

**Las zonas de amortiguamiento:  
un instrumento para el  
manejo de la biodiversidad**  
El caso de Ecuador, Perú y Bolivia

José Blanes, Rafael M<sup>a</sup> Navarro, Uwe Drehwald  
Teodoro Bustamante, Arturo Moscoso, Francisco Muñoz, Alicia Torres

**Las zonas de amortiguamiento:  
un instrumento para el  
manejo de la biodiversidad**  
El caso de Ecuador, Perú y Bolivia

Este proyecto y la publicación de sus resultados fue financiada  
por la Comunidad Europea

Programa: INCO-DC, Contrato No. IC18-CT98-0259



© De la presente edición:  
CEBEM (Centro Boliviano de Estudios Multidisciplinarios)  
Av. Ecuador # 2330 esq. Rosendo Gutiérrez  
Casilla Postal 9295  
Correo-e: cebem@cebem.com  
Télf. (591-2) 241 53 24  
Fax: (591-2) 241 47 26  
La Paz

FLACSO, Sede Ecuador  
Páez N19-26 y Patria, Quito – Ecuador  
Telf.: (593-2-) 2232030  
Fax: (593-2) 2566139  
[www.flacso.org.ec](http://www.flacso.org.ec)

UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA  
C/Alfonso XIII  
14001 Córdoba (España)  
Teléfono: 957 218 434/435  
Fax: 957 217 154

Zentrum für internationale Entwicklungs-  
und Umweltforschung (ZEU)  
Justus-Liebig-Universität Giessen  
Otto-Behaghel-Strasse 10 D  
35394 Giessen  
Alemania

Comisión Europea  
Rue de la Loi 200 B-1049  
1049 Brussels, Belgium  
Télf.: (32-2) 296 17 06  
Fax: (32-2) 299 47 43  
Correo-e: [inco-contract@dg12.cec.be](mailto:inco-contract@dg12.cec.be)

ISBN: 9978-67-077  
Coordinación editorial: Alicia Torres  
Cuidado de la edición: Cecilia Ortiz  
Diseño de portada y páginas interiores: Antonio Mena  
Imprenta: RISPERGRAF  
Quito, Ecuador, 2003  
1ª. edición: junio, 2003

# Índice

<b>Presentación</b> . . . . .	9
<b>Zonas de Amortiguamiento como instrumento para el manejo de la biodiversidad en los bosques tropicales de la vertiente oriental andina</b> . . . . .	11
<i>Rafael M<sup>a</sup> Navarro Cerrillo, José Blanes, Uwe Drehwald Arturo Moscoso y Alicia Torres</i>	
<b>Desarrollos legales e institucionales sobre áreas protegidas y zonas de amortiguamiento en Bolivia, Ecuador y Perú</b> . . . . .	35
<i>Arturo Moscoso V.</i>	
<b>Zonas de Amortiguamiento</b> Aspectos sociales e institucionales de su desarrollo en cinco casos de estudio . . . . .	107
<i>José Blanes</i>	
<b>Metodología para el estudio de sistemas agroforestales en zonas de amortiguamiento de áreas protegidas de bosque tropical en la vertiente oriental Andina</b> . . . . .	153
<i>Rafael M<sup>a</sup> Navarro Cerrillo y Francisco J. Muñoz Macías</i>	
<b>El empleo de sensores remotos como herramienta para la generación de cartografía de usos del suelo en el entorno de áreas naturales protegidas: aplicación al Bosque de Protección de Alto Mayo y su Zona de Amortiguamiento (Perú)</b> . . . . .	215
<i>Francisco J. Muñoz Macías y Rafael M<sup>a</sup> Navarro Cerrillo</i>	

<b>Las Zonas de Amortiguamiento y su rol en la conservación de la biodiversidad . . . . .</b>	<b>235</b>
<i>Teodoro Bustamante</i>	
<b>Cambios en la vegetación briofítica . . . . .</b>	<b>277</b>
<i>Uwe Drehwald</i>	
<b>Bryomonitor: un sistema de biomonitoreo en selvas neotropicales . . . . .</b>	<b>311</b>
<i>Uwe Drehwald</i>	

# El empleo de sensores remotos como herramienta para la generación de cartografía de usos del suelo en el entorno de áreas naturales protegidas: aplicación al Bosque de Protección de Alto Mayo y su Zona de Amortiguamiento (Perú)

Francisco J. Muñoz Macías y Rafael M<sup>a</sup> Navarro Cerrillo

## Introducción

Las Áreas Naturales Protegidas (ANP) no son unidades aisladas, sino que están vinculadas a su entorno geográfico por factores ecológicos, económicos, políticos y culturales. Esto obliga a que su manejo quede incluido en planes regionales conjuntamente con sus Zonas de Amortiguamiento (ZAM). Los grupos de población establecidos dentro y alrededor de las ANP constituyen generalmente un desafío para su conservación (Sayer 1991; Amend y Amend 1994; UICN 1994; Martín 1996; Sherbinn y Freudenberg 1998).

Esta planificación regional debe incluir pautas de manejo de las ZAM a través de proyectos de desarrollo y uso sostenible de los recursos que involucren a la comunidad local (Martín Ibid.). Para ello, es imprescindible un buen conocimiento de la realidad natural y social del área concreta, lo cual incluye la distribución de los tipos de cobertura y usos del suelo en el territorio correspondiente y en un momento determinado. Por otro lado, los estudios sobre los cambios producidos en ellos permiten observar las tendencias de las diferentes clases establecidas (deforestación y reforestación, cambio en los tipos de cultivo, etc.). Así, constituyen aspectos básicos para el ordenamiento territorial, por resultar imprescindible su conocimiento para cualquier propuesta de desarrollo.

La identificación de coberturas y usos del suelo presenta gran complejidad y consecuente gasto económico, ya que estos estudios se desarrollan, en el ámbito regional, sobre grandes extensiones. Ambos aspectos se ven incrementados considerablemente tanto por la inaccesibilidad como por la gran variabilidad y complejidad de las coberturas vegetales de los entornos de las ANP en la zona tropical.

El desarrollo de la teledetección ha facilitado y ha mejorado estos trabajos, su aplicabilidad es cada vez mayor en el análisis y caracterización del medio físico. Entre las muchas aplicaciones de esta herramienta, se destacan los estudios sobre el estado de diferentes características de la superficie terrestre y de sus cambios, como tasas e índices de deforestación, caracterización de coberturas vegetales, áreas incendiadas, patrones de regeneración forestal o dinámica de cuencas (Lucas *et al.* 1993; Pinilla 1995; Chuvieco 1996; Apan 1997; Craig *et al.* 1997; Martínez 1998). Por otro lado, aunque la aplicación de la teledetección en áreas tropicales húmedas registra algunos problemas específicos como la presencia continua de nubes, ha quedado comprobada en numerosas ocasiones la eficiencia de estos sensores en la diferenciación e identificación de tipos de cobertura, específicamente en ecosistemas forestales (Martínez *Ibid.*).

En estos trabajos resulta común la integración de Teledetección y Sistemas de Información Geográfica (SIG), que mejoran la eficacia en el aprovechamiento de los grandes volúmenes de información disponibles, asociados sobre todo a estudios de ordenamiento territorial (Aspinal 1995). Así, la combinación de Teledetección y SIG, junto al Sistema de Posicionamiento Global (GPS por sus siglas en inglés), permite incorporar y asociar información de campo, cartográfica digital y de sensores remotos, que facilita el tratamiento espacial e integrado de la información existente, lo cual resulta de enorme utilidad en la evaluación de recursos naturales.

Con todo ello, han sido numerosos los trabajos de clasificación de cobertura y usos del suelo mediante el empleo de imágenes de satélite desde que se inició el desarrollo de estas técnicas, condicionado por los objetivos planteados y los medios disponibles para su realización. Se llega a la elaboración de cartografía temática, determinación de modelos de distribución espacial o de cambios en el tiempo de una variable determinada y control o medición de las relaciones entre los objetos definidos en la imagen (Chuvieco *Ibid.*).

En este sentido, las extensiones sobre las que se desarrollan estos estudios y sus consecuentes niveles de escala han sido diferentes según las necesidades planteadas por los objetivos, desde globales, continentales o nacionales, hasta regionales o locales, de extensión más o menos reducida. De igual manera, las leyendas van desde más o menos generales, hasta altamente específicas o particulares para cada zona de estudio.

Las imágenes *Landsat* son ampliamente utilizadas para la elaboración de estos mapas en el ámbito tropical, tanto en estudios puntuales en el tiempo (Li *et al.* 1994; Foody y Hill 1995; Palubinskas *et al.* 1995; Craig *et al.* *Ibid.*; Rignot *et al.* 1997), como desde una perspectiva multicultural (Weishampel *et al.* 1998; Oetter *et al.* 2000), debido a su buena resolución, al carácter global y periódico de sus observaciones, y a su buena comercialización. Los más modernos de estos satélites incorporan el sensor Enhanced Thematic Mapper (ETM) con seis bandas de reflectividad (de 30 metros de resolución), una pancromática (con 15 metros de resolución) y otra térmica (de 60 metros). Aún así, presenta objeciones en su coste y el gran volumen de datos que ofrece.

Las metodologías disponibles de clasificación pueden diferenciarse según cuatro grandes grupos: basadas en la interpretación visual de las imágenes, en su clasificación supervisada, en su clasificación no supervisada seguida del etiquetado de los grupos homogéneos conformados y mediante método mixto de clasificación no supervisada, y su posterior clasificación supervisada con apoyo en la primera; las tres últimas, corresponden a la interpretación digital de las imágenes.

También resultan variables la forma y cantidad de información de la imagen empleada en los análisis, con posibilidad de optar en el caso concreto de *Landsat*, ya sea por:

- La utilización de las bandas de reflectividad (con o sin selección de bandas);
- la generación de nueva/s banda/s a partir de la combinación de las primeras;
- el empleo de información espacial o de textura junto a la espectral.

A partir de relaciones entre los datos espectrales aportados por los sensores se han desarrollado diferentes índices de vegetación, cuyos valores se ajustan

a diferencias en la cobertura vegetal. Entre ellos, el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI por sus siglas en inglés) es uno de los más empleados, ha sido utilizado con resultados notorios en estudios fenológicos de crecimiento de la vegetación, clasificación de cobertura vegetal y de uso del suelo, modelos de sistemas climáticos, etc., ha mostrado una clara correspondencia entre diferencias en NDVI y variaciones de crecimiento y vigor de la vegetación. Por otra parte, también se le atribuye la utilidad de reducir los efectos de las sombras topográficas (Chuvieco *Ibid*; Apan 1997).

En referencia al empleo de información espacial a través de la textura o aparente rugosidad o suavidad de una región de la imagen, éste resulta un criterio importante para discriminar cubiertas que puedan ofrecer un comportamiento espectral uniforme. Este aspecto toma una gran importancia en el área tropical, donde la separación espectral entre diferentes tipos de vegetación puede llegar a ser muy compleja.

Una vez elaborada la cartografía, resulta necesaria la estimación del nivel de precisión o fiabilidad conseguido por los mapas, a partir del cálculo de la proporción de coincidencia entre la clasificación y la “realidad del terreno” con apoyo en otras fuentes consideradas fiables (desde cartográficas o estadísticas, hasta el levantamiento de datos en campo). Aún así, debe tenerse en cuenta que esta medida no mejora la veracidad de la cartografía, sino que sólo indica el porcentaje de error cometido, sin su localización sobre el mapa.

A modo de aplicación del empleo de la teledetección como herramienta para la elaboración de mapas de cobertura y uso del suelo a partir de imágenes *Landsat* en el entorno de AP, se expondrá el caso específico del Bosque de Protección de Alto Mayo y su ZAM mediante imágenes *Landsat 7-ETM*.

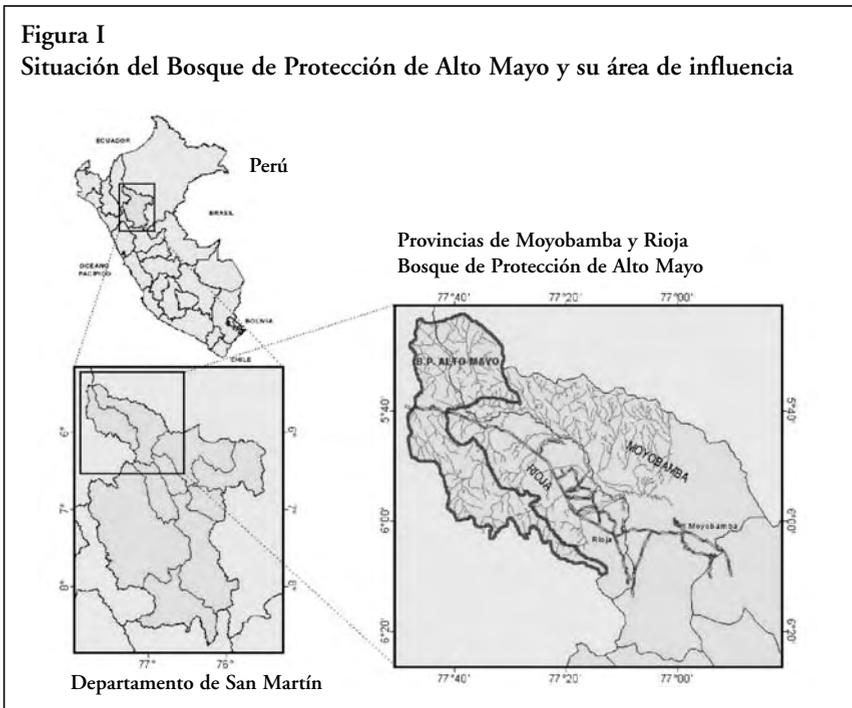
## El Bosque de Protección de Alto Mayo y su ZAM

El BP de Alto Mayo, con una superficie total de 182.000 Ha, es un área natural protegida<sup>1</sup> (ANP) ubicada en la sección nororiental del Perú, en el extremo noroccidental del departamento de San Martín (*Figura 1*). Incluida en la categoría de Bosque de Protección (BP), se caracteriza en su gestión

1 Incluida en el SINANPE (Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Perú).

por el enlace de acciones de conservación de la biodiversidad dentro del ecosistema del bosque húmedo tropical, protección de los recursos hídricos, y con ello de las áreas de cultivo, centros poblados e infraestructura de las partes bajas del valle, y uso sostenible de los recursos naturales por parte de la población (INRENA 1999). Dada la profunda interrelación entre el ANP y su entorno, así por como los evidentes problemas de sostenibilidad a medio y largo plazos, provocados por la fuerte presión demográfica a la se hallan sometidos, este estudio abarca el conjunto del territorio del BP Alto Mayo y su área de influencia.

Así, la zona de estudio se corresponde con la mayor parte de la cuenca del río Alto Mayo, en la región de Ceja de Selva del norte del Perú (*Figura 1*). Administrativamente, se localiza en el extremo noroccidental del departamento de San Martín, abarca con mayor exactitud, las provincias de Moyobamba y Rioja, con una superficie total aproximada de 6.400 Km<sup>2</sup>.



La cuenca presenta forma de una hoya alargada, con laderas que se elevan hasta la divisoria que la separa de las cuencas vecinas. La topografía es muy accidentada y se caracteriza por una depresión central plana a ondulada (a 800 msnm) circundada por dos cordilleras intensamente fraccionadas por la red hidrográfica y cubierta por una densa vegetación tropical, cuyas cumbres varían entre 2.500 y 3.500 m de altitud.

El clima está influenciado por la topografía, tanto a nivel de precipitaciones pluviales como de temperaturas, las primeras varían entre los 1.400 mm anuales en el fondo de valle (bajo los 1.000 msnm), y los 3.000 a 4.100 mm anuales en los pisos más elevados, los cuales presentan muy alta incidencia de nubes y neblinas; aunque las lluvias se producen durante todo el año, son mínimas entre mayo y agosto, y máximas entre octubre y marzo. Con respecto a las temperaturas, las mayores se presentan en las secciones más bajas (fondo de valle), con medias anuales de alrededor de los 22° C; éstas van disminuyendo considerablemente con el incremento de la altitud, y llegan a unos 12° C en los pisos más elevados (ONERN 1982).

Sus características naturales hacen de ella una zona de muy alta diversidad ecológica, con la presencia de cinco Zonas de Vida o formaciones ecológicas según el Sistema de Clasificación de Holdridge y dos ecotonos o Zonas de Transición entre ellas, que van desde los Bosques Húmedos Premontanos Tropicales hasta los Bosques Pluviales Montanos Tropicales, esto se traduce en una elevada heterogeneidad florística (ONERN *Ibid.*).

Existen referencias históricas de colonización del área desde los primeros años de la conquista española, con la fundación de Moyobamba en 1539, y una expansión poco apreciable durante los cuatro siglos siguientes. Resultan de máximo interés los intensos procesos de inmigración a los que se ha visto sometida en los últimos 40 años y muy especialmente a partir de 1974, con la apertura de la Carretera Marginal de la Selva que la atraviesa. La tasa anual media de crecimiento poblacional ha superado en algunos años el 24%, muchas veces a través de asentamientos espontáneos y descontrolados. Según los diferentes censos (*Ibid.*), la población en el área ha pasado de unos 1.200 habitantes a principios de los años 60, a más de 24.000 a comienzos de los 80, se ha llegado a estimar una población muy próxima a los 200.000 habitantes en el año 2000 (CTAR-SM *et al.* 1999).

Junto a la denominada “población natural” o antiguos colonos y la migrante o nuevos colonos, existe población nativa indígena de la etnia Agua-

runa (familia jíbaro), agrupada en comunidades nativas, con una superficie total titulada de 82.561,92 hectáreas según Brack (1998). Consecuentemente, estos tipos sociales definidos constituyen tres modelos productivos diferentes de uso del suelo.

La ocupación desordenada comenzó, como es habitual, con la tala selectiva de maderas de alto valor comercial, que dio lugar a la roza y quema de bosques remanentes para la implantación de agricultura migratoria de subsistencia, primero en las partes bajas y planas, y posteriormente en avance hacia las laderas de fuerte pendiente. En los terrenos situados entre el margen derecho del río Mayo y la carretera marginal, destaca por su importancia el desarrollo de la actividad agrícola basado en la producción de arroz (más de 15.000 Ha) bajo riego y secano; tanto aquí como en el resto del área, los cultivos de maíz, plátano, yuca y frijol resultan básicos para el consumo familiar. En los últimos años también han ganado trascendencia cultivos industriales como cacao, naranja, caña de azúcar y especialmente el café (aprox. 6.000 Ha), sobre otras áreas mejor drenadas. También debe tenerse en cuenta la actividad ganadera de tipo extensivo, sobre pastos que se dejan crecer en áreas anteriormente aprovechadas por la agricultura (PEAM 1998).

### **Elaboración de cartografía de uso del suelo sobre el BP de Alto Mayo y su ZAM**

Los medios natural y social y la problemática planteada en el área ante la desordenada ocupación de su territorio y aprovechamientos, justifican la necesidad de un conocimiento actualizado de la cobertura y uso del suelo, así como de su evolución.

Para la elaboración del estudio se dispone inicialmente de dos imágenes (escenas completas) *Landsat 7-ETM*, de julio y agosto del año 1999, que cubren conjuntamente la totalidad del área de estudio, delimitada de acuerdo a cómo habíamos avanzado por las provincias de Moyobamba y Rioja (San Martín); además, se cuenta con el resultado de un muestreo para el inventario de clases de cobertura de vegetación y de usos del suelo, a partir de sus estadillos de campo (*Figuras 2 y 3*), llevado a cabo en fechas próximas sobre diferentes sectores del área de estudio, y bibliografía y car-

tografía temática, como información complementaria o de apoyo (ONERN Ibid.; Brack 1998; PEAM 1998; ITDG-Perú 1999; CTAR-SM y PEAM 1999; CTAR-SM *et al.* 1999).

<b>Figura II: Estadillo para las anotaciones correspondientes al trabajo de inventario en campo de las clases de cobertura y uso del suelo</b>					
No. parcela	Sector o zona		fecha	hora	
Uso mayor	Cobertura de vegetación	F. de distorsión	Tipo de suelo	Pen- diente	Fcc
Coordenadas expresadas en metros, en sistema UTM, para el DATUM WGS 84, a través de GPS					
A (XA, YA):		C (XC, YC):	Centro (XC, YC):		
B (XB, YB):		D (XD, YD):	Radio de la parcela: m.		
<u>Especies y proporción relativa:</u>					
<u>Comentarios:</u> (Uso anterior, posición relativa a puntos invariables, calidad de la vegetación, etc.)					

Después de uniformizar los sistemas de referencia y recortar ambas imágenes según los límites de la zona de estudio, se transformaron sus valores asociados a parámetros físicos (de Niveles Digitales a Reflectividad Aparente) y fueron normalizados radiométricamente. Finalmente, se optó por la elaboración del mosaico a través de la unión de ambas imágenes por medio de su superficie común. Trabajar con el mosaico de ambas imágenes conlleva dos inconvenientes principales: la necesidad de una mayor capacidad por parte del equipo informático y la exigencia de un procesamiento previo más intenso de las imágenes, y consecuentemente, mayor tiempo y medios. En cualquier caso, no puede evitarse debido a que el trabajo de campo se encuentra concentrado mayoritariamente sobre una fracción del área de estudio.



Si se asumen como objetivo principal la elaboración de cartografía de cobertura y usos del suelo en el área propuesta para el estudio, se cubren también una serie de objetivos específicos, como la identificación de los principales tipos de cobertura de vegetación y usos del suelo presentes, la caracterización espectral de las clases establecidas y el análisis metodológico, y la comparación de los resultados obtenidos, por aplicación de técnicas supervisadas y no supervisadas de clasificación.

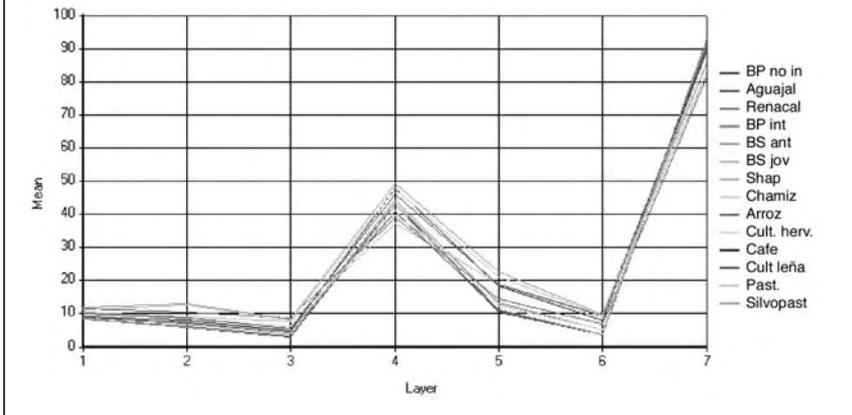
Planteados los objetivos, se decidió aplicar dos metodologías diferentes en la elaboración de la cartografía: primero, con base en el método supervisado de clasificación y después, por medio del método no supervisado.

La clasificación supervisada requiere, como se expresó anteriormente, del conocimiento de las clases a las que pertenece una muestra del área de estudio; para ello se utilizó el muestreo para inventario de clases de cobertura de vegetación y de usos del suelo, anteriormente referido; se dispone así

de una leyenda de 21 clases de cobertura y otra de 6 usos del suelo, que se completan con otras que se añadieron por análisis visual, como áreas de bosques en sombra topográfica, cursos y cuerpos de agua, zonas urbanas y carreteras, nubes y sombra de nubes (*Tabla I*). En este sentido, resulta muy importante la proximidad en el tiempo entre la toma de datos de campo y la adquisición de la imagen, a fin de conseguir la máxima correspondencia.

Tabla I: Leyenda confeccionada para la clasificación supervisada	
Clases de cobertura	Clases de uso del suelo
1 Bosque Primario no intervenido (áreas no inundadas)	I Bosque Primario
2 Aguajales ( <i>Mauritia flexuosa</i> )	II Bosque Secundario y Barbechos
3 Renacales ( <i>Ficus</i> sp.)	III Cultivos de ciclo corto e intensivos
4 Bosque Primario intervenido a muy intervenido	IV Sistemas agroforestales simultáneos y asociaciones de cultivos leñosos
5 Bosque secundario más o menos adulto	V Sistemas silvopastoriles y pastizales
6 Barbechos jóvenes y Purmas degradadas	VI Otros:
7 Shapumbales ( <i>Pteridium aquilinum</i> )	Sombras topográficas en bosques
8 Chamizales	Cursos y cuerpos de agua
9 Arrozales	Carreteras
10 Cultivos no leñosos diferentes al arroz	Zonas urbanas
11 Asociaciones de café	Nubes
12 Otras asociaciones permanentes de cultivos	Sombra de nubes
13 Pastizales en limpio	
14 Asociaciones silvopastoriles	
15 Sombras topográficas en bosques	
16 Río Mayo	
17 Otros ríos y demás cuerpos de agua	
18 Carreteras	
19 Zonas urbanas	
20 Nubes	
21 Sombra de nubes	

**Figura IV:**  
**Representación gráfica de la caracterización espectral de las 14 clases principales, para aplicación de clasificación supervisada sobre las 21 clases definidas (según leyenda de la Tabla 1).**



Se consideró conveniente el empleo de índices de vegetación y más concretamente el NDVI, tanto por las ventajas que aporta en los estudios de vegetación, como a fin de minimizar los efectos producidos por sombras topográficas sobre el bosque.

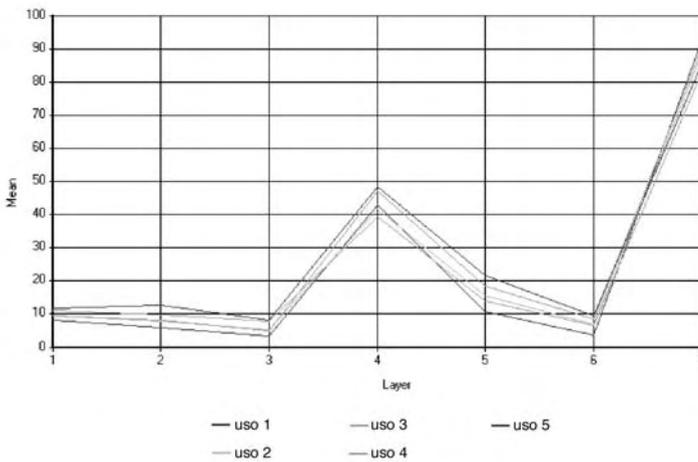
Se realizó así, una primera clasificación supervisada de la imagen por análisis conjunto de sus bandas de reflectividad junto a la de NDVI; se distinguieron dos casos, uno correspondiente a la leyenda de cobertura y otro a la de usos del suelo.

El proceso de elaboración de cartografía temática concluye con la aplicación de un filtro sobre los resultados de las clasificaciones, se obtienen así el mapa y las superficies correspondientes a cada una de las clases de uso y cobertura.

Los resultados obtenidos en la asignación de clases sobre los 21 tipos de cobertura ofrecen altos niveles de confusión; es importante en este aspecto tener en cuenta la elevada especificidad exigida a la leyenda con relación al tamaño de la muestra correspondiente, la necesidad de extrema precisión en la georreferenciación de las “parcelas de entrenamiento” y la inaccesibilidad de gran parte de la zona de estudio. En cualquier caso, a partir de estos

resultados se observa un predominio de los bosques primarios y adultos, y una ventaja clara del café sobre el resto de los cultivos y usos agropecuarios en la zona de estudio. Esta segunda afirmación debe ser puesta en duda debido a la excesiva superficie asignada a este cultivo frente al resto de usos en comparación con otras fuentes (PEAM 1998). A esto se añade la cierta y lógica confusión surgida entre las categorías de agua y arrozales inundados. Toda esta problemática queda bien recogida también en la caracterización espectral de las clases recogidas por la leyenda (obtenida a través de sus valores medios de reflectividad junto a su desviación, expresada gráficamente en la *Figura 4*), a partir de sus áreas de entrenamiento correspondientes.

**Figura V:**  
Representación gráfica de la caracterización espectral de las 5 clases principales de uso del suelo (según leyenda de *Tabla I*).



Con los datos disponibles, no resulta posible la correcta validación de la clasificación correspondiente, por no poder situar parcelas de validación para la mayor parte de las clases, dada la especificidad de muchas de ellas.

Respecto a la asignación de las 6 clases de uso del suelo, mejoran claramente los niveles de confusión, debido a la reducción del número de clases y con ello de su especificidad. Sigue siendo evidente el predominio de

los bosques primarios, y la superioridad de asociaciones de cultivos permanentes sobre el resto de cultivos y usos agropecuarios en la zona de estudio. De igual manera que en el caso anterior, esta segunda afirmación debe ser reconsiderada por la excesiva superficie relativa asignada. Puede apreciarse en la *Figura 5* la expresión gráfica de la caracterización espectral de las clases de uso del suelo recogidas por la leyenda, a partir de sus correspondientes áreas de entrenamiento.

En una y otra clasificaciones estos resultados dudosos pueden atribuirse a la gran confusión que expresan las muestras correspondientes a los cultivos de café y asociaciones permanentes de cultivos frente a los bosques secundarios.

La fiabilidad global general obtenida es del 68,6%, ésta disminuye al 48% si se consideran únicamente las clases de interés (bosques primarios y secundarios, cultivos y pastos).

Con la intención de establecer comparaciones entre diferentes alternativas, se procedió en segundo lugar, a una clasificación no supervisada de la imagen. Ésta se llevó a cabo sobre diferentes composiciones derivadas de la imagen de partida:

- La utilizada en la clasificación supervisada (Bandas de reflectividad y NDVI).
- Habida cuenta en el análisis de la información de textura y la banda pancromática (de mayor resolución espacial -15 m).

Las clases definidas por la clasificación no se encuentran identificadas *a priori* con una leyenda determinada, sino que debe conseguirse su correspondencia con la realidad del terreno mediante el conocimiento que se tiene de él a través de trabajo de campo, cartografía y bibliografía de apoyo, fotografía aérea, etc. Se parte así en este caso de 25 clases definidas automáticamente sobre la imagen, de las que se genera una leyenda de 7 clases por agrupamiento de aquellas (*Tabla II*).

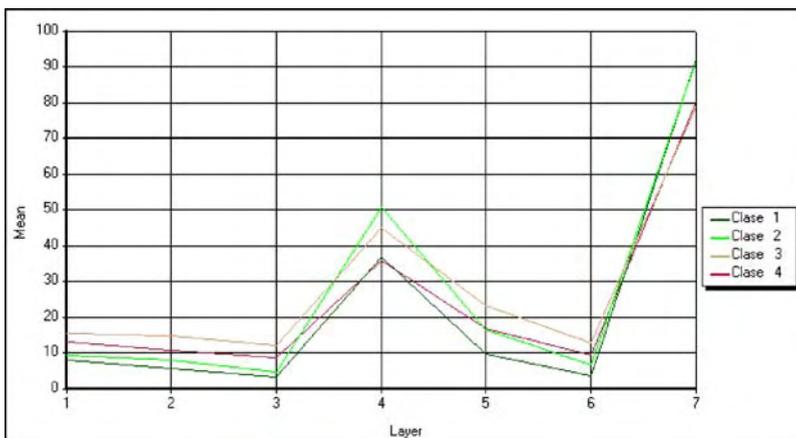
En este caso, se empleó como “realidad del terreno” la información ofrecida tanto por la cartografía e información temática disponibles, principalmente de vegetación, forestal, de asentamientos poblacionales, etc., como por el análisis visual de la imagen en diferentes combinaciones de bandas a través de la experiencia en visitas a la zona.

**Tabla II:**  
Leyenda confeccionada para la clasificación no supervisada

Clases de cobertura y uso del suelo	
1	Bosque primario
2	Bosque secundario y barbechos
3	Cultivos temporales y permanentes
4	Pastos, pajonales, shapumbales y chamizales.
5	Ríos, arroyos y cuerpos de agua (más arrozales en situación de inundación)
6	Zonas urbanas, carreteras, sombras topográficas en bosques
7	Nubes, sombra de nubes

La caracterización espectral de las clases definidas en este caso, sólo tiene sentido físico para el primero, al no tratarse de valores de reflectividad en los otros dos. Así, para este caso específico, su representación gráfica queda referida en la *Figura 6*.

**Figura VI:**  
Representación gráfica de la caracterización espectral de las 4 clases principales de uso del suelo (según leyenda de la tabla II).



El proceso de elaboración de cartografía temática concluye nuevamente con la aplicación de un filtro sobre los resultados de las clasificaciones, se obtienen así el mapa y las superficies correspondientes a cada una de las clases de uso y cobertura.

Los resultados obtenidos en los tres casos corroboran la predominancia de terrenos ocupados por bosques (65% - 70%), y entre ellos, de los primarios sobre los secundarios en proporción aproximada 2:1; por el contrario, la superficie agropecuaria (sin incluir la totalidad del arroz y debiendo excluir *shapumbales* y *chamizales*) es reducida (entre el 5,1% y el 8,7% del territorio) y se encuentra más o menos concentrada en el área. Resulta destacable el hecho de que tal como se había avanzado, la superficie no clasificada por presencia de nubes es muy importante (18% - 23%), aún cuando se tuvo en cuenta este aspecto en el momento de la elección de las escenas de trabajo; en cualquier caso, ésta se encuentra muy localizada sobre las mayores altitudes de las vertientes interiores de la cuenca.

Con la aplicación de los mismos grupos de píxeles de validación para la cartografía generada, se obtienen valores de fiabilidad global general que varían entre 68,9 y 77,2% según la información de partida empleada, el valor más bajo corresponde a la clasificación a partir de la composición que incluye información de textura de bandas de reflectividad y el mejor resultado, en el caso en que se emplea la misma composición que la clasificación supervisada (Bandas de reflectividad y NDVI), el resultado correspondiente al empleo de la textura de la banda pancromática es intermedio. En cambio, el estudio de la fiabilidad global si se consideran únicamente las clases de interés, resulta algo superior, y varía entre el 72 el 78%: el primero para los casos de las composiciones de bandas de reflectividad y NDVI, y las que

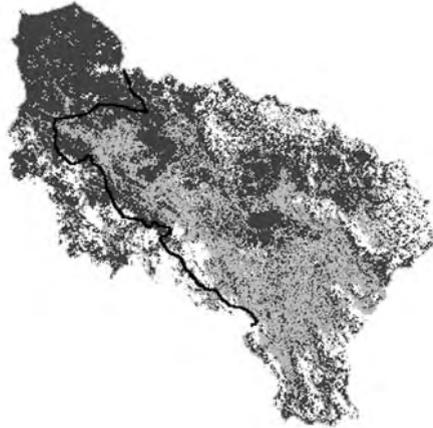
<b>Tabla III: Resultados de la validación de las clasificaciones según los casos estudiados</b>					
		Supervisada	No Supervisada		
		(b)	(a)	(b)	(c)
Fiabilidad global	general	68,57%	77,21%	68,86%	72,00%
	clases de interés	48%	72%	72%	78%
Índice Kappa Total		0,6333	0,7342	0,6367	0,6733

incluyen información de textura de bandas de reflectividad; y el mejor resultado en el caso que emplea la textura de la banda pancromática.

Ofrecemos finalmente, a través de la *Figura 7* la representación del resultado correspondiente a la clasificación no supervisada de coberturas y usos del suelo a partir de la imagen de composición de bandas 1,2,3,4,5,7, NDVI. Se puede observar que aporta uno de los mejores valores en los índices estudiados para su validación.

**Figura VII:**

Resultados de la clasificación no supervisada de coberturas de vegetación y usos del suelo a partir de la imagen de composición de bandas 1,2,3,4,5,7, NDVI



Clases de uso			Superficie	
			(Ha)	(%)
1		Bosque primario.	306.535,77	47,89
2		Bosque secundario.	152.581,95	23,84
3		Cultivos.	20.398,86	3,19
4		Pastos, pajonales, <i>shapumbales</i> y <i>chamizales</i>	12.275,91	1,92
5		Ríos, lagunas y cultivos de inundación (arroz)	12.424,32	1,94
6		Urbano y carretera	15.326,28	2,39
7		Nube y sombra de nubes (sup. no calificada)	120.510,54	18,83
<b>Superficie total</b>			<b>640.053,63</b>	<b>100,00</b>

Fiabilidad global	General	77,21%
	clases de interés	72%
Índice Kappa Total		0,7342

## Conclusiones

La teledetección a partir de imágenes *Landsat* 7-ETM constituye una herramienta de gran utilidad para la elaboración de la cartografía actualizada de cobertura y uso del suelo con resultados de fiabilidad aceptable (hasta próximos al 80%) sobre el área de estudio, con una superficie aproximada de 6.400 Km<sup>2</sup>.

La clasificación no supervisada permite distinguir de forma aceptable, siete tipos de cobertura del suelo. Por otra parte, la clasificación supervisada permite aumentar la especificidad de la leyenda (mayor número de clases de cobertura y uso) aunque con una reducción de la fiabilidad de la cartografía generada; mantener o incrementar los niveles de fiabilidad en este caso, supone necesariamente la utilización de información de terreno de elevada calidad, procedente de trabajos de campo de mayor intensidad, en fechas muy próximas a la adquisición de la imagen y de gran exactitud en su georreferenciación, lo cual complica y encarece el estudio.

El empleo de información de textura mejora los niveles de fiabilidad de la cartografía para las clases de interés (vegetación y usos agropecuarios), aunque no es así al considerar las de menor interés (agua, urbano y nubes).

Puede pensarse que los resultados en este tipo de trabajos para el ámbito geográfico correspondiente a las zonas tropicales húmedas, mejorarán mediante el empleo del método mixto, comenzando con la clasificación no supervisada, para distinguir los grandes grupos de interés, habida cuenta de que si se incluye información de textura, probablemente se produzca mejoría en la asignación de estas clases (diferentes tipos de bosques primarios y/o secundarios, de agricultura o demás sistemas agroforestales o agropecuarios, etc.). Los resultados de esta etapa tendrían que completarse con una segunda fase supervisada con la que se pueda conseguir un mayor nivel de detalle, siempre que sea posible disponer de la información más adecuada de la realidad del terreno.

## Bibliografía

- Amend, S. y T. Amend. 1994. "Presencia humana en áreas protegidas". *Bosques y Desarrollo* 10:43-45.
- Andrade Pérez, A. y M. J. Amaya Arias. 1997. "Ordenamiento Territorial: Política y Plan"; en: *Propuesta Metodológica para la Zonificación Ecológica-Económica para la Amazonía*. Memorias del Seminario Taller, Santafé de Bogotá, Colombia. 9-12 diciembre 1996. Tratado de Cooperación Amazónica (TCA) - Secretaría Pro Tempore. Lima, Perú.
- Apan, A. A. 1997. "Land cover mapping for tropical forest rehabilitation planning using remotely-sensed data". *Int. J. Remote Sens.* 18:1029-1049.
- Aspinal, R. J. 1995. "Geographical Information System: their use for environmental management and nature conservation". *PARKS (Protected Areas Programme)*. UICN. 5:20-31.
- Brack, A. Coord. 1998. *Biodiversidad*; en "Comunidades y Desarrollo". Lima: GEF, PNUD, UNOPS, FIDA, Proyectos RLA/92/G31/G32/G33. CD-Rom., Perú.
- Chuvieco, E. 1996. *Fundamentos de Teledetección Espacial*. Madrid: RIALP.
- CTAR-SM y PEAM. 1999. "Propuesta de Zonificación Ecológica - Económica en la margen izquierda del río Mayo, entre el Bosque de Protección de Alto Mayo y el río Huascayacu". Moyobamba, Perú.
- CTAR-SM, PEAM, GTZ, SNV. 1999. "El Sistema de Información Geográfica en el Alto Mayo". Cuaderno de Trabajo N° 1. 25 pp. + Anejos. Moyobamba, Perú.
- Foody, G.M. y R.A Hill. 1995. *Classification of tropical forest classes from Landsat TM data*. Taylor & Francis Ltd.
- INRENA. 1999. "Estrategia Nacional para las Áreas Naturales Protegidas". Plan Director. Lima, Perú, p. 70.
- ITDG-Perú. 1999. "Cartografía Digital del Alto Mayo. Áreas Intervenidas y Cobertura Vegetal". Unidad SIG y Percepción Remota, Programa de Desastres, ITDG-Perú (Intermediate Technology Development Group). Moyobamba, Perú, p.34.
- Kalluri, S., A Desch, T. Curry, A. Alstatt, D. Devers, J. Townshend, C. Trucker. 2001. "Historical Satellite Data Used to Map Pan-Amazon Forest Cover". *EOS*. 82 - 18:201.
- Lucas, R. M., M. Honzak, G. M. Foody, P. J. Curran, C. Corves. 1993.

- “Characterizing tropical secondary forests using multitemporal Landsat sensor imagery”. *Int. J. Remote Sens.* 14:3061-3067.
- Martín, C. 1996. “Áreas Protegidas y Zonas de Amortiguación: Objetivos, Alcances y Aspectos a Evaluar”. Lima.
- Martínez, I. 1998. “Consideraciones sobre el uso de Imágenes de Satélite en Áreas Tropicales”; en *Simposio Internacional “Posibilidades de Manejo Forestal Sostenible en América Tropical”*. Santa Cruz de la Sierra: Proyecto BOLFOR; CIFOR; IUFRO, p. 363-363.
- McCracken, S.D., E.S. Brondizio, D. Nelson, E.F. Morán, A.D. Siqueira, C. Rodríguez-Pedraza. 1999. “Remote Sensing and GIS at Farm Property Level: Demography and Deforestation in the Brazilian Amazon”. *Photogram. Eng. Remote Sens.* 65:1311-1320.
- Oetter, D.R., W.B. Cohen, M. Berterretche, T.K. Maersperger, R.E. Kennedy. 2000. “Land Cover mapping in an agricultural setting using multiseasonal Thematic Mapper data”. *Remote Sens. Environ.* 76:139-155.
- Onern. 1982. *Inventario y evaluación integral de los recursos naturales de la zona del Alto Mayo. (Reconocimiento)*. Lima: Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (ONERN). Vol. 1 y 2., Perú, p.408 y 77.
- Palubinskas, G., R.M. Lucas, G.M. Foody, P.J. Curran. 1995. “An evaluation of fuzzy and texture-based classification approaches for mapping regenerating tropical forest classes from Landsat TM data”. *Int. J. Remote Sens.* 16:747-759.
- PEAM. 1998. “Experiencias sobre manejo ambiental en el valle del Alto Mayo”. Perú: Instituto Nacional de Desarrollo -INADE-, p. 81.
- Pinilla, C. 1995. *Elementos de Teledetección*. Madrid: RA-MA.
- Rignot, E., W.A. Salas, D.L. Skole. 1997. “Mapping Deforestation and Secondary Growth in Rondonia, Brazil, Using Imaging Radar and Thematic Mapper Data”. *Remote Sens. Environ.* 59:167-179.
- Sader, S.A. 1995. Spatial Characteristics of Forest Clearing and Vegetation Regrowth as Detected by Landsat Thematic Mapper Imagery. *Photogram. Eng. Remote Sens.* 61:1145-1151.
- Sayer, J. 1991. “Buffer Zones in Rainforest: Fact o Fantasy?”. *PARKS (System Planning)*. UICN. 2:20-24.

- Sherbinn, A. y M. Freudenberger. 1998. "Migration to protected areas and buffer zones: can we stem the tide?". *PARKS (Protected Areas Programme)*. UICN. 8:38-53.
- Steele, B.M. 2000. "Combining Multiple Classifiers: An Application Using Spatial and Remotely Sensed Information for Land Cover Type Mapping". *Remote Sens. Environ.* 74:545-556.
- UICN. 1994. *Directrices para las Categorías de Manejo de Áreas Protegidas*. Reino Unido: CPNAP con ayuda de WCMC. UICN, Gland, Suiza y Cambridge, p. x + 261.
- Vaesen, K., S. Gilliams, K. Nackaerts, P. Coppin. 2001. "Ground-measured spectral signatures as indicators of ground cover and leaf area index: the case of paddy rice". *Field Crops Research* 69:13-25.
- Weishampel, J.F., J.H. Sloan, J.C. Boutet, J.R. Godin. 1998. "Mesoscale changes in textural pattern of 'intact' Peruvian rainforests (1970s-1980s)". *Int. J. Remote Sens* 19:1007-1014.

#### Documentos tomados de *Internet*

- Craig, N., N.A. Chagnon, L.A.K. Mertes. 1997. "Strategies for using multispectral Landsat Thematic Mapper data for the investigation of indigenous Amazonian Horticulturalist Settlement Patterns"  
URL: [http://titicaca.ucsb.edu/~craig/research/tm\\_paper/TMpaper.htm](http://titicaca.ucsb.edu/~craig/research/tm_paper/TMpaper.htm)
- Li, Y., P. Mausel, Y. Wu, E. Morán, E. Brondizio. 1994. "Discrimination between advanced secondary succession and mature moist forest near Altamira, Brazil, using Landsat TM Data". ASPRS/ACSM.  
URL: <http://www.sgi.ursus.maine.edu/sisweb/spatdb/acsm/ac54040.html>