

DELIMITACIÓN DE LA VEGETACIÓN, LOS USOS Y LAS  
COBERTURAS DEL TERRENO EN UN ÁREA DE  
MONTAÑA TROPICAL. EL CASO DE LA APLICACIÓN DE  
LAS TIG AL PN Y ANMI COTAPATA (BOLIVIA)

Miguel Sevilla-Callejo  
Instituto Pirenaico de Ecología – CSIC, España (msevilla@ipe.csic.es)  
Consultor independiente (miguel.sevilla@geografos.org)

Artículo recibido: 04 de mayo de 2012  
Artículo aceptado: 25 de junio de 2012

## RESUMEN

El uso de las tecnologías de la información geográfica (TIG) en el análisis territorial se ha revelado con indispensable en los últimos años. En este artículo se presentan los resultados de la caracterización de la vegetación real, los usos y las coberturas de los valles andinos bolivianos sobre los que se ubica el Parque Nacional y Área Natural de Manejo Integrado Cotapata. Se trata de un espacio de montaña tropical singular con una elevada diversidad natural y una larga historia del aprovechamiento humano.

Tomando como fuentes fundamentales fotografías aéreas, imágenes de satélite e información relevante recogida en campo y la integración en un sistema de información geográfica (SIG) se procedió a la caracterización espacial del territorio a través de un método de clasificación mixto.

La técnica usada fue la aplicación de cuatro componentes descriptivos – cobertura, piso ecológico, intervención humana y uso – a cada una de las teselas territoriales procedentes de la segmentación multispectral de varias escenas Landsat tomando como apoyo la información georeferenciada que previamente se había procesado. La combinación de los cuatro componentes resultó en la caracterización sintética de la vegetación, los usos y las coberturas de cada una de las teselas y, por tanto, los cimientos para comprender la organización territorial del área protegida.

**Palabras clave:** SIG, Teledetección, Coberturas y Usos del suelo, Vegetación, Montaña Tropical, Andes.

## ABSTRACT

Nowadays GIScience techniques are essential for territorial analysis. This paper presents the results of the land use-land cover characterization of Bolivian Andean valleys where Cotapata National Park and Natural Integrated Management Area is placed. These valleys are an interesting tropical mountainous area with high natural diversity and a long history of human use.

Main sources for data analyses were aerial photography, satellite images and fieldwork data, which were implemented in geographical information system (GIS). Georeferenced data and the GIS enabled a mixed approach for land classification and characterization.

The used technique was based on assigning four spatial traits to land patches which were obtained by multispectral segmentation of Landsat images. The applied traits were cover, ecological belt, human intervention and use. These were obtained using previous processed georeferenced data. The trait combination resulted on a final or synthetic land use-land cover characterization which is one of the fundamental issues to solve the territorial organization of the protected area.

**Key words:** GIS, Remote Sensing, Land Use-Land Cover, Vegetation, Tropical Mountain, Andes.

## INTRODUCCIÓN

Uno de los ejes básicos para el estudio del territorio y objetivo fundamental del presente artículo es determinar la distribución de las grandes unidades de vegetación, las áreas de intervención humana, los principales usos y, en definitiva, la delimitación y tipificación de las cubiertas más recientes y actuales del terreno. Hoy en día esta información, denominada *land use-land cover* para los anglosajones, se ha hecho imprescindible para la evaluación, monitorización, el manejo de recursos naturales, y, en definitiva, para la planificación a diferentes escalas (Mayaux et al., 2008: 87).

Aunque es a partir de la década de los 70 cuando se extendió el uso de imágenes aéreas y satelitales como fuentes básicas para la composición cartográfica y el análisis territorial, no es hasta finales de los 80 y principios de la década de los 90 cuando, las técnicas de teledetección – incluida la fotointerpretación – se combinan con la información procedente de los trabajos sobre el terreno, a través del SIG, para poder obtener mapas de vegetación, usos y coberturas del terreno más precisos y de mayor calidad (Lillesand y Kiefer, 1987: 191; Michalak, 1993). Más tarde, el uso de los sistemas de posicionamiento global (GPS y GLONASS) se generalizó y todas estas aplicaciones han pasado a denominarse como tecnologías de la información geográfica o TIG – *GIScience* para algunos autores anglosajones – (Chuvienco Salinero et al., 2005).

A partir de imágenes, ya sean en soporte digital o sobre un film fotográfico, tomadas desde un avión o desde un satélite, es posible identificar y establecer la distribución de múltiples elementos en el territorio. Las técnicas de teledetección orientadas al tratamiento y clasificación de la información procedente de estas imágenes, en conjunción con los SIG, y las TIG, en general, son claves para la evaluación y el seguimiento de los recursos naturales, aprovechamientos y usos del territorio (Gibson y Power, 2000: 7; Chuvienco Salinero, 2002: 35). Las imágenes de satélite y la fotografía aérea permiten obtener información de áreas extensas, continuas y con poca accesibilidad, lo que es fundamental para identificar y estudiar áreas de montaña o densamente boscosas como las que encontramos en las zonas tropicales. De este modo, desde hace años se viene aplicando las TIG en la delimitación espacial de la vegetación, los usos y coberturas de territorios tropicales y montañosos con diferentes aproximaciones y metodologías (Godard, 1996; Echevarría,

1998; Millington y Jehangir, 2000; Wellens et al., 2000; Dorren et al., 2003; Sarmiento et al., 2004; Messina et al., 2006).

El presente trabajo recoge una parte de los resultados de la tesis doctoral del autor orientada al estudio de la organización territorial y el campesinado de un sector de los Andes en Bolivia sobre el que se extiende el Parque Nacional y Área Natural de Manejo Integrado Cotapata (Sevilla Callejo, 2010). En este documento se presenta la delimitación de la vegetación, el uso y las cubiertas del terreno del citado espacio, una cuestión que no había sido resuelta en detalle hasta el momento.

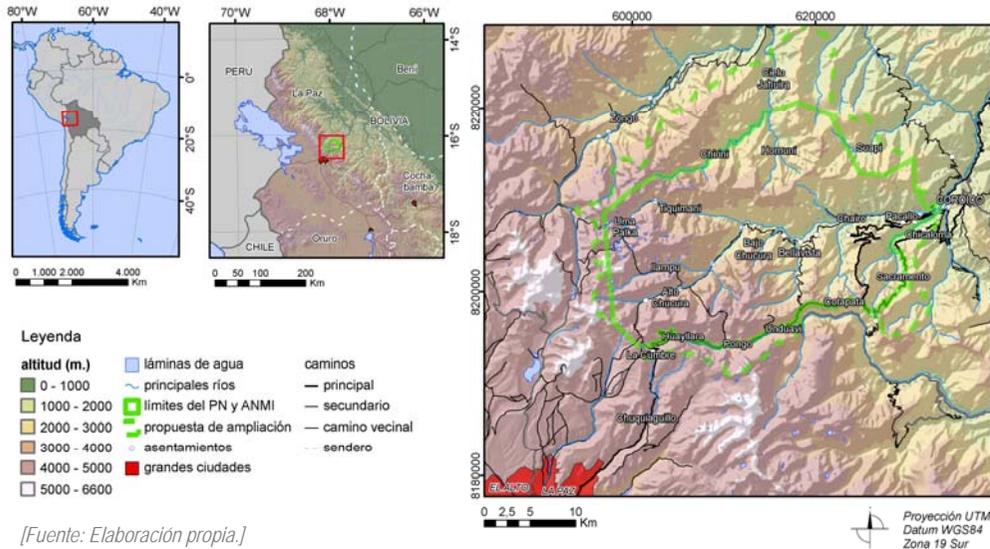
Anteriormente han existido algunos trabajos de carácter esquemático y general que no se encuentran actualizados y, a pesar de la escala de representación, no recogen con precisión los límites de las coberturas, unidades y usos. De estos trabajos ha de citarse: las bases de la distribución de las unidades de vegetación, los usos y sistemas naturales del área protegida recogidas por Ribera Arismendi (1995) y Cuellar et al. (1995) en el libro de Caminos de Cotapata; el estudio dirigido por la ONG Trópico (1999) donde se adjunta cartografía a escala 1:50.000, y los mapas adjuntos al estudio sobre la zonificación ecológica y económica del área protegida de Roncal Revollo (1996). El uso combinado de las TIG también ha estado ausente de los trabajos en el área a excepción del mapa de vegetación de la zona baja del parque realizado por Paniagua-Zambrana et al. (2003), algunos avances de la presente investigación (Sevilla Callejo et al., 2003; Sevilla Callejo y Mata Olmo, 2007), y algunos trabajos inéditos que inició la ONG Trópico en 2002.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

El espacio de estudio de esta investigación son las cabeceras de los valles andinos sobre los que se instala el área protegida de Cotapata. El área abarca de los 15° 57' a los 16° 24' de latitud Sur y de los 67° 32' a 68° 10' de longitud Oeste, en la vertiente oriental de la Cordillera Real boliviana (Andes Orientales). Administrativamente, está dentro del departamento de La Paz, entre las provincias de Murillo, al oeste, y Nor Yungas, al este, y más específicamente entre el municipio de La Paz y el de Coroico respectivamente. Desde el punto de vista hidrológico, el conjunto del espacio drena sus aguas hacia el río Beni que constituye una de las fuentes de la vasta cuenca amazónica.

**Figura 1: Localización del PN y ANMI Cotapata**



Este espacio protegido engloba casi la totalidad de la cuenca hidrográfica del río Huarinilla, con un extraordinario salto topográfico, desde las cimas de los cerros llampu, 5.519 m, techo del parque, Telata, 5.336 m, y Charquini, 5.392 m, a poniente, hasta la unión de este curso con su afluente, el río Elena, a poco más de 1.000 m sobre el nivel del mar, en las cercanías de la población de Coroico. Hacia el sur, los límites del parque llegan hasta las laderas meridionales del valle del río Unduavi, siguiendo la carretera que conecta con La Paz (Ctra. La Cumbre-Coroico), y, al norte, abarca buena parte del macizo Cruz Pata, llegando, en su extremo noroccidental, a las aguas del río Cielo Jahuira. Por el oeste, el límite del parque está a apenas a una decena de kilómetros de la ciudad de La Paz (Figura 1).

Se trata de un espacio de montaña tropical que aglutina en su seno una enorme variedad de ambientes naturales y una larga historia en el aprovechamiento humano. Se encuentra prácticamente en la periferia de la conurbación de La Paz-El Alto, se vincula como área de tránsito regional y en las últimas décadas se están

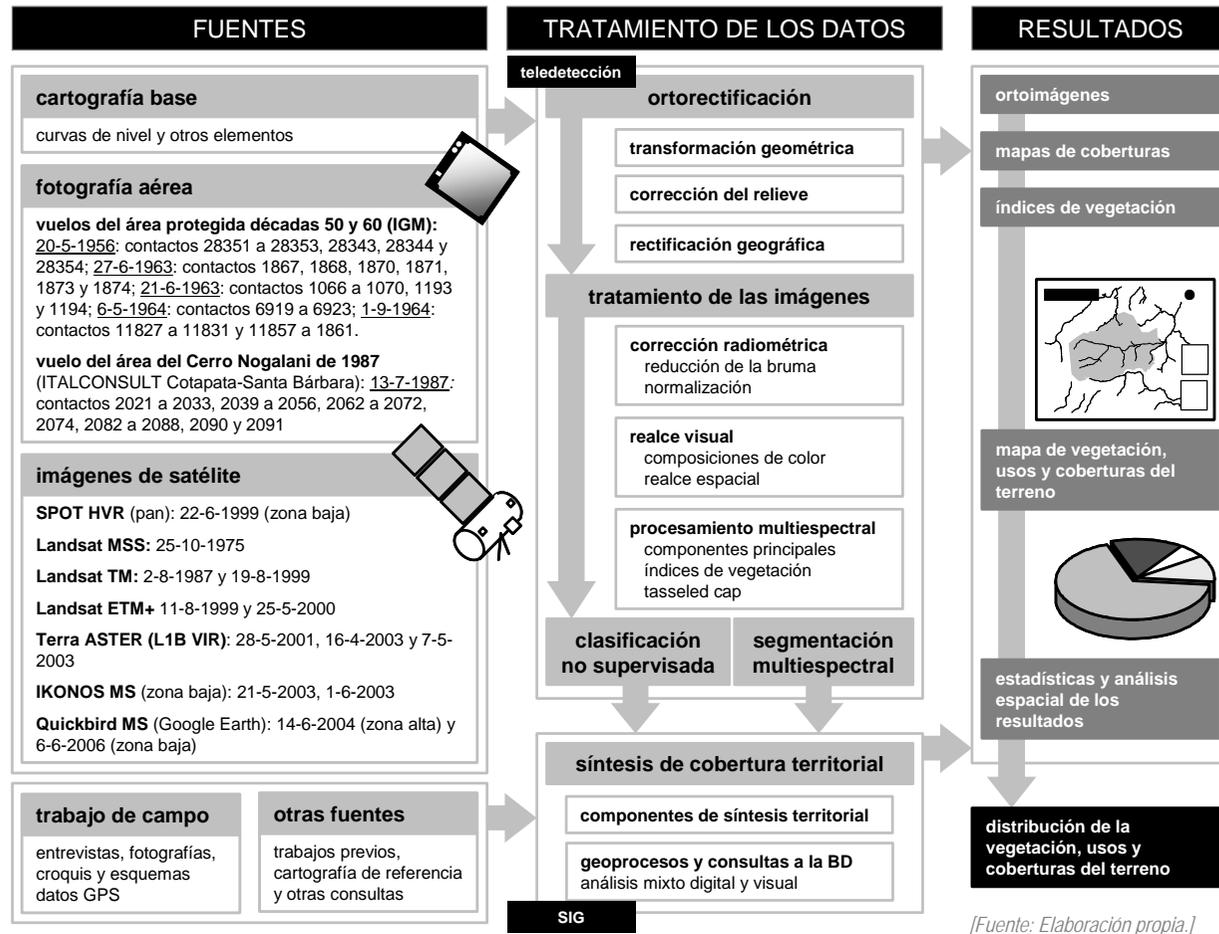
desarrollando importantes dinámicas territoriales que vienen a cuestionar el desarrollo sostenible futuro para esta área protegida (Sevilla Callejo, 2003; Sevilla Callejo y Mata Olmo, 2007).

### Teledetección e integración SIG

Para poder saber con precisión qué tipo de coberturas existen en el territorio, qué uso general se le otorga y qué patrones de distribución espacial poseen se ha seguido el esquema sintetizado en la Figura 2: La fotografía aérea y las imágenes de satélite de diferentes sensores y fechas, y la información procedente del trabajo de campo han sido las fuentes usadas. Sobre las imágenes se han aplicado varias técnicas de teledetección y fotointerpretación, donde destacan las tareas de ortorectificación y el tratamiento digital asociado al paquete informático *ERDAS Imagine 8.5* (más información de estos procesos en Leica Geosystems, 2005). De todo ello surgió una colección de ortomágenes procesadas y georeferenciadas de diferentes fechas, resolución espacial y que arrojaban información diversa (Figura 3. A, B y C); composiciones a color, análisis de componentes principales, índices normalizados de vegetación o clasificaciones.

Ninguno de los resultados obtenidos con el tratamiento digital de las imágenes, por separado, permitió cubrir el objetivo perseguido: Las imágenes originales o de los resultados derivados de las mismas mantienen problemas relativos a la antigüedad, superficie cubierta limitada, escasa resolución, presencia de nubes y sombras, entre otras, que no permiten una traducción directa a la cartografía de vegetación, usos y coberturas. La integración en un entorno SIG de los datos georeferenciados, sin embargo, permitieron la combinación del análisis digital junto las apreciaciones visuales y la combinación con la información procedente del trabajo de campo y otras fuentes. Para ello, cada una de las imágenes procesadas se integró como una capa de información, se añadieron los croquis georeferenciados del trabajo de campo, los puntos de localizaciones estudiadas en profundidad y posicionados con ayuda de GPS, las vías de comunicación, la topografía básica y, de este modo, se pudo proceder al análisis múltiple y continuo dentro de las herramientas SIG.

Figura 2: Esquema metodológico



Por un lado, sobre aquellas escenas de mayor calidad en términos de resolución, fecha y ausencia de nubes se aplicó una clasificación no supervisada de amplio espectro y posteriormente, se procedió a la reagrupación y síntesis semiautomática de las clases resultantes (Figura 3 D). En concreto, se usó el algoritmo *ISODATA – Interactive Self-Organizing Data Analysis Technique Algorithm* – que a través de un proceso repetitivo e interactivo es capaz de agrupar cada uno de los píxeles de una imagen en un conjunto determinado de clases cuyas características responden al cálculo de la distancia mínima multiespectral (Leica Geosystems, 2005: 232).

Por otro lado, sobre las imágenes Landsat más recientes, se llevó a cabo la *segmentación* (Figura 3 E). Esta técnica de orientación a objetos – *object-oriented* – se centra en la compartimentación de la imagen en regiones o teselas que tienen patrones espaciales y características espaciales comunes. (Mather, 2004: 237) en contraste con la clasificación no supervisada anterior, que se orienta a la agrupación de cada uno de los píxeles de las imágenes a una clase determinada – *pixel-oriented* –. Para ello se usó el programa *Definiens Developer 7, – e-Cognition 7* – que a través de sus algoritmos es capaz de forma automática de agrupar píxeles próximos en regiones o segmentos continuos teniendo en cuenta, no solo el valor digital de cada píxel en cada capa introducida, si no también sus relaciones con los vecinos más próximos, en términos de homogeneidad, textura o contraste (Definiens AG, 2007: 162). Para el propósito de este trabajo se llevó a cabo una segmentación de múltiples resoluciones – *multiresolution segmentation, MRS* – usando como entrada de los tres componentes principales del análisis PCA y, si se daba el caso, la banda pancromática de varias escenas Landsat.

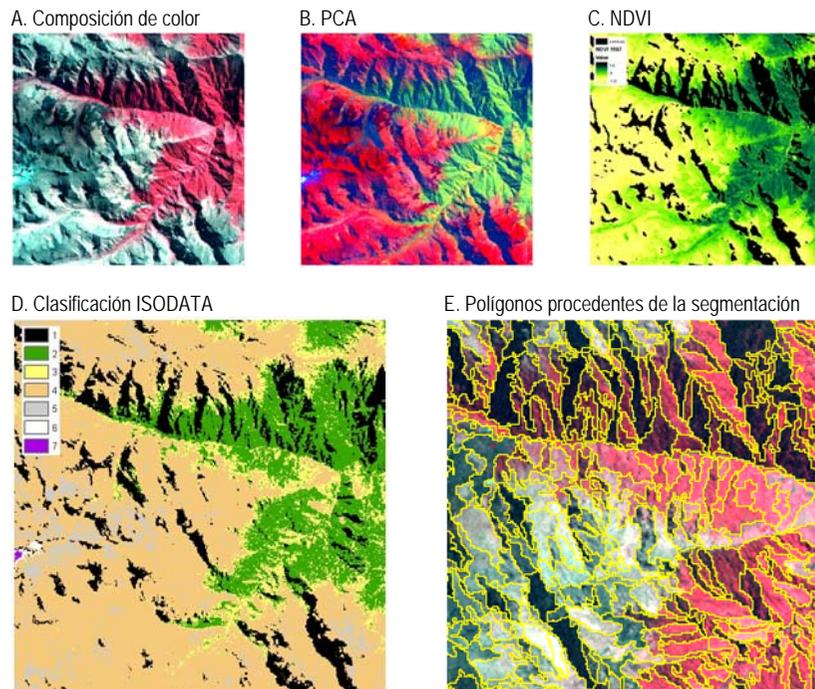
Del proceso de tratamiento digital de las imágenes tomaron gran relevancia los resultados de la clasificación y la *segmentación* de varias de imágenes seleccionadas Landsat TM y ETM+ y Terra ASTER.

### Composición de la síntesis de coberturas

Como información de partida se tomó los polígonos procedentes de la segmentación de la escena Landsat ETM+ del año 2000 cuya corrección geográfica

venía asegurada por la calidad de los datos en origen y cuya resolución de base estaba mejorada por los 15 m de píxel de la banda pancromática. Sobre esta trama de polígonos se procedió a realizar una clasificación mixta semiautomática y asistida por un entorno SIG

**Figura 3: Ejemplos del tratamiento digital, la clasificación y segmentación de una escena Landsat en área del límite del bosque**



[Fuente: Elaboración propia.]

Primeramente se sustituyeron los polígonos relativos a la compartimentación de las nubes de la escena del año 2000 por aquellos procedentes de la segmentación de la imagen Landsat TM de 1999 y 1987, obteniendo, así, una base de teselas continua y sin vacíos de información.

Más tarde, se simplificó la compleja capa de polígonos de la segmentación original agrupando aquellos de máxima afinidad siguiendo el análisis visual de las diferentes composiciones de color, las imágenes de alta resolución – imágenes IKONOS, Quickbird y la fotografía aérea – y los resultados del procesamiento digital de las imágenes, especialmente la clasificación previa de coberturas. Las anotaciones del trabajo de campo y las consultas bibliográficas y cartográficas permitieron contrastar los resultados del mapa de teselas territoriales que se iba obteniendo.

En algunos casos, donde los resultados de la segmentación presentaban algunas fallas, se reajustaron los límites de los polígonos originales. Por ejemplo, se digitalizaron algunos movimientos de tierra inducidos por la construcción de una nueva carretera que no habían salido recogidos en la segmentación y se añadieron algunas áreas edificadas y construidas tomando como base las imágenes de alta resolución. Las carreteras de mayor anchura, por otro lado, se incorporaron comprendiendo una sección de 30 m sobre la línea original corregida.

Dada la elevada diversidad territorial del espacio en estudio cada una de las teselas diferenciadas sobre el territorio suponía una realidad propia que debía ser abstraída para su posterior análisis. Para ello se procedió a descomponer la caracterización de cada una de las teselas en cuatro componentes descriptivos: la cobertura general, el piso ecológico, la intervención humana y el uso (Figura 4 A a C). A su vez cada uno de estos cuatro componentes debía quedar registrado en un código único e identificativo para cada tipo y por polígono analizado, o sea; cuatro códigos por polígono, uno por cada componente.

El componente de cubierta de cada tesela el tipo general de cubierta identificado en su interior, de tal modo que se asume esta es la cubierta significativa más abundante presente en ese lugar para las fechas más recientes con información disponible. Para evaluar este componente fueron cruciales los resultados procedentes de la clasificación no supervisada.

El segundo componente, que describe el piso ecológico, fue incluido en función de los límites altitudinales de los grandes grupos de vegetación potencial existentes en el área. Para esta zonificación altitudinal se procedió al contraste de diversos trabajos generales (Ribera Arismendi, 1995; Gonzales R. y Hinojosa O., 1999; Meneses et al., 2004) con otros relativos al área protegida (Bach et al., 2003;

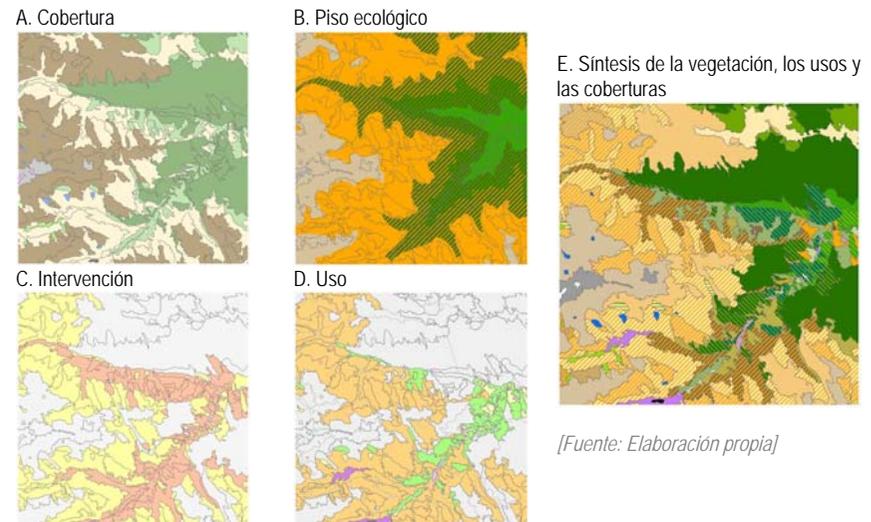
Paniagua-Zambrana et al., 2003; Schawe, 2005; Bach y Gradstein, 2007; Schawe et al., 2007) y observaciones personales en el terreno (Sevilla Callejo, 2010: 70).

El tercer y cuarto componente se encuentran íntimamente relacionados. El primero de ellos, el componente de intervención humana, identificaba bajo su codificación el grado de alteración antrópica que se ha realizado sobre las condiciones naturales de cada una de las unidades identificadas, mientras el segundo atiende al uso actual que se desarrolla en de cada una de las mismas. Para ambos componentes, se empleó una aproximación cualitativa sobre la base de la información georeferenciada que se había procesado con anterioridad y los datos del trabajo de campo. Por un lado, para el componente de intervención humana se estableció una gradación correspondiente a diferentes estadios interpretados: (1) en función del análisis superficial de la estructura de la vegetación en relación a los aspectos ecológicos potenciales de cada piso y cobertura, (2) teniendo presente los usos actuales y las actividad detectada a partir de la fotografía aérea antigua y (3) contrastando siempre con las observaciones del en el terreno. Por otro lado, el componente de uso calificaba a cada una de las unidades dentro de un grupo general de aprovechamiento tratando de asignar sobre el mismo el uso más característico que se había registrado, fundamentalmente sobre la base del trabajo de campo.

La lectura combinada de los cuatro componentes descriptivos de cada tesela constituyó la clave para la interpretación del *land use-land cover* de cada uno de los polígonos. A través de este resultado se pudo realizar una lectura combinada y simultánea de los componentes previos al quedar expresada a través de cada una de las combinaciones posibles la diversidad y caracterización de la vegetación, los usos y las coberturas del territorio, y alcanzando, de este modo, el objetivo marcado. De este modo, por ejemplo, con la lectura combinada se pudieron distinguir áreas forestales bien conservadas de aquellas otras intervenidas, el bosque húmedo montano de las zonas de bosque nublado o distinguir terrenos de herbazal y roquedo altoandinos de aquellos otros del páramo yungueño, o dentro de estos últimos, aquellos con aprovechamiento ganadero o sin él.

A modo de ejemplo y para el área del límite del bosque, en Figura 4 se recogen en diferentes composiciones cromáticas los cuatro componentes de análisis territorial (mitad izda.) y el resultado de la combinación y síntesis de los mismos para construir el mapa final de vegetación, usos y coberturas del territorio (en grande a la dcha.).

**Figura 4: Componentes y síntesis final de la vegetación, los usos y las coberturas del territorio**



Con la construcción del componente de síntesis, además, se verificaron los resultados finales al poderse detectar incompatibilidades. Al homogeneizar pormenorizadamente cada uno de los códigos se pudieron detectar pequeños errores. Se podía contrastar las etiquetas en diversos componentes y comprobar su correspondencia. Así, por ejemplo se podía corregir una tesela glaciár con aprovechamiento agrícola o una tesela forestal con aprovechamiento ganadero, entre otras. En este sentido, aunque, el número de combinaciones posibles era muy elevado, a través del contraste con las anotaciones del trabajo de campo, con la comparación entre unidades similares y con la asistencia de las herramientas SIG y con un pormenorizado trabajo de la base de datos interna de la capa de teselas se realizó un control de calidad final y se redujo el número final de categorías.

Posteriormente a la verificación se construyeron los mapas temáticos y se realizaron los cálculos estadísticos relacionados. Concretamente, para la traducción estadística de la cartografía se determinaron las superficies de las teselas en función

de cada uno de los componentes. Estos cálculos se tomaron en cuenta sobre límites del área protegida y la propuesta de ampliación, por un lado, y para la cuenca hidrográfica del río Huarinilla, por otro. La herramienta de cálculo de estadística zonal – *zonal statistics* – integrada dentro del software *ArcGIS 9.2* posibilitó estas tareas (McCoy y Johnston, 2001: 171-173) La combinación y comunicación de las herramientas de *ArcGIS 9.2*, como gestor del componente espacial, y del programa *MS Access 2002*, como herramienta de manipulación de de la base de datos definitiva, permitió la generación de consultas y resultados específicos para el análisis final.

Así mismo, cabe destacar que la cuenca del río Huarinilla, al ser el territorio sobre el que más interés se tenía y sobre el que mayor cantidad de datos de campo se poseían, es donde con más exactitud se desarrolló nuestra metodología y, por tanto, fue sobre la que se obtuvieron los resultados más precisos. Para esta cuenca se cruzó la información con el modelo digital de elevaciones, pendientes y el derivado para el cálculo de la superficie real, lo que incrementó considerablemente la información estadística final, permitiendo hacer un cálculo de las superficies teniendo en cuenta la rugosidad del terreno

Por el contrario, el extremo norte del área protegida y su zona de ampliación, así como la cabecera del valle del río Pongo o Onduavi, sobre las que se tenía menos información e interés directo, se interpretaron de forma más general, por lo que se dio un desarrollo menor de los resultados.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cerca de 1.500 teselas territoriales se diferenciaron en el área protegida su área propuesta de ampliación y unas 1.100 para el espacio de la cuenca del río Huarinilla. Sobre ellas se construyó la cartografía temática y, tal y como se muestra en la Figura 2, se acompañaron de una profusa traslación de datos estadísticos espaciales. Así, de la caracterización del *land use-land cover* de Cotapata, se generaron cuatro mapas temáticos relativos a cada uno de los componentes del análisis espacial (Figura 6) y otro final de síntesis (Figura 7) que vienen acompañados de sus respectivas tablas resumen de superficies (Sevilla-Callejo, 2010: 108-118).

### Componentes descriptivos

Desde el punto de vista de las cubiertas generales del terreno se reconocieron un total de nueve clases (Tabla 1 A). Como se puede ver en el resultado

cartográfico (Figura 6 A) destacan las superficies forestales, que constituyen algo menos de la mitad, 48%, de la cuenca del río Huarinilla, seguidas de las superficies de terreno con escasa vegetación, con un 23%, y a distancia las áreas con prados, herbazales o pajonales con un 16%. Es evidente la división clara división de dos realidades territoriales: los terrenos eminentemente forestales del área baja y los herbazales y roquedos de altura. La curva de nivel de los 3.500 msnm constituye un verdadero límite para el bosque y, dentro de la cuenca del Huarinilla, es la división clara entre los terrenos forestales – por debajo de esta cota se encuentra el 99 % de los mismos – y los espacios de praderas, herbazales y roquedos – el 60 % de estos terrenos están por encima de esa altura –.

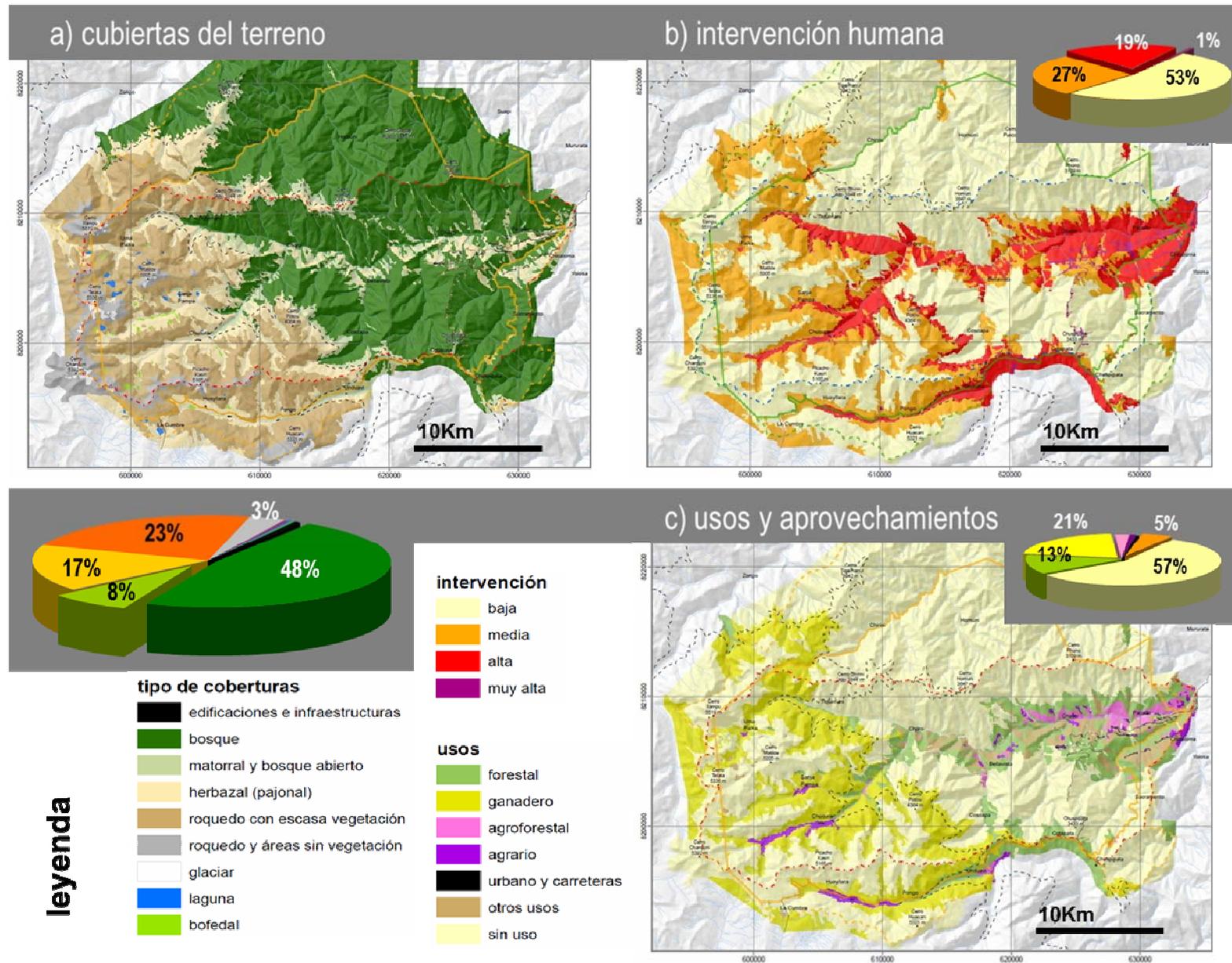
**Tabla 1: Clases y códigos registrados en los componentes descriptivos**

A. Cobertura		B. Piso	
código	descripción	código	descripción
1	edificaciones e infraestructuras	1	glaciar y periglacial
2	bosque	2	altoandino
3	matorral y bosque abierto	3	andino
4	herbazal (pajonal)	4	altimontano y subandino
5	roquedo con escasa vegetación	5	montano
6	roquedo y áreas sin vegetación	6	sin piso definido
7	glaciar		
8	laguna		
9	bofedal		
C. Intervención humana		D. Uso	
código	descripción	código	descripción
0	baja	0	sin uso
1	media	1	forestal
2	alta	2	ganadero
3	muy alta	3	agroforestal
		4	agrícola
		5	urbano y carreteras
		6	otros usos

[Fuente: Elaboración propia.]

Figura 6: Mapas de los componentes de cobertura, grado de intervención y uso

Porcentajes referidos a la cuenca del río Huarinilla



Aunque ocupan menos representación territorial, no son por ello menos importantes los espacios ocupados por matorral y bosque abierto, que se vinculan claramente al área del límite forestal o espacios intervenidos por la mano del hombre en el área baja. Glaciares, lagunas o bofedales, en tierras altas, así como pequeñas extensiones con edificaciones o infraestructuras, puntualmente repartidas por la mitad meridional del área de estudio, cierran las clases de oberturas.

Para el caso de los pisos ecológicos y como se muestra en la Tabla 1, se diferenciaron seis clases, cinco relativas a los pisos o zonas altitudinales y otra última donde este parámetro era irrelevante o no podía definirse. La mayoría de las teselas se asignaron a una de las anteriores clases fácilmente, pero ha de destacarse que la división entre el piso montano y el altimontano o subandino, en especial en las áreas continuas forestales, se realizó arbitrariamente en la cota de los 3.000 msnm.

Las teselas identificadas se clasificaron dentro de cuatro grados de intervención: (1) sin intervención o intervención baja, en aquellas teselas donde no se había registrado ninguna actividad de relevancia en las últimas décadas; (2) con intervención media, para aquellos terrenos donde se tenía constancia de actividad humana, pero se había respetado parte de las cubiertas naturales, como por ejemplo los terrenos con aprovechamiento ganadero ocasional o aquellos otros usos extensivos bajo la cubierta forestal; (3) con intervención alta, donde se habían alterado significativamente las condiciones naturales y la cubierta vegetal había cambiado considerablemente por la acción de fuegos ocasionales o deforestaciones puntuales; y (4) con intervención severa o muy alta, para aquellos lugares donde se han sustituido completamente las coberturas naturales originales y se ha realizado una alteración, en muchos casos, irreparable, como son los terrenos ocupados por la construcción de carreteras, movimientos de ladera inducidos o áreas urbanizadas. En la Figura 6 B se puede apreciar que existe una gran superficie de terrenos que podrían calificarse como espacios bien conservados, al no haberse detectado una intervención humana significativa – más de la mitad para el caso de la cuenca del Huarinilla –. Los terrenos alterados, con intervención alta y severa, por otro lado, mantienen un claro patrón de distribución espacial, el interior de los valles altos de la mitad meridional y, sobre todo, el extremo oriental, coincidiendo con los principales ejes y caminos de tránsito y comunicación de este espacio de montaña.

Los usos generales del territorio se han compartimentado en seis clases: siete categorías: (1) sin uso, si no existía aprovechamiento destacable

superficialmente; (2) uso forestal, cuando bajo superficies de bosque se tenía constancia de aprovechamientos extensivos como extracción maderera, recolección de resinas o actividad cinegética puntual; (3) uso ganadero, para aquellos terrenos con aprovechamiento de pastos de forma más o menos extensiva; (4) agrícola, si en la unidad, de cubierta no forestal, destacaban los cultivos y áreas de barbecho; (5) agroforestal, si bajo la cubierta forestal se habían identificado áreas en mosaico con cultivos, algunos bajo sombra o de carácter leñoso, junto con superficies en barbecho arboladas; (6) uso urbano y carreteras, si la cubierta principal de la unidad había sido identificada como de edificaciones e infraestructuras; y (7), con otros usos, como categoría que englobaba las teselas restantes con aprovechamientos minoritarios o poco definidos. Aunque los usos se vinculan con el grado de intervención se han registrado un número considerable de teselas claramente modificadas por la mano del hombre pero actualmente sin uso, en terrenos, muchos de ellos claramente en recuperación – en torno a un 3% de la cuenca del Huarinilla –.

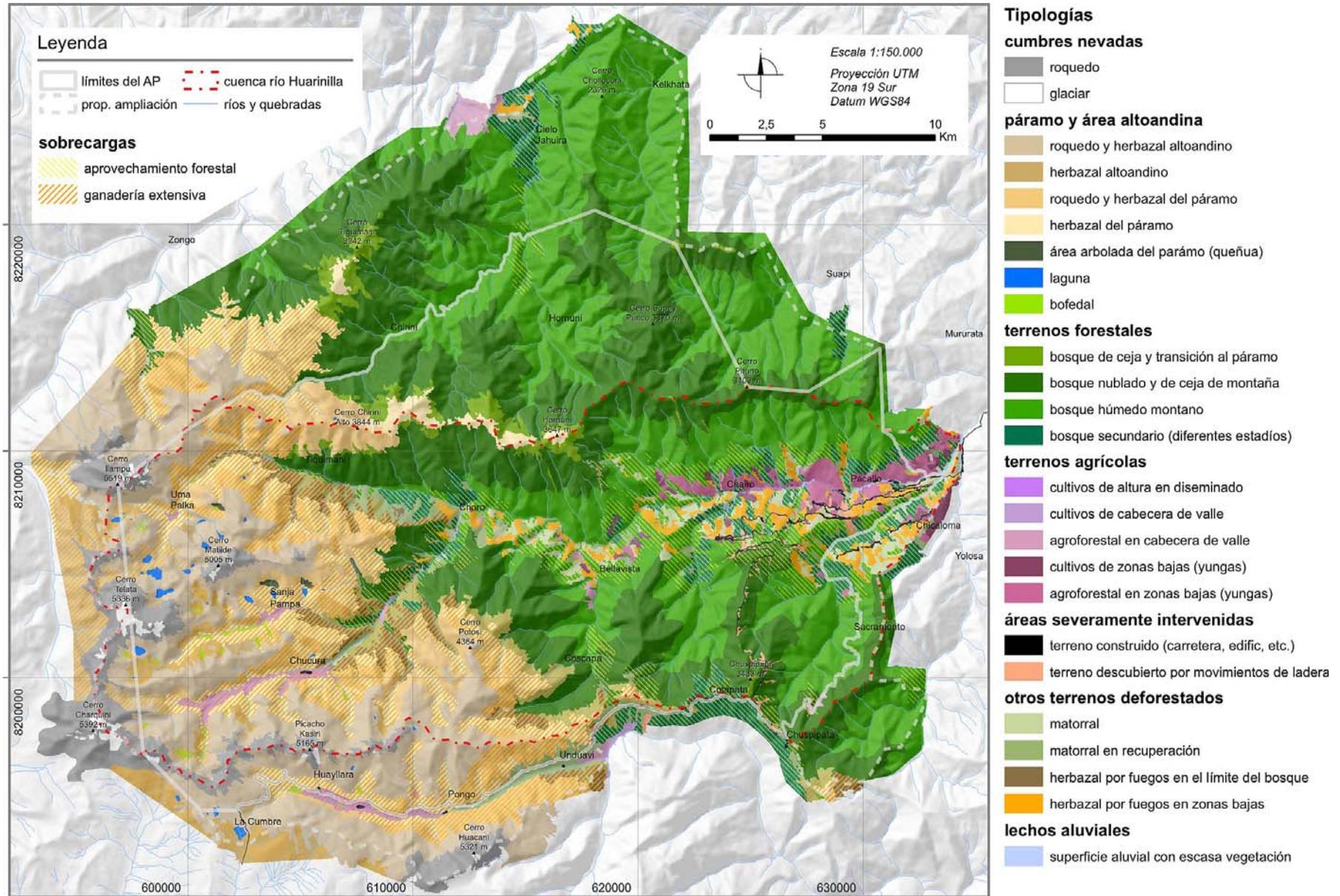
Como se puede ver en el mapa de la Figura 6 C, de nuevo, existe una clara dicotomía entre el área más elevada, predominantemente de praderas y roquedo, con grandes superficies vinculadas a la ganadería extensiva, y el área baja, de los dominios del bosque, con sectores eminentemente agrarios, agroforestales o, simplemente forestales.

### Síntesis de la vegetación, el uso y las coberturas del terreno

La puesta en común y lectura combinada de los cuatro componentes descriptivos resultó en medio centenar de combinaciones. Algunas de estas combinaciones eran redundantes o arrojaban diferencias o matices que de cara a la caracterización final no eran relevantes. De las combinaciones resultantes se interpretaron y resumieron hasta 31 clases finales cuyos resultados de extensión se reflejan en las estadísticas de la Tabla 2. A. Para la representación cartográfica, y a fin de ser mostrar los resultados de forma clara, se optó por incluir 25 clases y dos sobrecargas (Figura 7).

Para la interpretación y exposición sintética final de la vegetación, los usos y las coberturas, las citadas clases, se unieron definir grandes grupos, tal y como se han recogido en la Tabla 2.B y como se resume según su superficie espacial para la cuenca del Huarinilla la Figura 8.

Figura 6: Mapa de síntesis de vegetación, usos y coberturas



[Fuente: Elaboración propia.]

**Tabla 3: Resumen de superficies del mapa de vegetación, usos y coberturas dentro del área protegida, la propuesta de ampliación y para la cuenca hidrográfica del río Huarinilla**

A) Por clases sintéticas

descripción	n° c <sup>1</sup>	PN y ANMI		Propuesta amp.		Cuenca del río Huarinilla			
		supf. (ha)	%	supf. (ha)	%	supf. (ha)	%	spf. r <sup>2</sup> (ha)	%
terreno construido (carretera, edificaciones, etc.)	1	259,43	0,4	71,39	0,3	229,03	0,5	268,03	0,5
bosque nublado y de ceja de montaña	1	14.570,26	23,7	6.628,02	23,8	9.130,81	18,5	11.154,80	18,9
bosque nublado y de ceja de montaña intervenido	2	1.202,57	2,0	50,48	0,2	1.198,23	2,4	1.454,35	2,5
bosque secundario (diferentes estadios)	4	1.590,81	2,6	885,61	3,2	1.986,53	4,0	2.380,93	4,0
bosque de ceja y transición al páramo	2	857,85	1,4	522,13	1,9	366,04	0,7	432,53	0,7
bosque húmedo montano	2	11.054,94	17,9	10.369,28	37,2	7.121,56	14,4	8.694,81	14,7
bosque húmedo montano intervenido	2	3.031,95	4,9	247,93	0,9	3.042,70	6,2	3.635,43	6,2
área arbolada del páramo (queñua)	1	57,01	0,1	0,00	0,0	56,99	0,1	69,81	0,1
área deforestada con matorral en recuperación	4	875,24	1,4	240,03	0,9	727,94	1,5	901,65	1,5
área deforestada con matorral	2	863,71	1,4	270,09	1,0	1.126,44	2,3	1.353,89	2,3
herbazal alboandino	2	99,41	0,2	22,10	0,1	99,43	0,2	109,03	0,2
herbazal alboandino y ganadería (camélidos)	1	534,97	0,9	203,16	0,7	601,00	1,2	655,29	1,1
herbazal del páramo	1	549,68	0,9	92,62	0,3	147,49	0,3	163,82	0,3
herbazal del páramo y ganadería (vacuno, ovejas y otros)	1	5.191,89	8,4	1.557,94	5,6	4.226,13	8,6	4.944,84	8,4
herbazal por fuegos en el límite del bosque	2	1.380,95	2,2	131,50	0,5	1.371,01	2,8	1.660,54	2,8
herbazal por fuegos en zonas bajas	2	1.083,05	1,8	236,74	0,8	1.331,82	2,7	1.632,52	2,8
terreno descubierta por movimientos de ladera	1	239,39	0,4	15,55	0,1	239,29	0,5	284,43	0,5
roquedo y herbazal alboandino	2	7.827,56	12,7	2.752,25	9,9	6.411,42	13,0	7.501,03	12,7
roquedo y herbazal alboandino y ganadería (camélidos)	1	519,00	0,8	169,95	0,6	579,82	1,2	668,90	1,1
roquedo y herbazal del páramo	1	2.103,06	3,4	141,07	0,5	1.651,54	3,4	1.976,69	3,4
roquedo y herbazal del páramo y ganadería (vacuno, ovejas, ...)	1	3.084,81	5,0	1.241,57	4,5	2.576,90	5,2	3.135,67	5,3
superficie aluvial con escasa vegetación	2	53,71	0,1	8,81	0,0	76,17	0,2	80,93	0,1
roquedo de alta montaña	1	1.442,02	2,3	1.292,32	4,6	1.699,79	3,4	1.989,96	3,4
glaciar	1	162,90	0,3	104,92	0,4	195,45	0,4	222,44	0,4
laguna	1	138,58	0,2	35,18	0,1	139,97	0,3	145,29	0,2
bofedal	1	161,80	0,3	20,78	0,1	160,76	0,3	169,30	0,3
área deforestada en el límite forestal y uso ganadero	1	1.097,06	1,8	106,97	0,4	1.026,41	2,1	1.266,75	2,1
agroforestal en zonas bajas (café, cítricos y otros)	1	874,30	1,4	88,46	0,3	1.020,16	2,1	1.181,71	2,0
agroforestal en cabecera de valle (maíz, racacha y otros)	2	87,84	0,1	132,07	0,5	98,70	0,2	126,15	0,2
cultivos de cabecera de valle (maíz, racacha y otros)	1	0,89	0,0	8,88	0,0	3,03	0,0	3,50	0,0
cultivos de zonas bajas (plátano, yuca, coca, wualusa y otros)	2	201,33	0,3	52,72	0,2	283,07	0,6	324,34	0,5
cultivos de altura en diseminado	1	389,84	0,6	187,97	0,7	360,86	0,7	382,26	0,6
<b>TOTAL</b>	<b>50</b>	<b>61.587,77</b>	<b>100</b>	<b>27.888,45</b>	<b>100</b>	<b>49.286,44</b>	<b>100</b>	<b>58.971,61</b>	<b>100</b>

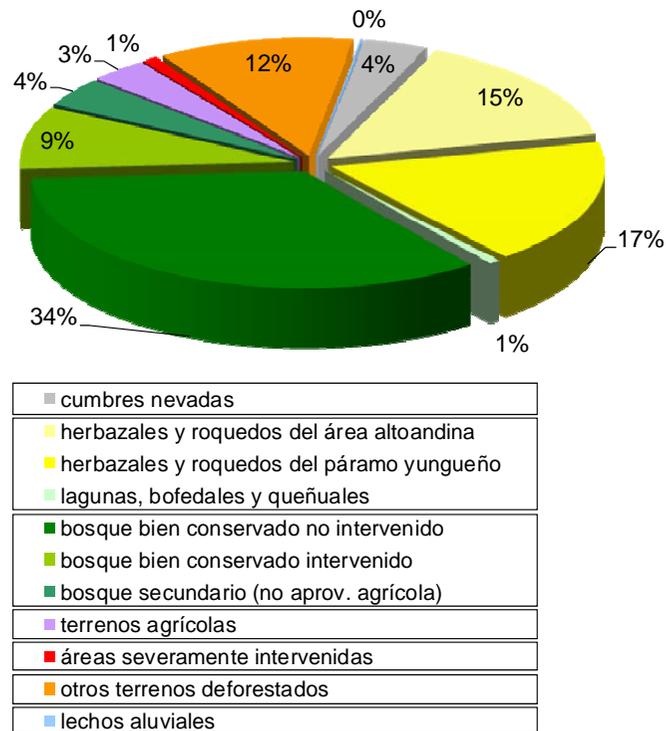
[Fuente: Elaboración propia.]

B) Por grandes grupos y asociaciones de clases

descripción	n° c <sup>1</sup>	PN y ANMI		Propuesta amp.		Cuenca del río Huarinilla			
		supf. (ha)	%	supf. (ha)	%	supf. (ha)	%	spf. r <sup>2</sup> (ha)	%
<b>cumbres nevadas</b>	<b>2</b>	<b>1.604,91</b>	<b>2,6</b>	<b>1.397,24</b>	<b>5,0</b>	<b>1.895,24</b>	<b>3,8</b>	<b>2.212,40</b>	<b>3,8</b>
<b>páramo y área altoandina</b>	<b>13</b>	<b>20.267,77</b>	<b>32,9</b>	<b>6.236,61</b>	<b>22,4</b>	<b>16.651,44</b>	<b>33,8</b>	<b>19.539,67</b>	<b>33,1</b>
terrenos con vegetación altoandina (herbazales y roquedos)	6	8.980,95	14,6	3.147,46	11,3	7.691,66	15,6	8.934,24	15,2
páramo yungueño (herbazales y roquedos)	4	10.929,44	17,7	3.033,20	10,9	8.602,06	17,5	10.221,02	17,3
lagunas y bofedales	2	300,38	0,5	55,96	0,2	300,73	0,6	314,59	0,5
áreas arboladas en el dominio del páramo (queñua)	1	57,01	0,1	0,00	0,0	56,99	0,1	69,81	0,1
<b>terrenos forestales (no agrícolas)</b>	<b>13</b>	<b>32.308,36</b>	<b>52,5</b>	<b>18.703,44</b>	<b>67,1</b>	<b>22.845,86</b>	<b>46,4</b>	<b>27.752,85</b>	<b>47,1</b>
bosque bien conservado no intervenido	5	26.483,04	43,0	17.519,42	62,8	16.618,41	33,7	20.282,14	34,4
bosque bien conservado con aprovechamiento forestal puntual	4	4.234,51	6,9	298,41	1,1	4.240,92	8,6	5.089,77	8,6
bosque secundario (sin aprovechamiento agrícola)	4	1.590,81	2,6	885,61	3,2	1.986,53	4,0	2.380,93	4,0
<i>bosque nublado, de ceja y transición al páramo (total)<sup>3</sup></i>	<i>5</i>	<i>16.630,67</i>	<i>27,0</i>	<i>7.200,62</i>	<i>25,8</i>	<i>10.695,07</i>	<i>21,7</i>	<i>13.041,68</i>	<i>22,1</i>
<i>bosque húmedo montano (total)<sup>3</sup></i>	<i>4</i>	<i>14.086,88</i>	<i>22,9</i>	<i>10.617,21</i>	<i>38,1</i>	<i>10.164,26</i>	<i>20,6</i>	<i>12.330,24</i>	<i>20,9</i>
<i>bosque secundario y terrenos de aprovech. agroforestal<sup>3</sup></i>	<i>7</i>	<i>2.552,95</i>	<i>4,1</i>	<i>1.106,14</i>	<i>4,0</i>	<i>3.105,39</i>	<i>6,3</i>	<i>3.688,79</i>	<i>6,3</i>
<b>terrenos agrícolas</b>	<b>7</b>	<b>1.554,20</b>	<b>2,5</b>	<b>470,10</b>	<b>1,7</b>	<b>1.765,81</b>	<b>3,6</b>	<b>2.017,95</b>	<b>3,4</b>
áreas con cultivos de altura (papa, oca y otros)	1	389,84	0,6	187,97	0,7	360,86	0,7	382,26	0,6
áreas con cultivos de cabecera de valle (maíz y otros)	3	88,73	0,1	140,96	0,5	101,73	0,2	129,65	0,2
áreas con cultivos de zonas bajas (café, plátano, coca y otros)	3	1.075,63	1,7	141,18	0,5	1.303,23	2,6	1.506,05	2,6
<b>áreas severamente intervenidas</b>	<b>2</b>	<b>498,82</b>	<b>0,8</b>	<b>86,94</b>	<b>0,3</b>	<b>468,32</b>	<b>1,0</b>	<b>552,46</b>	<b>0,9</b>
<b>otros terrenos deforestados</b>	<b>11</b>	<b>5.300,01</b>	<b>8,6</b>	<b>985,33</b>	<b>3,5</b>	<b>5.583,61</b>	<b>11,3</b>	<b>6.815,35</b>	<b>11,6</b>
áreas deforestadas e intervenidas en el límite del bosque	3	2.478,02	4,0	238,46	0,9	2.397,42	4,9	2.927,29	5,0
pajonal, matorral y arbolado laxo en zonas bajas (sin cultivos)	8	2.822,00	4,6	746,86	2,7	3.186,19	6,5	3.888,05	6,6
<i>áreas deforestadas en recuperación (sin uso actual)<sup>3</sup></i>	<i>4</i>	<i>875,24</i>	<i>1,4</i>	<i>240,03</i>	<i>0,9</i>	<i>727,94</i>	<i>1,5</i>	<i>901,65</i>	<i>1,5</i>
<b>lechos aluviales</b>	<b>2</b>	<b>53,71</b>	<b>0,1</b>	<b>8,81</b>	<b>0,0</b>	<b>76,17</b>	<b>0,2</b>	<b>80,93</b>	<b>0,1</b>
<b>TOTAL</b>	<b>50</b>	<b>61.587,77</b>	<b>100</b>	<b>27.888,45</b>	<b>100</b>	<b>49.286,44</b>	<b>100</b>	<b>58.971,61</b>	<b>100</b>

Notas: 1.- n° de combinaciones cobertura, piso, intervención y uso final; 2.- superficie calculada teniendo en cuenta la pendiente para un modelo digital del terreno de 50 m de resolución por pixel; 3.- asociación de clases alternativa o de interés para el análisis (no computan en la suma del grupo).

**Figura 5: Distribución superficial de grandes grupos sintéticos de vegetación, usos y coberturas en la cuenca del río Huarinilla**



[Fuente: Elaboración propia.]

Los grupos de las clases sintéticas finales son los elementos clave para el análisis e interpretación del paisaje presente en Cotapata y son: (1) las cumbres nevadas, (2) los terrenos del páramo y el área altoandina, (3) los terrenos forestales, (4) las superficies con explotación agrícola, (5) áreas severamente intervenidas y (6) otros terrenos deforestados.

Coronando el área de estudio se extienden terrenos rocosos, prácticamente desprovistos de vegetación, cubiertos de nieve la mayor parte del año y con presencia de pequeños glaciares. Vienen a constituir la representatividad del piso glacial y periglacial del área de estudio y aglutinan dos de las clases sintéticas finales, el roquedo de alta montaña y las superficies glaciares. Para el área protegida, los roquedos de alta montaña y las superficies glaciares constituyen un 2,6% del total de la superficie, unas 1.600 ha en plano. Para la cuenca del río Huarinilla, el porcentaje se incrementa hasta un 3,8% y la cifra se acerca a las 1.900 ha en plano, unas 2.200 ha considerando las pendientes.

Por debajo de las cumbres rocosas y heladas se sitúan los terrenos del dominio altoandino y del páramo yungueño, sobre los que se han distinguido diferentes mosaicos de roquedo y herbazales y que, a su vez, mantienen aprovechamientos ganaderos extensivos ocasionales. De Norte a Sur, las cabeceras de los valles de los ríos Tiquimani, Ilampu, Chucura y Pongo presentan un modelo de distribución de estas superficies muy similar y claramente condicionadas con la organización topográfica. En las laderas más elevadas, con grandes pendientes, se han distinguido los roquedos con vegetación altoandina; en algunos collados y divisorias por encima de los 4.200 m, en áreas menos inclinadas, aparecen incluso herbazales de altura, algunos de ellos aprovechados por pequeños grupos de llamas. Estas altas laderas, collados y divisorias suponen, en torno al 15% de las del área protegida y algo similar para la cuenca del río Huarinilla. Los terrenos con herbazales y roquedos del páramo yungueño suponen dentro del área protegida cerca de 11.000 ha, en torno al 18% del total, mientras para la cuenca del Huarinilla son unas 8.600 ha en plano, y algo más de 10.200 ha si consideramos las fuertes pendientes que se dan en muchos de estos terrenos, lo que supone cerca del 17% del total.

Ocupando las laderas bajas y buena parte de los fondos de valle, siempre a cotas menores, aparece el dominio del páramo yungueño. Las superficies mayoritarias asociadas a este piso ecológico son los terrenos de herbazal a los que se les intercalan áreas de roquedos más o menos extensas en función de la pendiente, el desarrollo edáfico y la intervención humana. En los fondos de valle y áreas de acumulación de materiales al pie de las escarpadas laderas se extienden áreas de pasto aprovechados tradicionalmente por el ganado. Algunas llamas, en cotas más altas, ovejas, como en los valles de Pongo y Chucura y ganado vacuno, especialmente en el valle de Tiquimani, aprovechan de manera extensiva una buena parte de los herbazales del páramo.

Dentro de los dominios del páramo yungueño existen algunas manchas de vegetación arbórea y arbustiva que estarían ligadas a las formaciones naturales que se habrían dado en el pasado en el área inferior del actual páramo yungueño, y donde destaca la presencia de algunos pies de queñua (*Polillepis spp.*). En estos dominios, igualmente, encontramos algunas lagunas y bofedales de origen glaciar. En estos casos las superficies son poco significativas pero estos terrenos son de gran relevancia de cara a la diversidad de natural de estos valles.

Descendiendo en altura, e introduciéndose en cuña por el interior de los valles, a partir de los 3.600-3.500 m comienza el dominio forestal. Primero aparecen áreas de cubiertas arbustivas, algo de arbolado laxo y finalmente se encuentra el bosque de ceja y el bosque nublado. Más abajo del límite de nieblas se extiende el bosque húmedo montano y hacia las cotas más bajas, solo en aquellos fondos de valle no intervenidos, es posible que existan algunos retazos de bosque seco montano. Para la cuenca hidrográfica del río Huarinilla se ha calculado que cerca del 43% de su superficies están ocupadas por bosques en buen estado de conservación. De entre todos estos, a su vez, una quinta parte mantiene algún tipo de aprovechamiento extensivo bajo su cubierta – aprovechamiento forestal puntual – y aproximadamente la mitad corresponden a terrenos del piso montano y la otra mitad al piso altimontano – bosque nublado, de ceja y transición al páramo –, o lo que es lo mismo, la curva de nivel de los 3.000 m de altitud divide casi a partes iguales las superficies forestales bien conservadas de la cuenca. Para todo el área de estudio es significativa la distribución de los terrenos forestales mejor conservados, que se encuentran en la periferia de las áreas de asentamiento: en los valles del norte del área protegida, Chirini, Hornuni y Cielo Jahuira, la vertiente septentrional del valle bajo del río Tiquimani y su continuación por el área del Huarinilla y, hacia el Sur, los núcleos de los valles de los tributarios de este último: Coscapa, Chairo y cabecera del Elena (Azucarani y Sacramento).

Las áreas forestales con alto grado de intervención, con aprovechamientos forestales o conjuntamente con la presencia de cultivos, constituyen el 4% del total del parque, unas 2.500 ha. Para la cuenca del río Huarinilla, el porcentaje se eleva al 6%, unas 3.700 ha si consideramos las pendientes. En ambos casos, la mayor parte de estos terrenos se disponen sobre las vertientes medias o bajas de los ríos Chucura, Huarinilla y Elena, apareciendo de forma puntual manchas de bosque secundario en la parte baja del valle del río Cielo Jahuira y en la divisoria de paso entre el valle de

Unduavi hacia el área de Sacramento y en el entorno de asentamiento de Cotapata, en la cabecera del río Chairo.

Dentro de los terrenos agrícolas, se han podido diferenciar tres tipos ligados con tres pisos de aprovechamiento agroecológico: (1) el área de altura, (2) las cabeceras de valle y (3) el área de yungas o de fondo de valle. A su vez, estos tres niveles se asocian a cinco clases finales, una para el área de altura y otras cuatro para las zonas incluidas dentro de los dominios del bosque. Y es que para estas últimas áreas se ha combinado la diferenciación entre cabeceras y fondos de valle, por un lado, y si se trataba de teselas claramente cultivadas – aquellas donde aparecían señas inequívocas de deforestación – o mosaicos con espacios forestales – teselas agroforestales –.

Las áreas de aprovechamiento agrícola de la zona más elevada se encuentran incluidas en el piso andino o dominios del páramo yungueño, correspondientes a teselas de aprovechamiento agrícola en rotación, con cultivos dispersos y ubicadas en las áreas de fondo de valle de las cuatro cabeceras hidrográficas del área de estudio. . Estas áreas de cultivos de altura constituyen cerca de 600 ha para todo el área de estudio, de las cuales algo menos de 390 ha corresponden a las incluidas dentro del área protegida, el 0,6% del parque, y alrededor de 360 ha se encuentran en la cuenca del Huarinilla, en torno al 0,6 y 0,7% del total respectivamente. Los cultivos típicos de estas áreas son diversas variedades de papa, papalisa, oca y minoritariamente, algunos cereales, como la cebada, frijoles u otras plantaciones resistentes a las condiciones frías propias de estas alturas.

Descendiendo en altura, especialmente en el valle de Chucura y las vertientes meridionales del río Huarinilla, se han distinguido las teselas bajo la nomenclatura de aprovechamientos agrícolas y agroforestales de cabecera de valle. Las áreas de aprovechamiento agrícola identificadas como de cabecera de valle se encuentran incluidas dentro de los dominios forestales, aproximadamente entre los 2.000 y 3.500 m de altitud. En estas teselas se han identificado algunos terrenos deforestados con cultivos y otras, las denominadas como agroforestales, correspondientes a formas en mosaico de bosques secundarios, áreas en descanso y plantaciones puntuales. En estos terrenos el aprovechamiento agrícola es puntual y los cultivos suelen ser de maíz, racacha, algunas hortalizas, unos pocos frutales de ambientes templados y otros productos adaptados a la extrema humedad del medio.

En contraste con las formas agrícolas anteriores, por debajo de los 2.000 m de altura, en el extremo oriental del área en estudio, las superficies de aprovechamiento agrícola de lo que se ha denominado como de fondo de valle o yungas, llegan a adquirir significativas extensiones y sobresalen como elementos característicos del paisaje.

Los aprovechamientos agrícolas más intensivos se registran sobre los terrenos más bajos del área de estudio. Una parte de las teselas correspondientes a esta clase son áreas deforestadas claramente destinadas al cultivo, otras, al igual que sucede en las zonas de cabecera de valle, son mosaicos de terrenos en descanso, muchos de ellos con bosques secundarios, cultivos puntuales, y, a diferencia con la anterior área, la presencia de plantaciones leñosas o bajo el dosel del bosque. Junto a la mayor intensidad agrícola de las zonas más bajas se encuentra una gran diversidad de cultivos. En estas teselas se dan cultivos mixtos de maíz, yuca, plátanos, racacha, waluza, hortalizas y otras producciones para el autoconsumo familiar, y también producciones de orientación comercial como la coca, el café, los cítricos y algunos otros frutales tropicales. En términos superficiales los aprovechamientos agrícolas en fondo de valle alcanzarían, para la cuenca hidrográfica del Huarinilla hasta 1.500 ha considerando las pendientes, algo menos del 3%, y para el área protegida, al abarcar un área baja menor, las superficies son en plano quedarían restringidas a algo más de 1.000 ha a las que se podría sumar otro centenar y medio más si se considera el área propuesta para la ampliación.

Partiendo de la base que en el área de estudio las tierras incluidas en los pisos ecológicos más bajos corresponden al dominio potencial del bosque y se descartan las áreas de aprovechamiento agrícola más arriba comentadas, las restantes teselas delimitadas como herbazales, matorral y áreas con árboles dispersos corresponden mayoritariamente a terrenos deforestados por intervención antrópica no agrícola. Dentro de este grupo se distinguieron dos áreas claramente diferenciadas en altura: (1) la zona de transición del páramo yungueño y el bosque, en muchos casos activamente deforestada por la actividad ganadera de las cotas más altas a través de fuegos ocasionales; y (2) las manchas de herbazal, matorral y arbolado disperso hacia cotas más bajas, plenamente en el dominio forestal y vinculadas a los caminos, asentamientos y en el entorno de los terrenos agrícolas y son fruto, igualmente de una intensa intervención humana en el pasado y/o fuegos recurrentes.

Adicionalmente a los terrenos deforestados anteriores hay que señalar las superficies altamente intervenidas con terrenos construidos, ya sean edificios, áreas urbanizadas o infraestructuras y aquellos otros con movimientos de ladera inducidos por la actividad humana. Debido a la escala a la que se ha trabajado la delimitación ha sido en muchos casos bastante general y, del mismo modo que pasa con otras clases de pequeña representación, es posible que las superficies reales se encuentren subestimadas o se correspondan correctamente con la realidad. Para el área de la cuenca del Huarinilla se extenderían, al menos, por más de 500 ha.

## CONCLUSIONES

Los resultados de la delimitación de la vegetación, los usos y coberturas del terreno del espacio ocupado por el área protegida de Cotapata constatan la alta diversificación territorial presente en estos valles andinos. Se puede advertir los contrastes entre áreas altas de praderas y roquedo y las zonas bajas forestales, pero es de gran interés geográfico las superficies minoritarias, los terrenos deforestados en el límite del bosque, las áreas severamente intervenidas y, en especial los terrenos deforestados. Y es que en un análisis más detallado de los resultados es evidente que existe una componente natural que condiciona altitudinalmente la presencia de la vegetación, los usos y otras cubiertas del terreno, pero no sobre ella se ha instalado la impronta de las actividades humanas generando un mosaico paisajístico singular.

El uso, manejo y transformación del espacio por parte de las actividades humanas, ha retocado el esquema teórico general de gradación altitudinal, deforestando el bosque, instalando zonas edificadas e infraestructuras, potenciando la extensión de praderas por fuegos reiterados, desencadenando movimientos de ladera, etc. lo que se refleja en parches discontinuos que, como se ha comentado, más arriba para los usos y el grado de intervención, muestran un claro patrón espacial, directamente vinculado a los asentamientos, los caminos y las tierras susceptibles de ser aprovechadas, fundamentalmente aquellas de menor pendiente y de los valles meridionales y el extremo oriental.

Esta delimitación precisa de la vegetación, los usos y las coberturas del terreno permite a su vez evaluar el territorio e identificar teselas con características de interés de cara a la conservación del área protegida, como puede ser el caso de las ya mencionadas superficies en recuperación, con la delimitación de los terrenos bien conservados y sobre todo, permite instalar las bases para una futura planificación

territorial al ser básica para la configuración de sectores sobre los que actuar de forma diferencial y acorde con sus características. Con esta información se puede realizar una correcta zonificación del área protegida en función de las características medio ambientales y el aprovechamiento humano e implementar diferentes políticas territoriales y sectoriales orientadas hacia un desarrollo sostenible futuro y una mejora de la calidad de vida de la población del lugar.

El uso de las tecnologías de la información geográfica (TIG) ha sido fundamental para la elaboración de este trabajo. El tratamiento digital de imágenes de satélite y fotografía aérea así como su combinación con otras capas de información temática, incluidos los datos recogidos sobre el terreno, dentro de un SIG, han permitido la realización de una metodología de clasificación mixta desarrollada sobre la segmentación de la imagen de satélite y descomponiendo la información de cada una de las teselas en cuatro componentes descriptivos: cubierta general, piso ecológico, grado de intervención y uso, que en una lectura combinada han permitido concluir en la realidad territorial del espacio bajo estudio.

De cara a un futuro y en busca de mejorar los resultados obtenidos es necesaria la revisión más profunda en el terreno, actualizar las fuentes – trabajar con imágenes de satélite más reciente – y profundizar en la clasificación orientada a objetos.

## AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue realizado gracias a la subvención del extinto Ministerio de Ciencia e Innovación de España que sufragó una beca de investigación del autor así como diversas estancias dentro de los dos proyectos de I+D+i del departamento de Geografía de la Universidad Autónoma de Madrid (Refs. BSO2001-075 y BSO2001-0256) El *Institute of Geography and Environmental Sciences* de la Universidad de Aberystwyth y el Servicio Nacional de Áreas Protegidas (SERNAP) de Bolivia contribuyeron igualmente con su infraestructura, personal y soporte.

Por último, debo de agradecer a las licencias de uso de los programas de *ESRI*, *Leica Geosystems* y *Definiens* con los que trabajé en este artículo por impulsarme a buscar alternativas libres y que me han resultado equivalentes como *GRASS*, *Quantum GIS* o *SAGA* entre otros (más info. en <http://www.osgeo.org/>).

## BIBLIOGRAFÍA

BACH, K.; S. R. GRADSTEIN. (2007): "Cambio hipsométrico de la vegetación en un bosque nublado de los Yungas de Bolivia – metodología y cinturones altitudinales", *Ecología en Bolivia*, 42 (2), pp. 83-101. <http://editorenjefe.ecologiabolivia.googlepages.com>

BACH, K.; M. SCHAWÉ; S. G. BECK; G. GEROLD; S. R. GRADSTEIN; M. MORAES. (2003): "Vegetación, suelos y clima en los diferentes pisos altitudinales de un bosque montano de Yungas, Bolivia: Primeros resultados.", *Ecología en Bolivia*, 38 (1), pp. 3-14. <http://editorenjefe.ecologiabolivia.googlepages.com>

CHUVIECO SALINERO, E. (2002): *Teledetección ambiental. La observación de la tierra desde el espacio*. Madrid, Ariel, 586 pp.

CHUVIECO SALINERO, E.; X. PONS; C. CONESA GARCÍA; J. M. SANTOS; J. BOSQUE SENDRA; J. GUTIÉRREZ PUEBLA; J. D. L. RIVA FERNÁNDEZ; M. J. SALADO GARCÍA; J. OJEDA ZÚJAR; M. D. P. MARTÍN; M. J. PRADOS VELASCO. (2005): "¿Son las Tecnologías de la Información Geográfica (TIG) parte del núcleo de la Geografía?", *Boletín AGE*, 40, pp. 35-55. <http://age.ieg.csic.es/boletin/40/02-SON%20LAS%20TECNOLOGIAS.pdf>

CUELLAR, R. L.; B. JERES; X. PAREDES; R. TERÁN. (1995): "Aspectos sociales y económicos relacionados al manejo del Parque Nacional y Área Natural de Manejo Integrado Cotapata" en C.B. Morales (Ed.): *Caminos de Cotapata*. La Paz, Instituto de Ecología, Fund-Eco, FONAMA-EIA, pp. 85-112.

DEFINIENS AG. (2007): *Definiens Developer 7 - User Guide*. Munich, Germany, Definiens AG, 497 pp.

DORREN, L. K. A.; B. MAIER; A. C. SEIJMONSBERGEN. (2003): "Improved Landsat-based forest mapping in steep mountainous terrain using object-based classification", *Forest Ecology and Management*, 183 (1-3), pp. 31-46.

EHEVARRÍA, F. R. (1998): "Monitoring Forests in the Andes Using Remote Sensing" en K.S. Zimmerer y K.R. Young (Eds.): *Nature's geography new lessons for conservation in developing countries*. Madison, Wis, The University of Wisconsin Press, pp. 100-121.

GIBSON, P.; C. H. POWER. (2000): *Introductory Remote Sensing: Digital Image Processing and Applications*. New York, Routledge, 249 pp.

GODARD, V. (1996): "Evaluation of natural surfaces in a dry tropical environment by remote sensing and ground survey", *Cybergeo*, 13.

GONZALES R., J.; I. HINOJOSA O. (1999): "Flora y vegetación" en P.S. Ergueta y Á.E. García P. (Eds.): *Recursos naturales y patrimonio cultural del Parque Nacional y Área Natural de Manejo Integrado Cotapata. Diagnóstico Participativo*. La Paz, Trópico - Asociación Boliviana para la conservación, pp. 117-175.

LEICA GEOSYSTEMS. (2005): *ERDAS Field Guide*. Norcross, Georgia, Geospatial Imaging, LLC, 705 pp.

LILLESAND, T. M.; R. W. KIEFER. (1987): *Remote Sensing and Image Interpretation*. New York, Wiley, 721 pp.

MATHER, P. M. (2004): *Computer Processing of Remotely-Sensed Images: An Introduction, 3rd Edition*. Chichester, UK, John Wiley & Sons, 442 pp.

MAYAUX, P.; H. EVA; A. BRINK; F. ACHARD; A. BELWARD. (2008): "Remote Sensing of Land-Cover and Land-Use Dynamics" en E. Chuvieco Salinero (Ed.): *Earth observation on global change: The role of satellite remote sensing in monitoring the global environment*. Springer, pp. 85-108.

MCCOY, J.; K. JOHNSTON. (2001): *Using ArcGIS Spatial Analyst*. Redlands, CA, ESRI Press, 232 pp.

MENESES, R. I.; S. G. BECK; E. GARCÍA; H. ARANIBAR. (2004): *Análisis del estado actual del conocimiento sobre la flora y vegetación del PN-ANMI Cotapata*. La Paz, Herbario Nacional de Bolivia - Programa BIAP - SERNAP, 45 pp, Anexo del Plan de Manejo del PN y ANMI Cotapata.

MESSINA, J. P.; S. J. WALSH; C. F. MENA; P. L. DELAMATER. (2006): "Land tenure and deforestation patterns in the Ecuadorian Amazon: Conflicts in land conservation in frontier settings", *Applied Geography*, 26 (2), pp. 113-128.

MICHALAK, W. Z. (1993): "Gis in Land-Use Change Analysis - Integration of Remotely Sensed Data Into Gis", *Applied Geography*, 13 (1), pp. 28-44.

MILLINGTON, A. C.; S. JEHANGIR. (2000): "Mapping Vegetation in Complex, Mountainous Terrain" en R.W. Alexander et al. (Eds.): *Vegetation mapping. From patch to planet*. Chichester, Wiley, pp. 209-231.

PANIAGUA-ZAMBRANA, N.; C. MALDONADO-GOYZUETA; C. CHUMACERO-MOSCOSO. (2003): "Mapa de vegetación de los alrededores de la estación Biológica de Tunquini", *Ecología en Bolivia*, 38 (1), pp. 15-28. <http://editorenjefe.ecologiabolivia.googlepages.com/>

RIBERA ARISMENDI, M. O. (1995): "Aspectos ecológicos, del uso de la tierra y conservación en el Parque Nacional y Área Natural de Manejo Integrado Cotapata" en C.B. Morales (Ed.): *Caminos de Cotapata*. La Paz, Instituto de Ecología, Fund-Eco, FONAMA-EIA, pp. 1-84.

RONCAL REVOLLO, P. E. (1996): *Evaluación sistemática y propuesta de zonificación ecológica económica del Parque Nacional y Área Natural de Manejo Integrado Cotapata*. Magister Scientiae en Ecología y Conservación, Facultad de Ciencias Básicas y Naturales, Carrera de Biología, Universidad Mayor de San Andrés, 185 pp.

SARMIENTO, F. O.; E. O. BOX; E. L. USERY. (2004): "GIScience and Tropical mountains: A challenge for geoecological research 258" en M. Bishop y J.F. Shroder (Eds.): *Geographic Information Science and Mountain Geomorphology*. pp. 289-307.

SCHAWWE, M. (2005): *Klima- und Bodenuntersuchung zum Höhenwald eines Tropischen Bergregenwaldökosystems Boliviens*, Doctor Arbeit. Georg-August-Universität Göttingen.

SCHAWWE, M.; G. GEROLD; K. BACH; S. R. GRADSTEIN. (2007): "Hydrometeorological patterns in relation to forest structure and plant species diversity along an elevational gradient in a montane cloud forest in the Yungas, Bolivia". Anon.. (in press), Waimea , Hawaii , USA.

SEVILLA CALLEJO, M. (2003): *Usos del suelo, conservación de la naturaleza y desarrollo rural en el Cerro Nogalani y valle bajo del río Huarinilla (PN-ANMI Cotapata, La Paz, Bolivia)*. Trabajo de Investigación Tutelado para la obtención del Diploma de Estudios Avanzados en Geografía (MSc), Departamento de Geografía, Universidad Autónoma de Madrid, 131 pp. Disponible en la Web. [http://www.uam.es/cotapata/bajo\\_huarinilla/](http://www.uam.es/cotapata/bajo_huarinilla/)

SEVILLA CALLEJO, M. (2010): *Organización territorial y campesinado en el Parque Nacional y Área Natural de Manejo Integrado Cotapata (Bolivia)*. Memoria de Tesis para la obtención del grado de Doctor en Geografía, Departamento de Geografía, Universidad Autónoma de Madrid, 131 pp. Inédito. Disponible en la Web. <http://www.uam.es/cotapata/>

SEVILLA CALLEJO, M.; R. MATA OLMO. (2007): "Introducción a las dinámicas territoriales en el área oriental del Parque Nacional y ANMI Cotapata (Depto de La Paz, Bolivia)", *Ecología en Bolivia*, 42 (1), pp. 34-47. <http://editorenjefe.ecologiabolivia.googlepages.com/>

SEVILLA CALLEJO, M.; R. MATA OLMO; G. GIL ROMERA. (2003): "Infraestructuras y avance de la frontera agrícola en el Parque Nacional de Cotapata (Bolivia). Aplicación de las tecnologías de la información geográfica". Anon.: September de 2003. IX Conferencia Iberoamericana de SIG, Cáceres (España).

TRÓPICO; SUBCENTRAL CHUCURA; SUBCENTRAL PACALLO. (1999): *Recursos naturales y patrimonio cultural del Parque Nacional y Área Natural de Manejo Integrado Cotapata. Diagnóstico Participativo*. La Paz, Trópico - Asociación Boliviana para la conservación, 259 pp, Coord.

WELLENS, J.; A. C. MILLINGTON; W. HICKIN; R. ARQUEPINO; S. JONES. (2000): "Mapping Humid Tropical Vegetation in Eastern Bolivia" en R.W. Alexander et al. (Eds.): *Vegetation mapping. From patch to planet*. Chichester, Wiley, pp. 193-208.