbox"/> → Muestra colectada: Sí <input type="checkbox"/></p> <p style="margin-left: 40px;">No <input type="checkbox"/></p> <p>Tipo de restos: _____</p> <p>_____</p> <p>_____</p>
--	--

Observaciones _____

PROYECTO
Conservación del Oso Andino

El monitoreo biológico participativo

Los procesos de conservación de especies amenazadas o en peligro de extinción tienen una gran probabilidad de no alcanzar sus objetivos si no se cuenta con el apoyo de las comunidades que conviven con los ecosistemas. El monitoreo biológico participativo es una metodología que permite incorporar a esas personas en los procesos de conservación (parabiólogos/as) y lograr que internalicen los objetivos y resultados de la investigación. Para ello se las capacita en técnicas de monitoreo de vida silvestre y participan en la aplicación de los resultados, por ejemplo durante la zonificación de áreas prioritarias para la conservación de la especie.



Parabiólogos y técnicos comparten un campamento durante una salida de monitoreo de registros indirectos. Foto: Víctor Utreras / Archivo de la Fundación Antisana

Dado el conocimiento que las personas de las comunidades tienen de su entorno, su participación también sirve para obtener información muy útil al momento de diseñar las investigaciones. En el caso del estudio de la cuenca del río Oyacachi, los saberes de la gente de Oyacachi sirvieron, entre otras cosas, para seleccionar los sitios en los cuales se realizó la caracterización vegetal; delimitar espacialmente las zonas donde se llevan a cabo las actividades productivas (ganadería, agricultura, tala, cacería y quema del páramo); y ubicar la red de monitoreo. Su conocimiento del oso andino también fue imprescindible durante el monitoreo, pues son quienes mejor detectan las diferentes señales o registros que dejan los animales.

(1999) e Iturralde et al. (2000); la orientación con una brújula (en relación con la pendiente y teniendo como referencia la ubicación del norte); la pendiente con un clinómetro, haciendo un promedio entre la pendiente ascendente y descendente; el tipo de uso con base en una de las cinco opciones señaladas en la sección 3.1.

El monitoreo de registros indirectos fue realizado por los parabiólogos de la comuna de Oyacachi. Ellos fueron capacitados sobre las técnicas de monitoreo por el personal del proyecto "Conservación del Oso Andino", quienes además supervisaron la recopilación de la información en el campo. La capacitación fue periódica con el fin de mantener frescos los conocimientos y también para mantener una comunicación constante entre el equipo técnico y el de parabiólogos. Este proceso fue muy importante pues sirvió además para aumentar la conciencia ambiental de la gente de la comuna a través de la transmisión de conceptos ecológicos sobre los ecosistemas de la región, con la consecuente mejoría de sus relaciones con las áreas naturales de su territorio (véase recuadro 4).

3.3 La construcción del modelo estadístico

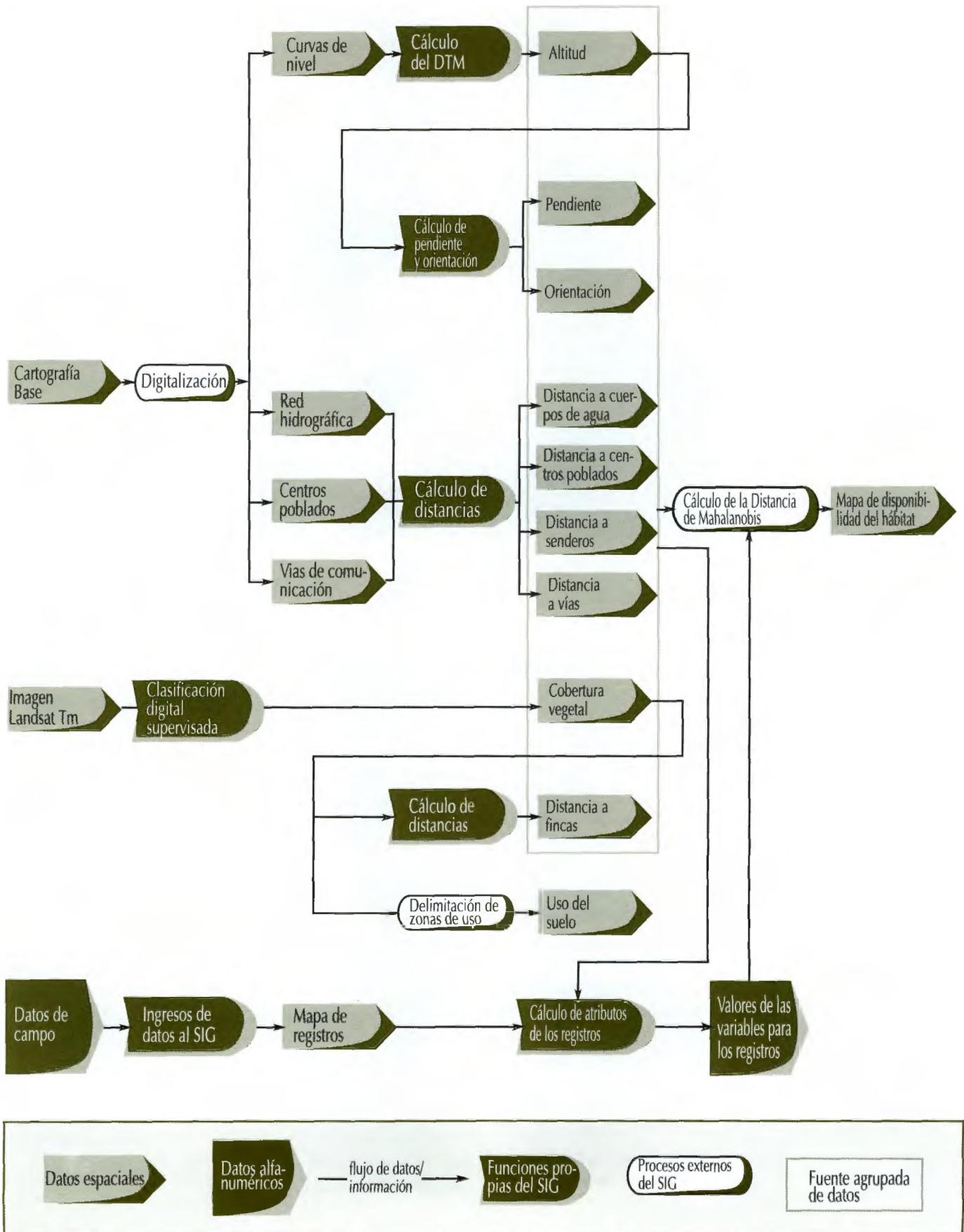
El objetivo principal durante este tercer paso es determinar, dentro del área de estudio, los lugares que presentan características apropiadas para el oso andino. Para ello, el área es dividida en subunidades llamadas pixeles (en el caso de Oyacachi cuadrados de 30 x 30 m), y luego se calcula la probabilidad de cada pixel de ser un hábitat adecuado para la especie. Esta probabilidad se determina analizando los datos obtenidos durante el monitoreo y en el laboratorio, mediante un modelo estadístico multivariado: la Distancia de Mahalanobis (d^2).

Así, para determinar la disponibilidad del hábitat del oso andino se requiere seguir dos procesos paralelos y complementarios: la generación de la información espacial y el modelamiento estadístico (gráfico 2).

El primer proceso (la generación de la información espacial) consiste en construir, utilizando un Sistema de Información Geográfica, las capas de información de las variables registradas en formato "raster", con lo cual se logra que el espacio sea regularmente subdividido en

Gráfico 2

Modelo cartográfico para generar las variables constitutivas del hábitat



Los Sistemas de Información Geográfica

Un Sistema de Información Geográfica (SIG), en su concepción más amplia, es un conjunto de procedimientos que pueden ser llevados a cabo de forma manual o mediante el uso de paquetes informáticos, y que permite manejar y analizar información espacialmente referenciada. Mediante estos sistemas se puede responder a tres preguntas básicas sobre casi cualquier fenómeno que se desarrolle en el espacio: ¿Cuál es la naturaleza del fenómeno?, ¿Dónde se desarrolla?, y ¿Cómo interactúa actual o potencialmente con su entorno? Esta extraordinaria versatilidad tiene como consecuencia que un SIG sea una herramienta sumamente útil para generar información espacial en campos muy diversos como la planificación urbana, la predicción de sitios arqueológicos potenciales, la determinación de la disponibilidad del hábitat de una especie, entre muchos otros.

En el caso del estudio de especies silvestres, la utilización de un SIG tiene muchas ventajas. Una es la facilidad de integrar los datos obtenidos durante el monitoreo de registros indirectos con la información producida en el laboratorio. Otra es que permiten obtener una buena identificación del área de vida de una especie, así como analizar el valor de los elementos del paisaje dentro del área de estudio, tales como remanentes de bosques, formaciones vegetales o lagunas (Dupré, Corsi y Boitani sin fecha). Otras ventajas de dichos sistemas son que pueden ser usados para examinar la influencia humana en las áreas de vida de los organismos estudiados (Ostro et al. 1999), y que son los más apropiados para investigar a especies generalistas, es decir, aquellas cuyos requerimientos de hábitat son amplios y cuyos hábitos alimenticios no son específicos (Donovan, Rabe y Olson 1987). Además, los modelos de hábitat basados en el soporte de un SIG y en análisis estadísticos multivariados sirven para predecir la presencia y el



Es en los laboratorios de Sistemas de Información Geográfica donde se procesan los datos para obtener el mapa de disponibilidad del hábitat.
Foto: Jaime Camacho / Archivo EcoCiencia

uso de los hábitats que ocupa una especie en áreas extensas (Clark, Dunn y Smith 1993, van Manen et al. sin fecha).

De igual manera, los datos pueden ser obtenidos invirtiendo menos recursos económicos que con otras técnicas orientadas a obtener los mismos resultados, y se puede obtener y procesar los valores de cualquier variable, sea biofísica, ecológica o antropogénica.

Por ejemplo, para obtener la altitud y la pendiente del área de estudio se genera un modelo digital de elevación del terreno a partir de mapas donde constan las curvas de nivel; para calcular las variables de distancia a ciertos elementos del paisaje se usa una función de proximidad; y para determinar la cobertura vegetal se usa una imagen satelital (véase el cuadro 2).

En la cuenca del río Oyacachi, la disponibilidad del hábitat del oso andino fue obtenida mediante análisis estadísticos multivariados de los registros obtenidos en el campo. Fue en ese momento cuando el sistema de información geográfica jugó un papel esencial, pues nos permitió generar las variables que inciden sobre los lugares donde se evidenció la presencia del animal y, en función de dichas variables, crear un modelo estadístico para predecir los espacios más apropiados para el oso andino en el área de estudio.

Como resultado de estos procesos se obtienen coberturas de las variables analizadas, las cuales están conformadas por unidades básicas o píxeles de una determinada dimensión —en el caso del estudio en la cuenca del río Oyacachi tuvieron 30 x 30 m— que determina la resolución espacial del estudio (véase gráfico del recuadro 6). Como píxel debe entenderse a cada subunidad cuadrada de cierta dimensión en la que se encuentra dividida la cobertura de información. Así se obtuvo información para cada variable modelada y para cada píxel de dicha variable dentro del área de estudio, dentro de lo que se conoce como una estructura de datos "raster".

La estadística multivariada para determinar la disponibilidad del hábitat

El hábitat, en su concepto más sencillo, es una entidad multidimensional definida por un conjunto de variables que hacen que un espacio sea considerado como adecuado o inadecuado para una especie determinada. Si se desea elaborar un modelo que valore la probabilidad de los hábitats presentes de ser adecuados para una especie, éste debe estar enfocado hacia el análisis de las relaciones entre dichas variables y su influencia sobre el hábitat. Así, para cada unidad de muestreo es necesario obtener información sobre dos o más variables, es decir, recolectar datos multivariados que serán sometidos a análisis estadísticos multivariados.

Durante el estudio de la disponibilidad del hábitat del oso andino en la cuenca del río Oyacachi, escogimos el cálculo de la Distancia de Mahalanobis como método estadístico multivariado. La Distancia de Mahalanobis (d^2) es un número que representa el potencial de un sitio determinado en función de cuánto se asemeja a un conjunto de condiciones "ideales" basadas en características de hábitat medidas en los lugares donde se encontraron registros indirectos. Si se obtiene un valor bajo de distancia (o una probabilidad mayor o igual al 70%) quiere decir que las condiciones específicas de ese sitio son similares al ideal, y viceversa.

Operativamente esto implica que para el área de estudio se debe construir una capa de información de cada variable. Estas capas deben construirse en un formato de datos "raster", de forma que cada pixel del área de estudio posea información sobre todas las variables, como se muestra en el gráfico de este recuadro.

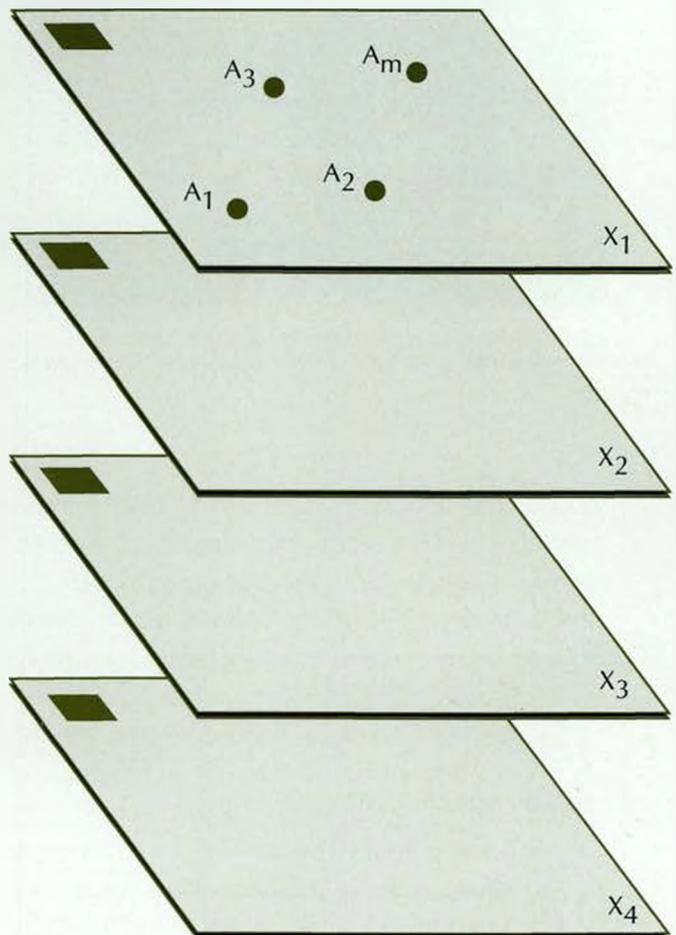
Una vez que se tiene toda la información como en el gráfico, se procede a calcular la Distancia de Mahalanobis para cada pixel del área de estudio utilizando la siguiente ecuación:

$$d^2 = (\mathbf{x} - \hat{\mathbf{u}})' \Sigma^{-1} (\mathbf{x} - \hat{\mathbf{u}})$$

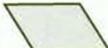
donde \mathbf{x} es el vector de las variables de hábitat de un pixel cualquiera del área de estudio, correspondiente a $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$; $\hat{\mathbf{u}}$ es el vector promedio de las variables de hábitat calculado a partir de los puntos en el campo donde se encontraron registros de osos (A_1, A_2, A_3, A_m); y Σ^{-1} es la inversa de la matriz de varianza-covarianza calculada a partir de los puntos de campo donde se encontraron registros del oso.

La Distancia de Mahalanobis es, entonces, una medida de disimilaridad que sirve para valorar aquellos pixeles donde no se encontraron registros de uso del hábitat del oso, otorgándoles un valor basado en los atributos de cada pixel comparado con las condiciones "ideales", es decir, las presentes en los pixeles donde sí se encontraron registros de uso del hábitat.

Estructura de datos para el cálculo de la Distancia de Mahalanobis



A_i = registros

 = área de estudio

 = 1 pixel

X_i = cada variable



Las zonas núcleo son los lugares cuyas características se aproximan más al hábitat ideal del oso andino. Foto: Milton H. Tierney, Jr. / Archivo GEOF-EcoCiencia

celdas, y se obtiene el valor de cada variable en cada pixel. Los valores de las variables obtenidos con cada registro indirecto son utilizados para calcular el vector promedio \hat{u} –o vector del “hábitat ideal”–, el cual es utilizado en el modelo estadístico multivariado Distancia de Mahalanobis (véase recuadros 5 y 6).

La construcción de las variables espaciales se hizo, en el caso del estudio de Oyacachi, mediante el software TNTmips, un Sistema de Información Geográfica que permite el manejo y análisis de datos espaciales en formatos “raster” y vectorial (MicroImages 1999).

El segundo proceso –el modelamiento estadístico–, corresponde a la determinación misma de la disponibilidad del hábitat dentro del área de estudio con base en la información obtenida en el campo. Para ello se escogió el modelo estadístico multivariado Distancia de Mahalanobis, cuya implementación se realizó utilizando un programa en Spatial Management Language (SML) propio del software TNTmips. Este modelo estadístico fue escogido debido a que permite identificar y clasificar las diferentes zonas constitutivas de un hábi-

tat según su probabilidad de cubrir los requerimientos de la especie estudiada (van Manen y Pelton 1997).

La Distancia de Mahalanobis es una medida de disimilitud y representa la distancia (variación) cuadrática entre un grupo de variables de una muestra (x) y el valor de las características ideales del hábitat (\hat{u}) (Rao 1952 citado en Clark, Dunn y Smith 1993). El modelo Distancia de Mahalanobis es representado por la ecuación $d^2 = (x - \hat{u})' \Sigma^{-1} (x - \hat{u})$; donde x es el vector de las características del hábitat usado por el sistema de información, \hat{u} es el vector principal de las características medidas del hábitat de los puntos originales de muestreo, y Σ^{-1} es el inverso de la matriz de varianza y covarianza calculada para los puntos de muestreo (véase recuadro 6).

Cuando se ha calculado la Distancia de Mahalanobis para cada pixel del área de estudio se sabe cuáles son los idóneos para el oso andino: aquellos con valores d^2 bajos son los que presentan características similares a los lugares donde se encontraron registros y, por el contrario, las áreas con valores mayores son las que presentan condiciones muy distintas a las identificadas como “ideales” (van Manen en preparación). El fundamento teórico de este razonamiento y la forma de implementarlo en la práctica constan en el anexo 1.

Para facilitar el análisis de la disponibilidad del hábitat, los valores de la Distancia de Mahalanobis fueron convertidos en valores de probabilidad, los mismos que fueron agrupados en rangos. No existen criterios generalizados sobre el número y los límites óptimos de probabilidad que se debería utilizar para definir estos rangos. Por ejemplo, Clark, Dunn y Smith (1993) en su estudio sobre el uso del hábitat del oso negro americano (*Ursus americanus*) utilizan nueve rangos de probabilidad con intervalos distintos, mientras van Manen et al. (sin fecha) definen cuatro rangos en su modelo de predicción de presencia del árbol de nuez (*Juglans cinerea*). Van Manen y Pelton (1997) utilizaron diez rangos iguales en su modelo para predecir el uso del hábitat del oso negro americano.

Dado que la información de este estudio será usada para definir áreas de conservación de los hábitats que usa el oso andino, se escogieron cuatro rangos de probabilidad que permitiesen generar áreas espacialmente coherentes y de fácil identificación. Estos rangos corresponden a las zonas núcleo (áreas con gran probabilidad), zonas de conectividad y amortiguamiento (áreas con probabilidad intermedia) y zonas periféricas (áreas con poca probabilidad). Adicionalmente, se obtuvo las zonas de probabilidad nula.

Las zonas núcleo fueron definidas como los lugares que presentan las características más próximas al hábitat ideal del oso andino; su rango de probabilidad oscila entre el 70 y el 100% ($p > 0,7$). Las zonas de conectividad son lugares que tienen características medias respecto de las ideales y que sirven o actúan como potenciales corredores que conectan a las zonas núcleo; su rango de probabilidad oscila entre el 30 y el 70% ($0,3 \leq p \leq 0,7$). Las zonas de amortiguamiento son sitios que presentan valores menores con respecto a los ideales, pero que permiten la cohesión entre las zonas núcleo y de conectividad, además de brindarles protección; su rango de probabilidad oscila entre el 1 y el 30% ($0,01 < p \leq 0,3$). Las zonas periféricas son aquellas que engloban a las tres zonas descritas y cuyos valores, respecto de los valores ideales del hábitat, son muy bajos ($0 < p \leq 0,01$). Finalmente, las zonas de probabilidad nula ($p = 0$) son aquellas cuyas condiciones bióticas, ecológicas y de elementos antropogénicos las convierten en hábitats no aptos para la especie.

3.4 Las pruebas de estabilidad del modelo

Una vez que se ha incorporado la información de las variables en el Sistema de Información Geográfica, el cuarto proceso que es necesario seguir para obtener el mapa de disponibilidad del hábitat consiste en llevar a cabo un proceso interactivo de prueba-verificación-corrección-prueba del modelo, para determinar su fiabilidad (Peralvo 2000).

Las pruebas de estabilidad son evaluaciones durante las cuales se excluye algunas variables y se obtiene mapas preliminares (véase páginas 31-34). Luego, con esos mapas se evalúa visualmente la influencia que cada variable ejerce sobre la distribución espacial de las áreas y se determina cuál es la combinación más idónea para obtener el mapa final. Los cambios son detectados cuando se observa la expansión o disminución de las diferentes zonas (núcleo, de conectividad, de amortiguamiento o periféricas), así como su distribución espacial (fragmentadas u homogéneas). Aquellas variables que presentan menor influencia o las que presenten algún problema en su distribución espacial son excluidas del análisis final.

En este estudio se realizaron seis pruebas de estabilidad del modelo para cada cuenca. En algunas se incluyeron todas las variables, en otras se excluyeron dos o tres, y en ciertos casos se reclasificó algunas (como la cobertura vegetal) para tener un mayor grado de exactitud.

3.5 El análisis de los resultados

Una vez probada la estabilidad del modelo, las variables incluidas se agrupan en cuatro rangos de probabilidad que corresponden a las zonas núcleo, de conectividad, de amortiguamiento y periféricas (las zonas de valor nulo son excluidas del análisis final). Luego se calcula la media (\bar{x}), desviación estándar (SD), máxima y mínima de cada variable continua y con ello se logra estratificarlas según rangos. En el caso de las variables categóricas, se calcula la superficie de cada rango de probabilidad sobre éstas.

Para determinar cuál variable ejerce mayor influencia sobre el resultado se utilizan dos mecanismos: el análisis de cuánto varía cada una respecto a su media y el análisis de la correlación entre variables (Peralvo 2000).

Para determinar cuánto varió cada variable respecto de su media se utiliza un coeficiente de variación (CV), el cual es una medida adimensional que ha sido definida como el cociente entre la desviación estándar y la media de una distribución (Barber 1988). Las variables que presentan una dispersión menor en relación con su media son las que restringen más el resultado, mientras que las más dispersas ejercen menor influencia (van Manen comunicación personal). Así, las variables con un rango amplio tendrán una desviación estándar amplia y, por lo tanto, su coeficiente de variación será alto y menos influyente en el modelo (Clark, Dunn y Smith 1993). Este coeficiente se calcula con la fórmula

$$CV = (SD/\bar{x}) * 100$$

donde **SD** es la desviación estándar y \bar{x} la media.

El análisis de la correlación entre las variables también sirve para conocer la intensidad con la que cada una influye en los resultados. Para ello se usa el coeficiente de correlación simple (r), cuya fórmula es:

$$r = \frac{n\sum x_i y_i - (\sum x_i)(\sum y_i)}{\sqrt{n\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \sqrt{n\sum y_i^2 - (\sum y_i)^2}}$$

donde **x** y **y** son las variables analizadas y **n** el número de observaciones correspondientes a las variables. El coeficiente de correlación r es un número puro que puede tomar cualquier valor entre -1 y $+1$; si las variables **x** e **y** son independientes entonces $r = 0$; si las variables están perfectamente correlacionadas positivamente entonces $r = 1$; y si $r = -1$ entonces la correlación es negativa (Barber 1988).



Los comederos son el registro indirecto más común, por ejemplo los restos de esta achupalla (*Puya* sp.) en el páramo herbáceo. Foto: Mauricio Guerrón / Archivo EcoCiencia



A continuación se presenta los principales resultados de los dos estudios piloto llevados a cabo en la cuenca del río Oyacachi entre abril de 1999 y febrero de 2000. Éstos han sido divididos en cuatro partes: en la primera parte se analiza los registros indirectos obtenidos en ambas cuencas; en la segunda parte se presenta los resultados obtenidos durante las pruebas de estabilidad del modelo; en la tercera parte se presenta el resultado final de la disponibilidad del hábitat en el área de estudio; y en la cuarta parte se mencionan las variables que influyeron más durante la determinación de dicha disponibilidad.

4.1 Los registros indirectos

El monitoreo en la cuenca alta se llevó a cabo entre abril y julio de 1999, período durante el cual se obtuvo 95 registros indirectos. El monitoreo en la cuenca baja se llevó a cabo entre septiembre y noviembre de 1999 y en febrero de 2000; aunque pertenecen a otro período de monitoreo, los datos de febrero fueron incluidos con el fin de contar con una muestra más significativa. Durante este período de muestreo se encontraron 63 registros de los cuales se utilizaron solamente 48; los restantes 15 fueron excluidos debido a problemas en la determinación de su posición utilizando el GPS, problema que se presenta principalmente en los registros encontrados dentro del bosque de neblina montano, cuyo dosel sobrepasa los 20 m de altura y dificulta la recepción de la señal de los satélites. Sin embargo, estos 15 registros adicionales sí fueron utilizados para el análisis de los tipos de registros (cuadro 4).

Los registros de la cuenca alta

De los 95 registros obtenidos en la cuenca alta, los comederos fueron los más frecuentes: 63 en total, lo cual equivale al 66% de la muestra. Los registros de heces

Cuadro 4

Registros indirectos obtenidos en la cuenca del río Oyacachi

Registro	Cuenca alta		Cuenca baja	
	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia	Porcentaje
Comederos (especie)				
<i>Aulonemia gueko</i>	0		17	
<i>Chusquea</i> sp.	1		3	
<i>Cyclanthus</i> sp.	0		2	
<i>Gregia</i> sp.	20		10	
<i>Puya</i> sp.	41		0	
Bromeliaceae	1		1	
Total (comederos)	63	66	33	52
Marcas en árboles (especie)				
<i>Eugenia</i> sp.	0		1	
<i>Erythrina edulis</i>	0		1	
<i>Miconia corymbiformis</i>	0		1	
<i>Nectandra</i> sp.	0		1	
<i>Weinmannia</i> sp.	1		0	
Especies no identificadas				
sp1	0		3	
sp2	0		1	
sp3	0		1	
sp4	0		1	
sp5	1		-	
Total (marcas)	2	2	10	16
Heces	16	17	9	14
Huellas	10	11	9	14
Senderos	3	3	1	1,5
Nidos	0	0	1	1,5
Observación	1	1	0	0
Total (todos los registros)	95	100	63	100

correspondieron al 17% y las huellas al 11%, mientras los senderos representaron el 3%, las marcas en árboles el 2% y la observación directa apenas el 1%. En la cuenca alta no se encontró nidos (cuadro 4).

En los comederos se determinó el consumo de cuatro plantas: una bromelia epífita no identificada, dos bromelias terrestres (*Gregia* sp. y *Puya* sp.), y una hierba bambusoidea (*Chusquea* sp.). De estas cuatro especies, la más frecuente fue *Puya* sp. (en el 65% de los comederos). En cuanto a las marcas en árboles, en dos especies se encontró evidencias de que el oso había trepado por su tronco; una corresponde al género *Weinmannia* y la otra no fue identificada (cuadro 4).

Existe una amplia dispersión entre los valores de altitud de los 95 registros, pues fueron encontrados en-

tre los 3.630 y los 4.106 m de altitud. Así, éstos abarcan todos los tipos de vegetación del área. Sin embargo, se determinó una evidente preferencia por el rango entre 3.400 y 3.800 m de altitud ($\bar{x} = 3.683$ m). Las zonas dentro de este rango preferido donde fueron registradas las señales de actividad del oso andino tienen una pendiente promedio de 22° y una orientación promedio hacia el sur (cuadro 5).

Los registros de la cuenca baja

En la cuenca baja los comederos también fueron los registros más frecuentes: 33 de 63, lo cual equivale al 52% de la muestra. Las marcas en árboles representaron el 16%, las heces y huellas el 14% cada una, y los

Cuadro 5

Valor de las variables altitud, orientación y pendiente asociadas con los registros indirectos

	Altitud (metros)	Orientación (grados)	Pendiente (grados)
Cuenca alta			
Media	3.683	171	22
Desviación estándar	330	100	15
Máxima	4.106	360	60
Mínima	2.630	0	0
Cuenca baja			
Media	2.655	183	27
Desviación estándar	320	96	10
Máxima	3.572	345	48
Mínima	2.059	10	0

nidos y senderos el 1,5% cada uno. No se hizo ninguna observación directa en la cuenca baja (cuadro 4).

En los comederos se registró el consumo de cinco plantas: una bromelia terrestre (*Gregia* sp.), dos hierbas bambusoideas (*Chusquea* sp. y *Aulonemia gueko*), una epífita terrestre (*Cyclanthus* sp.) y una epífita de la familia Bromeliaceae no identificada. De estas cinco especies, la más común fue *A. gueko*, en el 52% de los comederos (cuadro 4). En cuanto a las marcas en árboles, se encontraron ocho especies con evidencias de que el oso había trepado por su tronco. De éstas, dos fueron identificadas hasta género (*Eugenia* sp. y *Nectandra* sp.) y dos hasta especie (*Erythrina edulis* y *Miconia corymbiformis*). Una especie no determinada fue la más frecuente.

Hubo una amplia dispersión de los valores de altitud, los cuales oscilaron entre 2.059 y 3.572 m, abarcando por lo tanto todos los tipos de vegetación excepto las fincas. Sin embargo, se detectó una evidente preferencia por el rango entre 2.300 y 3.000 m de altitud ($\bar{x} = 2.655$ m; $SD = 320$). Dentro de este rango preferido, las localidades donde fueron generalmente registradas las señales de actividad del oso andino tienen una pendiente promedio de 27° ($SD = 10^\circ$) y una orientación promedio hacia la vertiente sur, con un rango de distribución entre el sudoeste y el sudeste (cuadro 5).

4.2 Las pruebas del modelo estadístico

Una vez construido el modelo e incorporados los datos de las variables asociadas con los registros indirectos

(véase 3.3), tanto para la cuenca alta como para la baja se realizaron seis pruebas o evaluaciones preliminares, en las cuales se excluyeron ciertas variables (véase 3.4). Los resultados de dichas pruebas constan a continuación.

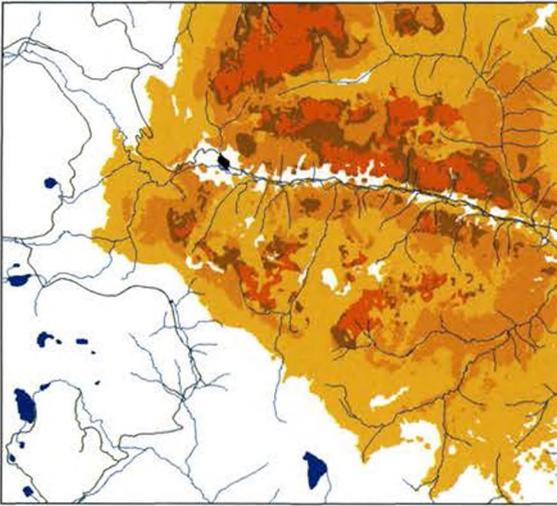
Las pruebas del modelo de la cuenca alta

En la **primera prueba** incluimos todas las variables seleccionadas originalmente, y fue utilizada como referencia para el resto de evaluaciones. Observamos una fragmentación en todas las zonas de probabilidad, y un cambio abrupto entre las zonas de gran probabilidad (núcleo) y las de poca probabilidad (periféricas), sin una transición gradual de zonas con probabilidad intermedia (conectividad y amortiguamiento). Este comportamiento del modelo permitió notar que una o más variables estaban generando dicha fragmentación.

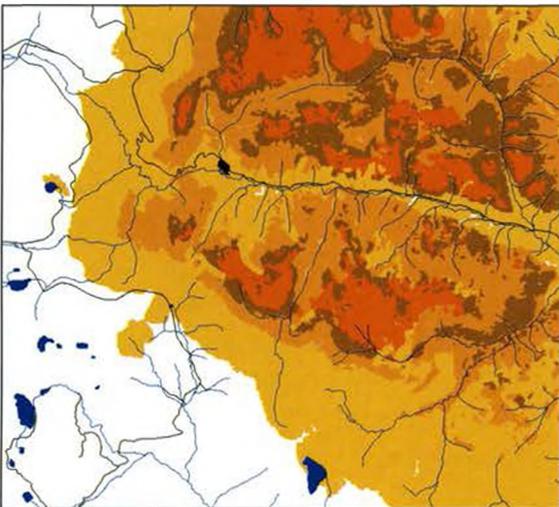
Durante la segunda prueba excluimos las variables uso del suelo y distancia a fincas. Además, la variable cobertura vegetal fue reclasificada en cuatro categorías: páramo húmedo (que agrupa las tres formaciones de páramo); bosque siempreverde montano alto; bosque de neblina montano; y bosque de alisos. Como se mencionó en los métodos, esta reclasificación se debió al gran nivel de fragmentación espacial que la variable cobertura vegetal presentó originalmente. Al observar los resultados de la primera prueba, durante la cual se utilizó la variable cobertura vegetal sin reclasificar, sospechamos que la fragmentación de las áreas se debía en gran medida a la heterogeneidad espacial de esa variable. Por ello se tomó la decisión de utilizar unidades espaciales de vegetación más homogéneas.

En el resultado de la **segunda prueba** hubo mayor homogeneidad y se evidenció una transición más natural entre las zonas núcleo y las periféricas. Esto corroboró que la cobertura vegetal es una de las variables que influyen más durante el estudio de la disponibilidad del hábitat del oso andino a una escala paisajística. En comparación con el resultado de la primera prueba, en la segunda observamos un aumento de las zonas de amortiguamiento y periféricas especialmente hacia el norte y el nordeste de la comuna, sitios correspondientes al bosque siempreverde montano alto y al páramo herbáceo. También apreciamos zonas que fueron calificadas con probabilidad nula y que están ubicadas en la porción occidental del área de estudio, en las zonas de influencia de la vía Cangua–Oyacachi–Papallacta.

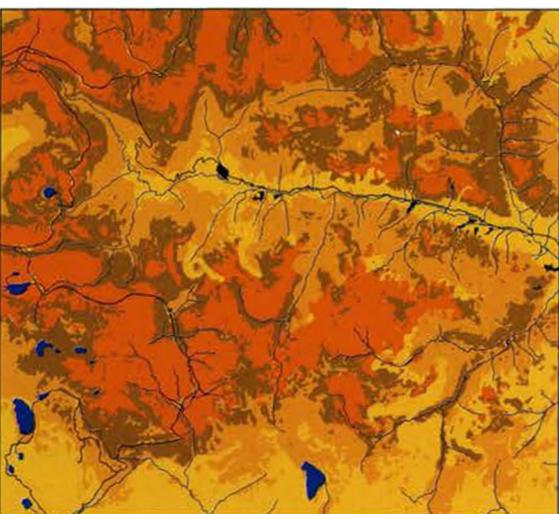
La variable uso del suelo fue excluida debido al he-



En la **primera prueba** del modelo de la cuenca alta se tomaron en cuenta las diez variables incluidas inicialmente.



Durante la **segunda prueba** del modelo de la cuenca alta excluimos las variables uso del suelo y distancia a fincas. Además, la variable cobertura vegetal fue reclasificada.



Durante la **tercera prueba** del modelo de la cuenca alta excluimos tres variables: uso del suelo, distancia a fincas y distancia a carreteras.

cho de que, al ser una variable categórica como la cobertura vegetal, la red de monitoreo debía cubrir proporcionalmente cada categoría de uso en función de la superficie ocupada por las mismas en el área de estudio. Sin embargo, esta condición no se cumplía, pues la decisión de usar esta variable fue tomada después del establecimiento de la red de monitoreo y ciertas categorías como zonas de no uso o de cacería y tala selectiva no estaban monitoreadas en proporción a su área. La decisión de excluir la variable uso del suelo se vería ratificada por su comportamiento en las siguientes pruebas del modelo.

La combinación de variables utilizadas durante esta segunda prueba fue la utilizada para obtener el mapa final y hacer los análisis respectivos.

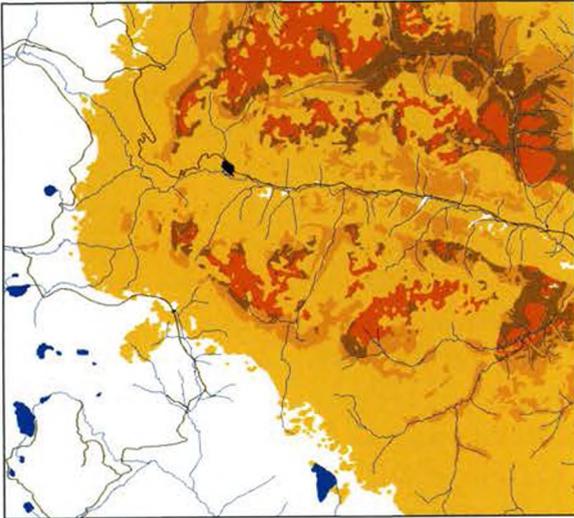
En la **tercera prueba** excluimos, además de las variables uso del suelo y distancia a fincas (que habían sido excluidas durante la segunda prueba), la variable distancia a carreteras. En el resultado apreciamos claramente un aumento significativo de las zonas núcleo, de conectividad y de amortiguamiento, en detrimento de las zonas periféricas y nulas. Este incremento de las zonas de probabilidad grande e intermedia se produjo especialmente en la porción oeste del área de estudio, donde la influencia de la carretera es mayor dada su proximidad a la misma.

Con esta prueba se evidenció la gran influencia negativa que tiene una carretera sobre el paisaje, pues se trata de un elemento que restringe la superficie disponible del hábitat del oso andino.

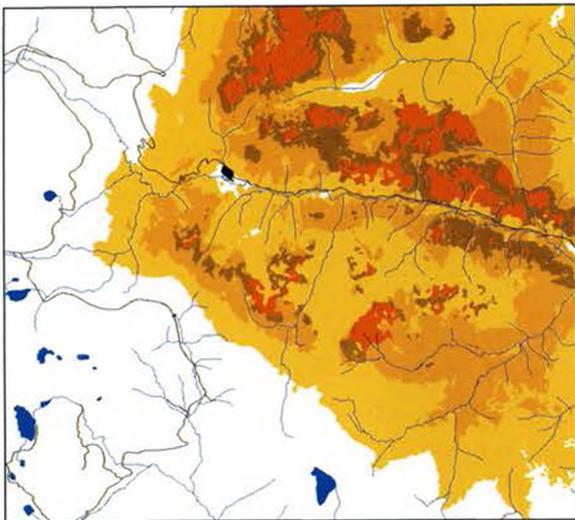
Durante la **cuarta prueba** solo excluimos la variable distancia a fincas, con lo cual se obtuvo una expansión de las zonas núcleo y de conectividad en las porciones norte y sur del área de estudio. Sin embargo, al sobreponer esta salida con la cobertura de uso del suelo evidenciamos algunas discontinuidades anómalas en las áreas correspondientes a algunas de las categorías de uso como la cacería y tala selectiva o las zonas sin uso. Como se mencionó en los resultados de la segunda prueba, esto se debe a que dichas categorías no fueron cubiertas por la red de monitoreo en forma proporcional a su extensión en el área de estudio.

En la **quinta prueba** solo excluimos la variable cobertura vegetal, lo cual generó una sensible expansión de las áreas de gran probabilidad (zonas núcleo) y demostró la importancia que tiene esta variable para restringir las áreas que son hábitats ideales.

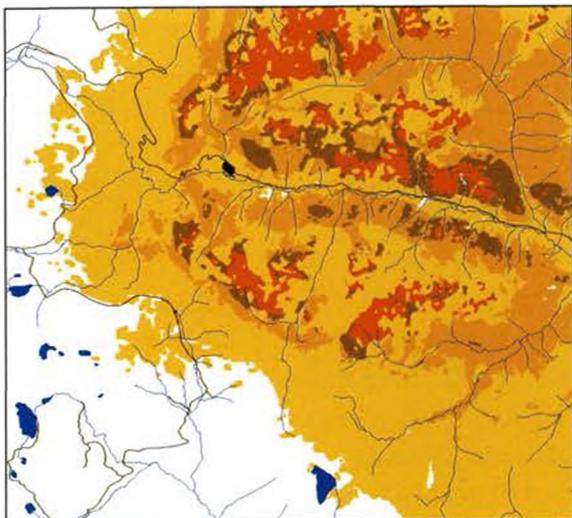
Finalmente, durante la **sexta prueba** se excluyeron tres variables: la distancia a senderos, la distancia a fincas y el uso del suelo. Observamos que las zonas de



Durante la **cuarta prueba** del modelo de la cuenca alta solo se excluyó una variable: la distancia a fincas.



La variable cobertura vegetal fue la única excluida durante la **quinta prueba** del modelo de la cuenca alta.



Durante la **sexta prueba** del modelo de la cuenca alta se excluyeron tres variables: distancia a senderos, distancia a fincas y uso del suelo.

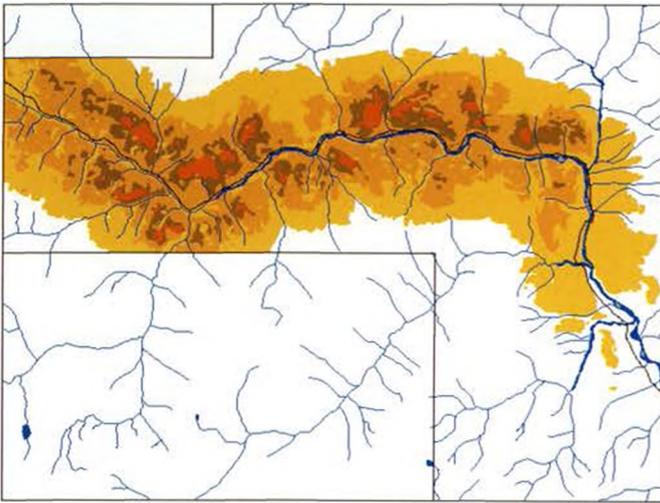
amortiguamiento aumentaron en la porción nordeste del área de estudio y que, de igual manera, las zonas periféricas aumentaron en detrimento de las zonas de valor nulo. Con esta última prueba se evidenció cómo los elementos antrópicos del paisaje restringen la disponibilidad del hábitat del oso andino.

Las pruebas del modelo de la cuenca baja

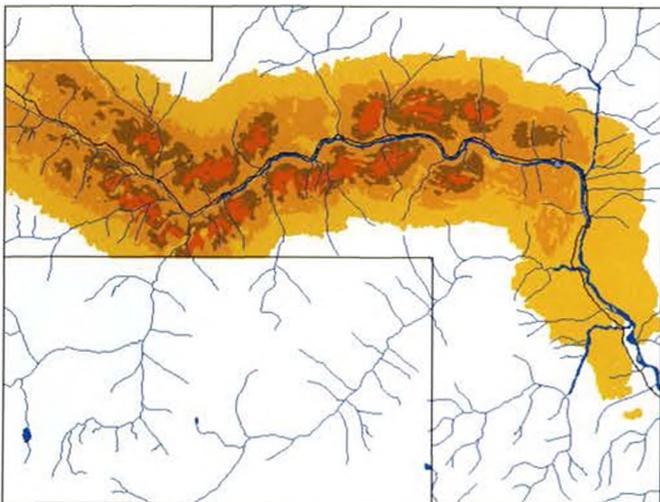
Durante la **primera prueba** del modelo incluimos las nueve variables seleccionadas, y el resultado fue utilizado como referencia para el resto de pruebas. Observamos una fragmentación entre las diferentes unidades modeladas y una disminución progresiva de las zonas núcleo, de conectividad y de amortiguamiento en la porción sudeste del área de estudio. También se evidenció claramente la presencia mayoritaria de zonas núcleo y de conectividad en la vertiente norte del valle de Oyacachi, donde las orientaciones predominantes oscilan entre 90 y 270°, es decir, orientaciones hacia el este, el sur y el oeste.

Con el fin de determinar las variables que originan la fragmentación de esas áreas, se sobrepuso este primer escenario con las coberturas "raster" de vegetación, riqueza paisajística y distancia a cuerpos de agua. En esta comparación se observó que la fragmentación, en especial en la porción nordeste del área, es causada por la variable riqueza paisajística y, en menor grado, por la distancia a los cuerpos de agua. Por otra parte, la presencia de varias fincas en la porción sudeste restringe la expansión del modelo hacia dicha zona. Asimismo, la ausencia de zonas núcleo, de conectividad y de amortiguamiento en la vertiente sur se debe a que 12 de las 18 líneas de monitoreo se encuentran dispuestas en la vertiente norte, cuya orientación es hacia el sur. Este hecho ocasiona que los lugares con orientación hacia el norte (vertiente sur) sean valorados como espacios cuya probabilidad de albergar osos andinos es poca.

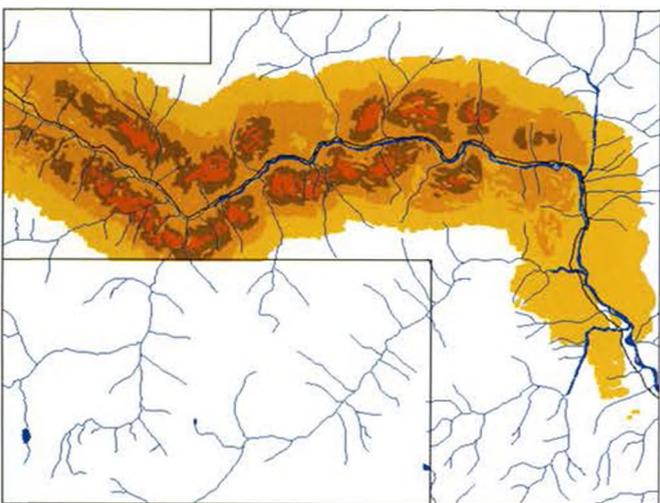
La **segunda prueba** fue producida con base en los resultados obtenidos durante la primera. Excluimos tres variables: orientación, distancia a cuerpos de agua y riqueza paisajística. En el resultado observamos una mayor continuidad entre las zonas núcleo y de conectividad, producto de la exclusión de las variables riqueza paisajística y distancia a cuerpos de agua. Esto puede ser observado en la porción nordeste, entre las quebradas El Muerto y Sisahua. Asimismo, la exclusión de la variable orientación permitió obtener resultados que dejaron entrever la existencia de zonas nú-



Durante la **primera prueba** del modelo de la cuenca baja incluimos las nueve variables seleccionadas para esa área.



Durante la **segunda prueba** del modelo de la cuenca baja excluimos tres variables: orientación, distancia a cuerpos de agua y riqueza paisajística.



Durante la **tercera prueba** del modelo de la cuenca baja se excluyeron las variables orientación, distancia a cuerpos de agua, riqueza paisajística y cobertura vegetal.

cleo y de conectividad en ambas vertientes del valle. El resultado de esta prueba fue tomado en cuenta como el resultado final.

En la **tercera prueba**, además de excluir las variables orientación, riqueza paisajística y distancia a cuerpos de agua, omitimos una variable sumamente importante: la cobertura vegetal. Notamos que no hubo una variación significativa en relación con la primera prueba; no obstante, sí se observó una reducción en la fragmentación interna, con lo cual se obtuvo superficies un poco más continuas en el espacio. Este efecto se debe a que el 70% del área de estudio corresponde al bosque de neblina montano, y a que el 81% de los registros fue obtenido en esta formación vegetal. Por ello, al excluir la variable cobertura vegetal, las áreas modeladas no varían mucho, pues debido a la poca superficie cubierta en el área de estudio por las demás formaciones vegetales, las zonas núcleo y de conectividad están asociadas casi en su totalidad al bosque de neblina montano.

La **cuarta prueba** fue producida con el fin de determinar la influencia de dos variables de distancia: a fincas y al sendero que comunica Oyacachi con El Chaco. Así, estas variables fueron excluidas junto con la orientación, la distancia a cuerpos de agua y la riqueza paisajística. Observamos un incremento apreciable de las zonas núcleo y de conectividad en relación con las áreas modeladas durante la primera prueba, e inclusive desaparecieron las zonas con valoración nula debido al incremento de las de amortiguamiento.

En el caso de la variable distancia al sendero, su gran influencia se debe a la distribución espacial de la red de monitoreo respecto de este camino. Los valores de distancia a este elemento de los 48 registros tienen un rango que oscila entre 60 y 1.191 m ($\bar{x} = 708$; $SD = 277$), hecho que produce que las áreas con probabilidades grande e intermedia de ser un hábitat adecuado para el oso andino, no excedan dicho rango cuando esta variable es incluida. La decisión de mantener esta variable en el resultado final obedece a que en la cuenca baja el sendero es el elemento de origen antrópico más significativo. En efecto, en esta zona los potenciales disturbios ocasionados por las carreteras, centros poblados o fincas sobre el hábitat del oso andino son mínimos, dadas las condiciones de aislamiento. Excluir esta variable significaría omitir un factor exógeno cuya influencia en el proceso de determinación de la disponibilidad del hábitat del oso andino es importante.

En cuanto al efecto de la variable distancia a fincas, ésta produce una fragmentación considerable en zonas

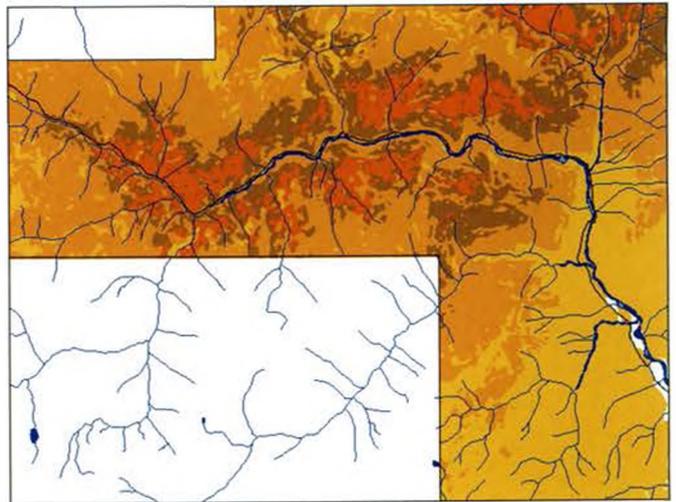
específicas del área de estudio, al contrario que en el caso del sendero, cuyo efecto restrictivo se produce longitudinalmente en toda el área. Esto se debe a que las fincas de la cuenca baja —a diferencia de las de la cuenca alta cuya ubicación es continua a largo del valle— no presentan una distribución regular. Este efecto es evidente en las zonas donde confluyen los ríos Sarañán, Chalpi y Santa María con el río Oyacachi, que son lugares donde existe una presencia representativa de fincas.

Finalmente, la quinta y sexta pruebas fueron diseñadas con el objetivo de verificar el efecto de todas las variables de distancia.

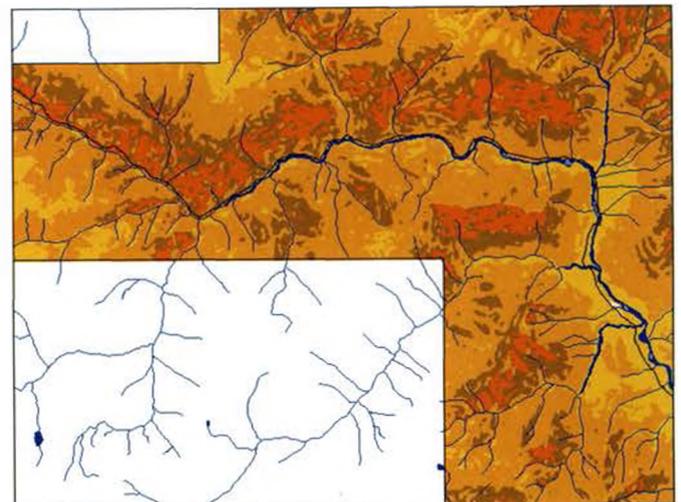
En la **quinta prueba** se consideró únicamente la altitud, pendiente y orientación, y se excluyeron las variables de distancia, la riqueza paisajística y la cobertura vegetal. Observamos que las zonas núcleo y de conectividad presentaron una distribución más homogénea en el área de estudio, como consecuencia del incremento de su superficie en relación con la primera prueba. Este incremento se debió a que las variables incluidas presentan valores similares que se replican en toda el área de estudio, lo cual ocasiona que las zonas que se acercan al hábitat "ideal", en función de estas variables, sean más abundantes y extensas.

Con este resultado se corroboró cuán importante es la influencia de los elementos antrópicos del paisaje como carreteras y senderos sobre la disponibilidad del hábitat del oso andino.

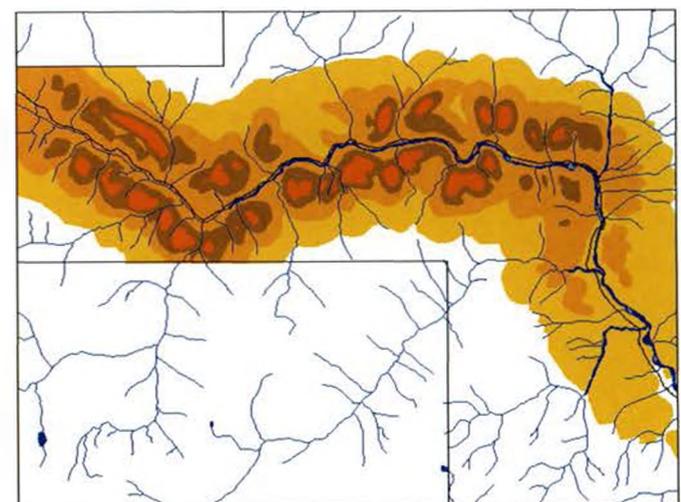
Durante la **sexta prueba** únicamente se incluyeron las variables de distancia y se observó una disminución significativa de las zonas núcleo y de conectividad en relación con el resultado de la quinta prueba. Estas variables de distancia, al no tener la misma naturaleza que las biofísicas y ecológicas (con excepción de la distancia a cuerpos de agua), restringen significativamente la definición de zonas de importancia para el oso andino. Las zonas que exceden los valores promedio de distancia en relación con la red de monitoreo fueron excluidas y valoradas como hábitats poco aptos para los osos. Al comparar el quinto escenario con el sexto, se observó que muchas de las zonas valoradas como un hábitat adecuado por sus características biofísicas, son excluidas al analizar los valores de distancia hacia los elementos del paisaje como fincas, senderos o centros poblados. El resultado de la sexta prueba muestra la importancia de las variables que describen las influencias antrópicas sobre el paisaje, y de cómo su distribución restringe, desde el punto de vista biofísico y ecológico, la valoración de áreas con superficies significativas de importancia para la conservación del oso andino.



Durante la **cuarta prueba** del modelo de la cuenca baja se excluyeron cinco variables: orientación, distancia a cuerpos de agua, riqueza paisajística, distancia a fincas y distancia al sendero.



Durante la **quinta prueba** del modelo de la cuenca baja solo se incluyó tres variables: altitud, pendiente y orientación. Las seis restantes fueron excluidas.



Durante la **sexta prueba** del modelo de la cuenca baja solo se incluyeron las variables de distancia; la altitud, orientación, pendiente, riqueza paisajística y cobertura vegetal no fueron tomadas en cuenta.

Cuadro 6

Superficie ocupada por las zonas núcleo, de conectividad, de amortiguamiento, periféricas y de valor nulo en ambas áreas de estudio (en hectáreas)

Zonas	Cuenca alta		Cuenca baja	
	Superficie	Porcentaje	Superficie	Porcentaje
Zonas núcleo	1.982	9	507	3
Zonas de conectividad	2.777	12	1.155	7
Zonas de amortiguamiento	4.779	21	3.136	20
Zonas periféricas	7.139	31	4.171	26
Zonas de valor nulo	6.634	28	6.863	43
Total	23.311		15.833	

Cuadro 7

Cuenca alta del río Oyacachi: media, desviación estándar, máxima y mínima de las variables en las zonas núcleo, de conectividad, de amortiguamiento y periféricas

Variables	Zonas núcleo				Zonas de conectividad				Zonas de amortiguamiento				Zonas periféricas			
	\bar{x}	SD	Mín	Máx	\bar{x}	SD	Mín	Máx	\bar{x}	SD	Mín	Máx	\bar{x}	SD	Mín	Máx
Altitud (m)	3.733	238	3.040	4.111	3.550	271	2.980	4.107	3.568	221	2.911	4.180	3.674	311	2.659	4.312
Distancia a cuerpos de agua (m)	520	224	0	1.115	384	286	0	1.266	297	249	0	1.499	296	224	0	1.506
Distancia a centros poblados (m)	4.928	1.635	1.329	10.436	5.620	2.366	510	10.898	5.420	2.848	209	12.201	6.353	3.370	0	13.473
Distancia a senderos (m)	1.053	684	0	2.842	1.034	784	0	4.037	1.238	2.956	0	5.315	2.389	1.951	0	7.065
Distancia a carreteras (m)	4.774	1.788	767	9.740	5.509	2.539	505	10.483	5.090	2.956	0	10.498	4.283	3.492	0	10.894
Orientación (grados con respecto a la acimut)	205	97	-1	359	202	111	-1	359	184	125	-1	359	207	124	-1	359
Pendiente (°)	24	10	0	69	24	11	0	67	26	12	0	69	22	13	0	76

Un patrón que se observó en las seis pruebas de la cuenca baja fue la exclusión o poca valoración de zonas donde existe una presencia significativa de fincas y de lugares donde los valores de altitud y pendiente están por debajo del valor mínimo de altitud encontrado en los registros del animal.

4.3 La disponibilidad del hábitat en la cuenca del río Oyacachi

Una vez probada la estabilidad del modelo y escogidas las variables que serían usadas para obtener el resultado final, procedimos a analizar las áreas correspondientes a cada nivel de probabilidad en el área de estudio (zonas núcleo, de conectividad, de amortiguamiento o periféricas).

La disponibilidad del hábitat en la cuenca alta

Consideramos como resultado final el obtenido con los datos de la segunda prueba del modelo (mapa 5), durante la cual excluimos las variables distancia a fincas y uso del suelo. Así, las variables tomadas en cuenta fueron la altitud, pendiente, orientación, distancia a cuerpos de agua, cobertura vegetal, distancia a centros poblados, distancia a carreteras y distancia a senderos.

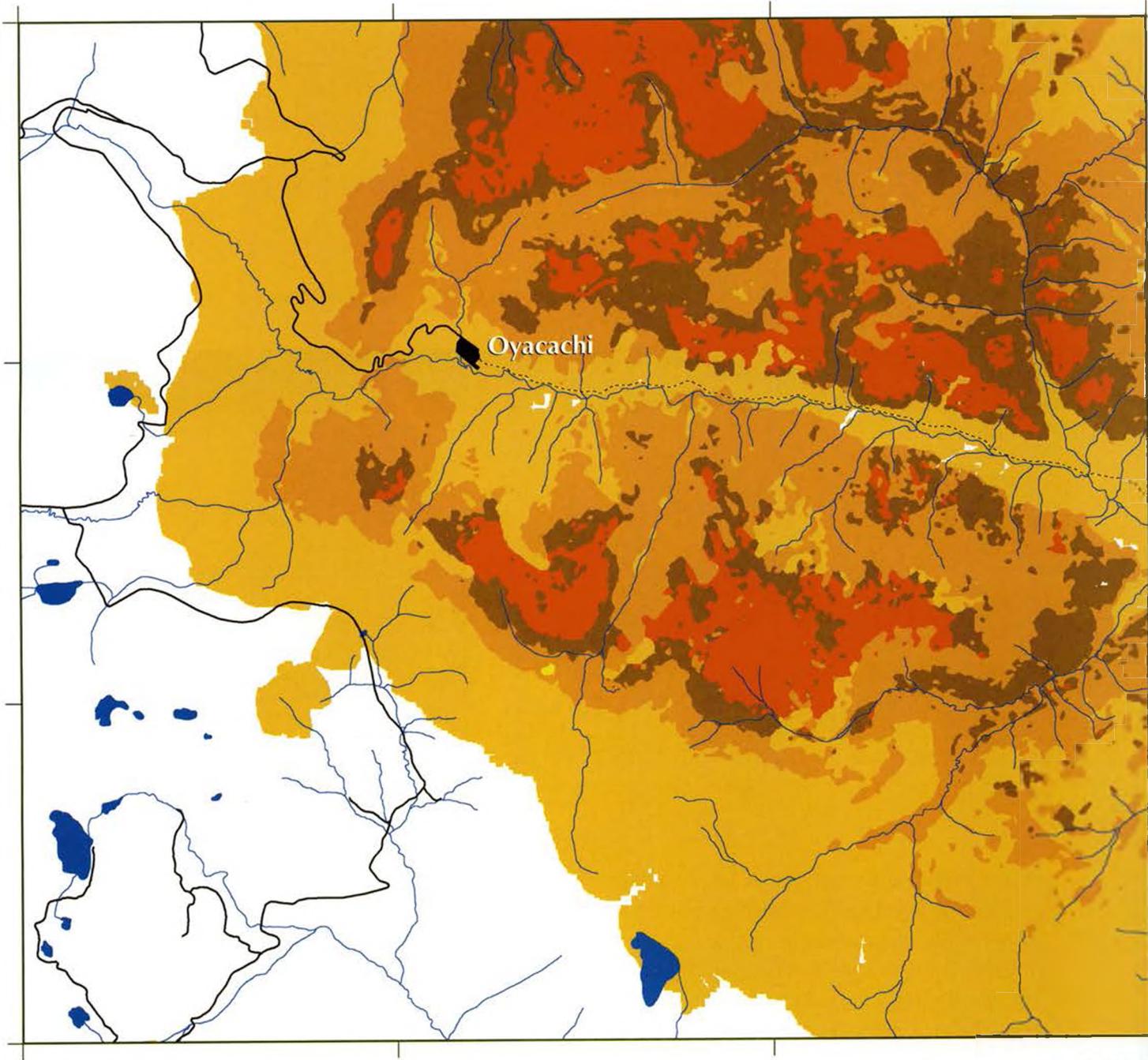
Las **zonas núcleo** cubren 1.982 hectáreas del área de la cuenca alta, lo cual representa el 9% de ésta (cuadro 6). Están ubicadas entre 4.111 y 3.040 m de altitud (cuadro 7), y se observa una preferencia de uso por el rango entre 3.495 y 3.971 m de altitud ($\bar{x} = 3.733$; SD = 238), el mismo que corresponde a las formaciones vegetales más usadas: páramo

Mapa 5

Mapa de disponibilidad del hábitat del oso andino en la cuenca alta del río Oyacachi

78°8'37" O
0°10'0" S

78°0'0" O
0°10'0" S



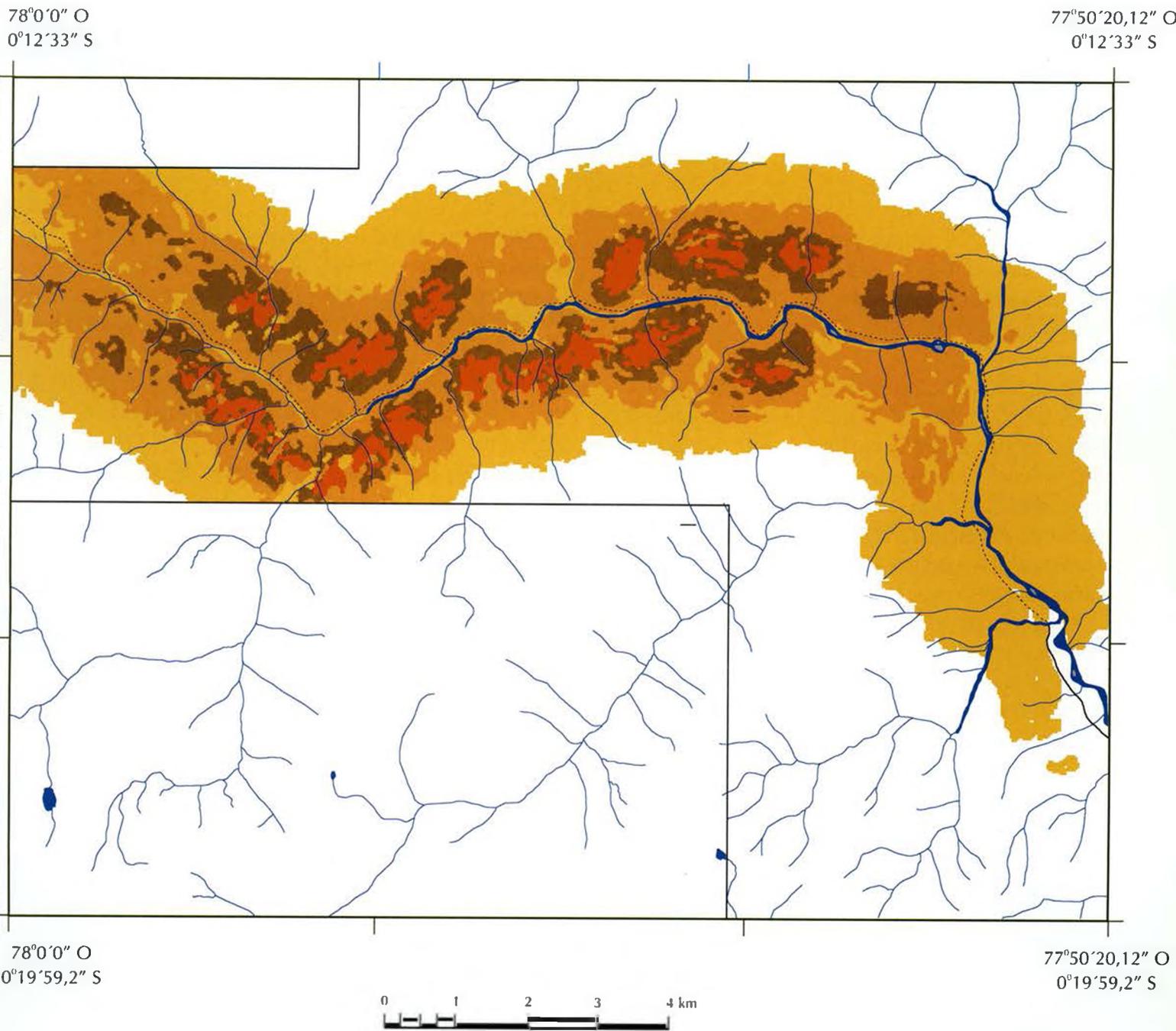
78°8'37" O
0°17'54" S

78°0'0" O
0°17'54" S



Mapa 6

Mapa de disponibilidad del hábitat del oso andino en la cuenca baja del río Oyacachi



Cuadro 8

Cuenca alta del río Oyacachi: superficie cubierta por las zonas núcleo, de conectividad, de amortiguamiento y periféricas, según el tipo de cobertura (en hectáreas)

Cobertura	Zonas núcleo		Zonas de conectividad		Zonas de amortiguamiento		Zonas periféricas	
	Superficie	Porcentaje	Superficie	Porcentaje	Superficie	Porcentaje	Superficie	Porcentaje
Páramo herbáceo	922	47	670	24	768	16	2.147	30
Páramo anegado	416	21	473	17	662	14	1.671	23
Bosque de páramo mixto	104	5	213	8	1.071	22	1.531	21
Bosque siempreverde montano alto	397	20	1.288	46	2.080	44	548	8
Bosque de alisos	4	0,2	22	1	19	0,4	73	1
Bosque de neblina montano	0	0	2	0,06	5	0,1	315	4
Zonas de páramo quemado	137	7	108	4	164	3	283	4
Cuerpos de agua	0	0	0	0	0,5	0,01	12	0,17
Fincas	2	0,1	1	0,03	8	0,2	505	7
Derrumbes	0	0	0,3	0,01	1	0,02	21	0,3
Carretera Oyacachi-Papallacta	0	0	0	0	0,04	0	33	0,5
Total	1.982		2.777		4.779		7.139	

herbáceo, bosque siempreverde montano alto y bosque de páramo mixto. Las pendientes dominantes en estas zonas oscilan entre 14 y 34° ($\bar{x} = 24$; $SD = 10$), valores que se mantienen casi constantes en las demás zonas (cuadro 7).

En el mapa de disponibilidad del hábitat, las áreas próximas a la carretera fueron excluidas o valoradas como un hábitat no adecuado. Observamos que las áreas núcleo tienen una distancia promedio de 4.774 m, con una distribución entre 767 y 9.740 m. El gran valor promedio de distancia a carreteras para las áreas núcleo demuestra el importante efecto restrictor de esta variable sobre la disponibilidad del hábitat (cuadro 7).

Las zonas núcleo más cercanas a Oyacachi se encuentran a 1.300 m de distancia de esta población, mientras que el promedio de distancia de estas zonas es de 4.928 m ($SD = 1.635$). Estos valores indican la influencia puntual de este centro poblado sobre la disponibilidad del hábitat en el área de estudio, a diferencia de la carretera, cuya influencia sucede sobre una superficie más extensa y sobre las áreas colindantes a la misma.

Las áreas núcleo se encuentran de 0 a 1.115 m de distancia de los cuerpos de agua ($\bar{x} = 520$; $SD = 224$). Estos valores bajos se deben principalmente a la distribución homogénea de la red hidrográfica en toda el área de estudio.

Las **zonas de conectividad** cubren 2.777 hectáreas, es decir, el 12% del área estudiada en la cuenca alta

(cuadro 6). Su altitud oscila entre 4.107 y 2.980 m y se observa una preferencia, al igual que en las zonas núcleo, por el rango entre 3.279 y 3.821 m de altitud ($\bar{x} = 3.550$; $SD = 271$) (cuadro 7), en el cual existen las formaciones de páramo herbáceo, páramo anegado, bosque de páramo mixto, bosque siempreverde montano alto y una pequeña superficie de bosque de neblina montano (cuadro 8).

En cuanto a la pendiente, las zonas de conectividad cubren áreas cuyo relieve es muy heterogéneo: desde lugares planos con pendiente de 0° hasta sitios muy escarpados, con pendientes de más de 60° ($\bar{x} = 24$; $SD = 11$) (cuadro 7).

En las zonas de conectividad los valores promedio de las variables de distancia a centros poblados y a carreteras se incrementan con respecto a los observados en las zonas núcleo, debido a que estas zonas presentan una dispersión espacial mayor. Por ejemplo, el valor promedio de la variable distancia a centros poblados es 5.620 m ($SD = 2.366$), mientras que la media de la distancia a carreteras es 5.509 m ($SD = 2.539$) (cuadro 7). Al igual que en las zonas núcleo, es notoria la influencia de estas variables en la distribución espacial de las zonas de conectividad. En cambio, en lo que respecta a la distancia a cuerpos de agua y a senderos, los valores decrecen con respecto a los de las zonas núcleo, lo cual evidencia la menor influencia de estas variables sobre la disponibilidad del hábitat, en especial sobre las zonas con menor probabili-

Cuadro 9

Cuenca baja del río Oyacachi: media, desviación estándar, máxima y mínima de las variables en las zonas núcleo, de conectividad, de amortiguamiento y periféricas

Variables	Zonas núcleo				Zonas de conectividad				Zonas de amortiguamiento				Zonas periféricas			
	\bar{x}	SD	Mín	Máx	\bar{x}	SD	Mín	Máx	\bar{x}	SD	Mín	Máx	\bar{x}	SD	Mín	Máx
Altitud (m)	2.604	159	2.173	2.965	2.588	261	2.023	3.264	2.608	373	1.785	3.516	2.529	557	1.621	3.687
Pendiente (°)	32	6	5	53	32	8	3	56	32	9.4	0	58	27	11	0	63
Distancia a fincas (m)	861	298	134	1.563	747	409	1	1.802	718	511	0	2.091	924	753	0	2.615
Distancia a senderos (m)	692	171	210	1.094	665	297	30	1.306	751	476	0	1.780	1.207	678	0	2.458
Distancia a centros poblados (m)	15.400	1.105	12.708	17.295	14.661	1.533	10.579	17.502	13.835	2.128	9.664	17.777	12.080	3.238	4.893	18.021

dad de ser hábitats aptos para los osos. Por ejemplo, el rango de la distancia a cuerpos de agua va de 0 a 1.266 m ($\bar{x} = 384$; SD = 286), mientras que el rango de la distancia a senderos es de 0 a 4.037 m ($\bar{x} = 1.034$; SD = 784) (cuadro 7). Estos valores, al igual que los otros de distancia, evidencian un efecto restrictor sobre la disponibilidad del hábitat del oso andino.

Las zonas de amortiguamiento se extienden sobre 4.779 hectáreas, es decir, sobre el 21% de la superficie estudiada en la cuenca alta. Esta extensión es casi similar a la que cubren juntas las zonas núcleo y de conectividad (4.759 hectáreas), por lo que estas zonas de amortiguamiento son sumamente importantes para lograr mantener una gran calidad del hábitat del oso andino (cuadro 6). La distribución altitudinal de estas zonas es similar a la de las zonas de conectividad: entre 2.911 y 4.180 m ($\bar{x} = 3.568$; SD = 221). La mayoría de su superficie se encuentra distribuida entre las tres formaciones de páramo y el bosque siempreverde montano alto (52% y 44% respectivamente), y apenas el 0,1% está ubicada en el bosque de neblina montano (cuadro 8).

Los valores de pendiente asociados a estas zonas son muy similares a los presentes en las zonas núcleo y de conectividad: $\bar{x} = 26$; SD = 12.

Las **zonas de amortiguamiento** cubren una zona muy amplia como consecuencia de la gran dispersión de los valores de las variables de hábitat modeladas. Por ejemplo, los valores mínimos de las variables distancia a carreteras o a centros poblados para las zonas de amortiguamiento son muy pequeños e inclusive nulos (cuadro 7). Esto evidencia el menor impacto restrictivo de estos elementos del paisaje sobre las áreas de probabilidad intermedia, como se observa en los

sectores cercanos al pueblo y la carretera. Este hecho muestra la importancia de las zonas de amortiguamiento en tanto potenciales corredores de dispersión de individuos que les permiten acceder a las zonas óptimas durante sus movimientos estacionales.

En las zonas de amortiguamiento, los valores de la distancia a cuerpos de agua también decrecen con respecto a los valores registrados en las zonas núcleo y de conectividad, debido a que presentan una dispersión mayor de las variables ($\bar{x} = 297$; SD = 249). En cuanto a los valores de distancia a senderos, se observa un aumento frente a las zonas núcleo y de conectividad ($\bar{x} = 1.238$; SD = 2.956) debido a que las zonas de amortiguamiento se encuentran más dispersas en el área de estudio (cuadro 7).

Las **zonas periféricas** ocupan el 31% de la superficie modelada: 7.139 hectáreas (cuadro 6). Su altitud varía entre 2.659 y 4.312 m ($\bar{x} = 3.674$; SD = 311), rango que cubre casi toda la gradiente del área de estudio (cuadro 7).

Sin embargo, la mayor superficie de estas zonas se encuentra localizada en las formaciones vegetales de páramo herbáceo (30%), bosques de páramo mixto (21%) y páramo anegado (23%). El hecho de que extensas áreas de páramo hayan sido valoradas como zonas periféricas o de baja probabilidad de presencia del oso andino podría deberse a que estas formaciones vegetales se encuentran directamente asociadas con la carretera y las obras de infraestructura de la EMAAP-Q. Este supuesto se confirma al observar los resultados de las pruebas de estabilidad del modelo, pues cuando se omite la variable de distancia a carreteras, las zonas núcleo y de conectividad experimentan un drástico incremento hacia estos lugares del área de estudio. Esto sugiere que, biofísica y ecológicamente, estas zonas

Cuadro 10

Cuenca baja del río Oyacachi: superficie cubierta por las zonas núcleo, de conectividad, de amortiguamiento y periféricas, según el tipo de cobertura (en hectáreas)

Cobertura	Zonas núcleo		Zonas de conectividad		Zonas de amortiguamiento		Zonas periféricas	
	Superficie	Porcentaje	Superficie	Porcentaje	Superficie	Porcentaje	Superficie	Porcentaje
Páramo herbáceo	0	0	0	0	0	0	4	0,1
Bosque de páramo mixto	0,4	0,07	7	0,6	111	4	381	9
Bosque siempreverde montano alto	2	0,4	62	5	582	19	721	17
Bosque de neblina montano	505	99,6	1.081	94	2.250	72	2.520	60
Fincas	0	0	5	0,4	179	6	538	13
Derrumbes	0	0	0,4	0,03	14	0,4	7	0,2
Total	507		1.155		3.136		4.171	

son similares a otras valoradas con probabilidades más grandes de presencia del oso andino.

Es importante resaltar que un gran porcentaje del área de estudio (28%) no fue valorizado dentro de estas cuatro categorías por ser zonas que presentan un valor nulo de presencia del oso andino. Éstas corresponden a la zona de influencia inmediata de la carretera Cangahua–Oyacachi–Papallacta.

La disponibilidad del hábitat en la cuenca baja

Después de haber realizado seis pruebas, se determinó que la segunda era la que describía mejor la disponibilidad del hábitat en la cuenca baja del río Oyacachi (mapa 5). Durante dicha prueba excluimos tres variables: distancia a cuerpos de agua, orientación y riqueza paisajística.

Las **zonas núcleo** cubren 507 hectáreas, es decir, el 3% del área de estudio (cuadro 6). Su rango altitudinal varía entre 2.173 y 2.965 m (\bar{x} = 2.604; SD = 159) y su pendiente oscila entre 5 y 53° (cuadro 9). El 99,6% de la superficie de estas zonas está dentro del bosque de neblina montano (cuadro 10).

Se observó que la distancia a las fincas sí influye en la disponibilidad del hábitat: las zonas núcleo están ubicadas de 134 a 1.563 m de distancia de las fincas (\bar{x} = 861; SD = 298) (cuadro 9). La restricción de la distribución del oso andino ocasionada por diferentes actividades humanas —y en especial por la agricultura— ya ha sido descrita por Peyton (1980) en un estudio llevado a cabo en el Perú, en el cual también se señala que estos animales evitan usar, en lo posible, estas zonas, pues no presentan recursos alimenticios. En la zona de Oyacachi, debido a que no se cultiva maíz, este fenómeno es similar, pero por el contrario,

en los rangos altitudinales inferiores que habita el oso (1.000 a 2.000 m de altitud) se ha documentado un comportamiento opuesto (Cuesta 1998).

En lo que respecta a la distancia a centros poblados, las zonas núcleo se localizan a un promedio de 15.400 m (SD = 1.105) de estos lugares, con una distancia mínima de 12.708 m (cuadro 9). Esto refleja cuán distante está el área de estudio de los centros poblados, con excepción de El Chaco y Oyacachi. Los valores medios de la distancia a centros poblados decrecen conforme las categorías de valoración del hábitat son menores, lo cual evidencia la influencia que esos elementos tienen sobre el paisaje y, por lo tanto, cómo restringen la consideración de áreas importantes que, solo por estar próximas a sitios habitados como El Chaco, son valoradas como un hábitat cuya probabilidad de albergar osos andinos es poca.

Las **zonas de conectividad** de la cuenca baja se extienden sobre 1.155 hectáreas, es decir, el 7% del área de estudio (cuadro 6). Están distribuidas sobre un amplio rango altitudinal: de 2.023 a 3.264 m (\bar{x} = 2.588; SD = 261). La pendiente promedio es de 32° (SD = 8) (cuadro 9). Al igual que en las zonas núcleo, el 94% de su superficie está sobre el bosque de neblina montano, y a diferencia de éstas, un porcentaje pequeño (0,4%) de las zonas de conectividad se localiza en las fincas (cuadro 10).

En lo que respecta a los resultados del análisis de la distancia a centros poblados, senderos y fincas, los valores de las tres variables decrecen con respecto a las zonas núcleo por presentar una dispersión mayor en el área de estudio. Por ejemplo, los valores de distancia a fincas llegan a tener un valor mínimo de 0 y un máximo de 1.802 m, siendo la media 747 y la desviación estándar 409 (cuadro 9).



Las variables que influyeron más para determinar la disponibilidad del hábitat del oso andino fueron aquellas que variaron menos con respecto a su media, es decir, las de menor coeficiente de variación. Foto: Milton H. Tierney, Jr. / Archivo GEOF-EcoCiencia

Las **zonas de amortiguamiento** de la cuenca baja se extienden sobre 3.136 hectáreas (20% del área modelada) y presentan una distribución más amplia, lo cual está reflejado en los valores más dispersos de pendiente, altitud y distancias (cuadro 9). Las características de los hábitats de estas zonas son más amplias que en las zonas núcleo y de conectividad. Por ejemplo, la variable altitud cubre lugares del área de estudio que no habían sido valoradas en las zonas núcleo y de conectividad, tales como el rango entre 1.785 y 2.000 m o el rango entre 3.200 y 3.516 m. Al cubrir estos nuevos rangos altitudinales, formaciones como el bosque de páramo mixto y el bosque siempreverde montano alto fueron incluidas, abarcando el 4% y el 19% respectivamente. Asimismo, la inclusión del rango entre 1.785 y 2.000 m de altitud causó que un 6% de la superficie de las zonas de amortiguamiento correspondiera a fincas (cuadro 10).

Los valores de la pendiente varían mucho en las zonas de amortiguamiento: entre 0 y 58°, lo cual se explica dada la gran cantidad de áreas incluidas en esta categoría. Sin embargo, el promedio de la pendiente es de 32° (SD = 9) (cuadro 9). Los valores de distancia presentan patrones similares a los descritos en las zonas de conectividad, aunque existe una diferencia en lo que respecta a los valores de distancia a sende-

ros. El sendero es incluido dentro de las zonas de amortiguamiento como consecuencia de la expansión de los valores de altitud y pendiente y de la existencia de registros con valores bajos en cuanto a su proximidad al mismo (cuadro 9).

Las **zonas periféricas** de la cuenca baja, por su naturaleza de ser las que engloban a las tres zonas previas, abarcan el 26% del área de estudio y presentan los valores más amplios dada la gran dispersión de las variables. La altitud cubre casi todo el rango presente en el área de estudio: desde 3.687 hasta 1.621 m ($\bar{x} = 2.529$; SD = 557) (cuadro 9). Este hecho hizo que formaciones como el páramo herbáceo o porciones significativas de fincas hayan sido incluidas en estas zonas (cuadro 10). De igual manera, los valores de distancia a centros poblados, al sendero o a fincas, decrecen dada su mayor dispersión en el área de estudio. Una superficie importante de estas zonas se encuentra dentro de fincas o sobre el sendero, lo que evidencia la presencia de valores 0 de distancia respecto de estos elementos del paisaje (cuadros 9 y 10).

Un gran porcentaje del área de estudio de la cuenca baja (43%) no fue valorado dentro de estas cuatro categorías de probabilidad por tratarse de zonas que presentan un valor nulo de presencia del oso andino (cuadro 6).

Cuadro 11

Cuenca alta del río Oyacachi: matriz de coeficientes de variación (CV) por variable y coeficientes de correlación (r) entre las variables

Variable	Altitud	Distancia a cuerpos de agua	Distancia a centros poblados	Distancia a senderos	Distancia a carreteras	Pendiente	Orientación	Páramo anegado	Bosque siempreverde montano	Bosque de neblina montano
Altitud	8,97	<i>0,241</i>	<i>-0,384</i>	<i>0,279</i>	<i>-0,475</i>	<i>-0,045</i>	<i>-0,066</i>	<i>0,827</i>	<i>-0,610</i>	<i>-0,408</i>
Distancia a cuerpos de agua		65,859	<i>-0,478</i>	<i>-0,330</i>	<i>-0,344</i>	<i>0,224</i>	<i>-0,046</i>	<i>-0,025</i>	<i>0,137</i>	<i>-0,162</i>
Distancia a centros poblados			39,392	<i>0,411</i>	<i>0,964</i>	<i>-0,228</i>	<i>0,116</i>	<i>0,116</i>	<i>-0,073</i>	<i>0,314</i>
Distancia a senderos				89,515	<i>-0,141</i>	<i>-0,449</i>	<i>0,297</i>	<i>0,456</i>	<i>-0,414</i>	<i>-0,105</i>
Distancia a la carretera					42,030	<i>-0,141</i>	<i>0,134</i>	<i>-0,250</i>	<i>0,046</i>	<i>0,356</i>
Pendiente						68,377	<i>-0,085</i>	<i>-0,050</i>	<i>0,015</i>	<i>0,015</i>
Orientación							87,459	<i>-0,060</i>	<i>0,095</i>	<i>-0,137</i>
Páramo								64,989	<i>-0,874</i>	<i>-0,324</i>
Bosque siempreverde montano alto									177,869	<i>-0,118</i>
Bosque de neblina montano										479,500

Nota: en negrita constan los coeficientes de variación (CV) y en cursiva los de correlación (r).

Cuadro 12

Cuenca baja del río Oyacachi: matriz de coeficientes de variación (CV) por variable y coeficientes de correlación (r) entre las variables

Variable	Altitud	Pendiente	Distancia centros poblados	Distancia a senderos	Distancia a fincas	Cobertura vegetal
Altitud	10,82	<i>-0,30</i>	<i>-0,13</i>	<i>0,68</i>	<i>0,16</i>	<i>0,64</i>
Pendiente		28,52	<i>0,21</i>	<i>-0,29</i>	<i>-0,05</i>	<i>-0,30</i>
Distancia a centros poblados			13,42	<i>-0,12</i>	<i>0,69</i>	<i>-0,34</i>
Distancia a senderos				39,13	<i>0,25</i>	<i>0,47</i>
Distancia a fincas					52,14	<i>0,04</i>
Cobertura vegetal						225,97

Nota: en negrita constan los coeficientes de variación (CV) y en cursiva los de correlación (r).

4.4 Las variables más influyentes

Las variables que influyeron más durante la investigación de la disponibilidad del hábitat del oso andino en la cuenca del río Oyacachi fueron aquellas que variaron menos con respecto a su media, es decir, las de menor coeficiente de variación. Estas variables restringen las posibilidades de obtener un número mayor de zonas núcleo (o hábitats ideales del oso).

En la cuenca alta, las variables que presentaron la menor variabilidad respecto a su media fueron la altitud (CV = 9), la distancia a centros poblados (CV = 39) y la distancia a carreteras (CV = 42). Las variables más correlacionadas en la cuenca alta fueron la distancia a centros poblados y la distancia a carreteras ($r = 0,96$). Esto explica la gran influencia que tuvieron estas va-

riables durante las evaluaciones preliminares del modelo (cuadro 11).

En la cuenca baja, las variables cuya variación fue menor con respecto a su media fueron dos: la altitud (CV = 11) y la distancia a centros poblados (CV = 13). En esta área de estudio las variables más correlacionadas fueron la distancia a centros poblados y la distancia a fincas ($r = 0,69$) y la altitud y distancia a senderos ($r = 0,68$) (cuadro 12).

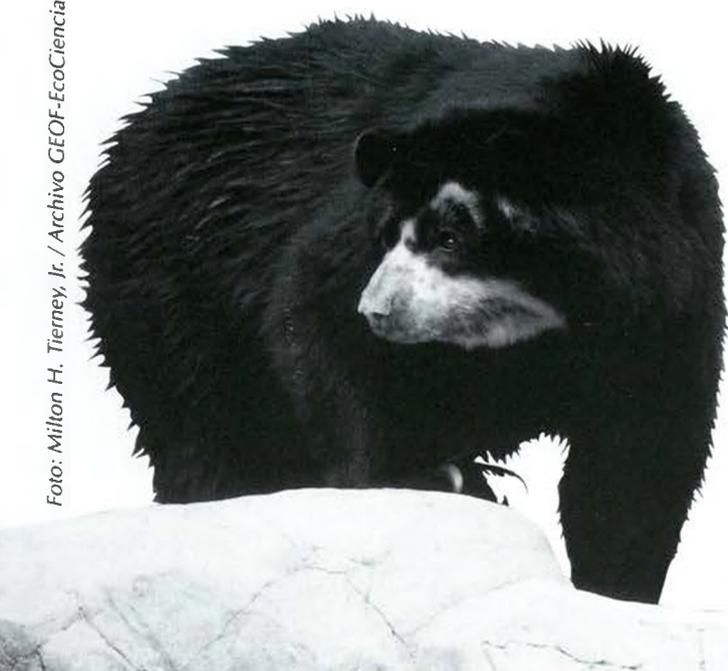


Los resultados preliminares obtenidos con los dos estudios piloto permiten discutir acerca de tres aspectos. El primero tiene que ver con el uso de las diferentes formaciones vegetales, asunto que puede ser analizado a partir de la información de los registros indirectos. El segundo aspecto tiene que ver con las razones por las cuales los datos de ciertas variables registradas en el campo deben ser excluidos de los análisis finales. Finalmente, el tercer aspecto que se discute tiene que ver la influencia que cada variable tiene al momento de analizar los resultados y determinar la disponibilidad del hábitat del oso andino.

5.1 Sobre el uso de las diferentes formaciones vegetales

Es importante mencionar que los datos incluidos en esta sección son preliminares, pues no cubren la temporalidad requerida para determinar patrones estacionales en este tipo de estudios (por lo menos un año). Este tiempo mínimo es fundamental para abarcar las variaciones estacionales en cuanto a productividad de los recursos alimenticios en cada formación vegetal. De igual manera, es importante cubrir todo el rango altitudinal del área de estudio en un mismo período de monitoreo para determinar qué formaciones son seleccionadas favorablemente sobre otras.

Sin embargo, los resultados obtenidos muestran algunas tendencias en relación con los patrones estacionales de movimiento y el uso y selección de algunas formaciones vegetales presentes en la cuenca del río Oyacachi. En este sentido, los registros indirectos más comunes en ambas áreas de estudio fueron los comederos. En la cuenca alta, más del 70% de los comederos fue encontrado en los diferentes tipos de páramo húmedo (herbáceo, anegado y bosque), mientras que el 21% fue ubicado en el bosque siempreverde montano alto (cuadro 13).



Cuadro 13

Cuenca del río Oyacachi: registros indirectos encontrados en cada formación vegetal

Formación vegetal	Heces	Huellas	Marcas en árboles	Sendero	Comederos	Observación	Total	Porcentaje
Cuenca alta								
Bosque siempreverde montano alto	1	4	2	1	14	0	22	23
Bosque de neblina montano	0	0	0	0	4	0	4	4
Páramo herbáceo	11	4	0	0	37	1	53	56
Páramo anegado	2	0	0	1	7	0	10	11
Bosque de páramo mixto	2	2	0	0	1	0	5	5
Bosque de alisos	0	0	0	1	0	0	1	1
Total (cuenca alta)	16	10	2	3	63	1	95	
Cuenca baja								
Bosque siempreverde montano alto	1	1	0	0	9	1	12	19
Bosque de neblina montano	8	8	10	1	24	0	51	81
Total (cuenca baja)	9	9	10	1	33	1	63	

En la cuenca baja los comederos también fueron los registros más comunes (52%), seguidos por las marcas en árboles (16%), heces (14%) y, finalmente, huellas (14%). La mayoría de los registros fue encontrada en el bosque de neblina montano (81%), mientras que el restante 19% estuvo en el bosque siempreverde montano alto (cuadro 13). Los datos de la cuenca baja denotan una marcada preferencia del oso por el bosque de neblina montano para su alimentación, lo cual posiblemente se debe a que en esta formación hay una gran densidad de *Chusquea* spp. y *Aulonemia gucko*, que son típicas de su dieta. Sin embargo, no hay que descartar la posibilidad de que, al cubrir el bosque de neblina montano una mayor superficie en el área estudiada (70%), hubo mayor probabilidad de encontrar registros allí que en el bosque siempreverde montano alto.

5.2 Sobre las variables que fueron excluidas de los análisis

Un punto clave durante la investigación de la disponibilidad del hábitat del oso andino es la selección de variables idóneas que sirvan para definir con mayor exactitud la ubicación de estos espacios. Esto reafirma la importancia de realizar evaluaciones o pruebas de estabilidad del modelo según las condiciones de cada área estudiada. A continuación se discute las razones por las cuales ciertas variables fueron excluidas durante la obtención de los resultados finales de cada cuenca.

Las variables excluidas del análisis de la cuenca alta

De las diez variables planteadas inicialmente, dos (la distancia a fincas y el uso del suelo) fueron excluidas. En el caso de las fincas, debido a su disposición lineal a lo largo del río Oyacachi y a los registros encontrados, el modelo excluía o clasificaba con valores de probabilidad muy bajos a aquellas zonas que se encuentran lejos de dichas áreas, evidenciando un comportamiento diferente del esperado, pues se ha documentado que los osos evitan estos lugares (Peyton 1980).

La variable uso del suelo fue excluida debido a que, al haber sido obtenida después de la implementación de la red de monitoreo, no hubo una disposición proporcional de las líneas en relación con la superficie ocupada por los cinco tipos de uso, como en el caso de las formaciones vegetales. Así, por ejemplo, las zonas sin uso, a pesar de ser las más extensas, fueron las menos representadas dentro de la red de monitoreo debido a que son las menos accesibles. Por ello, al integrar la variable uso del suelo en el modelo, las áreas de este tipo eran consideradas como hábitats con poca probabilidad de presencia del oso andino.

Sin embargo, los datos de uso del suelo en la cuenca alta sirvieron para ensayar un análisis de cómo estos usos influyen sobre la disponibilidad del hábitat. En los resultados de este ensayo, que constan en el recuadro 7, se evidenció que, con excepción de las fincas, ninguno de los tipos de uso del suelo identificados altera significativamente el hábitat, ya que en mu-

Conflictos entre las formas de uso del suelo y el hábitat del oso andino

Entre las variables seleccionadas inicialmente para determinar la disponibilidad del hábitat del oso andino se incluyó la variable categórica uso del suelo, con el propósito de medir el impacto de las distintas categorías de uso sobre el hábitat del oso. Se identificaron cinco categorías: fincas, pastoreo extensivo en páramo, pastoreo extensivo en páramo asociado con quemas del pajonal, cacería y tala selectiva, y zonas sin uso. Cada categoría, con excepción de la última, responde a una alteración en mayor o menor medida de la cobertura vegetal.

Los datos de esta variable no pudieron ser usados durante el modelamiento final del hábitat, lo cual se debió a problemas relacionados con la disposición de la red de monitoreo: ésta no cubría proporcionalmente las distintas categorías de uso en función de su representatividad en el área de estudio. Sin embargo, la información sirvió para determinar los niveles de conflicto existentes entre las distintas zonas de probabilidad obtenidas y los tipos de uso del suelo.

El procedimiento empleado para determinar estos niveles de conflicto consistió en realizar una superposición, utilizando el Sistema de Información Geográfica, entre las coberturas de uso del suelo y las de disponibilidad del hábitat. Con ello se identificaron cuatro niveles de conflicto: alto, moderado, bajo y nulo. Los resultados de este análisis constan en el siguiente cuadro:

Rango de probabilidad	Tipo de uso del suelo				
	Zonas sin uso	Pastoreo y quemas	Pastoreo extensivo	Cacería y tala selectiva	Fincas
Zonas núcleo	Nulo	Alto	Moderado	Moderado	Alto
Zonas de conectividad	Nulo	Moderado	Bajo	Moderado	Alto
Zonas de amortiguamiento	Nulo	Moderado	Bajo	Bajo	Alto
Zonas periféricas	Nulo	Moderado	Bajo	Bajo	Nulo

La valoración de los diferentes niveles de conflicto fue determinada con base en el nivel potencial de alteración de la cobertura vegetal original producto del

tipo de uso del suelo en los diferentes lugares del área de estudio. Así, el pastoreo fue considerado como una actividad que causa una alteración menor sobre la vegetación (dada su naturaleza extensiva y de poca densidad) y que no causa un impedimento en el uso del hábitat por parte del oso andino. Durante este estudio se documentó una gran actividad del animal en zonas donde la comunidad ha desarrollado el pastoreo por más de diez años. Sin embargo, cuando el pastoreo está asociado con las quemas periódicas del páramo, se observó un impacto considerable sobre la cobertura vegetal que afecta directamente el uso de estas áreas por el oso andino. Consideramos que esto podría deberse a que ocurre una reducción considerable de la disponibilidad de recursos alimenticios como las bromelias terrestres.

En cuanto a las áreas donde se desarrolla la cacería y tala selectiva, éstas fueron consideradas como lugares donde el nivel de conflicto es entre moderado y bajo, debido a que esta actividad no causa un impacto grande sobre la vegetación y tampoco inhibe la presencia del animal. La presencia de fincas fue considerada como la actividad de mayor conflicto ya que modifica significativamente la cobertura vegetal y por lo tanto influye en la presencia y accesibilidad de recursos importantes para el animal.

Utilizando estos criterios, se determinaron las siguientes superficies para cada nivel de conflicto en el área de estudio:

Nivel de conflicto	Área (hectáreas)	Porcentaje
Alto	133	1
Moderado	2.187	9
Bajo	3.975	17
Nulo	17.017	73
Total	23.311	100

Como se puede observar, las zonas con un nivel de conflicto alto y moderado comprenden solo el 10% del área de estudio y el 73% presenta un nivel de conflicto nulo. Estos son indicadores del buen estado de conservación de la zona.

Cuadro 14

Cuenca alta del río Oyacachi: superficie cubierta por los diferentes tipos de uso del suelo en las zonas núcleo, de conectividad, de amortiguamiento y periféricas (en hectáreas)

Tipos de uso del suelo	Zonas núcleo		Zonas de conectividad		Zonas de amortiguamiento		Zonas periféricas	
	Superficie	Porcentaje	Superficie	Porcentaje	Superficie	Porcentaje	Superficie	Porcentaje
Zonas sin uso	745	35	1.767	57	3.290	67	4.440	61
Quemas del páramo	147	7	120	4	166	3	281	4
Pastoreo en páramo herbáceo	903	43	672	22	593	12	1.320	18
Cacería y tala selectiva	325	15	519	17	887	18	687	9
Fincas	2	0,1	1	0,03	8	0,2	512	7
Total	2.122		3.079		4.944		7.240	

chas zonas núcleo, de conectividad y de amortiguamiento se practica algún tipo de uso. Esto se debe a que estos tipos de uso del suelo tienen una naturaleza extensiva, por lo cual su impacto sobre la cobertura vegetal original es poco significativo. Por ejemplo, el 43% de las zonas núcleo es utilizado para el pastoreo en el páramo (cuadro 14).

Las variables excluidas del análisis de la cuenca baja

Después de realizar las pruebas del modelo, optamos por excluir del análisis de la cuenca baja las variables orientación, riqueza paisajística y distancia a cuerpos de agua. La variable orientación fue excluida debido a que el modelo subvaloró áreas cuya orientación es hacia el norte, lo cual se debió a que 12 de las 18 líneas de la red de monitoreo de la cuenca baja se dispusieron sobre la vertiente norte (cuya orientación es hacia el sur).

Asimismo, el uso de la variable riqueza paisajística tiene un problema cuando se modela zonas con una riqueza paisajística mayor a la monitoreada. El área de estudio de la cuenca baja presenta valores de riqueza paisajística superiores a los cubiertos por la red de monitoreo, lo cual, a su vez, se debe a la presencia de formaciones vegetales en el área de estudio que no fueron incluidas en la red de monitoreo, tales como el páramo herbáceo o el bosque de páramo mixto. Dichas formaciones no fueron consideradas debido a que el estudio piloto de la cuenca baja estuvo orientado a determinar la aplicabilidad del modelo en las cotas altitudinales inferiores de la cuenca del río Oyacachi (2.600 a 1.800 m) y a determinar la disponibilidad del hábitat del oso andino en el bosque de neblina montano (el 86% de la red de monitoreo fue ubicado en este tipo de vegetación). Este hecho fue corroborado al observar que de los 48 registros indirectos usados, el

75% se encuentra en el bosque de neblina montano, razón por la cual otros lugares con mayor riqueza paisajística fueron excluidos o valorados como hábitats de menor importancia para el oso andino.

En el caso de la variable distancia a cuerpos de agua, ésta otorga valores de poca probabilidad a las áreas cuyos valores de distancia son superiores a 460 m. Esto se debe a que la red hidrológica en el área de estudio es bastante densa, provocando que la mayoría de registros se encuentren en áreas poco distantes de los cursos de agua. Sin embargo, a una escala de paisaje existen ciertas zonas dentro del área de estudio en las cuales los ríos presentan una distribución más espaciada, dejando "vacíos" alejados de fuentes hídricas. Esto no es muy real respecto a la ecología del oso debido a tres razones:

- El recurso agua en el área de estudio es muy abundante y existen innumerables cursos de agua muy pequeños que no constan en las cartas topográficas utilizadas para construir esta variable.
- Debido a la elevada densidad de la red hídrica en el área de estudio, las distancias entre cursos de agua no son muy grandes, haciendo que la disponibilidad de este recurso no sea un problema para un animal que diariamente recorre más de dos kilómetros lineales.
- La dieta del oso andino está constituida sobre todo por epífitas y frutos carnosos que contienen abundante agua y que en estado saturado pueden tener hasta seis veces más agua que su peso en seco (Bruijnzeel y Veneklaas 1998). Esto tiene como consecuencia que los osos dependan poco de cuerpos de agua como ríos o lagunas. Así, al ser excluida la variable distancia a cuerpos de agua hubo una mayor continuidad espacial de las áreas con probabilidades grande e intermedia.



Foto: Milton H. Tierney, Jr. / Archivo GEOF-EcoCiencia

5.3 Sobre la influencia de las variables utilizadas para obtener el resultado final

Las variables que fueron incluidas para obtener el mapa final de la disponibilidad del hábitat tuvieron diferente influencia. A continuación se discute por qué unas fueron más determinantes que otras.

La influencia de las variables en la cuenca alta

En la cuenca alta utilizamos los datos de ocho variables para obtener el resultado final. De éstas, las que influyeron más fueron, en este orden, la altitud, la distancia a centros poblados y la distancia a carreteras. Entre las variables que presentaron menos indicios de haber influido en la selección del hábitat del oso andino se cuentan la pendiente, la orientación, la distancia a senderos y la distancia a cuerpos de agua.

La altitud, por ser la variable con el coeficiente de variación más bajo, restringe la superficie de las zonas con gran probabilidad (núcleo). Pese a que la cota máxima en el área de estudio es de 4.312 m de altitud y la mínima de 2.659 m, se observa en las zonas núcleo y en las de conectividad una evidente preferencia por el rango

entre 3.500 y 3.900 m de altitud. Este rango preferido coincide con la distribución altitudinal de las formaciones vegetales más usadas por el oso andino durante el período de monitoreo –páramo herbáceo y bosque de páramo mixto– (cuadros 7 y 8), y se confirma con el porcentaje de registros encontrados en éstas (cuadro 13).

La variable que influyó más después de la altitud fue la distancia a centros poblados (en este caso la comuna de Oyacachi). En el mapa 5 se observa que la presencia del pueblo influye directamente sobre el hábitat del oso. Las zonas que tienen algún valor de probabilidad de presencia del animal tienden a ubicarse por lo menos a 3.500 m de distancia de la comuna, con valores que oscilan entre 4.928 y 6.353 m. Sin embargo, debido a que el rango con mayores valores de probabilidad presenta distancias relativamente pequeñas ($\bar{x} = 4.928$; $SD = 1.635$), la influencia del centro poblado y sus fincas aledañas es muy puntual, es decir, las actividades allí desarrolladas no exceden un radio de 1.300 m. Por ejemplo, la zona núcleo más próxima se encuentra apenas a 1.329 m de Oyacachi (cuadro 7).

La distancia a carreteras (en este caso a la vía Canguhua–Oyacachi–Papallacta) fue la tercera variable más influyente durante la elaboración del mapa de la

Cuadro 15

Pruebas de estabilidad del modelo de la cuenca alta: variación de la superficie ocupada por cada rango de probabilidad en relación con la segunda prueba (en hectáreas)

Prueba	Zonas núcleo		Zonas de conectividad		Zonas de amortiguamiento		Zonas periféricas	
	Superficie	Porcentaje	Superficie	Porcentaje	Superficie	Porcentaje	Superficie	Porcentaje
1	7.079	357	3.668	132	1.299	27	1.268	18
3	5.813	193	5.724	106	6.881	44	4.874	-32
4	1.573	-21	1.654	-10	2.593	-46	10.339	45
5	7.074	357	4.122	149	1.512	32	1.057	15
6	1.270	-40	1.267	-54	4.430	-7	10.027	40

Nota: los resultados de la segunda prueba (resultado final) constan en el cuadro 6.

disponibilidad del hábitat. Las áreas próximas a la carretera fueron excluidas o no valoradas como un hábitat adecuado y, por el contrario, las áreas con gran probabilidad se encuentran a un promedio de 4.774 m de distancia de este lugar (cuadro 7 y mapa 5). La presencia de la carretera implica la fragmentación de la cobertura vegetal de los hábitats naturales y, además, su construcción produce efectos negativos como el relleno de las cuencas hídricas o el aumento del ruido (que reduce la diversidad biológica a distancias considerables y facilita la introducción de especies de borde). Asimismo, el tráfico de vehículos livianos y pesados y la presencia de quienes están construyendo la vía, disminuyen la presencia de varias especies, sobre todo de mamíferos grandes (Forman et al. sin fecha). Paralelamente a todos estos efectos, la vía Cangahua–Oyacachi–Pallacta ha facilitado el acceso a muchos lugares que no habían sido utilizados tradicionalmente por la gente de Oyacachi y de las comunidades vecinas. Las consecuencias negativas de la presencia de carreteras también han sido documentadas por Boone y Hunter (1996 citado en Forman et al. sin fecha), quienes reportan que el oso pardo europeo (*Ursus arctos terribilis*) evita la carretera en un rango de por lo menos mil metros.

Las variables distancia a centros poblados y distancia a carreteras presentaron, a su vez, la mayor correlación ($r = 0,96$). Esto explica por qué durante la tercera prueba del modelo, cuando excluimos la variable distancia a carreteras, el área experimentó un aumento de las zonas núcleo y de conectividad, expandiéndose en 193% y 106% respectivamente (cuadro 15).

Respecto a la pendiente, el oso prefiere las moderadas, cuya inclinación oscila entre 20 y 30° (cuadro 7). La preferencia por este rango puede deberse a que, dada la geomorfología accidentada de la cuenca alta, el promedio de la pendiente allí es de 21,4°. Sin embar-

go, para determinar patrones detallados de la influencia de la pendiente es necesario desarrollar estudios a una escala de microhábitat mediante los cuales se determine la influencia de esta variable en la concentración y accesibilidad de los recursos empleados por el animal.

Otra variable que no presentó una influencia clara fue la orientación (cuadro 7), lo cual pudo deberse tanto a los bajos valores que presentó respecto de las demás variables como a su gran coeficiente de variación (cuadro 11). Este amplio rango de dispersión de la variable orientación evidencia una clara utilización de las diferentes condiciones de exposición solar de las laderas. Sin embargo, estudios más detallados que cubran la variación estacional anual en la exposición solar pueden evidenciar diferencias en la selección de lugares por el oso andino. Asimismo, estudios a una escala de microhábitat podrían determinar que la orientación incide en la concentración de humedad relativa y ésta, a su vez, en la producción de alimento para el oso andino.

Con respecto a la distancia a cuerpos de agua, las áreas seleccionadas positivamente por el oso andino nunca están a más de 1.115 m de una fuente de este recurso (cuadro 7). La variación de 300 a 500 m de distancia respecto del cuerpo de agua más próximo, entre los diferentes rangos de valorización, tiene una importancia menor para una especie generalista y con extensas áreas de vida. La poca influencia de la variable distancia a cuerpos de agua puede deberse a la homogénea y abundante distribución de este recurso en el área de estudio o, tal vez, a que el oso obtiene este elemento mediante el consumo de frutos y bromelias (Peyton 1980, Paisley y Goldstein 2000). Así, el acceso a este recurso no es difícil y, por ello, la incidencia de esta variable sobre el proceso de selección del hábitat del oso andino es poco significativa.

La variable distancia a senderos no influyó signifi-

cativamente sobre el proceso de selección del oso andino. Esto pudo deberse a que los senderos locales son usados esporádicamente por un número muy reducido de personas o ganado, y a que las trochas modifican muy poco el paisaje. Estas características (sumadas a la homogénea distribución de senderos en el área de estudio) hicieron que la influencia de esta variable sea poco significativa.

En cuanto a la influencia de la variable cobertura vegetal, se observó que el oso sí selecciona favorablemente algunas de las formaciones presentes en el área de estudio. Aparentemente, estos animales prefieren el páramo herbáceo y el bosque de páramo mixto, de forma particular la franja que delimita ambas formaciones (zonas ecotonales), donde se encuentra una gran densidad de *Gregia* sp. Sin embargo, según Yerena y Torres (1994), los páramos solamente son visitados estacionalmente con fines alimenticios, aún cuando puedan jugar un papel importante en la dispersión del oso. Por otra parte, existe una discriminación negativa de los bosques de alisos, los páramos quemados, las fincas y el bosque de neblina montano. En estos resultados, sin embargo, la clara preferen-

cia evidenciada por el páramo herbáceo también podría deberse a que esta formación es la más representada en el área de estudio (37%) y, por el contrario, el bosque de neblina montano está poco representado (menos del 2%) y sus rangos altitudinales son los más bajos dentro del área de estudio (cuadro 8). Por lo tanto, no se puede descartar la importancia de esta última formación como un hábitat de gran importancia para el oso andino debido a los patrones estacionales de movimiento característicos de la especie. El resultado sobre la selección de ciertas formaciones vegetales es validado cuando se lo compara con el criterio de Yerena y Torres (1994), quienes concluyeron que la mejor calidad de hábitat para el oso andino en Vene-

zuela son el bosque montano húmedo y el bosque montano estacional, ubicados entre los 800 y 3.000 m de altitud aproximadamente.

La influencia de las variables en la cuenca baja

En la cuenca baja utilizamos los datos de seis variables para obtener el resultado final. Tres de estas, la distancia a centros poblados, la altitud y la pendiente fueron las que ejercieron la mayor influencia, lo cual se verificó observando los bajos coeficientes de variación de cada una y sus valores de correlación (cuadro 12). En

el caso de la distancia a centros poblados, la altitud y la pendiente, esto se debió a la poca dispersión de los valores de estas variables obtenidos en los 48 registros usados para obtener el resultado final.

La variable distancia a centros poblados restringió mucho el modelo tanto en la zona noroeste como en la porción sudeste del área de estudio, espacios en los cuales no hay zonas núcleo ni de conectividad (mapa 5). Esto podría deberse a que son las áreas más próximas a los dos centros poblados (Oyacachi y El Chaco) y que por lo tanto presentan

valores atípicos a los encontrados en la red de monitoreo y en los registros modelados ($\bar{x} = 15.400$ m; $SD = 1.105$ m). Estos resultados muestran que en esta área de estudio no existe una influencia significativa de ningún centro poblado, asunto comprensible dadas sus condiciones geográficas, esto es, dentro del valle del río Oyacachi y con altas cordilleras en sus límites norte y sur. Por otro lado, se puede asumir que la influencia de un centro poblado ocurre de forma puntual, dentro de un rango o superficie específica, y que dicha influencia decrece significativamente más allá de dicho rango. Dada la distancia a la que se encuentra el área de estudio de los centros poblados más cercanos, se comprende que la influencia de éstos sea mínima.

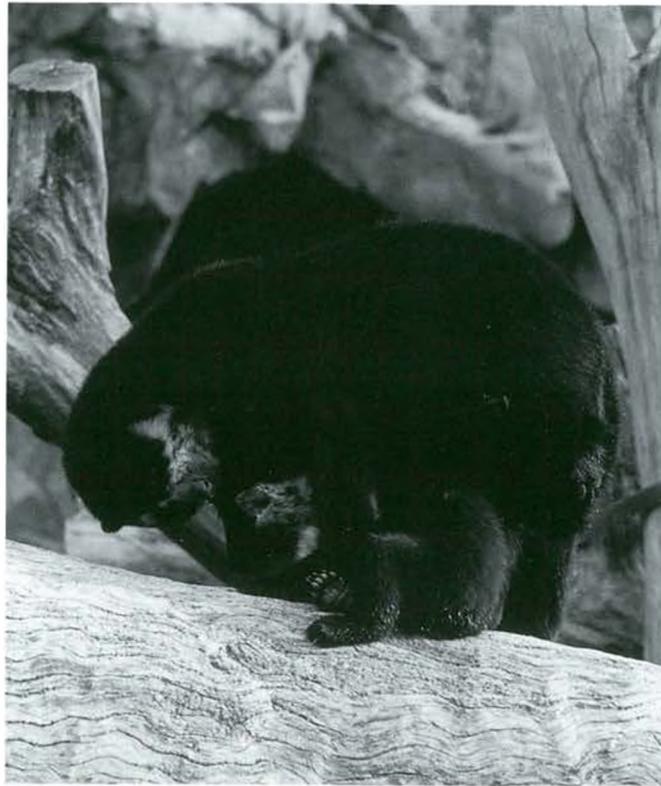


Foto: Milton H. Tierney, Jr. / Archivo GEOF-EcoCiencia

Cuadro 16

Pruebas de estabilidad del modelo de la cuenca alta: variación de la superficie ocupada por cada rango de probabilidad en relación con la segunda prueba (en hectáreas)

Prueba	Zonas núcleo		Zonas de conectividad		Zonas de amortiguamiento		Zonas periféricas	
	Superficie	Porcentaje	Superficie	Porcentaje	Superficie	Porcentaje	Superficie	Porcentaje
1	256	-49	875	-24	3.021	-4	4.178	-0,2
3	462	-9	1.319	14	3.110	-1	3.988	-4
4	1.444	185	2.628	127	6.945	122	4.776	15
5	1.539	204	3.386	193	8.805	181	2.154	-48
6	477	-6	1.584	37	3.683	17	4.443	7

Nota: los resultados de la segunda prueba (resultado final) constan en el cuadro 6.

Hubo una gran correlación positiva ($r = 0,69$) entre las variables distancia a centros poblados y distancia a fincas (cuadro 12). La influencia que ejercen estas variables como restrictoras del modelo se comprobó durante la quinta prueba del modelo, cuando observamos un incremento de las zonas núcleo (204%), de conectividad (193%) y de amortiguamiento (181%) (cuadro 16).

La altitud tuvo una gran influencia en los resultados finales dado su restringido rango de variación y su correlación significativa con el tipo de vegetación presente: $r = 0,64$ (cuadro 12). Ambas variables están íntimamente ligadas con la calidad y disponibilidad del hábitat (Clevenger, Purroy y Pelton 1992, Rodríguez y Cadena sin fecha).

Las zonas núcleo están exclusivamente en el bosque de neblina montano, ecosistema rico en recursos para el oso. En su estudio sobre la calidad de los hábitats que ocupa esta especie en el Perú, Peyton (1980) encontró que el bosque húmedo de las estribaciones (1.800–3.400 m de altitud) y el bosque de espinos de la costa (1.400–2.500 m de altitud), son los mejores desde el punto de vista de alimento y protección (cobertura). De igual forma, Yerena y Torres (1994) proponen que los espacios de mayor calidad para la conservación del oso andino en Venezuela son los bosques montanos, tanto húmedos como estacionales (800 a 3.000 m de altitud aproximadamente). Sin embargo, y pese a que el bosque de neblina montano es importante como hábitat del oso andino, en este caso la preferencia detectada por su uso se debe a que cubría el 81% del área de estudio, por lo que se debe ejecutar estudios que cubran todo el rango de distribución y que abarquen los movimientos estacionales característicos de la especie.

Se evidenció una gran correlación positiva ($r = 0,68$) entre la altitud y la distancia a senderos (cuadro 12). La influencia de ambas variables fue compro-

bada cuando fueron excluidas durante la cuarta prueba y las zonas núcleo se incrementaron en 185%, las de conectividad en 127%, y las de amortiguamiento en 122% (cuadro 16).

Finalmente, la variable pendiente tiene una asociación directa con la accesibilidad a los recursos presentes en un determinado lugar. En este caso, las pendientes con valores inferiores a 20° y superiores a 40° fueron valoradas como un hábitat menos favorable en relación con las zonas núcleo, las cuales se disponen sobre pendientes con valores promedio de 32° y una desviación estándar de 6 (cuadro 9). Esto se debe a que la red de monitoreo cubre un rango entre 2 y 46°, y los 48 registros tienen un rango de 11 a 41° (cuadros 1 y 6). Otra posible razón es que las zonas cuya pendiente supera los 40° constituyen un microhábitat con menos recursos alimenticios, debido a factores como la capacidad de drenaje, la humedad relativa o la exposición al viento. Esto no quiere decir que las localidades con pendientes fuera de este rango fueron excluidas y valoradas con una probabilidad nula, pero sí muestra una tendencia de que las zonas núcleo y de conectividad presentan sobre todo pendientes entre 25 y 39°.

La variable que menos influyó fue la cobertura vegetal (presentó el mayor coeficiente de variación). Esto no implica que la cobertura sea una variable sin importancia para determinar la disponibilidad del hábitat, sino que en el caso de la cuenca baja, el 86% de las líneas de monitoreo estuvo dispuesto sobre una misma formación: el bosque de neblina montano. La poca influencia de esta variable fue evidenciada durante la tercera prueba del modelo, cuando el incremento de las zonas núcleo, de conectividad y de amortiguamiento fue mínimo e inclusive negativo (cuadro 16).



Una vez finalizados los dos estudios piloto en la cuenca del río Oyacachi y si bien los resultados sobre la biología y la selección del hábitat del oso andino aún son preliminares, se han obtenido tres conclusiones valiosas sobre los métodos empleados, las cuales son presentadas a continuación.

6.1 La selección y heterogeneidad de las variables es fundamental

Los modelos que sirven para determinar la disponibilidad del hábitat de una especie son sumamente útiles para conocer la relación entre la vida silvestre y los espacios en los que se desenvuelve, y para establecer acciones de conservación. Sin embargo, es fundamental escoger variables que sean significativas en la ecología del organismo en cuestión y que además puedan ser tratadas a una escala paisajística.

Durante este estudio se determinó que existe una diferencia clara entre las variables empleadas. La altitud, pendiente, orientación, cobertura vegetal, distancia a cuerpos de agua y riqueza paisajística son variables biofísicas y ecológicas constitutivas del hábitat del oso andino que se replican en el paisaje. Estas variables tienen la capacidad de expandir el modelo hacia zonas muy distantes, más allá de la localización de la red de monitoreo, con el único requisito de que la ampliación abarque los mismos rangos estudiados, es decir, las mismas formaciones vegetales y altitudes. Un claro ejemplo es el de la cobertura vegetal, que fue la variable más influyente durante el estudio de la cuenca alta pues su exclusión produjo una expansión considerable de las zonas consideradas como hábitats aptos.

Por otro lado, existen las variables que no son elementos constitutivos de los hábitats pero sí del paisaje. Entre éstas (que deben ser consideradas ya que modifican significativamente los hábitats), se cuentan la



Foto: Milton H. Tierney, Jr. / Archivo GEOP-EcoCiencia

La educación ambiental: pieza clave para la conservación del oso andino

La identificación de áreas prioritarias y la obtención de información ecológica sobre el oso andino son algunos aspectos necesarios para lograr la conservación de esta especie. Sin embargo, para que ésta sea efectiva en el largo plazo, es necesario contar con el apoyo de la gente que comparte los ecosistemas con los osos. Una forma de conseguir dicho apoyo es desarrollando procesos de educación ambiental en las comunidades.

Para llevar a cabo procesos de educación ambiental es importante realizar, previamente, diagnósticos sociales, económicos, ambientales y educativos, pues ello permite que las actividades propuestas correspondan a los intereses de la gente del lugar y así ellos y ellas se apropien del proceso. Además, los diagnósticos permiten que al final del trabajo se cuente con información que permita evaluar los logros alcanzados durante el proceso.

En Oyacachi, a través del proyecto "Conservación del Oso Andino" y con base en los resultados obtenidos durante los diagnósticos participativos, se está trabajando en tres ámbitos: un plan de educación y



La educación ambiental es clave para llevar a cabo iniciativas de conservación en las comunidades. Foto: Jaime Camacho / Archivo Eco-Ciencia

capacitación ambiental escolar, un proyecto de ecoturismo y una estrategia de comunicación.

El plan de educación tiene como objetivo aprovechar la escuela como el espacio para desarrollar un proceso de educación ambiental formal dirigido a los /las futuros/as habitantes de Oyacachi, pero también para promover actividades de conservación. Mientras tanto, el proyecto de ecoturismo ha sido planteado como una alternativa frente al uso no sustentable de los bosques y del páramo, hábitats del oso andino y de otras especies; este proyecto está siendo diseñado con la participación local y tomando en cuenta aspectos ambientales, sociales y económicos.

La estrategia de comunicación es una herramienta para difundir las actividades del proyecto en la comunidad y también para contribuir a promover conocimientos, actitudes y prácticas adecuadas para la conservación de esta especie amenazada. Esta estrategia incluye actividades como "El día del oso", publicación de boletines informativos, radiodramas, vídeos, presentaciones de diapositivas, afiches y calcomanías. Con todo esto se pretende sensibilizar e involucrar a las personas de la comuna que no están participando directamente en el proyecto.

distancia a carreteras, a senderos y a centros poblados, así como los tipos de uso del suelo. A diferencia de las biofísicas y ecológicas, estas variables restringen la expansión del modelo a zonas con elementos del paisaje distintos a los monitoreados. Es decir, son dependientes de dónde se encuentra establecida la red de monitoreo y que, por su naturaleza, no se replican en el espacio sino que tienen valores lineales que decrecen o aumentan según la localización de los diferentes elementos del paisaje. En este sentido, las variables que más restringen la valoración de áreas significativas como hábitat del oso andino son la carretera en la cuenca alta y las fincas en la cuenca baja. La exclu-

sión de éstas causa un incremento significativo de las zonas de gran probabilidad, lo cual fue verificado durante las pruebas de estabilidad del modelo.

La importancia de una variable en un modelo de hábitat depende directamente del paisaje al que está asociada y que se pretende modelar.

6.2 La participación local es imprescindible

Para lograr un eficiente manejo de las áreas protegidas es muy importante involucrar a las comunidades que dependen de los recursos presentes en las mismas. Haber contado con el apoyo y la participación de la gen-

te de Oyacachi fue imprescindible para lograr el éxito durante este estudio. El involucramiento directo de los parabiólogos permitió que las demás personas de la comuna entendieran mejor las implicaciones del estudio. La internalización de este proceso ha sido tan provechosa que la comuna identificó la necesidad de incorporar áreas de conservación del hábitat del oso andino durante la zonificación de su territorio en 1999–2000.

Sin embargo, no solo deben participar los o las parabiólogos/as. También es imprescindible desarrollar actividades paralelas que involucren a otras personas de las comunidades y que generen un proceso integral de comprensión de la importancia de conservar los hábitats. Una de estas actividades es la educación ambiental (véase recuadro 8).

6.3 Los métodos tienen ventajas y limitaciones

Las ventajas

La combinación de las tres técnicas usadas –monitoreo mediante registros indirectos, manejo de información espacial mediante un sistema de información geográfica y análisis estadísticos multivariados– provee información muy útil cuando se trata de planificar y ejecutar estudios de conservación *in situ* de especies como el oso andino o el tapir de altura.

Una ventaja de estos métodos es que permiten investigar superficies mayores a unas cuantas hectáreas, lo cual aumenta la capacidad de análisis. Por ejemplo, se obtienen datos sobre los patrones de dieta y uso estacional de los recursos, los cuales sirven para definir prioridades de conservación de una especie y sus poblaciones. De igual manera, la información es una excelente herramienta para evaluar potenciales corredores biológicos que sirvan para conservar la continuidad de los hábitats, y así mantener el flujo genético de las especies asociadas a éstos.

Otro aspecto positivo de los métodos propuestos es el uso de un sistema de información geográfica, pues mediante esta herramienta se puede manejar y analizar una gran cantidad de referencias a un nivel de detalle elevado (en este estudio las unidades de análisis fueron de 30 x 30 m), y además se puede intercalar las diferentes capas de información (variables) generadas con el fin de observar su influencia individual sobre los resultados. En este contexto, las pruebas de estabilidad del modelo son muy versátiles, pues permiten realizar evaluaciones preliminares, hecho indispensable para deter-

minar el grupo de variables que describe mejor la disponibilidad del hábitat en el área estudiada.

El uso de los análisis estadísticos multivariados permite integrar variables biofísicas como la altitud o la cobertura vegetal, con otras antropogénicas como el tipo de uso del suelo o la distancia a senderos. La tangible dualidad de este tipo de análisis potencia la calidad del estudio: mientras las variables biofísicas describen la aptitud que un lugar tiene para ser el hábitat adecuado de una especie, las antropogénicas sirven para determinar la influencia o alteración que presenta este lugar y para determinar si, aunque las variables biofísicas lo definen como hábitat favorable, su estado de conservación disminuye la probabilidad de ser usado o utilizable por los osos.

El desarrollo de un programa de monitoreo biológico participativo es otra herramienta muy valiosa que permite estudiar especies difíciles de observar debido a sus hábitats crípticos y poca densidad poblacional. Además, sirve para obtener información adicional que puede ser empleada para desarrollar estudios sobre la biología de los animales. A través del monitoreo participativo se pueden desarrollar estudios múltiples a lo largo de todo el año y, al ser una técnica replicable, puede ser aplicada en zonas similares y con diferentes especies. Dado que puede ser usado durante largos períodos, su valor también radica en que se pueden cubrir las variaciones estacionales en el uso del hábitat por parte del oso andino. Asimismo, el análisis de los registros indirectos sirve para determinar patrones del uso y selección del hábitat, información que puede ser usada para evaluar y elaborar índices sobre su calidad, teniendo como unidad de estudio el área de vida del oso andino.

Pero quizás las mayores ventajas de estos métodos frente a otras técnicas como la radiotelemetría, son su bajo costo y facilidad de implementación, hechos muy significativos en un país como el Ecuador. Por ejemplo, para realizar el monitoreo no se precisa tecnología especializada ni la presencia permanente de especialistas en el campo (lo cual reduce bastante los costos operativos), ni se requiere de largas capacitaciones y experiencia. Además, debido a la topografía muy accidentada de las estribaciones de los Andes, a las coberturas boscosas presentes en estas zonas y al exceso de humedad –lo cual disminuye la amplitud de onda de los transmisores–, la telemetría resulta menos eficaz pues se introducen errores en la triangulación (por ejemplo, se puede confundir la cobertura vegetal). En cambio, el monitoreo mediante registros indirectos permite determinar con mayor precisión los lu-

Las investigaciones sobre la dieta y el ADN

Además del estudio sobre la disponibilidad del hábitat, en el proyecto "Conservación del Oso Andino" se ejecutan dos investigaciones complementarias. La primera es la denominada "Hábitos alimenticios del oso andino en la zona de Oyacachi", cuyo objetivo es determinar si existen diferencias en la cantidad y variedad de los elementos que componen la dieta de esta especie en un rango entre 2.000 y 4.000 m de altitud, y en las diversas formaciones vegetales. Esta información permitirá conocer cómo usa el oso los recursos alimenticios en esa zona y cuáles son las formaciones vegetales más importantes en lo que se refiere a la cantidad y variedad de alimento que le ofrecen. La información sobre la dieta complementará la del estudio de disponibilidad, pues se determina a un nivel más fino las zonas en las que se encuentran los hábitats óptimos para el animal en términos alimentarios.

El otro estudio es el llamado "Estudio poblacional del oso andino mediante técnicas de biología molecular". Es ejecutado como una alternativa a los estudios tradicionales, con el objetivo de obtener información genética y ecológica sobre las poblaciones del oso andino en cautiverio y en estado silvestre (en

la Reserva Ecológica Cayambe-Coca y en el Parque Nacional Sangay). El estudio sobre el ADN comprende dos fases. En la primera se investiga a los osos en cautiverio para estandarizar las técnicas moleculares, colectando muestras de sangre, excrementos, tejidos y pelos. La segunda fase comprende el estudio de los osos silvestres mediante la colección de excrementos y pelos. Estos métodos evitan la manipulación directa de los individuos y se basan en extraer y amplificar ADN de excrementos y pelos mediante dos técnicas moleculares: la PCR (Polimerase Chain Reaction) y los Microsatélites.

La información molecular (identificación hasta individuos) será analizada junto con la información biofísica (altitud, orientación, tipo de vegetación) y de paisaje (carreteras, uso del suelo, centros poblados) y será integrada al Sistema de Información Geográfica. Ello permitirá conocer datos sobre variabilidad genética, densidad poblacional, movimientos estacionales, área de vida, utilización diferencial de formaciones vegetales y ubicación de individuos en un área geográfica particular. Además, se generará información sobre la interacción entre el animal y los asentamientos humanos, lo cual servirá para discriminar áreas críticas y prioritarias para la conservación del oso andino en las zonas de estudio.

gares donde los animales han estado, ya que los GPS identifican una posición con un error aproximado de quince metros. Otra desventaja de la telemetría es que, para contar con una muestra poblacional que genere datos válidos sobre densidad y uso del hábitat, se requiere rastrear entre ocho y diez individuos, hecho que plantea serios problemas logísticos y de acceso dados los patrones extensivos de desplazamiento del oso andino y la ausencia de caminos y senderos transitables en los bosques y páramos que utiliza.

Las limitaciones

Si bien los métodos planteados presentan muchas ventajas, es importante resaltar también sus limitaciones naturales; una de éstas es el reducido espectro que abarca este tipo de trabajo. Dado que los estudios para la conservación de las especies silvestres deben contemplar cuatro niveles (paisaje, área de vida, microhábitats y micrositos) y, en el caso de esta investigación, los métodos sirvieron para determinar la relación entre el hábitat y una especie solo a escala paisa-

jística, no se obtuvo datos sobre la relación entre las poblaciones e individuos con sus hábitats, por ejemplo sobre las especies críticas en su dieta o sobre las diferentes estrategias que usa para acceder a los recursos en cada hábitat. En este sentido, si los métodos empleados en este estudio se aplican a una escala paisajística, es necesario desarrollar herramientas complementarias que permitan analizar aspectos sobre áreas de vida o microhábitats (véase recuadro 9).

Otra limitación fue el poco tiempo invertido para generar información sobre el uso temporal de los recursos en las distintas formaciones vegetales. Esto, debemos confesarlo, se debió a que este estudio constituye una fase piloto del proyecto "Conservación del Oso Andino", la cual tuvo como objetivo principal, antes que generar información definitiva, verificar el comportamiento de los métodos para su posterior aplicación en áreas más extensas y durante períodos más prolongados. Así, si bien los datos sobre el uso temporal de los recursos exponen la tendencia sobre este aspecto, no son concluyentes sobre cómo o cuándo los utilizan los osos.



Una vez que han sido ajustados los métodos y determinada la disponibilidad del hábitat del oso en un espacio relativamente pequeño, es necesario ampliar este estudio hacia zonas mucho más extensas con el propósito de identificar nuevas áreas de conservación. Es necesario identificar posibles corredores biológicos que unan las áreas protegidas donde habita esta especie, con el fin de garantizar el flujo genético y con ello el mantenimiento de poblaciones viables en el largo plazo.

De igual manera, es urgente conocer la distribución real (la actual es tentativa) del oso andino en el Ecuador y, paralelamente, identificar a escala nacional, la disponibilidad de su hábitat. Tal información servirá para determinar y conservar las áreas con gran potencial de albergar osos.

Si bien los resultados obtenidos durante los estudios en la cuenca del río Oyacachi han permitido identificar los lugares preferidos por los osos, no son suficientes para contestar por qué los escogen. Es decir, es necesario investigar varios aspectos ecológicos como: ¿Por qué escoge ciertas zonas de los páramos? ¿Por qué prefiere permanecer en las zonas boscosas durante ciertos meses del año? ¿Qué efecto tienen las carreteras sobre su hábitat?, entre tantas otras. También es necesario estudiar, a un nivel más fino, la relación de las poblaciones con sus hábitats tomando como unidad espacial el área de vida donde se desenvuelven.

La construcción de un modelo predictivo de fenómenos naturales y su interpretación es un proceso interactivo donde el criterio de los/las investigadores/as es fundamental; el determinar y estudiar el comportamiento de las variables escogidas es de suma importancia (van Manen y Pelton 1997). Los métodos utilizados en esta investigación fueron diseñados con base en la experiencia reunida durante los dos estudios





Foto: Milton H. Tierney, Jr. / Archivo GEOF-EcoCiencia

piloto ejecutados. Por tratarse de investigaciones independientes, ambas han permitido verificar el efecto de cada variable sobre el área, y con ello se ha identificado aquellas que influyen más cuando se trata de zonificar espacios para el oso andino.

Con la ejecución de estos estudios se han afinado los métodos y con ello se ha potenciado la posibilidad de llevar a cabo procesos de conservación en el Ecu-

dor y en Sudamérica, lugares donde es urgente contar con medidas de manejo a un nivel grueso que estén de acuerdo con la capacidad de gestión de las diferentes instituciones encargadas de la administración de las áreas protegidas y de la vida silvestre.



A toda la gente de la comuna de Oyacachi por permitirnos trabajar en su territorio, en los misteriosos bosques de estribaciones y en los sobrecogedores páramos, hogar del oso andino. A Fidel Quinatoa, Teófilo Parión, Héctor Parión y a todas las personas que creen en el trabajo de EcoCiencia como una opción para lograr la conservación de su ambiente y el desarrollo de su comunidad. A María y Patricio Aigaje por su excelente disposición de acogernos en su casa y alimentarnos durante estos años. Mil gracias por su sazón y amistad.

A Mario García y Luis Suárez por brindarnos su amistad y apoyo durante la ejecución del proyecto "Conservación del Oso Andino". Gracias por su confianza a lo largo de estos años.

A Fabián Muñoz, quien aportó durante la construcción del modelo estadístico utilizado. Sin su valiosa contribución este estudio no hubiese alcanzado los objetivos previstos.

A Christopher Morgan por su invaluable apoyo durante el diseño de los métodos y por su desinteresada amistad, y a Frank van Manen por su notable respaldo durante la revisión del modelo desarrollado y durante la interpretación de los resultados preliminares de este estudio. Robert Hoffstede, Fernando Rodríguez y Carlos Valle también hicieron importantes sugerencias a la propuesta metodológica.

A los parabiólogos de Oyacachi, por su entusiasta participación durante el estudio.

Un especial agradecimiento a Jaime Camacho por haber preparado pacientemente la primera versión del manuscrito de este libro y por haber escrito el recuadro 3. A Saskia Flores y Paulina Viteri por haber escrito los recuadros 8 y 9 respectivamente.

A los demás compañeros y compañeras del proyecto "Conservación del Oso Andino" por su constancia y

dedicación para alcanzar los objetivos planteados.

Al personal de EcoCiencia por su solidaridad y estímulo diario. Un afectuoso agradecimiento a Jaime Molina y Edison Molina, quienes nos han transportado con la mayor seguridad desde y hacia Oyacachi.

A Selene Báez, Nora Oleas y Juan Andrés Iturralde, quienes planificaron y ejecutaron la caracterización de la vegetación de la cuenca del río Oyacachi y nos entregaron su amistad.

A la gente de la Embajada Británica, por su constante apoyo y confianza brindada a lo largo del proyecto. Un especial reconocimiento a Gisela de Álvarez y a Robin Shackell.

Al proyecto "Biorreserva del Cóndor" y a las instituciones que lo conforman: Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional, The Nature Conservancy, Fundación Antisana, Fundación Ecológica Rumicocha y Ministerio del Ambiente. Un especial agradecimiento a Víctor Utreras, Gustavo Mosquera, Tarsicio Granizo y Mónica Zuquilanda, quienes demostraron que la cooperación interinstitucional sí es posible.

A Sergio Lasso, a Luis Martínez y al personal del Ministerio del Ambiente por su colaboración y su trabajo desarrollado en favor de la conservación de la Reserva Ecológica Cayambe-Coca.

A la Embajada Real de los Países Bajos y a la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional, por el financiamiento para publicar este libro.

Finalmente, al equipo de Trazos diseño y comunicación visual, que tuvo a su cargo la edición y el diseño del libro: Nicolás Cuvi, Sebastián Naranjo, Ximena Cordovez y María Cuvi. Sus comentarios y sugerencias ciertamente mejoraron la calidad de esta obra.



- Aronoff, S. 1995. *Geographic information systems: a management perspective*. Ottawa: WDL Publications.
- Báez, S., F. Cuesta y M. Peralvo. 1999. Caracterización vegetal de la cuenca del río Oyacachi, Reserva Ecológica Cayambe-Coca. EcoCiencia, Quito. Documento inédito.
- Baillie, J. y B. Groombridge, comps. y eds. 1996. *1996 IUCN Red List of Threatened Animals*. Gland: Unión Mundial para la Naturaleza (UICN).
- Barber, G. 1988. *Elementary statistics for geographers*. Nueva York: The Guilford Press.
- Bruijnzeel L. y E. Veneklaas. 1998. Climatic conditions and Tropical Montane Forest productivity: the fog has not lifted yet. *Ecology* 79, no. 1:3-9.
- Centre for the Research on Cultural and Biological Diversity of Andean Rainforests (DIVA). 1997. *Oyacachi - people and biodiversity*. Technical Report no. 2. Dinamarca: DIVA.
- Clark, J., J. Dunn y K. Smith. 1993. A multivariate model of female black bear habitat use for a geographic information system. *Journal Wildlife Management* 57, no. 3:519-26.
- Clevenger, A. P. 1993. Sign surveys as an important tool in carnivore conservation research and management programmes. Fotocopia distribuida en el "Seminar on the Management of Small Populations of Threatened Mammals", llevado a cabo en Sofía (Bulgaria), del 25 al 28 de octubre de 1993. Comunidad Europea, Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats.
- Clevenger, A. P., F. Purroy y M. Pelton. 1992. Food habits of brown bears (*Ursus arctos*) in the cantabrian mountains, Spain. *Journal of Mammology* 73, no. 2:415-21.
- Cuesta, F. 1998. Actitudes de las comunidades de Oyacachi y Sardinas sobre el oso andino (*Tremarctos ornatus*), Reserva Ecológica Cayambe-Coca, Ecuador. EcoCiencia, Quito. Documento inédito.
- Cuesta, F. 2000. El oso andino: una especie clave para la conservación de los páramos y los bosques andinos. En *La biodiversidad de los páramos*. Serie Páramo no. 7, editada por C. Josse, P. A. Mena y G. Medina. Quito: Grupo de Trabajo de Páramos (GTP) y Abya-Yala.
- Cuesta, F. y L. Suárez. 2001. Oso de anteojos (*Tremarctos ornatus*). En *Libro rojo de los mamíferos del Ecuador*. Serie Libros Rojos del Ecuador no. 1, editado por D. Tirira. Quito: Corporación Sociedad para la Investigación y Monitoreo de la Biodiversidad Ecuatoriana (SIMBIOE), EcoCiencia, Ministerio del Ambiente y Unión Mundial para la Naturaleza (UICN).
- Cuesta, F., M. Peralvo, S. Flores y S. Báez. 1999. Manual de capacitación para el monitoreo del oso andino en la cuenca alta del valle de Oyacachi. EcoCiencia, Quito. Documento inédito.
- Diamond, J. 1986. The design of a nature reserve system for Indonesian New Guinea. En *Conservation biology: the science of scarcity and diversity*, editado por M. Soulé. Sunderland (Massachusetts): Sinauer Associates.
- Downer, C. 1996. The mountain tapir, endangered 'flagship' species of the high Andes. *Oryx* 30, no. 1:45-58.
- Donovan, M., D. Rabe y C. Olson. 1987. Use of geographic information systems to develop habitat suitability models. *Wildlife Society Bulletin* 15:574-9.
- Dupré, E., F. Corsi y L. Boitani. Sin fecha. Potencial distribution of the wolf in Italy: a multivariate GIS based model. Fotocopia sin notas editoriales.

- Forman, R., D. Friedman, D. Fitzhenry, J. Martin, A. Chen y L. Alexander. Sin fecha. Ecological effects of road: Toward three summary indices and an overview for North America. *Habitat fragmentation & infrastructure-proceedings*, s.n:40–54.
- Fundación Antisana. 1998. Plan de Manejo de la Reserva Ecológica Cayambe–Coca. Instituto Ecuatoriano Forestal y de Áreas Naturales y Vida Silvestre (INEFAN), Quito. Documento inédito.
- Grupo de Trabajo del Ecuador. 2000. Memorias del “Taller para la Formulación de una Estrategia Ecorregional para la Conservación del Oso Andino”. Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF), Fundación Natura, FUDENA y Wildlife Conservation Society (WCS), Riobamba. Documento inédito.
- Hall, L. S., P. R. Krausman y M. L. Morrison. 1997. The habitat concept and a plea for standard terminology. *Wildlife Society Bulletin* 25, no. 1:173–82.
- Henderson, A., S. P. Churchill y J. L. Luteyn. 1991. Neotropical plant diversity. *Nature*, no. 351:21–2.
- Hilton-Taylor, C., comp. 2000. *2000 IUCN Red List of Threatened Species*. Gland y Cambridge: The IUCN Species Survival Commission, Unión Mundial para la Naturaleza (UICN).
- Hutto, R. L. 1985. Habitat selection by nonbreeding, migratory land birds. En *Habitat selection in birds*, editado por M. L. Cody. Orlando (Florida): Academic Press.
- Iturralde, J., N. Oleas, F. Cuesta y M. Peralvo. 2000. Caracterización vegetal de la cuenca baja del río Oyacachi, Reserva Ecológica Cayambe–Coca. EcoCiencia, Quito. Documento inédito.
- Johnson, D. H., 1980. The comparison of usage and availability measurements for evaluating resource preference. *Ecology* 61, no. 1:67–71.
- Kendall, K., L. Metzgar, D. Patterson y B. Steele. 1992. Power of sign surveys to monitor population trends. *Ecological Applications* 2:422–30.
- Kirby, K. Sin fecha. Ecological effects of road: toward three summary indices and an overview for North America. *Habitat fragmentation & infrastructure-proceedings*. Fotocopia sin notas editoriales.
- Marsh, D. y P. Pearman. 1997. Effects of habitat fragmentation on the abundance of two species of leptodactylid frogs in an andean montane forest. *Conservation Biology* 11, no. 6:1323–28.
- MicrolImages. 1999. *Getting started geospatial analysis*. Nebraska: MicrolImages Inc.
- Morales, P. e I. Schjellerup. 1997. The people and their culture. En *Oyacachi - people and biodiversity*. Technical Report no. 2. Dinamarca: Centre for Research on Cultural and Biological Diversity of Andean Rainforests (DIVA).
- Morgan, C. 1999. The andean bear research and environmental education project, Ecuador. Field methodology manual. EcoCiencia e Insight Wildlife Management, Quito. Documento inédito.
- Nams, V. 1989. Effects of radiotelemetry error on sample size and bias when testing for habitat selection. *Canadian Journal of Zoology* 67:1631–36.
- Norse, E., K. Rosenbaun, D. Wilcove, B. Wilcox, W. Romme, D. Johnston y M. Stout. 1986. *Conserving biological diversity in our national forests*. Washington D.C.: The Wilderness Society.
- Ostro, L., T. Young, S. Silver y F. Koontz. 1999. A geographic information system method for estimating home range size. *Journal of Wildlife Management* 63, no. 2:748–55.
- Paisley, S. e I. Goldstein. 2000. Conversación llevada a cabo con Francisco Cuesta en Oyacachi, el 23 de noviembre de 2000.
- Peralvo, M. 2000. Proyecto de investigación para la conservación del oso andino. Tesis realizada para obtener el grado de ingeniero geógrafo y del medio ambiente. Escuela Politécnica del Ejército (ESPE), Quito.
- Peyton, B. 1980. Ecology, distribution and food habits of spectacled bears, *Tremarctos ornatus*, in Perú. *Journal of Mammology* 61, no. 4:639–52.
- Peyton, B. 1984. Spectacled bear habitat use in the Historical Sanctuary of Machu Picchu, Perú. Tesis de maestría (M.Sc.), Universidad de Montana.
- Peyton, B. 1999. Spectacled bear conservation action plan. En *Bears. Status survey and conservation action plan*, compilado por C. Servheen, S. Ferrero y B. Peyton. Gland y Cambridge: Species Survival Commission Bear and Polar Bear Specialist Groups de la Unión Mundial para la Naturaleza (UICN).
- Rodríguez, E. D. y A. Cadena. Sin fecha. Evaluación y calidad del hábitat del oso andino *Tremarctos ornatus* en el Parque Nacional Natural Las Orquídeas y zonas adyacentes, Antioquia, Colombia. Parte II. Documento inédito.
- Schoen, J. W. 1990. Bear habitat management: a review and future perspective. *International Conference on Bear Research and Management*, no. 8:143–54.

- Sierra, R., F. Campos y J. Chamberlin. 1999. *Áreas prioritarias para la conservación de la biodiversidad en el Ecuador continental. Un estudio basado en la biodiversidad de ecosistemas y su ornitofauna*. Quito: Ministerio de Medio Ambiente, Proyecto INEFAN/GEF-BIRF, EcoCiencia y Wildlife Conservation Society (WCS).
- Skov, F. 1997. Physical Setting. En *Oyacachi - people and biodiversity*. Technical Report no. 2. Dinamarca: Centre for Research on Cultural and Biological Diversity of Andean Rainforests (DIVA).
- Ståhl, B., B. Øllgaard y R. Resl. 1997. Vegetation. En *Oyacachi - people and biodiversity*. Technical Report no. 2. Dinamarca: Centre for Research on Cultural and Biological Diversity of Andean Rainforests (DIVA).
- Suárez, L. 1985. Hábitos alimenticios y distribución estacional del oso de anteojos (*Tremarctos ornatus*) en el páramo suroriental del volcán Antisana, Ecuador. Tesis de licenciatura en biología, Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE), Quito.
- Suárez, L. 1998. La fragmentación de los bosques y la conservación de los mamíferos. En *Biología, sistemática y conservación de los mamíferos del Ecuador*, editado por D. Tirira. Quito: Museo de Zoología (QCAZ), Centro de Biodiversidad y Ambiente de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE).
- Suárez, L. 1999. Status and management of the spectacled bear in Ecuador. En *Bears. Status survey and conservation action plan*, compilado por C. Servheen, S. Herrero y B. Peyton. Gland y Cambridge: Species Survival Commission Bear and Polar Bear Specialist Groups de la Unión Mundial para la Naturaleza (UICN).
- Tirira, D., ed. 2001. *Libro rojo de los mamíferos del Ecuador*. Serie Libros Rojos del Ecuador no. 1. Quito: Corporación Sociedad para la Investigación y Monitoreo de la Biodiversidad Ecuatoriana (SIMBIOE), EcoCiencia, Ministerio del Ambiente y Unión Mundial para la Naturaleza (UICN).
- Trujillo, G. y M. Peralvo. 2000. Suelos y erodabilidad de la cuenca del río Oyacachi. EcoCiencia, Quito. Documento inédito.
- Ulloa-Ulloa, C. y P. Møller Jørgensen. 1993. Árboles y arbustos de los Andes del Ecuador. *AAU Reports* (Aarhus), no. 30. Publicación del Departamento de Botánica Sistemática de la Universidad de Aarhus (Dinamarca) en colaboración con el Departamento de Ciencias Biológicas de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE).
- Valencia, R., C. Cerón, W. Palacios y R. Sierra. 1999. Los sistemas de clasificación de la vegetación propuestos para el Ecuador. En *Propuesta preliminar de un sistema de clasificación de vegetación para el Ecuador continental*, editado por R. Sierra. Quito: Proyecto INEFAN/GEF-BIRF y EcoCiencia.
- van Manen, F. y M. R. Pelton. 1997. A GIS model to predict black bear habitat use. *Journal of Forestry* 95, no. 8:6–12.
- van Manen, F., J. Clark, S. E. Schlarbaum, K. Johnson y G. Taylor. Sin fecha. A model to predict the occurrence of surviving butternut trees in the Southern Appalachians. Sin notas editoriales. Documento inédito.
- Wiens, J. A. 1972. Anuran habitat selection: early experience and substrate selection in *Rana cascadae* tadpoles. *Animal Behavior*, no. 20:218–20.
- Wilcove, D. S. 1987. From fragmentation to extinction. *Natural Areas*, no. 7:23–9.
- Wilcove, D. S., C. H. McLellan y A. P. Dobson. 1986. Habitat fragmentation in the temperate zone. En *Conservation biology: the science of scarcity and diversity*, editado por M. Soulé. Sunderland (Massachusetts): Sinauer Associates.
- World Conservation Monitoring Centre (WCMC). 1992. *Global biodiversity: status of the Earth's living resources*. Cambridge: WCMC.
- Yerena, E. y D. Torres. 1994. Spectacled bear conservation and dispersal corridors in Venezuela. *International Conference on Bear Research and Management* 9, no. 1:169–72.



Anexo I.

Fundamento teórico y forma de implementación del modelo estadístico para determinar la disponibilidad del hábitat

Fundamento teórico

La gran mayoría de los modelos estadísticos usados para determinar las características que inciden en la selección o en el uso del hábitat, han sido construidos basándose en datos obtenidos mediante radiotelemedría. Estos modelos combinan diversas técnicas como la regresión múltiple y específicamente un método conocido como regresión logística.

Sin embargo, dado que la información de la cuenca del río Oyacachi fueron obtenidos mediante el monitoreo de registros indirectos, durante el cual se miden características tanto cualitativas como cuantitativas, fue necesario buscar técnicas más acordes con la naturaleza de los datos, y por ende el modelo final tuvo características diferentes de las tradicionalmente empleadas.

Si la zona de estudio la definimos como X y cada punto de ésta como x ; entonces asociado a cada vector x tenemos sus componentes escalares:

$$x = (x_1, x_2, \dots, x_m)$$

donde cada x_i representa el valor de una variable ya sea de observación o de una característica inherente al punto como su altitud o pendiente.

Cualquier modelo deberá buscar una función f tal que

$$\begin{aligned} f: X &\rightarrow [0,1] \\ x &\rightarrow f(x) \end{aligned}$$

en la que se asocia a cada valor $f(x)$ una probabilidad de presencia del oso.

Asumiendo que se ha obtenido una muestra aleatoria del espacio X y en la que únicamente retornamos aquellos puntos x asociados con la presencia del animal, se habrá construido un subespacio discreto, de-

Foto: Jaime Camacho / Archivo EcoCiencia



nominado \mathbf{O} . En vista de que no es posible trabajar con el espacio \mathbf{X} y menos aún construir esta función \mathbf{f} , se establece una restricción primero al subespacio \mathbf{O} y luego se la extenderá, mediante aproximación, al espacio \mathbf{X} .

Se construye, entonces, la función \mathbf{p} (una aproximación de \mathbf{f}) como sigue:

$$i) \text{ Sea } \begin{aligned} \mathbf{d}: \mathbf{O} \times \mathbf{O} &\longrightarrow \mathbb{R}^+ \cup \{0\} \\ (x, y) &\longrightarrow d(x, y) \end{aligned}$$

En la que \mathbf{d} , función de distancia, deberá cumplir los siguientes requisitos:

1. $\mathbf{d}(x, y) > 0$
2. $\mathbf{d}(x, x) = 0$
3. $\mathbf{d}(x, y) = \mathbf{d}(y, x)$
4. $\mathbf{d}(x, y) \leq \mathbf{d}(x, z) + \mathbf{d}(z, y)$
5. \mathbf{d} deberá ser invariante a rotaciones y transformaciones
6. \mathbf{d} deberá tener en cuenta la interdependencia de las características

Para escoger la función \mathbf{d} de distancia hay varias opciones: Euclídea, Euclídea normalizada, Binaria, Tonimoto, Mahalanobis, entre otras. De todas estas, la única que cumple todas las propiedades requeridas es la Distancia de Mahalanobis. Adicionalmente, esta distancia es independiente de las unidades de medida y frente a la ponderación de las características, es decir, no es necesario realizar una normalización de los valores de las distintas variables que se desean modelar. Por estos motivos, se la escogió para representar la función \mathbf{d} . La distancia de Mahalanobis se la define como

$$\mathbf{d}(x, \hat{u}) = (x - \hat{u})' S^{-1} (x - \hat{u}) \quad \text{Ecuación 1}$$

donde $x \in \mathbf{O}$; \hat{u} es el vector promedio de las características; y S^{-1} es la matriz inversa de la matriz de varianzas-covarianzas asociada a los $x \in \mathbf{O}$.

ii) Si $\mathbf{d}(x) = \mathbf{d}(x, \hat{u})$ en vista de que \hat{u} es constante para todos los puntos de \mathbf{O} , el siguiente paso es definir la función de aproximación \mathbf{p} de \mathbf{f} .

Considerando que \mathbf{d} sigue la distribución χ^2 con m grados de libertad (m es la dimensión del subespacio \mathbf{O}) se define que:

Para cada $z \in X$, se calculó $\mathbf{d}(z)$ utilizando la ecuación 1, es decir:

$$\mathbf{d}(z) = (z - \hat{u})' S^{-1} (z - \hat{u}) \quad \text{Ecuación 2}$$

iii) Con \hat{u} y S^{-1} definidos anteriormente para los elementos de \mathbf{O} como vectores de promedios y la inversa de la matriz de varianzas-covarianzas y prefijando el valor α de confiabilidad se define que

$$\mathbf{p}(z) = \Pr(\chi_{\alpha, m}^2 < \mathbf{d}(z)) \quad \text{Ecuación 3}$$

donde $\chi_{\alpha, m}^2$ es el valor teórico en la distribución χ^2 con $\alpha\%$ de confiabilidad y m grados de libertad.

La implementación del modelo en la práctica

El primer paso es definir el espacio \mathbf{X} y las variables a ser consideradas en éste. En otras palabras, se debe dotar de una dimensión a este espacio.

Como primer punto hay que recordar que cada píxel del área de estudio representará un punto x de \mathbf{X} , lo que implica una primera aproximación del modelo teórico.

De entre las variables que sirven para caracterizar a cada x existen algunas que poseen una métrica natural como la altitud, y otras que son multinomiales, por ejemplo uso del suelo (us), variable que solo puede tomar valores del conjunto $\{1, 2, \dots, r\}$.

Para el caso de dichas variables multinomiales (o discretas) se realizó un proceso de binarización, con el uso de variables auxiliares, con el fin de proporcionarles una métrica binaria. El procedimiento de binarización fue realizado de la siguiente manera:

$$us_j = \begin{cases} 1 & \text{si } us = j \\ 0 & \text{en caso contrario} \end{cases}$$

para $j = 1, 2, \dots, r-1$

Es decir, las variables us_j ($j = 1, 2, \dots, r-1$) reemplazan a la variable us . Es importante resaltar que se trabajó con $r-1$ variables auxiliares para evitar la dependencia lineal.

Con este procedimiento se definen entonces los puntos x :

$$x = (x_1, x_2, \dots, x_m)$$

En la que cada x_j corresponde a la j -ésima medición o característica de un pixel de \mathbf{X} , y \mathbf{m} representa el total de variables consideradas (hay que tomar en cuenta las variables binarias auxiliares). De manera similar se procede para el subespacio $\mathbf{O} \subset \mathbf{X}$.

Este modelo calcula el nivel de similitud, traducido a una distancia, entre los valores de un conjunto dado de características y los valores de un conjunto "ideal" de dichas características. En el presente estudio, el conjunto de características dado son los valores de las variables de hábitat en un pixel cualquiera del área de estudio. El conjunto "ideal" de características son los valores medios de las variables de hábitat calculados en los lugares del área de estudio donde se obtuvo registros del oso. Valores bajos de d^2 indican que ese pixel en particular tiene características más cercanas al "ideal" que un pixel con un valor de d^2 más elevado.

El cálculo de la Distancia de Mahalanobis se lo realiza mediante la utilización de un programa elaborado en SML (Spatial Management Language), el cual es un lenguaje propio del TNTmips utilizado para analizar y modelar información espacial. La programación se estructuró alrededor de los cuatro siguientes procesos:

- a) **Cálculo de la matriz de varianza-covarianza y de su inversa.** La matriz se calcula a partir de los valores de las variables asociadas a los registros obtenidos durante el monitoreo.
- b) **Cálculo del vector promedio.** Con los valores de las variables de hábitat asociados a los registros, se calcula el valor promedio por variable y se ordena esos valores en un vector. Este vector representa los valores "ideales" de las variables que definen el há-

bitat óptimo para el oso andino. El vector promedio se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$\hat{\mathbf{u}} = \left(\frac{1}{|\mathbf{O}|} \sum_{i=1}^{|\mathbf{O}|} x_1, \dots, \frac{1}{|\mathbf{O}|} \sum_{i=1}^{|\mathbf{O}|} x_m \right)$$

- c) **Cálculo de las Distancia de Mahalanobis (d^2).** Tanto la inversa de la matriz de varianza-covarianza como el vector promedio de las variables de hábitat son elementos que permanecen constantes para un escenario dado del modelo. El siguiente paso es calcular el valor de d^2 para cada pixel del área de estudio. Esto implica que en cada pixel se construye un vector con los valores de las variables de hábitat en dicho pixel. Este vector ingresa en la ecuación de la Distancia de Mahalanobis, a través de la cual se calcula el valor del d^2 que corresponde a dicha unidad digital (pixel).
- d) **Cálculo de p.** Como resultado del proceso anterior se obtiene una capa de información (o "layer") que contiene un valor de d^2 calculado para cada pixel del área modelada. Estas distancias se transforman en valores de probabilidad entre 0 y 1 asumiendo que dichos resultados siguen una distribución de probabilidad de ji-cuadrado, con 95% de confiabilidad y un número de grados de libertad igual al número de variables modeladas.

Finalmente, los valores de probabilidades obtenidos se distribuyen en rangos, los cuales determinan finalmente la disponibilidad del hábitat. Para el presente estudio se definieron cuatro rangos de probabilidad que comprenden valores entre 0 y 100% (véase 3.3).



El proyecto Biorreserva del Cóndor

El proyecto "Biorreserva del Cóndor" es una propuesta integral cuyo objetivo es lograr el manejo de cuatro áreas protegidas del Ecuador y sus respectivas zonas de influencia, bajo el concepto de Reserva de Biosfera. Estas áreas son las reservas ecológicas Cayambe-Coca y Antisana, y los parques nacionales Sumaco Napo-Galeras y Cotopaxi; se trata de más de un millón de hectáreas donde viven especies amenazadas como el cóndor, el oso andino, la bandurria y el tapir de montaña.

El proyecto es financiado por la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID) y por The Nature Conservancy (TNC), ésta última una organización internacional especializada en la conservación de áreas protegidas. Es ejecutado por la Fundación Antisana y la Fundación Ecológica Rumicocha, y tiene como contraparte estatal al Ministerio del Ambiente. Cuenta con varios componentes y alrededor de 20 actividades, muchas de las cuales son llevadas a cabo a través de coaliciones con organizaciones especializadas en cada tema.

Por ejemplo, la investigación sobre el oso andino ha sido posible gracias a la participación de EcoCiencia, y otras instituciones están realizando estudios so-

bre el cóndor andino, las bandurrias y los patos. También se ha obtenido información geográfica de las reservas ecológicas Cayambe-Coca y Antisana mediante un trabajo conjunto con la Corporación Centro de Datos para la Conservación (CDC).

Otro componente del proyecto ha servido para generar un interesante e innovador programa de vigilancia comunitaria en las mencionadas reservas ecológicas. Allí, dieciocho guardaparques comunitarios de varias comunidades ubicadas alrededor de las áreas protegidas han recibido capacitación y equipos, y colaboran con el Ministerio del Ambiente en la vigilancia de los límites de las áreas, además de realizar actividades de educación ambiental en sus comunidades. Varios de estos guardaparques han participado en los estudios del oso andino.

Una de las iniciativas más importantes llevadas a cabo al interior ha sido la creación, en conjunto con la Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito (EMAAP-Q), del Fondo del Agua (FONAG). Mediante la creación de este fondo se busca garantizar la integridad ambiental de los ecosistemas donde nace el agua que abastece a Quito y a las poblaciones vecinas.

El proyecto Conservación del Oso Andino

EcoCiencia es una entidad científica ecuatoriana, privada y sin fines de lucro cuya misión es fomentar la conservación de la biodiversidad mediante la investigación científica, la recuperación del conocimiento tradicional y la educación ambiental, impulsando formas de vida armoniosas entre el ser humano y la naturaleza.

El proyecto "Investigación, Educación y Capacitación Ambiental para la Conservación del Oso Andino", es ejecutado desde 1997 por EcoCiencia con aportes de la Embajada Británica (Programa DFID), el proyecto "Biorreserva del Cóndor" y la Fundación Natura. Tiene como objetivo contribuir a la conservación de esta importante especie amenazada, a través de la generación de información científica que sirva para establecer acciones de manejo y de conserva-

ción, en el largo plazo, de los páramos y bosques de las estribaciones de los Andes. De igual manera, mediante la ejecución de este proyecto se espera mejorar los conocimientos, actitudes y prácticas sobre el oso andino, a través de la educación, capacitación y comunicación. En 2001 se están elaborando propuestas para continuar los trabajos, básicamente en la Reserva Ecológica Cayambe-Coca y en el Parque Nacional Sangay.

EcoCiencia ejecuta este proyecto porque considera que la conservación de las especies en peligro de extinción es fundamental para lograr la conservación de la biodiversidad, especialmente si se trata de "especies paisaje" como el oso andino, cuya protección también garantiza la de muchas otras especies que comparten su hábitat.

Mapas, gráficos, cuadros y recuadros

Mapas

1. Distribución potencial del oso andino	2
2. Distribución potencial del oso andino en el Ecuador	3
3. Ubicación del área de estudio	9
4. Formaciones vegetales en la cuenca del río Oyacachi	10
5. Mapa de disponibilidad del hábitat del oso andino en la cuenca alta del río Oyacachi	36
6. Mapa de disponibilidad del hábitat del oso andino en la cuenca baja del río Oyacachi	37

Gráficos

1. Hoja de campo utilizada durante el monitoreo de registros indirectos	21
2. Modelo cartográfico para generar las variables constitutivas del hábitat	23

Cuadros

1. Las formaciones vegetales de la cuenca del río Oyacachi según tres investigaciones	8
2. Variables seleccionadas para determinar la disponibilidad del hábitat del oso andino	15
3. Longitud de la red de monitoreo sobre cada formación vegetal	20
4. Registros indirectos obtenidos en la cuenca del río Oyacachi	29
5. Valor de las variables altitud, orientación y pendiente asociadas con los registros indirectos	30
6. Superficie ocupada por las zonas núcleo, de conectividad, de amortiguamiento, periféricas y de valor nulo en ambas áreas de estudio (en hectáreas)	35
7. Cuenca alta del río Oyacachi: media, desviación estándar, máxima y mínima de las variables en las zonas núcleo, de conectividad, de amortiguamiento y periféricas	35
8. Cuenca alta del río Oyacachi: superficie cubierta por las zonas núcleo, de conectividad, de amortiguamiento y periféricas, según el tipo de cobertura (en hectáreas)	38





9. Cuenca baja del río Oyacachi: media, desviación estándar, máxima y mínima de las variables en las zonas núcleo, de conectividad, de amortiguamiento y periféricas	39
10. Cuenca baja del río Oyacachi: superficie cubierta por las zonas núcleo, de conectividad, de amortiguamiento y periféricas, según el tipo de cobertura (en hectáreas)	40
11. Cuenca alta del río Oyacachi: matriz de coeficientes de variación (CV) por variable y coeficientes de correlación (r) entre las variables	42
12. Cuenca baja del río Oyacachi: matriz de coeficientes de variación (CV) por variable y coeficientes de correlación (r) entre las variables	42
13. Cuenca del río Oyacachi: registros indirectos encontrados en cada formación vegetal	44
14. Cuenca alta del río Oyacachi: superficie cubierta por los diferentes tipos de uso del suelo en las zonas núcleo, de conectividad, de amortiguamiento y periféricas (en hectáreas)	46
15. Pruebas de estabilidad del modelo de la cuenca alta: variación de la superficie ocupada por cada rango de probabilidad en relación con la segunda prueba (en hectáreas)	48
16. Pruebas de estabilidad del modelo de la cuenca baja: variación de la superficie ocupada por cada rango de probabilidad en relación con la segunda prueba (en hectáreas)	50

Recuadros

1. Fragmentación del hábitat: la mayor amenaza a los osos andinos	4
2. La Comuna Quichua de Oyacachi	12
3. La importancia de caracterizar la vegetación	16
4. El monitoreo biológico participativo	22
5. Los Sistemas de Información Geográfica	24
6. La estadística multivariada para determinar la disponibilidad del hábitat	25
7. Conflictos entre las formas de uso del suelo y el hábitat del oso andino	45
8. La educación ambiental: pieza clave para la conservación del oso andino	50
9. Las investigaciones sobre la dieta y el ADN	54