Reporte al GTZ-DIAM

Estudio Multitemporal para Calcular la Tasa de Deforestación en la Cuenca del Alto Mayo, Perú

Submitido por

CONAMBI____*Consultores Ambientales*

Dres. Reiner Zimmermann & Viviana Horna

Consultores:

Johannes Dietz, Dipl.-Geoökol.

Ronny Schröder , cand. Dipl.-Geogr.

Annett Börner, Dipl.-Geoökol.

Bayreuth, 15 de Junio del 2003

Estudio Multitemporal para Calcular la Tasa de Deforestación en la Cuenca del Alto Mayo, Perú

Dres. Reiner Zimmermann & Viviana Horna[*]

RESUMÉN

La tasa anual de deforestación en la cuenca del Alto Mayo entre 1999 y 2002 fué de por lo menos 1.2 %, con un valor máximo de 7.1 %. La tasa de deforestación para el área del Alto Mayo se derivó a partir de un subset representativo de imágenes LANDSAT™ libres de nubosidad que mostraron para el área de estudio un incremento anual en la tasa de deforestación del 4.2%. Un estudio anterior llevado a cabo por APECO (1995) en las provincias de San Martín y Rioja, las cuales ocupan la mayor parte de la cuenca del Alto Mayo, asume una reducción en los níveles de deforestación a partir de los 80s llegando a una tasa de deforestación anual de 0.55 % en 1993. Con el presente estudio concluimos que la actual tasa de deforestación se ha incrementado considerablemente.

1) *Sospechamos que el estudio de APECO se basó en datos provenientes de áreas de más fácil acceso o zonas de la cuenca que fueron mayormente afectadas a inicios de los 80s.*
2) *El aumento en la tasa de deforestación de los últimos años se debe principalmente al incentivo por el cultivo de café. El flujo de colonos especialmente a lo largo de los bordes del Bosque de Protección, hacia las áreas colinosas, para cultivar café ha ocacionado la deforestación de grandes áreas de bosque primario. Este es un proceso que continua en la actualidad tal como muestran nuestros resultados.*

Multi-temporal Study for Calculating the Deforestation rate in the Alto Mayo Watershed, Perú

Dres. Reiner Zimmermann & Viviana Horna[*]

ABSTRACT

The annual deforestation rate for the Alto Mayo watershed between 1999 and 2002 amounted to at least 1.2 %, up to a maximum value of 7.1 %. The deforestation rate was derived from a representative, cloudless subset of a LANDSAT™ image, which revealed an annual increase of the deforestation by 4.2 % for the study area. A previous study carried out by APECO (1995) for the Provinces of San Martín and Rioja, which cover most of the Alto Mayo watershed, suggests a reduction of the deforestation activities in the 80's reaching an annual deforestation rate of 0.55 % in 1993. With the present study we conclude that the current deforestation rate has increased considerably.

1) *We suspect that the study of APECO was based upon data originating from areas of easier access or from areas that were most affected in the early 80's.*
2) *The increase of the deforestation rate of the last years is mainly due to the incentives for the cultivation of coffee. The influx of coffee cultivating settlers, especially along the margins of the "Bosque de Protección" towards the hill areas, has promoted the deforestation of large areas of primary forest. As our results demonstrate, this is still an ongoing process.*

[*] CONAMBI_____*Consultores Ambientales* Wundersgutstr. 1, D-95447 Bayreuth, Alemania E-mail: conambi@gmx.net

Tabla de Contenidos

1 Objetivos del Estudio 1

2 Materiales y Métodos 2

2.1 Area de Estudio 2

2.1.1 Ubicación 2

2.1.2 Uso de la Tierra 3

2.1.3 Dinámica 4

2.2 Datos Disponibles 4

2.2.1 SIG 5

2.2.2 Sensoramiento Remoto 5

2.2.3 Software 5

2.3 Clasificación de LANDSAT™ 6

2.3.1 Trabajo de Campo 7

2.3.1.1 Base de Datos de SIG 7

2.3.1.2 Verificación de Campo 7

2.3.1.3 Selección de Sitios 7

2.3.1.4 Evaluación de los Sitios 8

2.3.2 Procesamiento de Imágenes 8

2.3.2.1 Georeferenciación 8

2.3.2.2 Masking 9

2.3.2.3 Mosaicos 10

2.3.3 Procedimiento de Clasificación 10

2.3.3.1 Clasificación No-Supervisada 11

2.3.3.2 Clasificación Supervisada 13

2.3.3.3 Post-Proceso 14

2.3.3.4 Detección de Cambios 14

3 Resultados 15

3.1 Clases de Cambio de Uso de la Tierra 15

3.1.1 Bosque Primario 15

3.1.2 Vegetación Secundaria 16

3.1.3 Campos Abandonados / Pasturas 16

3.1.4 Suelo Descubierto / Pajonal 17

3.1.5 Arroz 17

3.1.6 Río / Arroz 18

3.1.7 Areas Urbanas 18

3.1.8 Areas No-Clasificadas 18

3.2 Uso de la Tierra en el 1999 18

3.3 Uso de la Tierra en el 2002 19

3.4 Cambio de Uso de la Tierra en la Cuenca del Alto Mayo 20

3.4.1 Cambio de Uso de la Tierra en Areas de Bosque Primario 22

3.4.2 Cambio de Uso de la Tierra en Areas de Uso Agrícola 24

4 Conclusiones 27

5 Literatura 29

6 Apéndice 30

6.1 Documentación 30

6.2 Figuras Coloridas 32

6.2.1 Mapas de Clasificación 32

6.2.2 Clave fotográfica para las clases de uso de la tierra 33

1 Objetivos del Estudio

La oficina del GTZ-DIAM, que trabaja en estrecha colaboración con el Proyecto Especial Alto Mayo (PEAM) localizado en Moyobamba, Perú, contrató los servicios de Consultores Ambientales (CONAMBI) para realizar un estudio multi-temporal del cambio de uso de la tierra en el Valle del Alto Mayo, durante el período de sus actividades de funcionamiento en la región. El estudio sería basado en los datos proporcionados por el GTZ-DIAM en formato ETM+ de imágenes de Landsat7™ de 1999 y 2002. Los mapas de uso de tierra resultantes servirán como una base para la evaluación del cambio de uso de tierra en la región durante estos años y para la evaluación del impacto de ciertas estrategias de desarrollo.

2 Materiales y Métodos

Este capítulo documenta los diferentes pasos metodológicos tomados durante la ejecución de este trabajo, desde la adquisición de los datos hasta la obtención de la clasificación final.

2.1 Area de Estudio

El Perú cubre un territorio de 1.28×10^6 km^2 a lo largo de la costa del Pacífico en Sud América. El territorio peruano se encuentra ubicado entre los 0° y 18° S, y los 69° a 81° O. Young (1992) divide el país en tres regiones naturales, del oeste al este: a) la árida llanura costera, de tan solo 30 a 60 km de anchura, es localmente llamada "Costa", b) las regiones montañosas andinas (la montaña más alta, el Huarascarán, alcanza 6 768 m s.n.m.) conocida como la "Sierra", y c) la región localizada al este de la Cordillera de los Andes que potencialmente esta cubierta por bosque tropical lluvioso. Esta última región puede ser dividida en "Selva Alta" que corresponde a la faja subandina, y en "Selva baja" que corresponde a la cuenca del Amazonas (Fig. 2.1).

La razón para la existencia de una sucesión de diferentes biomas en un espacio tan estrecho, es la cordillera de los Andes que actúa como una barrera climática. La Cordillera Occidental peruana reduce los efectos de sequedad de la fría corriente de Humboldt y el impacto de eventos irregulares como el fenómeno de El Niño en las llanuras costeras. Además, la Cordillera Occidental sirve como escudo para la Costa, evitando el paso de las masas de aire húmedas provenientes de la cuenca Amazónica. Las pendientes de la Cordillera Oriental del Perú están expuestas al clima húmedo del bosque tropical lluvioso de la Amazonía y el territorio está entrecortado por los afluentes del río Amazonas.

2.1.1 Ubicación

El área de estudio se localiza en las pendientes orientales de los Andes, en el Norte del Perú en las coordemadas UTM 18S 261056 / 9370052 en la parte alta del valle del río Mayo, aproximadamente 35 km al norte de la ciudad de Moyobamba.

El término "Alto Mayo" se refiere a la cuenca alta del río Mayo que pertenece al sistema de drenaje del los ríos Huallaga y Amazonas. El valle se extiende NO-SE a lo largo de las pendientes orientales de los Andes, entre el límite entre Selva alta y Selva baja, pero todavía ubicado en la faja subandina. La parte alta del río Mayo corresponde a un río de agua blanca que lleva una alta carga sedimentaria y corre a través de un amplio valle de aprox. 50 km anchura.

La cuenca del Alto Mayo, cubre aprox. 40 000 km^2 y pertenece al departamento de San Martín. La región esta dividida en las provincias de Rioja y Moyobamba. La población total del Alto Mayo se estima en casi 200 000 habitantes (INADE-PEAM 1999).

En el noreste, el área de estudio esta rodeada por la Cordillera Cahuapanas, que alcanza una elevación máxima de1 580 m s.n.m. Esta cadena de montañas es parte de la Cordillera Occidental que separa el Valle del Alto Mayo de las tierras bajas de la Amazonía (cf. Fig. 2.1). El límite sur occidental del valle se extiende hasta losAndes, a una altura de casi 4 000 m s.n.m. Las cuencas de los ríos Avisado y Tioyacu, en su margén izquierda, han sido bien estudiadas (DEMPEWOLF 2000, BÖRNER 2000, METTE 2001, DIETZ 2002). Esta región cubre aprox. 460 km^2 aprox y todavía presenta áreas de bosque primario intactas en terrenos muy accidentados.

2.1.2 Uso de la Tierra

Hasta principios de 1970, los indígenas de la tribu de los Aguaruna fueron las únicas personas haciendo uso de la tierra, ya sea cazando o mediante agricultura transitoria con ciclos de cambio de cultivos de aproximadamente diez años. La construcción de la "Carretera Marginal" a inicios de los 70, sirvió para conectar la Selva norte con la Costa en 1975 y activó una tremenda entrada de colonos de las más pobladas regiones andinas en la búsqueda de tierra cultivables. Este flujo migratorio continúa hasta la actualidad. Los bosques prístinos en los valles, fueron los más accesibles y también los que más rápidamente fueron quemados y

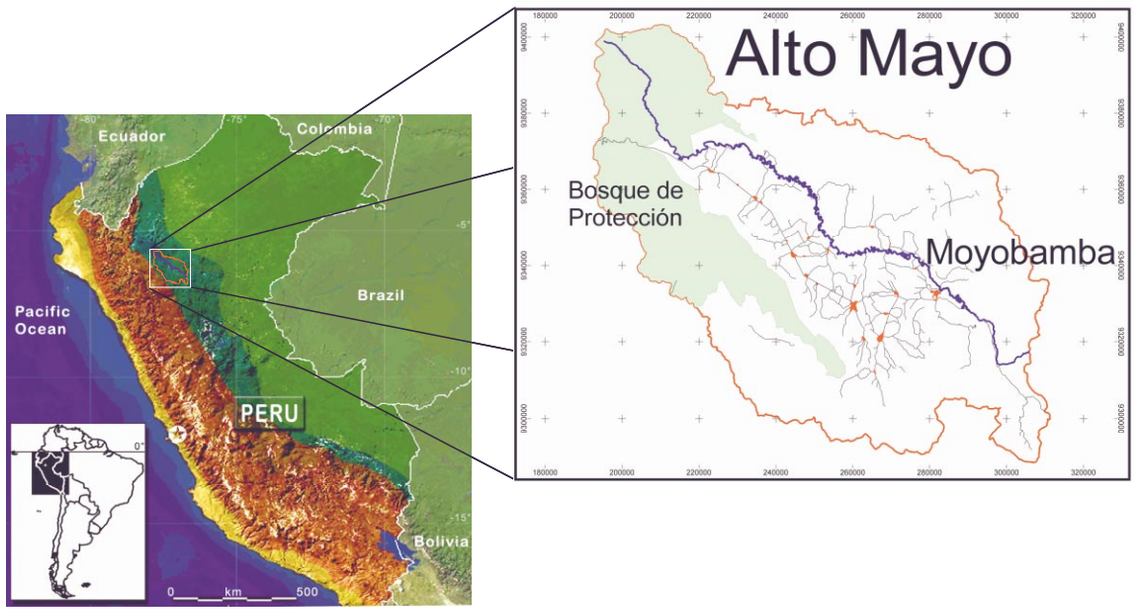


Fig. 2.1: Ubicación del área de estudio en una imagen de satélite NOAA-AVHRR
La imagen cubre el área comprendida entre los -67° a -83° O y -1° a -18° S. Las unidades geológicas de acuerdo a YOUNG (1992) están indicadas con diferentes colores: Llanura costera (amarillo), Cordillera (marrón), Faja Subandina (verde oscuro) y Llanura amazónica (verde). La zonificacón local de Costa, Sierra y Selva alta y Selva baja coincide con la zonificación de unidades geólogicas. (Tomado de DIETZ (2002) adaptado, Fuente: AXION 1997 & PEAM-SIG 2003)

deforestados sin ningún control para dar paso al cultivo de arroz en terrazas. Actualmente, la destrucción de bosques se extiende hasta las áreas de los valles pequeños menos colonizados de los afluentes del Río Mayo. Sin embargo, la velocidad de este proceso se ha visto reducida en los últimos años desde que el gobierno local se está encargando de regular la adquisición de nuevas tierras para prevenir futuras intrusiones y la colonización ilegal. Una gran parte de los bosques prístinos remanentes fué adjudicada en 1999 a la tribu de los Aguaruna. Esta tribu vive en asentamientos permanentes o Comunidades Nativas y desarrolla agricultura moderna..

2.1.3 Dinámica

Junto con la colonización viene la quema y roza del bosque primario para crear nuevas áreas agrícolas. Estas áreas son a menudo abandonadas después de unos años debido a rápida pérdida de la fertilidad de los suelos. Las plantaciones de colonos son granjas de unas pocas hectáreas generalmente manejadas al nivel familiar. Una pequeña área siempre es reservada para el cultivo de alimentos para el sustento personal y el comercio local, como por ejemplo para el cultivo de yuca, plátanos, papas y piñas. Los cultivos más rentables para la exportación son arroz seco y mojado producido en la parte baja de los valles y café cultivado en las pendientes arriba de los 900 m s.n.m. Se calcula que 90 % de la producción de arroz es para cubrir la demanda nacional y el restante 10 % se exporta. El café (principalmente *Coffea arabica*) es casi completamente un producto de exportación. Los cafetales han reemplazado anteriores plantaciones de coca (*Erythroxylum coca*), qué fueron abandonadas cuando aumento el control gubernamental a mediados de los 90. Los campos de coca abandonados casi siempre están cubiertos por helechos (*Pteridium aquilinum*), formando un componente típico de la vegetación de la región conocido localmente como "shapumbal". Cuando los shapumbales no son constantemente quemados (una práctica común, pero sin una razón obvia), se desarrolla bosque secundario que es fácil de identificar por la frequencia de árboles de *Cecropia*, que es una especie pionera de rápido crecimiento y muy común para la vegetación secundaria.

2.2 Datos Disponibles

Este estudio se llevó a cabo con datos preliminares proporcionados por el GTZ y el departamento de SIG del PEAM, así como observaciones de campo obtenidas durante la estadia de Johannes Dietz en Moyobamba, entre enero y marzo del 2003. Además, se contó con la amable cooperación del Dr. Patrick Spittler (DED) quién compartió sus datos de campo, recientemente obtenidos en un inventario del bosque de la Comunidad Nativa de Huascayacu (SPITTLER, 2002).

Tab. 2.1: Archivos de níveles de ArcView proporcionados por PEAM-SIG.

Archivo	Téma	Uso
lim_cue	Limites de la cuenca	Delimitación
bosque	Bosque de Protección	Delimitación
curvas	Curvas	DEM
lagunas	Lagunas	Identificación del agua
r_pricip	Rios Principales	Identificación del agua
periurb	Urbano	Visualisación
vias	Vias	Visualisación
elevac	Puntos de elevación	-
poblados	Poblados	-
r_secun	Rios secundarios	-

2.2.1 SIG

El departamento de SIG del Proyecto Especial Alto Mayo apoyó este estudio proporcionando geo-datos vectorizados en ArcView de diferentes níveles temáticos para la región bajo estudio. Estos datos se encuentran en versión digital tal como se presenta en la Tab. 2.1.

2.2.2 Sensoramiento Remoto

La información actual para el uso de sensoramiento remoto en este estudio de cobertura de la tierra y su uso, fué obtenida de imágenes de LANDSAT™ ETM de dos años diferentes (1999 y 2002) que estaban disponibles o que fueron adquiridas para este estudio por la parte contratante. Las escenas fueron proporcionadas a CONAMBI el 20 de marzo del 2003. Debido a que la extensión total del área de estudio no cabía en forma completa en una sola imagen estandar de LANDSAT™, se requirió de dos escenas para cada año bajo evaluación. Cada escena fué clasificada de manera subsequente (Tab. 2.2).

2.2.3 Software

El procesamiento de las imágenes (referenciación y enmascarado) se realizó con ENVI 3.4,

Tab. 2.2: Parámetros de las imágenes de sátelite usadas en la clasificación.

Tipo de Sensor	Path	Row	Fecha	Parametros Solares		Proveedor
				inclinación	orientación	
Landsat ETM	8	64	7-Oct-2002	63.2°	90.2°	Engesat, Brazil
Landsat ETM	9	64	12-Sep-2002	59.3°	71.2°	Engesat, Brazil
Landsat ETM	8	64	11-Jul-1999	48.8°	46.3°	Univ. Maryland
Landsat ETM	9	64	19-Aug-1999	54.5°	58.3°	Univ. Maryland

Tab. 2.3: Características espectrales de las bandas de los sensores ETM.

Banda ETM		Frecuencia	Resolución	Característica
No.	Nombre	µm	m	
1	VIS B	0.450 - 0.515	30	azul visible
2	VIS G	0.525 - 0.605	30	verde visible
3	VIS R	0.630 - 0.690	30	rojo visible
4	NIR	0.750 - 0.900	30	infrarojo cercano
5	NIR	1.550 - 1.750	30	infrarojo cercano
6	TIR	10.40 - 12.50	60	infrarojo termal
7	MIR	2.090 - 2.350	30	infraroja mediano
8	PAN	0.520 - 0.900	15	pancromática

la clasificación y visualización de las imagen se hizó en ENVI 3.5 y 3.6. El análisis espacial de los datos y la posterior visualización se llevó a cabo con ArcView 3.2 y ArcGIS. Los productos digitales fueron hechos compatibles con ErdasImagine y ArcView / ArcInfo.

2.3 Clasificación de LANDSAT™

El uso de la tierra esta ligado a la vegetación y su clasificación. Esta, está siempre sujeta, a los rápidos cambios dinámicos de los cultivos anuales así como a los no tan rápidos cambios en la sucesión de la vegetación natural. Para poder responder de manera más adecuada a esta dinámica de cambio, se requiere una síntesis de variada información. El establecimiento de una relación robusta entre el tipo de vegetación existente y su señal espectral en una imagem de sensores remotos es crucial. De ahi se explica la necesidad de elaborar un detallado plan de trabajo de campo que permita adquirir datos suficientes para la verificación de los resultados de una clasificación de sensores remotos.

El LANDSAT™ ETM scanner opera con ocho bandas diferentes de resoluciones entre 15 y 60 m de las cuales, tres bandas están en el rango visible, cuatro bandas son infrarojas y una banda es pancromática (Tab. 2.3). El uso de un sensor pasivo como este implica la influencia esencial del sol como fuente de energía y las complicaciones en las diferentes posiciones solares al momento de la acquisición de los datos (cf. Tab. 2.2), lo cual contribuye a la alta variabilidad entre diferentes imágenes. Además, los efectos de nubosidad y sombreado (resultado de las nubes o de la topografía) afectan tales escenas haciendo imposible la clasificación de parte de las imágenes.

2.3.1 Trabajo de Campo

El trabajo de campo para la coleción de datos en la región del Alto Mayo se realizó durante Enero y Marzo del 2003. El trabajo incluyó una toma extensiva de puntos de verificación de campo con documentación fotográfica. Las actividades de campo fueron respaldadas por el personal de GTZ-DIAM en Moyobamba.

2.3.1.1 Base de Datos de SIG

Gracias a la cooperación con el departamento PEAM-SIG se obtuvo rápido acceso a la información geográfica de la base de datos disponible para la región.

2.3.1.2 Verificación de Campo

Durante cuatro semanas de trabajo de campo, se obtuvó una impresión general del área de estudio, inicialmente recorriendo la región a través de todas las rutas accesibles en auto y posteriormente con vistas más detalladas a pie a lugares de más díficil acceso. Se obtuvó un total de 410 puntos de control, que fueron debidamente descritos y documentados (Tab. 6.1). Las mayores elevaciones de hasta 4 000 m s.n.m. se presentan en la parte oeste de la cuenca y no fueron visitadas durante el trabajo de campo. Sin embargo una clasificación anterior del *mapa forestal* (INRENA 1995, 1996) describe estas áreas como “pajonales”, lo que corresponde a parches esparcidos de suelo descubierto dentro de un paisaje de pradera altoandina que ocacionalmente esta sujeta a quemas.

2.3.1.3 Selección de Sitios

Los sitios fueron escogidos en base a las clases prescritas, para poder cubrir estas de una manera representativa. De forma preliminar se delinearon diferentes áreas de uso de la tierra visibles en una imagen de color real georeferenciada de 1999.

La heterogeneidad de campos de arroz de diferentes niveles de crecimiento y estadíos de cosecha hizó necesario que se dedicará mucho más tiempo, del inicialmente previsto, a la identificación de diferentes señales. Sin embargo no se pudo realizar una conección directa con la imagen debido a la diferencia de más de tres meses entra la fecha de las tomas.También se dedico especial atención a la separación de clases con estructuras similares. Un problema fué definir con claridad las clases bosque secundario y “purma”. Los puntos de control se localizaron de preferencia en parches homogeneos para cada tipo de cobertura vegetal y con un área de > 1.5 ha. Asi se pudo identificar más fácilmente estos puntos en la imagen y se redujó la variación entre los píxeles correspondientes.

Tab. 2.4: Parámetros de referencia para el uso de escenas de LANDSAT™.

Escena	Georeferencia			
	Referencia	# Puntos	Tipo del Warp	Error RMS
08_64_1999	mapa topogr. 1:100 000	28	2do grado	0.87
09_64_1999	mapa topogr. 1:100 001	19	2do grado	0.42
08_64_2002	08_64_1999	75	2do grado	0.66
09_64_2002	09_64_1999	34	2do grado	0.74

2.3.1.4 Evaluación de los Sitios

Para cada punto de control se incluyo una detallada documentación que incluyó una lectura de GPS en el punto central de la parcela y la ubicación de por lo menos dos puntos de ancla más. Se describió el tipo de cobertura vegetal presente y cuando fué posible observar evidencias de de la cobertura vegetal existente en 1999, se extrapoló su extensión para dicho período. En cada sitio se tomó una fotografía digital de la vegetación onbservada.

2.3.2 Procesamiento de Imágenes

Las imágenes de LANDSAT™ fueron proporcionadas en un livel de pre-procesamiento G-1. La georeferenciación puede que no sea estrictamente exacta en estas imágenes, pero es suficiente para el estudio multitemporal y su referencia a los puntos de control de campo. Por lo tanto, como primer paso se realizo la georeferenciación seguida de un enmascaramiento de las nubes y sombras, para excluir estas regiones de análisis posteriores. Eventualmente, se fundieron las imágenes colindantes y se redujo el área a la región de la cuenca del Alto Mayo y sus límites

2.3.2.1 Georeferenciación

Inicialmente, el primer juego de imagenes de satélite (8/64 y 9/64 de 1999, que estaban disponibles durante el incio del trabajo de campo) fué georeferenciado con respecto a los respectivos mapas topográficos de escala 1:100 000 del Instituto Geográfico Nacional con una exactitud aproximada de máximo 100 m. Seguidamente se co-registraron los mapas para poder ser sobrepuestos en caso fuera necesario.

Debido a su mejor estado un juego de escenas del 2002 (8/64 y 9/64) fueron coregistradas con respecto a las correspondientes imágenes de 1999 que ya habían sido georeferenciadas (Tab. 2.4).

Tab. 2.5: Parámetros aplicados a las imágenes georeferenciadas para procesar las máscaras de nubosidad y sombreo.

Escena	Dark Subtract							Masking de Nubes				Buffer	Masking de Sombras				Buffer
	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM6	TM7	Banda	Valor	Banda	Valor	pixeles	Banda	Valor	Banda	Valor	pixeles
08_64_1999	38	25	17	14	9	96	7	TC_{Klenke}	> 15	TM6	< 59	1.0	1^{er}CP TM345/NDWI	< 4	TM3	< 12	1.1
09_64_1999	42	26	19	16	11	82	8	TC_{Klenke}	> 14	TM6	< 64	2.0	1^{er}CP TM345/NDWI	< 3	TM3	< 8	2.5
08_64_2002	37	22	15	23	10	70	4	TC_{Klenke}	> 9	TM6	< 82	2.0	1^{er}CP TM345/NDWI	< 23	TM3	< 8	2.3
09_64_2002	35	22	15	12	4	70	4	TC_{Klenke}	> 14.8	TC_{wet}	> -18	6.0	1^{er}CP TM345/NDWI	< 28	TM3	< 5	2.5

2.3.2.2 Masking

Debido a que las nubes cubren hasta el 50 % de las escenas, pero no contribuyeron al input de información se decidió excluir estas áreas de los análisis posteriores. Lo mismo se hizó en el caso de áreas sombreadas, ya sea debido a efectos topográficos o nubosidad, las cuales no mostraron una señal espectral válida. En consecuencia, todas estas áreas problematicas fueron enmascaradas en la imagen.

Esto significó un pre-proceso de las imágenes. En primer lugar se realizó una corrección atmósferica por medio del método de sustracción oscura, extrayendo los valores afectados de cada banda (Tab. 2.5). La resolución de la banda térmica TM6 fué re-muestreada a 30 m para coincidir con la resolución espacial de todas las otras bandas y así poder ser incluida en la evaluación.

Eventualmente, cada escena fué examinada en forma individual para determinar el mejor algoritmo para caracterizar (1) las nubes solamente, y en un segundo paso (2) las áreas sombreadas.

(1) Se escogieron bandas sintéticas que fueron calculadas para poder acentuar la señal de las nubes y así obtener un mejor contraste en la imagén restante (cf. tasseled cap, KLENKE 1999, Tab. 2.6) y combinar la información térmica, ya que las nubes generalmente son más frías que las superficies terrestres debido a su alto albedo.

(2) Para la identificación de áreas sombreadas se realizó un análisis de componentes principales para las bandas TM3, 4, 5 y el índice normalizado de agua de la vegetación

Tab. 2.6: Fórmulas usadas en el procesamiento de las imágenes de Landsat para mejorar el input de información de la vegetación.

Nombre	Applicación	Formula
Tasseled Cap (KLENKE 1999)	Contraste de Nubes	$TC_{Klenke} = 0.846 \cdot TM1 - 0.464 \cdot TM3$
Tasseled Cap Brightness*	Contraste de Nubes	$0.3037*TM1 + 0.2793*TM2 + 0.4743*TM3 + 0.5585*TM4 + 0.5082*TM5 + 0.1863*TM7$
Tasseled Cap Greenness*	Contraste de Vegetación	$-0.2848*TM1 - 0.2435*TM2 - 0.5436*TM3 + 0.7243*TM4 + 0.0840*TM5 - 0.1800*TM7$
Tasseled Cap Wetness*	Contraste de Humedad	$0.1509*TM1 + 0.1973*TM2 + 0.3279*TM3 + 0.3406*TM4 - 0.7112*TM5 - 0.4572*TM7$
Band Ratio 4/3	Index de Vegetación	$TM4 / TM3$
Band Ratio 7/5 (RICHARDS 1999)	Index de Suelo Desnudo	$TM7 / TM5$
NDWVI	Index de la Humedad Vegetal (normalizado)	$NDVWI = \frac{TM4 - TM5}{TM4 + TM5}$

(NDWVI, Tab. 2.6) para incrementar el contraste basado en la información de estas bandas. Las últimas diferenciaciones fuerón hechas por los valores bajos en la banda visible TM3 (Tab. 2.5).

2.3.2.3 Mosaicos

En respuesta a los diferentes niveles de intensidad de las bandas resultado de los diferentes horas de toma de las escenas (Tab. 2.1), se realizó un enmascaramiento de las escenas antes de llevar a cabo la clasificación. Esta técnica también permite obtener la máxima información de las escenas sobrepuestas, ya que si en una de las escenas la región de sobreposición esta cubierta de nubes, puede ser que en la otra escena esta área este libre.

Con este propósito se clasificaron las imágenes colocando encima la escena con menos nubosidad y el valor de enmascaramiento para ignorar regulado en zero. De manera subsequente, se corto la imagen completa para encuadrar la cuenca del Alto Mayo y sus límites usando el archivo de vectores proporcionado por el PEAM-SIG.

2.3.3 Procedimiento de Clasificación

Este estudi está basado en un procedimiento de clasificación multitemporal usando dos escenas de mosaicos de LANDSAT™ tomadas en 1999 y en el 2002.

La identificación de las diferentes categorias de uso de la tierra dentro de las imágenes de satélite se llevo a cabo mediante un procedimiento de clasificación de dos pasos que consistió en una combinación iterativa de clasificación no-supervisada y clasificación supervisada (clasificación híbrida). Con este fin, se usarón puntos de control de campo como referencia y que fuerón colectados durante una extensiva campaña de trabajo de campo entre enero y marzo del 2003 en la región del Alto Mayo.

Primero se realizo una clasificación no-supervisada usando un método iterativo de clusters para examinar la existencia de clases expectrales similares. A partir de un espectra de deteccion razonable, se produjeron señales para permitir una clasificación supervisada que fué llevada a cabo a continuación con referencia a datos de verificación de campo. El espacio multiespectral de la imagen fué dividido en regiones de clases específicas en base a un modelo de distribución de probabilidades (clasificación de máxima similaridad) como ya había sido propuesto por FOODY & HILL (1995, citado por MUÑOZ 2000).

Debido a las inconsistencias temporales de la imagen (la calibración multi-temporal de la imagen no fué disponible) tanto en el mosaico como en las escenas de diferentes fechas de adquisición, el método de clasificación híbrida (RICHARDS & JIA 1999) fué escogido como el más adecuado en este caso.

Varias técnicas de acentuamiento de imágenes fuerón usadas para proporcionar resultados confiables en la clasificación. Este se realizo básicamente para las regiones generalmente marcadas por un amplio rango de patrones de reflexión (por ejmplo áreas urbanas, vegetación madura, etc.). En general, estas regiones son difíciles de reconocer. Asi pues, valores de la razón entre bandas fueron usados para compensar esta deficiencia y mejorar las señales específicas. Estos valores también sirvieron para reducir el efecto de la topografía. Pro razones de clasificación errática, evitamos nombrar areas que fueron muy afectadas por sombras debido a las fuertes pendientes. Este es evidente para la escena con menos nubosidad tomada en 1999, que además se caracterizó por el relativamente bajo ángulo de elevación del sol de aprox. 10° (Tab. 2.2).

Para mejorar la exactitud de la clasificación y acentuar las diferencias entre la vegetación y el suelo descubierto, calculamos una razon entra las bandas TM 4/3 y TM 7/5 para usar el efecto de borde rojo de la banda tres a la banda cuatro para la primera además de la alta proporción de reflexión en la banda cinco y siete para áreas no cubiertas por vegetación.

2.3.3.1 Clasificación No-Supervisada

Antes de que la imagen pueda ser asociada a clases informativas (por ejemplo bosques, áreas urbanas, etc.), un cluster no supervisado debe ser usado para examinar la existencia de clases espectrales similares. Esto ayuda al usuario a detectar espacialmente píxeles similares (clases) en la imagen. La identificación de clases de interes fué facilitada con la elaboración de datos de control de campo disponible para la georeferenciación.

Para poder ahorra tiempo en el computo de los datos, se crearón subsets espaciales dentro de la imagen a la que posteriormente se aplicó el cluster. Para evitar en genral problemas de clasificación durante el proceso, los subsets escogidos debían incluir la mayor heterogeneidad espectral posible por clase. Este se puede realizar con una interpretación subjetiva de la imagen, por ejemplo con diferentes RGB compuestos de color con el fin de encontrar las categorias de uso de la tierra esperadas. Para prevenir bias espaciales en los resultados de la clasificación, que podrían ser causados por diferentes condiciones atmosféricas locales, se usaron las señales correspondientes de todos los subsets, asignadas durante a toda la escena.

Para el cluster de píxeles espectrales similares usamos la rutina del clasificador ISODATA en ENVI. Esta rutina calcula de manera iterativa las medias de clases distribuidas de manera uniforme en el espacio de los datos. En base al método de la distancia mínima la rutina agrupa los píxeles en unrango previamente definido de número de clases hasta que un parametro especifico de definido por el usuario coincide con su criteria. Las medias de clases sin una distancia razonable son unidas. Al contrario, las clases con distancias máximas son divididas. Durante todo el proceso de iteración es evidente que las medias de las clases se moverán dentro del espacio de los datos con frecuencia forzando a los píxeles que anteriormente

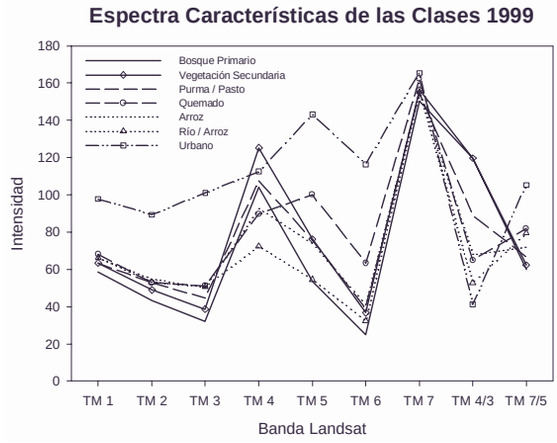


Fig. 2.2: Señales espectrales para las clases de uso de la tierra obtenidas de subsets representativos de la imagen de mosaico de 1999.

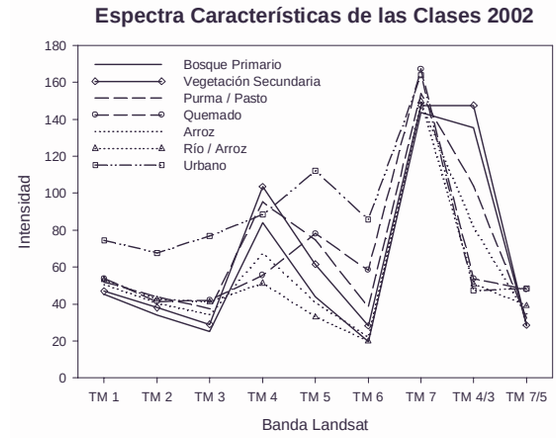


Fig. 2.3: Señales espectrales para las clases de uso de la tierra obtenidas de subsets representativos de la imagen de mosaico de 2002.

estaban agrupados a separarse o cambiar su correspondiente clase espectral. Esto se debe a la variabilidad espectral de la superficie terrestre.

Debido a que el mayor número posible de píxeles debe agruparse en una clase espectral rasonable, se debe escoger un valor adecuado para el rango de la variación, por el cual el número (en este caso el porcentaje) de píxeles en cada clase todavía puede variar. Si menos del número definido de píxeles por clase cambia su clase espectral, entonces, el proceso de iteración para. Este punto también se puede alcanzar definiendo un número máximo de iteraciones.

En este estudio, se usó un subset de 400 por 400 píxeles estrictamente para la clasificación no supervisada. Los máximos y mínimos números de clases espectrales fueron 5 y 25, respectivamente. El número mínimo de píxeles por clase que se permitió como variación se fijó en 5 %. El máximo número de iteraciones se limito a 500.

A continuación se uso información de campo para chequear la plausibilidad de las clases espectrales obtenidas en comparación con la información de las clases. Esta es la parte crucial de la clasificación. En base a la interpretación de imágenes, datos de campo y métodos de separación estadística, se racionalizó el número de clases espectrales para obtener un clasificador mas robusto (señal) para cada clase informativa postulada y presente en el campo. Esta técnica se basa en la capacidad específica del sensor (resolución espectral, espacial y radimétrica) de detectar categorias de uso de la tierra.

Del proceso de racionalization anterior se derivarón clases de información robustas que se presentan en la Fig. 2.2 para la escena tomada en 1999 y en la Fig. 2.3 para la imagen del 2002, respectivamente. También se proporcionan los valores de las proporciones medias de energía reflejada para cada banda del sensor. Adicionalmente, ambas figuras ilustran el nível acentuado de respuesta en las bandas 4 & 5 y también en las bandas 7 & 5, en ambos casos mediante el uso de razones entre bandas.

Claramente se observa que las categorias de uso de la tierra, dominadas por vegetación, muestran una reflexión más alta en la banda 4 que las regiones descubiertas o con poca vegetación. El paso de incremento de la banda 3 a la banda 4 es remarcable y puede ser usado como un indicador típico de detección de vegetación si no se cuenta con datos de campo (efecto de borde rojo). Estas diferencias han sido acentuadas usando la razon entre las bandas 4 y 3 que es un índice de vegetación de uso común. Las diferencias en la banda 5 pueden ser interpretadas como la cantidad de agua disponible en el suelo. Debe indicarse que entre clases correspondientes los valores de reflexion varían considerablemente para la banda 5 para cada fecha de adquisición. Este puede ser un indicador de estres estacional de la vegetación posiblements debido a menor disponibilidad de agua en el suelo. Estos cambios son significativamente evidentes en las últimas dos bandas, mientras que la razon 4/3 también indica la cantidad de clorofila contenida en la vegetación. También es evidente que el relativo nivel de la señal para cada clase es significativamente más alto en 1999 que en el 2002.

2.3.3.2 Clasificación Supervisada

Con la señal de las clases espectrales obtenidas arriba, se llevó a cabo una clasificación supervisada para atribuir categorias pre-determinadas de uso de la tierra a toda la imagen como se muestra en la Fig. 2.2 y en la Fig. 2.3, respectivamente. El uso de una clasificación supervisada en este contexto representa una herramienta adecuada para la separación de píxeles por comparación de su perfil espectral (perfil-z) de la señal y el espacio multiespectral de cualquier pixel en la imagen.

Existen diferentes modelos matemáticos que pueden ser usados con este propósito. En este caso se escogió el método más común de clasificación supervisada, que se basa en un modelo de distribución probabilistica conocido como Clasificación de Máxima Similaridad (MLC). En contraste con los métodos supervisados, MLC es el algoritmo más robusto de clasificación.

Además de usar señales espectrales distinguibles, los resultados confiables de la clasificación se basan en la selección de bandas adecuadas existentes en los datos. Por lo tanto, no es recomendable todas las bandas disponibles o bandas calculadas adicionalmente ya que la diferenciación estadística disminuye arriba de un número determinado de bandas. Más aún, las bandas deben mostrar una distribución normal de píxeles. También es útil evaluar la redundancia de bandas para excluir alguna de ellas. Esto fué hecho mediante el cálculo de una matix de correlación de bandas. En este estudio se usó un MLC con un valor de probabilidad en el orden del 5 % para todas las señales. Todos los píxeles abajo de este valor no fueron clasificados.

2.3.3.3 Post-Proceso

Después de la clasificación se pueden usar diferentes métodos de post-procesamiento para mejorar los resultados obtenidos. Para remover el ruido e implementar en general la exactitud de la clasificación se usó un filtro de 5 x 5 de mayoria de píxeles en los resultados. El propósito de este fué de detectar y borrar píxeles mal clasificados, que no cumplian con el 95 % de probabilidad. Los píxeles aislados o mezclados fueron removidos. Al nivel de escala regional, se justifica el uso de un método de post clasificación para objectos tan pequeños.

El grano opera con el reemplazo del pixel central por un pixel del grano con el valor más alto de la mayoria. Los problemas de clasificación errada restantes fueron corregidos mediante diferentes técnicas de post-proceso como las operaciones de CLUMP y SIEVE.

2.3.3.4 Detección de Cambios

Debido a la intensidad y la variación de la cobertura nubosa se tuvó que determinar las tasa de cambio de uso de la tierra para cada clase en subsets individuales que fueron representativos de cada tipo de cada tipo de uso de la tierra. En consequencia, dos áreas de interés (subsets) fueron escogidas. Una de las áreas representa regiones de uso agrícola mientras que la otra pretende monitorear deforestación.

Para poder obtener resultados precisos de detección en el cambio de uso de la tierra es importante usar imágenes calibradas traducidas en unidades similares. Con la finalidad de detectar variación en el uso de la tierra desde un estado inicial hasta un estado final, el análisis debe comparar el estado inicial de los píxeles en al categoria de uso de la tierra atribuida y su cambio en el estado final. Por lo tanto, los dos mapas de uso de la tierra deben ser descritos y nombrados de manera consistente, lo que significa que se deben escoger clases correspondientes. Más alla de la detección clásica de tan sólo la ubicación del área de cambio, fué posible seguir de forma diferenciada los procesos de cambio hasta la caracterización de la siguiente forma de uso de la tierra. Los dos mapas de uso de la tierra reportados serán discutidos a continuación.

3 Resultados

En cada una de las imágenes de 1999 y del 2002 la clasificacion resultó en siete clases de uso de la tierra que fueron distinguidas de los datos provenientes del scanner LANDSAT™ ETM. Las señales espectrales de estas clases son similares en las dos imágenes, lo cual implica la validéz de una comparación de las clases extraidas para cada clasificación.

Aunque las clses pueden ser distinguidas, esto no significa que el tipo de cobertura descrito por cada clase es igualmente distinguible y homogéneo. Por lo tanto, en el siguiente capítulo se introducirán y describirán las clases extraídas y se presentarán los resultados de la clasificación para cada año, asi como para la evaluación multitemporal del cambio en el uso de la tierra.

3.1 Clases de Cambio de Uso de la Tierra

Las siguientes clases fueron escogidas para cubrir los requisitos del contrato y fueron extraidas de la mejor manera posible de los datos de las imágenes del scanner LANDSAT™ ETM. Los datos colectados en el campo respaldan las clases escogidas que serán descritas a continuación. Para cada clase se presenta una definición, un resumen de las características principales y algunas de las inconsistecias que se encontraron durante la clasificación. La documentación fotográfica de las clases escogidas se puede encontrar en el apéndice 6.2.2.

3.1.1 Bosque Primario

La extensión de la cobertura de los remanentes de bosque primario es un punto importante en la clasificación del uso de la tierra en la región del Alto Mayo. Observaciones recientes han mostrado que inclusive el área del “Bosque de Protección” puede estar siendo afectada por el flujo constante de colonos convirtiendo el bosque natural en áreas agrícolas, cafetales o pasturas.

Ya que casi todo el bosque dentro de una distancia de 10 – 20 km del próximo centro poblado puede ser considerado como disturbado o bajo algún tipo de uso, la definición de bosque primario en este estudio incluye cualquier tipo de bosque de edades mútliples que nunca ha sido rozado.

La clase de bosque primario incluida en este estudio también considera los diferentes biomas encontrados en la región de estudio. Se intentó incluir las categorias de bosque relativamente bajo y de bosque empobrecido, tal como se encuentran en la zona colinosa de las cuencas de los ríos Tioyacu y Avisado, las categorías de bosque premontano en los flancos de las

cordilleras y de los bosques de la llanura aluvial (“renacales” y “aguajales”) que han sido previamente descritos por DIETZ et al. (2002). Esto fué posible debido al denso dosel y a las caracteristicas de vitalidad y saturación del agua de la vegetación, aún dentro de la época seca, cuando las imágenes fueron tomadas. Sólo en el caso del bosque de palmeras o “aguajal” se tuvieron ciertas restricciones.

Los rodales de baja estatura y de dosel abierto que pueden ser considerados bosque primario como es el caso de los “chamizales”, son marginalmente representados en esta clase y pueden ser más bien incluidos en la vegetación secundaria o en la clase de campos abandonados.

3.1.2 Vegetación Secundaria

La vegetación secundaria generalmente crece en campos de cultivo abandonados y por lo tanto puede ser un buen parámetro para evaluar el cambio en el uso de la tierra. La vegetación secundaria se puede presentar en la forma de varios estados sucesionales desde vegetación arbustiva baja hasta bosque secundario.

Para el presente estudio, se escogieron señales que se relacionan a la vegetación secundaria con componentes leñosos, de baja estatura y con una estructura del dosel menos compleja que en un bosque primario.

Estas características se pueden atribuir a la mayoría de bosques secundarios de baja diversidad en la composición de especies, a las purmas o bosques secundarios enriquecidos con especies arbóreas, o a los ya mencionados “chamizales”, que también pueden ser considerados vegetación secundaria y presentar una señal espectral similar durante los periodos mas húmedos del año. Sin embargo, la practica local del cultivo de café dentro de algún sistema agroforestal junto con la Guaba (*Inga* spp.) como árbol de sombra, no corresponde a la intención inicial de esta clase. Debido a que no fué posible separar ningún tipo de cafetal del bosque secundario en la verificación de campo, se ha tenido que incluir a los cafetales dentro de esta clase. Los efectos topográficos también pueden jugar un rol cuando las pendientes cubiertas de bosque primario reciben fuerte radiación solar directa, entonces la vegetación primaria puede aparecer incluida en esta clase.

3.1.3 Campos Abandonados / Pasturas

Los claros antiguos a lo largo de pendiente fuertes de las cordilleras, que generalmnete se encuentran sobre campos de cultivo de arroz abandonado o campos quemados, son convertidos en pasturas. Estas, varían en su morfología de verde exuberante a secas y mustias y parecidas a vegetación herbácea de sabanas. En la mayoria de los casos, los campos de cultivo abandonados en sus primeros estadíos se asemejan en su estructura a este tipo de

cobertura vegetal. La mayoría de campos abandonados son rápidamente cubiertos por una capa densa de helechos (*Pteridium aquilinum*), y localmente estás áreas son conocidas como “shapumbales”.

Por lo tanto, el tipo de cobertura campos abandonados/pasturas incluye todo tipo de gramadales cerrados y vegetacion arbustiva independiente de su uso actual. Inclusive los “chamizales” y los campos de arroz maduro pueden ser asignados a esta clase durante los periodos más secos del año.

3.1.4 Suelo Descubierto / Pajonal

La quema despues de la roza o después de un periodo de descanso, es una practica muy común en la región y está muy relacionada a las actividades agrícolas.

Las áreas que estuvieron ligadas con una fuerte señal típica de suelos descubiertos (rango de banda TM4/3 y 7/5) fuerón asignadas a la clase de suelo descubierto. En consecuencia, esta clase puede contener areas de sobrepastoreo o suelos desecados en la cercanía de centros poblados, en zonas de quemas activas o posiblemente, pero no comprobado, en campos de cultivo recientemente arados. Por lo tanto, los componentes de esta clase son muy dinámicos y pueden cambiar fácilmente con el crecimiento de vegetación. Los “pajonales” localizados a mayores altitudes en el extremo oeste de la cuenca, representan la porción más estática de esta clase. Estos pajonales se caracterizan por su apariencia de praderas altoandinas y vegetación abierta que no esta afectada por actividades humanas. Sin embargo, existe una diferencia entre este tipo de cobertura y los suelos descubiertos localizados en el fondo del valle.

3.1.5 Arroz

El arroz es el cultivo comercial más importante que crece en la base plana del valle del Alto Mayo valley, sobre los ricos suelos aluviales de los princiaples ríos. La cosecha de arroz se lleva a cabo dos veces al año, lo que produce una alta variabilidad entre los estadios de crecimiento de los diferentes campos de cultivo de arroz. Por este motivo fué muy difícil hacer una documentación precisa de este tipo de cobertura vegetal durante el trabajo de verificación de campo y por consequente de atribuirle una sola señal espectral.

A partir de la señal espectral de la clase the cultivo individual de arroz, se puede deducir que es el alto contenido de húmedad de los campos en combinación con las señales de la vegetación joven, los que hacen esta clase distinguible de otras.

3.1.6 Río / Arroz

Los cuerpos de agua naturales observados en la cuenca incluyen los ríos, la laguna Onercocha y algunos lagos dentro del “pajonal”. Loc campos de arroz inundados pueden ser considerados cuerpos de agua potenciales. Esta clase es bastante sólida, ya que las características eapectrales del agua son muy distintvas. Sólo en términos de una evaluación agrícola, las áreas clasificadas ha sido ligeramente exagerada por el área de superficie del río.

3.1.7 Áreas Urbanas

Las áreas urbanas se caracterizan por una estructura fina y muy agregada de la superficie, que es altamente reflectiva. Estas se pueden distinguir claramente de sus alrededores con los datos dispobnibles de LANDSAT™. El único problema de clasificación se puede presentar cuando existe nubosidad en pequeña escala.

3.1.8 Áreas No-Clasificadas

Las áreas que se encontrarón cubiertas por nubes, sombras o que fueron enmascaradas por alguna razón, no fueron incluidas en la clasificación y pertenecen a la categoría de areas no clasificadas. Todos los otros píxeles no clasificados no pudieron ser atribuidos a alguna de las clases existentes con un nivel de significancia del 95 %.

3.2 Uso de la Tierra en el 1999

De los resultados de la clasificación (Tab. 3.1), se calculó el uso de la tierra en 1999 para el área de la cuenca del Alto Mayo.

El bosque primario fué clasificadosobre un área de 340,043 has. Este valor es conservador, debido a que la imagen usada para la clasificación de 1999 presentaba 33.9 % de cobertura de nubes y además extensas áreas de topografía accidentada que presentaban bosque primario estaban también completamente cubiertas de nubes. Un valor máximo estimado para la extensión del bosque primario sería de 611,592 has para toda la cuenca bajo la ireal suposición de que todas las nubes de la imagen están cubriendo áreas de bosque primario. Se usó la distribución proporcional de las clases para estimar el área total cubiert por cada clase en la cuenca del Alto Mayo. Como resultado, se obtuvó un área total de 519,398 ha bosque pimario (indicada como "calculado" en la Tab. 3.1) cubriendo 64.9 % del área de la cuenca.

La vegetacion de bosque secundario (que incluye a los cafetales bajo el tipo de uso actual) y un pequeña proporción de los bosques montanos superiores ocuparón el 26 % del área del

Tab. 3.1: Clases estadísticas para la clasificación de uso de la tierra de 1999.

1999 Clase	Clasificado* (ha)	Calculado** (ha)	Área % Cuenca Alto Mayo
Bosque Primario	340043	519398	64.9
Vegetación Secundaria	136475	208458	26.0
Purma / Pasto	19848	30317	3.8
Suelo / Pajonal	18469	28211	3.5
Arroz	3582	3582	0.4
Río / Arroz	9241	9241	1.2
Áreas Urbanas	1042	1042	0.1
Agricultura[1)]	31292	41034	5.1
Agricultura max[2)]	51141	71351	8.9
Tierra Intervenida[3)]	187616	279809	35.0
Bosque Primario max[4)]	611592		
Nubes[5)]	271549		33.9
Clasificado	528701		66.1

* = Solo áreas clasificadas (área del Alto Mayo sin nubes)

** = después de la compensación de las áreas nubladas en base a la distribución de las clases

[1)] Río/Arroz + Arroz + Suelo/Pajonal [2)] Agricultura + Purma/Pasto [3)] Agricultura max + Vegetación Secundaria

[4)] Bosque Primario + Nubes [5)] Áreas no clasificadas

Alto Mayo. La clase purma/pasto cubrió el 3.8 % y la calse suelo/pajonal, que se encuentra principalmente en las montañas formando un paisaje de gramadal andino, cubrió el 3.5 %, Esta clase se ubica mayormente en las mayores elevaciones de la parte SO de la cuenca. Los campos de cultivo de arroz y los cuerpos de agua juntos ocuparon el 1.6 % y las áreas urbanas sólo cubrieron el 0.1 %.

Si se considera el nivel de intervención humana (tierra intervenida) en 1999 dentro del área de la cuenca del Alto Mayo, la suma de las áreas agrícolas, purmas, pasturas y vegetación secundaria resulta en 279,809 ha lo que corresponde al 35 % de toda el área.

3.3 Uso de la Tierra en el 2002

Los resultados de la clasificación del uso de la tierra para el 2002 en la cuenca del Alto Mayo se muestran en la Tab. 3.2.

El bosque primario se clasificó de manera positiva ocupando un área de 163,683 ha. Debido a que la ocurrecia de nubes en la imagén del 2002 fué aun más alta (52.5 %) que en la imagen de 1999 (33.9 %), el área clasificada esta por debajo del mínimo estimado. El limíte máximo teorético de la clasificación de la imagen para el bosque primario en el 2002 sería de 583,718 ha. Usando el método de distribución proporcional de clases para extrapolar el área total estimada para cada clase en la cuenca del Alto Mayo, se obtuvó un área estimada

Tab. 3.2: Clases estadísticas para la clasificación de uso de la tierra del 2002.

2002 Clase	Clasificado* (ha)	Calculado** (ha)	Área % Cuenca Alto Mayo
Bosque Primario	163683	357000	44.6
Vegetación Secundaria	143054	312007	39.0
Purma / Pasto	35357	77114	9.6
Suelo / Pajonal	13553	29561	3.7
Arroz	14230	14230	1.8
Río / Arroz	8294	8294	1.0
Áreas Urbanas	2043	2043	0.3
Agricultura[1)]	36078	52085	6.5
Agricultura max[2)]	71435	129200	16.1
Tierra Intervenida[3)]	214489	441207	55.1
Bosque Primario max[4)]	583718		
Nubes[5)]	420035		52.5
Clasificado	380215		47.5

* = Solo áreas clasificadas (área del Alto Mayo sin nubes)

** = después de la compensación de las áreas nubladas en base a la distribución de las clases

[1)] Río/Arroz + Arroz + Suelo/Pajonal [2)] Agricultura + Purma/Pasto [3)] Agricultura max + Vegetación Secundaria

[4)] Bosque Primario + Nubes [5)] Áreas no clasificadas

(indicada como "calculado" en la Tab. 3.2) para el bosque primario de 357,000 ha lo que representa el 44.6 % del área total de la cuenca.

La vegetacion de bosque secundario (que incluye a los cafetales bajo el tipo de uso actual) y un pequeña proporción de los bosques montanos superiores ocuparón el 39 % del área del Alto Mayo. La clase purma/pasto cubrió el 9.6 % y la calse suelo/pajonal, que se encuentra principalmente en las montañas formando un paisaje de gramadal andino, cubrió el 3.7 %. Esta clase se ubica mayormente en las mayores elevaciones de la parte SO de la cuenca. Los campos de cultivo de arroz y los cuerpos de agua juntos ocuparon el 2.8 % y las áreas urbanas sólo cubrieron el 0.3 %. El nivel de intervención en el 2002 dentro de la cuenca del Alto Mayo llegó a 441,207 ha que representa el 55.1 % del área total.

3.4 Cambio de Uso de la Tierra en la Cuenca del Alto Mayo

Se calculó una matriz de cambio espacial en el uso de la tierra entre 1999 y el 2002 para toda el área de la cuenca del Alto Mayo (Tab. 3.3). Estos valores se expresaron tanto como (1) el porcentaje del área que cambió en cada clase desde 1999 y (2) a que clase esta área fue asignada en el 2002. Los valores en paréntesis representan el área que permaneció en la misma clase en el período entre 1999 y el 2002 y se asume de manera conservativa que las áreas no clasificadas en 1999 permanecieron en la misma clase. Cambios en el orden del 1 % o menos fueron considerados insignificantes en base a los errores de la clasificación y a las

Tab. 3.3: Matriz de cambio en la clasificación de clases de uso de la tierra entre 1999 y 2002 para la cuenca del Alto Mayo.
Los valores representan el porcentaje del área que ha cambiado en cada clase desde 1999 y a que clase esta área ha sido asignada en el 2002. Los números en paréntesis representan el área que se mantuvó en la clase original de 1999, bajo el supuesto de que todas las áreas no clasificadas en 1999 permanecieron asi en la clasificación del 2002.

2002 \ 1999	Bosque Primario	Vegetación Secundaria	Purma / Pasto	Suelo / Pajonal	Arroz	Río / Arroz	Áreas Urbanas	No Clasificado
	%							
Bosque Primario	**34.8** (85.3)	6.5	0.7	1.7	1.1	3.0	0.5	4.3
Vegetación Secundaria	12.4	**50.1** 77.4)	13.6	15.0	9.9	11.3	2.3	3.1
Purma / Pasto	0.7	12.0	**38.2** (57.1)	8.8	19.2	7.7	3.4	0.7
Suelo / Pajonal	0.6	2.0	11.0	**19.7** (65.4)	3.3	4.2	2.1	0.3
Arroz	0.9	1.2	11.6	1.7	**29.6** (49.8)	17.3	2.8	0.5
Río / Arroz	0.1	0.7	5.7	3.7	16.1	**34.2** (56.2)	3.5	0.2
Áreas Urbanas	0.0	0.1	0.4	3.7	0.6	0.4	**74.4** (85.5)	0.0
No Clasificado	50.5	27.4	18.9	45.8	20.2	21.9	11.1	**90.9**

incertidumbres espaciales. Las áreas correspondientes a la matriz han sido listadas en la sección de apéndices de este reporte.

El bosque primario perdió 14.7 % de su área entre 1999 y 2002. La mayor pérdida se produjo en un 12.4 % de su área en 1999 pasando a la clase de vegetación secundaria. Esto refleja el aumento en el número de área rozadas para el cultivo de café en el Alto Mayo. Solo una pequeña parte del cambio puede corresponder a errores de calsificación debido a las diferentes fechas de toma de las imágenes usadas. La transformación de bosque primario a áreas agrícolas productivas fué de sólo 0.9 % del área siendo usada para el cultivo de arroz. Todos los otros cambios de bosque primario a alguna de las clases restante de tipo de cobertura fueron insignificantes y menores que el 1 %. Se debe mecionar que 50.5 % de la clase de bosque primario fueron inicialmente areas no clasificadas debido a la alta incidencia de nubes y que se encontraron ubicadas en regines montanas altas.

El 77.4 % de la vegetación secundaria permaneción en la misma clase entre 1999 y 2002. El 12 % de la vegetación secundaria continuó hasta convertirse en purma o en pastura. La conversión a suelo descubierto fué de 2 %. No se puede decidir si este rango se debió principalmente a uso agrícola o áreas quemadas que posteriormente se trasnformarán en suelos inproductivos o regiones deforestadas. Solo el 1.9 % de la vegetación secundaria fué transformada otra vez a campos agrícolas para la producción de arroz.

La clase de cobertura vegetal purma/pasto se mantuvo intacta hasta el 2002 para el 57.1 % del área cubierta en 1999. La transformación a campos de cultivo de arroz (17.3 %) fué alta. Aún más alto fué el nivel de conversión a vegetación secundaria (13.6 %) y a la clase suelo/pajonal (11 %). Se asume que no ocurrieron cambios significativos en los pajonales naturales de las áreas montanas altas. En consecuencia, la mayoría de procesos de transformación de purma/pasto a suelo/pajonal mencionados arriba fueron a suelos descubiertos que generalmente habían sido quemados.

La clase suelo/pajonal presentó un alto porcentaje (45.8 %) de áreas que inicialmente no fueron clasificadas. Esto se puede deber a la lata incidencia de nubes en la región montana de

las pendientes SO de la cuenca del Alto Mayo. Este efecto de variación en la cobertura de nubes oscureciendo la región montana es especiamente notable en las dos tablas coloridas de clasificación III y IV del apéndice.

Las clases arroz (49.8 %) y río/arroz (56.2 %) cambiaron en casi la mitad de su área durante los tres años de evaluación. Entre las dos clases, que se distinguen principalmente por el estado de inundación de los campos de arroz al tiempo de la toma de las escenas, el inetrcambio en el uso de la tierra fué de 16.4 y 17.3 % respectivamente. Esto confirma que las dos clases en realidad describen diferentes cultivos de arroz. El 19.2 % (7.7 %) de los campos de arroz (río/arroz en paréntesis) en 1999 se trasnformaron en purma/pasto mientras que el 9.9 % (11.3 %) se convirtió en vegetación secundaria.

3.4.1 Cambio de Uso de la Tierra en Areas de Bosque Primario

Tal como se mencionó en el capítulo 3.4 arriba, la mayor fuente de problemas para la clasificación en el Alto Mayo es la presencia constante de nubes, especialmente en areas montañosas, en cada imagen. Esto dificulta la evaluación multitemporal de los tipos de cobertura vegetal. Los bosques primarios se encuentran en áreas remotas de la Cordillera Cahuapanas y en las montañas altas del Bosque de Proteccion Alto Mayo que limita al norte y al oeste con el valle del Alto Mayo. Areas más pequeñas con remanentes de bosque primario se encuentran sobre zonas edáficas difíciles para los cultivos agrícolas, como son los Aguajales y Renacales inundados en el territorio de las Comunidades Nativas.

Para compensar el efecto de la variación en la cobertura de nubes entre imágenes multitemporales, se escogieron dos subsets con extensas areas libres de nubes en las imagénes de 1999 y 2002. Uno de los subsets se usó para representar áreas donde el bosque primario predominaba. El segundo subset (a ser discutido en la sección 3.4.2) se usó para representar áreas de uso agrícola.

El subset con dominancia de bosque primario cubrió un área de aprox. 53,000 has y fué dividido en seis secciones para representar todos los tipos de bosque primario existentes en la región del Alto Mayo (Valle de Ochique, Jepelacio, Aguajal-Tingana, Bosque de Protección-Aguas Verdes). La matriz de cambio en las clases de uso de la tierra se presenta en la Tab. 3.4.

Debido a que casi no se presentaron nubes en el subset en 1999 y 2002 la clasificación directa fue representativa de las áreas. Solo el 10.6 % de la vegetación secundaria y el 7.6 % del bosque primario no pudo ser clasificado un una o en las dos imágenes.

El 87.3 % del bosque primario se mantuvo intacto en el subset analizado durante el periodo de los tres años, 11 % se transformó en vegetación secundaria. El 70 % de la vegetación secundaria existente no fue modificado, mientras que el 24.3 % fué reclasificado como bosque

Tab. 3.4: Matriz de cambio en la clasificación de clases de uso de la tierra entre 1999 y 2002 para el área de bosque primario en la cuenca del Alto Mayo.
Los valores representan el porcentaje del área que ha cambiado en cada clase desde 1999 y a que clase esta área ha sido asignada en el 2002. Los números en paréntesis representan el área que se mantuvó en la clase original de 1999, bajo el supuesto de que todas las áreas no clasificadas en 1999 permanecieron asi en la clasificación del 2002.

2002 \ 1999	Bosque Primario	Vegetación Secundaria	Purma / Pasto	Suelo / Pajonal	Arroz	Río / Arroz	Áreas Urbanas	No Clasificado
	%							
Bosque Primario	**79.7** (87.3)	24.3	3.6	12.0	0.1	9.9	2.6	0.1
Vegetación Secundaria	11.0	**59.4** (70.0)	41.3	64.1	30.1	11.9	3.8	0.0
Purma / Pasto	0.5	3.6	**20.5** (29.0)	6.0	13.5	2.7	4.7	0.0
Suelo / Pajonal	0.6	0.9	1.2	**2.7** (14.9)	2.5	0.4	5.1	0.0
Arroz	0.4	0.6	13.3	1.0	**29.5** (37.0)	6.7	0.0	0.0
Río / Arroz	0.2	0.5	11.5	1.2	16.6	**60.2** (68.4)	17.4	0.0
Áreas Urbanas	0.0	0.0	0.1	0.7	0.3	0.0	**40.0** (66.4)	0.0
No Clasificado	7.6	10.6	8.5	12.2	7.5	8.2	26.4	**99.9**

primario indicando un aumento en la densidad del dosel y en el crecimiento de los árboles. Solo el 3.6 % de la vegetación secundaria se transformó en purma/pasto.

Las clases purma/pasto, suelo/pajonal fueron representadas de forma esparcida en el subset. En consecuencia, sus cambios relativos no reflejan efectos significativos de cambio de uso de la tierra en el subset. Sólo el 29 % de purma/pasto, permaneció en la misma clase después de los tres años y el 41.3 % se transformó en vegetación secundaria. Esto confirma la misma tendencia de crecimiento de bosque secundario sobre áreas previamente usadas y abandonadas. El 24.8 % de la clase purma/pasto se convirtió en campos de arroz y la clase suelo/pajonal fué bastante variable. Sólo el 14.9 % se mantuvo en la misma clase en el 2002 y el 64.1 % se convirtió en vegetación secundaria. El 12 % paso a la clase de bosque primario denso. No se tiene ninguna explicación para estos resultados peculiares.

La tasa anual de deforestación en la cuenca del Alto Mayo fué calculada de acuerdo a tres métodos. El incremento anual de la deforestación que se basa en el área restante para el año 1999 fué calculado a partir de estos valores y fué comparado con los resultados de los subsets.

El cambio en el tipo de cobertura vegetal se cálculo de acuerdo a los siguientes métodos:

(1) El uso directo de la clasificación resultante, excluyendo todas las áreas donde la clasificación fué imposible debido a la presencia de nubes. Este método presenta el problema de un fuerte bias hacias áreas con intervención humana como son los fondos de los valles y sobreestimando el valor de la tasa de deforestación. De acuerdo a este método la tasa anual de deforestación para el la cuenca del Alto Mayo es de 7.3 % con un incremento anual de 17.3 %.

Tab. 3.5: Valores estimados de cambio en el uso de la tierra de acuerdo a diferentes métodos.
En base a 1) el resultado de la clasificación, 2) la cobertura de bosque interpolada para áreas cubiertas por nubes y 3) el máximo valor supuesto de cambio mínimo. Se presentan las diferencias entre los valores obtenidos para 1999 y para el 2002. La tasa anual de deforestación se calcula a partir de estos valores y se compara con el valor obtenido mediante el método de subsets.

	Bosque Primario						Deforestación		
	1999		2002		Δ Área / 3 años		Tasa Anual Alto Mayo	Incremento Área 1999	Incremento Subset
	ha	%	ha	%	ha	%	%		
Clasificado*	340043	42.5	163683	20.5	176360	22.0	7.3	17.3	-
Calculado**	519398	64.9	357000	44.6	162398	21.3	7.1	10.4	-
Max***	611592	76.4	583718	72.9	27874	3.5	**1.2**	**1.5**	**4.2**

* = en base de todos los pixeles clasificado, sin nubes
** = calculado por todo el Alto Mayo para compensar el efecto de las nubes, según la distribución de las clases obtenidas
*** = incluye la área clasificada como bosque primario y todas la área no clasificada (nubes)

(2) La interpolación de la extensión del área de bosque en regiones cubiertas por nubes. Este método proporciona un límite superior para el valor estimado de la tasa de deforestación en el Alto Mayo, que fué calculado en 7.1 % con un incremento anual de 10.4 %.

(3) El máximo supuesto de cambio mínimo en la extensión del bosque entre las clasificaciones de 1999 y 2002. Este método usa el límite más bajo de la tasa de deforestación en la cuenca del Alto Mayo. El valor estimado de la tasa anual de deforestación usando este método fué de 1.2 % con un incremento anual de 1.5 %.

Se puede asumir que el valor real de la tasa annual de deforestacion en el Alto Mayo se encuentra entre los valores mínimo y máximo de la Tab. 3.5, y esta más cerca al mínimo estimado. Mientras no se disponga de imágenes libre de nubes o métodos alternativos (independientes del clima) para la representación de toda el área del Alto Mayo, los valores estimativos más precisos de la tasa de deforestación pueden ser obtenidos por medio del análisis de subsets representativos del área y libres de nubes. El ánalisis bi-temporal aqui presentado para el área del bosque del Alto Mayo mostró un incremento anual de la deforestación del 4.2 %.

3.4.2 Cambio de Uso de la Tierra en Areas de Uso Agrícola

Para obtener estimaciones exactas de cambios en el uso de la tierra en áreas agrícolas de la cuenca del Alto Mayo, se escogió un subset correspondiente al área del fondo del valle al SO del Rio Mayo. Este subset solo presentó un pequeño componente de nubosidad en las dos imágenes de 1999 y del 2002. La mayoria de las áreas en el fondo del valle del Alto Mayo se encuentra bajo algún tipo de parctica agrícola. Solo en la parte NO del valle cerca a la región del Cerro Tambo, varias comunidades nativas poseen remanentes de bosque primario. La

Tab. 3.6: Matriz de cambio en la clasificación de clases de uso de la tierra entre 1999 y 2002 para las áreas de orientación agrícola en el fondo del valle del Alto Mayo.
Los valores representan el porcentaje del área que ha cambiado en cada clase desde 1999 y a que clase esta área ha sido asignada en el 2002. Los números en paréntesis representan el área que se mantuvo en la clase original de 1999, bajo el supuesto de que todas las áreas no clasificadas en 1999 permanecieron así en la clasificación del 2002.

2002 \ 1999	Bosque Primario	Vegetación Secundaria	Purma / Pasto	Suelo / Pajonal	Arroz	Río / Arroz	Áreas Urbanas	No Clasificado
	%							
Bosque Primario	**36.1** (54.4)	0.6	0.7	0.3	1.1	1.5	0.1	0.1
Vegetación Secundaria	35.0	**50.7** (57.9)	11.1	14.1	9.5	11.7	1.2	0.7
Purma / Pasto	4.8	30.8	**42.4** (57.7)	32.5	19.5	12.2	5.4	1.8
Suelo / Pajonal	2.0	4.4	9.5	**14.6** (24.2)	3.3	3.3	0.9	0.5
Arroz	2.6	3.5	12.8	3.5	**28.2** (49.1)	24.6	2.6	0.8
Río / Arroz	1.1	2.4	7.7	8.9	16.8	**28.6** (46.0)	2.9	0.7
Áreas Urbanas	0.1	0.4	0.5	16.5	0.7	0.7	**84.6** (86.9)	0.1
No Clasificado	18.3	7.2	15.3	9.6	20.9	17.5	2.2	**95.5**

cobertura de nubes en el fondo del valle es significativamente menor que la que se observa en las regiones montañosas de la Cordillera Cahuapanas y al NO del valle. Dentro del valle sólo la región del Morro de Calzada también presenta nubosidad frequente.

El 57.9 % del área del bosque secundario se mantuvó intacta. El 30.8 % se convirtió en purma/pasto y el 4.4 % en suelo descubierto, mientras que el 5.9 % paso a ser campos de arroz. Dentro de la clase purma/pasto el 57.7% se mantuvo en la misma clase y el 20.5 % se convirtió en campos e cultivo de arroz. El 11.1 % paso a ser vegetación secundaria y el 9.5 % suelo escubierto, muy probablemente quemado (Tab. 3.6).

El área del subset de uso agrícola en el valle del Alto Mayo (Tab. 3.7) presentó en 1999 36.9 % de área cubierta por vegetación secundaria, 34.4 % por purma/pasto, 21.3 % por campos de cultivo de arroz y 7.4 % fueron suelos descubiertos. En los tres años hasta el 2002, la vegetación secundaria aumentó en 12 % indicando una fuerte tendencia hacia el abandono de áreas de cultivo. La clase purma/pasto disminuyó en 6.8 % y los cultivos de arroz en 3.6 % También las áreas de suelo descubierto o áreas quemadas disminuyeron en 1.6 %.

El aumento en el crecimineto de la vegetación secundaria en el subset, también es visible en los dos diagramas de las Fig. 3.1 y Fig. 3.2 que muestran el cambio relativo en las clases asignadas a tierras disturbadas tomadas del subset de 1999. Es bastante evidente que el aumento en la vegetación secundaria sólo puede ser atribuido al establecimiento de cafetales

Tierra Intervenida	1999	2002	
	%		Δ %
Vegetación Secundaria	36.9	48.9	12.0
Purma / Pasto	34.4	27.6	-6.8
Suelo / Quemado	7.4	5.8	-1.6
Arroz	11.9	7.2	-4.8
Río / Arroz	9.4	10.5	1.2

Tab. 3.7: Estadísticas de las clases de cambio de uso de la tierra designadas entre 1999 y 2002 en el subset de agricultura.

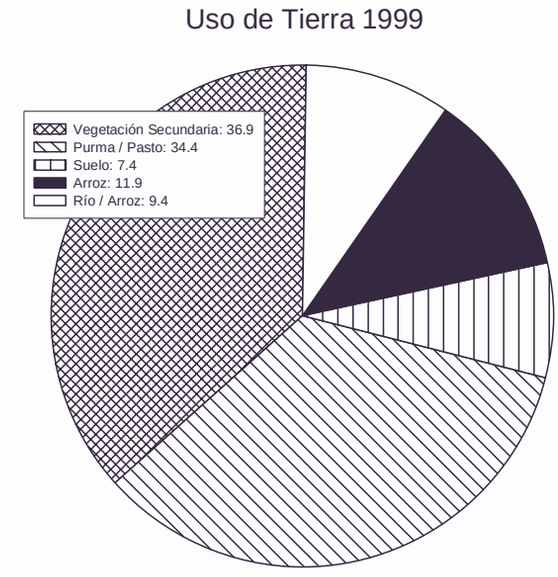


Fig. 3.1: Cambio relativo en las clases atribuido a areas disturbadas (100 %) tomadas del subset respectivo para 1999.

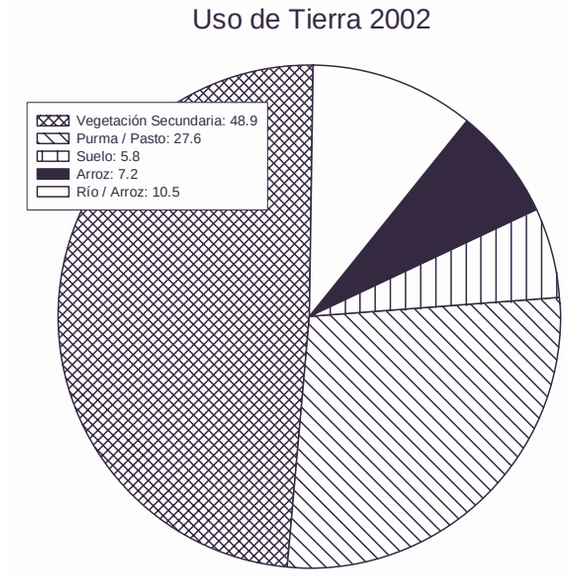


Fig. 3.2: Cambio relativo en las clases atribuido a areas disturbadas (100 %) tomadas del subset respectivo para 2002.

que generalemnet no son frecuentes en el fondo del valle. La tierra de cultivo agrícola (principalmente arroz) disminuyó levemente de 27.7 % a 23.5 % confirmando el hecho de que la mayoría de suelos aptos para el cultivo de arroz estan actualmente bajo uso. Más bien parece que la extensión del area de purmas y pastos se ha reducido, mientras que el área de vegetación secundaria está aumentando debido a la menor intensidad en el uso de la tierra en suelos menos favorables o suelos sobre-explotados del fondo del valle.

4 Conclusiones

Se uso una distribución proporcional de clases para poder extrapolar al área total estimada en el 2002 para cada clase de cobertura vegetal en la cuenca del Alto Mayo. El áre total estimada para el bosque primario de 357,000 ha representa el 44.6 % del área de la cuenca. La vegetación secundaria (incluyendo los cafetales) y en menor proporción los bosques montanos altos, cubrieron el 39 % del área del Alto Mayo. La clase purma/pasto cubrió 9.6 % y la clase suelo/pajonal, que se encuentra principalmente en las montañas formando un paisaje de gramadal andino, cubrió el 3.7 %. Los campos de cultivo de arroz y los cuerpos de agua juntos cubrieron el 2.8 % y las áreas urbanas tan solo cubrieron el 0.3 %. El nivel de intervención en el 2002 dentro de la cuenca del Alto Mayo llegó a 441,207 ha que representa el 55.1 % del área total.

El bosque primario perdió 14.7 % de su área entre 1999 y 2002. La mayor pérdida se produjo en un 12.4 % de su área en 1999 pasando a la clase de vegetación secundaria. Esto refleja el aumento en el número de área de cafetales en el Alto Mayo. La transformación de bosque primario a áreas agrícolas productivas fué de sólo 0.9 % del área siendo usada para el cultivo de arroz.

El 77.4 % de la vegetación secundaria permaneción en la misma clase entre 1999 y 2002. El 12 % de la vegetación secundaria continuó hasta convertirse en purma o en pastura. La conversión a suelo descubierto fué de 2 %. No se puede decidir si este rango se debió principalmente a uso agrícola o áreas quemadas que posteriormente se trasnformarán en suelos inproductivos o regiones deforestadas. Solo el 1.9 % de la vegetación secundaria fué transformada otra vez a campos agrícolas para la producción de arroz.

El nivel más bajo de deforestación anual estimado para el Alto Mayo es 1.2 % con un incremento annual de 1.5 %. El límite superior de la tasa de deforestación entre 1999 y 2002 fué de 7.1 % con un incremento annual de 10.4 %. Se puede asumir que la tasa de deforestación real se acerca más al mínimo valor estimado. La mejor estimación para la tasa de deforestación en el Alto Mayo se derivó de un subset de imágesnes libre de nubes. Se obtuvo, entonces un valor de 4.2 %. Estos valores de deforestación son mucho más altos que los valores reportados en 1987 por APECO (1995) para las provincias de San Martín (0.79 %) y Rioja (1.3 %) que representan la mayor parte de la cuenca del Alto Mayo.

El estudio de APECO asume que la tasa de deforestación seha reducido desde los 80s y que presentó un valor de 0.55 % en 1993. Con los resultados del presente estudio podemos concluir que los valores reportados por APECO parecen ser demasiado bajos y que el nivel de deforestación actual es más alto. Sospechamos que dos factores podrían explicar la sub-estimación del actual nivel de deforestación:

(1) El estudio de APECO se basó en datos provenientes de inventarios y material estadístico y no en la observación directa de imágenes de sensores remotos, lo cual representa que sólo las áreas más accesibles de la cuenca fueron incluidas. Estas áreas son las que han sufrido deforestación a inicios de los 80s.

(2) La tasa de deforestación muy probablemente ha aumentado en la cuenca del Alto Mayo en los últimos años debido al fuerte incentivo por el cultivo de café a fines de los 90s. El flujo de colonos, especialmente a lo largo de los límites del Bosque de Protección hacia regiones montanas que anteriormente eran poco atractivas pero que actualmente son usadas para el cultivo de café, ha ocacionado la deforestación del bosque primario. Este es un proceso que actualmente continua.

Desde el punto de vista de la metodología y para los valores estimados de las áreas derivados de la clasificación de las imágenes de Landsat de 1999 y del 2002, se puede concluir que (a) una extrapolación representativa para el área a partir de la clasificación fué difícil debido a la alta incidencia de nubes en todas las imágenes disponibles (b) la extrapolación de clases en base a la distribución proporcional de las mismas presenta bias debido a las variaciones a nivel regional en la distribución de de clases en el paisaje y (c) el uso de imágenes obtenidas bajo condiciones diurnas y estacionales diferentes (se usarón cuatro imágenes, dos para cada mosaico) presenta bias adicionales en la atribución de clases.

Para imágenes ópticas como las imágenes de Landsat TM y ETM+ es imposible corregir los bias mencionados en (a), muy difícil en el caso (c) y en el caso (b) se requiere de bastante imformación de campo actualizada. De todas las imágenes Landsat disponibles para el Alto Mayo desde fines de los 70s hasta el 2002, que revisamos debido al nivel de cobertura de nubes, sólo una escena fué casi perfecta con tan sólo 5 % de cobertura. Esto demuestra la dificultad en usar imágenes ópticas para estudios multitemporales de detección en el cambio de uso de la tierra en área con alta incidencia de nubes como son las área ubicadas al este de la faja subandina.

La clasificación de Landsat es una herramienta muy útil para la determinación de la distribución de clases deuso de la tierra y cambios en estas, especialmente cuando se pueden obtener imágenes libres de nubes durante la época de crecimiento de la vegetación. Sin embargo el uso de esta metodología es limitado en áreas de nubosidad frequente como en la región del Alto Mayo. La transformación de bosque primario en bosque secundario y campos agrícolas se hace difícil de monitorear debido a que las área de bosque primario remanentes, como el Bosque de Proteccion Alto Mayo, se encuentran en terreno montañoso muy accidentado aumentando los problemas del efecto de la topografía y el sombreado.

5 Literatura

APECO (1995): Bases Para La Gestion de los Recursos Naturales Y Elaboracion de un Paln de Ordenamiento Territorial; de La region San Martin. Nov. 1995. Asociacion Peruana para la conservacion de la naturaleza.

AXION SPATIAL IMAGING LTD. (1997): bhv SAT CD-ROM Weltatlas.- bhv Verlag Kaarst

BÖRNER, A. (2000): Classification of premontane tropical forests at the eastern slope of the Andes in the Río Avisado watershed, Alto Mayo Region, Northern Perú.- Diploma thesis, University of Bayreuth

DEMPEWOLF, J. (2000): Classification of montane rain forests on the eastern slopes of the Peruvian Andes in the Río Avisado and Río Tioyacu watersheds.- Diploma thesis, University of Bayreuth

DIETZ, J., DEMPEWOLF, J., BÖRNER, A., METTE, T., PERISUTTI, A. & ZIMMERMANN, R. (2002): Ecological Classification of Pristine Premontane Vegetation in the Alto Mayo Valley, Peru.- In: BUSSMANN, R.W. & LANGE, S. (Eds.): Conservation of Biodiversity in the Andes and the Amazon.- INKA, München: 177-184

FOODY, G.M. & HILL, R.A. (1995): Classification of tropical forest classes from LANDSAT TM data.- Taylor & Francis, London

HUANG, C., WYLIE, D., JANG, L., HOMER, C. & ZYLSRA G. (2002): Derivation of a Tasseled Cap Transformation based on Landsat 7 AT-Satellite reflectance.- Intl. Journal of Remote Sensing **7**(8): 1741-1748

INADE-PEAM (1999): El Sistema de Información Geográfica en el Alto Mayo.- Instituto Nacional de Desarollo, Moyobamba

INRENA (1995): Mapa Forestal del Peru 1 : 1 000 000.- Ministerio de Agricultura Peruano, Lima

INRENA (1996): Guía Explicativa del Mapa Forestal 1995.- Ministerio de Agricultura Peruano, Lima

KLENKE, M. (1999): GIS-gestützte Landnutzungsklassifikationen auf Grundlage von Daten passiver und aktiver Fernerkundungssensoren zur distributiven Flußeinzugsgebiets-modellierung.- Jenaer Geographische Schriften **8**, FSU, Jena

METTE, T. (2001): Forest structure and water use of two contrasting premontane forests of the Cerro Tambo, Alto Mayo, North Peru.- Diploma Thesis, University of Bayreuth

MUÑOZ, F.J. (2000): Elaboración de cartografía de cobertura de vegetación y usos del suelo sobre la Tona de Amortiguamiento del Bosque de Protección de Alto Mayo (Perú) a partir de imágenes LANDSAT 7-ETM.- Córdoba

RICHARDS, J. A. & JIA, X. (1999): Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction.- Springer, Berlin

SPITTLER, P., VILLEGAS, J. & RAMOS, D. (2002): Inventario Forestal en la Comunidad Nativa Huascayacu, Alto Mayo, Perú.- Cooperación PEAM-KfW-GTZ-DED, Moyabamba

YOUNG, K.R. (1992): Biogeography of the montane forest zone of the eastern slopes of Peru.- In: YOUNG, K.R.; VALENCIA, N. (Eds.): Biogeografía, ecología y conservación del bosque montano en el Perú. – (Lima) **21**: 119-154

6 Apéndice

6.1 Documentación

Tab. 6.1: Coordenadas de todos los puntos de control de campo tomados entre enero y marzo 2003.

ID-No.	No. GPS	UTM X	UTM Y	ID-No.	No. GPS	UTM X	UTM Y	ID-No.	No. GPS	UTM X	UTM Y	ID-No.	No. GPS	UTM X	UTM Y
1	11	270822.4	9333613.7	103	102	291464.3	9339589.1	206	206	210505.3	9376969.2	308	318	265857.6	9311797.3
2	2	263221.6	9343211.6	104	103	291409.0	9339882.0	207	207	209165.9	9374806.5	309	319	265839.6	9311042.8
3	3	262956.3	9340221.6	105	104	291342.6	9340177.1	208	209	226222.7	9364083.4	310	319	265839.6	9311042.8
4	4	262827.3	9335515.4	106	105	291532.6	9340642.3	209	211	234703.9	9357456.8	311	320	270749.2	9321805.2
5	13	262827.3	9335515.4	107	106	291591.1	9341349.2	210	212	279239.3	9334833.0	312	320	270749.2	9321805.2
6	29	263460.0	9320580.8	108	107	292034.6	9341524.4	211	213	279203.9	9335126.0	313	322	266070.0	9310450.8
8	30	261381.3	9326219.7	109	108	292100.8	9341907.3	212	214	279000.2	9336036.7	314	323	267128.6	9308434.0
9	1	271254.5	9332991.5	110	109	291720.7	9342636.0	213	215	278850.4	9336734.1	315	324	267156.1	9308207.4
10	5	272054.4	9332864.0	111	110	291507.7	9342766.9	214	216	278353.8	9337461.2	316	325	267687.3	9306018.1
11	9	271762.0	9332898.3	112	111	291402.4	9343423.5	215	217	277684.1	9338310.4	317	327	268008.6	9305113.5
12	14	260679.4	9334810.0	113	112	290755.2	9344555.0	216	217	277684.1	9338310.4	318	328	267918.5	9304124.2
13	18	260118.5	9333556.6	114	113	289843.5	9344946.7	217	218	277309.4	9338411.9	319	329	268048.3	9303494.2
14	19	259883.2	9332574.5	115	114	290202.0	9344709.0	218	218	277309.4	9338411.9	320	330	267669.4	9303865.4
15	20	259789.2	9332262.2	116	115	290023.2	9343894.4	219	219	276895.0	9339071.9	321	331	267578.4	9306944.7
16	21	260080.6	9329429.2	117	117	289807.5	9343811.8	220	220	276350.7	9339235.8	322	332	267052.4	9307553.2
17	25	262704.3	9321009.2	118	116	289596.7	9343616.4	221	224	275001.5	9339304.9	323	333	266752.2	9307620.6
18	7	254751.8	9337353.9	119	118	289715.7	9343140.1	222	225	274691.5	9339577.0	324	334	266629.2	9307637.8
19	9	254896.3	9337506.0	120	118	289715.7	9343140.1	223	226	273058.5	9339739.1	325	335	266245.1	9308192.6
20	10	254854.2	9338070.0	121	119	289685.4	9342944.2	224	227	272772.9	9339704.8	326	336	266332.1	9308861.1
21	11	254752.8	9338226.7	122	120	289564.1	9342784.6	225	228	271690.9	9340011.6	327	337	264693.7	9312193.0
22	12	254729.3	9338275.3	123	121	289395.7	9342473.2	226	229	270719.4	9340381.8	328	338	263766.9	9311155.0
23	13	254131.1	9339123.6	124	122	289211.8	9342490.3	227	230	270128.9	9340430.5	329	340	262679.5	9310405.0
24	13	254131.1	9339123.6	125	123	288728.1	9342109.2	228	231	268218.9	9342640.0	330	339	263039.1	9310441.9
25	14	254064.5	9339703.0	126	124	288179.8	9341510.1	229	232	268706.7	9343390.7	331	341	261730.0	9310890.1
26	15	253784.3	9340247.3	127	125	288673.5	9340927.8	230	233	250868.9	9335162.0	332	342	261546.2	9310896.0
27	16	253218.3	9342721.9	128	126	288748.1	9340810.8	231	234	250671.1	9334771.8	333	345	259739.4	9310383.0
28	19	253586.5	9343995.6	129	127	288912.6	9340311.4	232	234	250671.1	9334771.8	334	346	258855.7	9310194.6
29	22	254545.9	9345063.6	130	128	289021.3	9339938.0	233	235	250359.2	9334131.1	335	347	258218.5	9310082.5
30	23	252281.2	9344937.3	131	129	288982.0	9339778.6	234	236	250446.7	9332802.8	336	348	257785.6	9309559.6
31	Cocha	251583.3	9344383.5	132	130	288973.5	9339685.6	235	237	250475.1	9332100.4	337	349	257577.9	9308943.7
32	24	251594.1	9345549.6	133	131	289098.8	9338679.6	236	238	250431.2	9331724.1	338	351	257320.2	9306219.0
33	25	250841.8	9345605.2	134	131	289098.8	9338679.6	237	239	250002.4	9330987.7	339	352	257324.3	9306046.5
34	26	248867.4	9346248.8	135	133	288216.1	9337755.2	238	240	250532.0	9329850.5	340	353	246433.0	9333349.2
35	27	248603.0	9346422.5	136	134	288127.2	9337202.9	239	241	250348.2	9328511.1	341	354	246195.0	9333588.2
36	28	248161.3	9346628.7	137	135	288033.1	9336883.0	240	242	248700.4	9326670.0	342	355	245606.6	9334439.8
37	31	248767.0	9347223.0	138	136	287615.7	9336222.3	241	246	250198.5	9329094.6	343	356	245270.4	9334852.2
38	33	250838.3	9349757.0	139	137	287517.5	9336135.7	242	247	248014.3	9333935.5	344	357	245401.6	9335529.8
39	34	250818.4	9349744.8	140	138	286253.5	9335972.0	243	247	248014.3	9333935.5	345	359	245541.1	9335793.7
40	35	251058.1	9349918.3	141	139	285505.1	9335625.3	244	250	246799.6	9332817.5	346	360	245154.3	9336647.3
41	36	246477.1	9345644.9	142	140	285281.0	9335736.3	245	251	247899.6	9334883.1	347	361	245250.8	9336880.0
42	37	244977.8	9344703.8	143	142	283045.4	9335086.8	246	252	250245.0	9335776.8	348	362	245873.8	9335957.7
44	38	244293.5	9342764.9	144	143	254463.2	9345510.2	247	253	254056.4	9333231.4	349	363	246325.9	9336436.4
45	41	246362.6	9342255.8	145	144	254788.2	9346794.8	248	254	253971.7	9333108.2	350	363	246325.9	9336436.4
46	42	246938.2	9342350.0	146	144	254788.2	9346794.8	249	255	253562.5	9332412.9	351	364	246856.8	9337143.4
47	42	246938.2	9342350.0	147	145	255326.7	9347595.6	250	256	251957.3	9329042.2	352	365	280302.0	9330068.5
48	46	247264.5	9342470.8	148	146	255925.5	9347725.2	251	257	252013.1	9330552.4	353	366	280333.4	9330880.5
49	47	248617.1	9342453.2	149	147	256233.0	9347840.4	252	258	256567.2	9327182.6	354	367	265612.6	9344732.9
50	48	248843.8	9342522.7	150	148	256867.4	9349329.7	253	258	256567.2	9327182.6	355	368	265834.0	9345351.0
51	49	248965.7	9342524.3	151	148	256867.4	9349329.7	254	259	255409.3	9326825.0	356	369	265845.3	9345578.9
52	50	249603.2	9342383.1	152	149	257971.0	9350091.7	255	260	254644.3	9325961.2	357	370	265381.0	9345617.0
53	50	249603.2	9342383.1	153	150	258662.1	9349862.1	256	261	253420.1	9326118.8	358	371	265011.6	9345780.4
54	51	251009.7	9342439.7	154	151	259456.5	9349825.4	257	262	252558.0	9325978.0	359	372	264913.0	9345783.4
55	52	252546.2	9342653.9	155	151	259456.5	9349825.4	258	262	252558.0	9325978.0	360	373	264311.3	9345558.7
56	53	253071.4	9342900.5	156	152	259720.1	9349817.6	259	264	284735.3	9325157.0	361	374	264113.2	9345507.1
57	54	253552.2	9340411.2	157	153	261031.7	9350095.9	260	265	286678.2	9324585.5	362	375	263839.9	9345427.5
58	55	253268.1	9339988.5	158	154	262407.1	9350193.0	261	266	288061.2	9324508.6	363	376	263020.7	9345322.6
59	56	252036.2	9339788.8	159	155	263257.8	9350208.4	262	270	289717.2	9323957.1	364	377	262782.3	9345376.9
60	57	251705.4	9339697.9	160	155	263257.8	9350208.4	263	271	290198.7	9321449.2	365	378	262581.1	9345565.3
61	58	251115.2	9339916.7	161	156	264083.0	9350238.1	264	272	290244.8	9319084.6	366	379	262554.2	9345648.2
62	59	250879.3	9339635.9	162	157	265072.9	9350036.1	265	273	290013.5	9318442.3	367	380	262490.7	9345744.2
63	61	250228.3	9339313.5	163	161	264378.8	9350795.7	266	274	288979.1	9313327.6	368	381	262422.5	9345914.3
64	60	249932.0	9339170.7	164	162	264498.0	9351788.4	267	275	288009.0	9312834.1	369	382	262508.3	9346079.4
65	62	249362.6	9338660.5	165	163	264861.4	9352345.0	268	276	287837.9	9311197.6	370	383	262540.3	9346089.5
66	65	247795.0	9337675.0	166	164	264960.2	9352585.4	269	278	287845.6	9310604.8	371	384	262622.0	9346179.4
67	67	251993.3	9334831.4	167	165	265078.1	9352762.9	270	279	287987.1	9310027.9	372	385	262778.1	9346199.9
68	68	255372.4	9333154.8	168	166	265015.9	9353383.2	271	280	288135.6	9309366.0	373	386	265803.0	9345628.6
69	68	255372.4	9333154.8	169	167	265075.0	9353582.5	272	281	287753.0	9308658.9	374	387	288250.9	9328767.6
70	69	254934.3	9333875.4	170	168	265334.0	9354523.8	273	282	286453.7	9308934.0	375	388	295424.2	9324239.1
71	70	255005.4	9335180.0	171	169	265196.9	9354744.5	274	283	285987.8	9309219.8	376	389	296839.2	9318357.8
72	71	254799.4	9336831.9	172	170	265457.9	9355441.3	275	284	285740.8	9309582.8	377	390	297156.3	9317564.8
73	72	254945.1	9337768.4	173	171	265380.8	9355917.7	276	285	285633.0	9309694.2	378	391	298733.4	9311824.6
74	73	255463.2	9337819.2	174	172	265195.0	9356128.3	277	285	285633.0	9309694.2	379	392	303793.0	9306440.2
75	74	255894.5	9337995.7	175	173	265216.3	9356672.6	278	286	285620.9	9310262.6	380	393	306379.1	9305813.0
76	75	257065.4	9337924.0	176	174	265294.0	9357796.8	279	287	285902.5	9310751.4	381	394	310244.1	9301909.7
77	76	266001.8	9332523.3	177	175	265195.5	9356586.3	280	288	286127.7	9312126.0	382	394	310244.1	9301909.7
78	77	268131.0	9332005.0	178	176	265745.5	9354394.8	281	289	286079.1	9312389.1	383	395	311225.9	9301492.6
79	78	284857.0	9333843.4	179	177	265825.8	9354236.9	282	290	271086.4	9330580.5	384	396	312382.7	9301689.9
80	79	285129.2	9333884.2	180	178	266009.8	9354226.5	283	291	270489.3	9329506.4	385	397	315674.1	9300111.4
81	80	285516.9	9334166.5	181	179	266171.8	9354153.0	284	292	269869.1	9328371.3	386	398	317528.1	9295042.3
82	80	285516.9	9334166.5	182	180	266142.8	9354499.2	285	293	269871.3	9328371.3	387	399	319905.2	9293465.2
83	81	286161.0	9334250.6	183	181	266331.1	9354795.2	286	294	269506.7	9327590.1	388	400	324953.4	9288421.6
84	82	286515.3	9334281.7	184	182	266545.6	9354596.9	287	295	268556.1	9327451.5	389	1	286921.1	9325081.9
85	83	286767.0	9334496.1	185	183	266878.5	9354164.5	288	299	267328.1	9327451.1	390	2	286529.7	9325851.4
86	84	287000.5	9334512.4	186	184	266996.9	9353907.2	289	299	267328.1	9327451.1	391	3	286321.1	9325976.8
87	85	287205.4	9334503.2	187	185	266843.2	9353523.9	290	300	265966.7	9326760.0	392	4	286024.2	9326035.5
88	86	287451.9	9334635.7	188	186	266979.0	9353047.7	291	301	265380.1	9325839.5	393	5	285758.9	9326238.0
89	87	287549.1	9334709.0	189	187	266716.0	9352595.4	292	302	265032.1	9324222.0	394	6	285455.6	9325918.4
90	88	287940.7	9334800.0	190	188	266503.2	9352332.4	293	303	265637.2	9322405.8	395	7	285330.5	9325895.8
91	89	288145.2	9334914.6	191	191	265893.0	9350226.2	294	304	265929.5	9322137.1	396	8	220247.3	9363498.5
92	90	288320.1	9334928.5	192	190	266163.8	9351562.3	295	305	267323.7	9320939.0	397	9	220306.8	9360345.3
93	91	288760.7	9335261.8	193	194	208236.9	9372373.3	296	309	268153.2	9318605.0	398	10	220506.7	9358998.4
94	92	289443.9	9336212.1	194	195	208207.3	9372540.3	297	309	268153.2	9318605.0	399	11	219398.9	9359163.9
95	93	289873.3	9336279.9	195	196	208572.6	9372913.7	298	310	268491.0	9316035.5	400	12	218757.6	9358080.0
96	94	290315.4	9336529.2	196	197	208950.2	9373234.1	299	311	269230.8	9314833.8	401	13	218684.7	9358033.2
97	95	290439.1	9336622.6	197	198	209066.8	9373438.3	300	312	269442.1	9314319.2	402	14	218577.0	9358080.3
98	96	290940.6	9336962.7	198	198	209066.8	9373438.3	301	313	269943.2	9312730.5	403	15	231400.8	9348737.5
99	97	291257.7	9337179.5	199	199	209142.7	9373568.1	302	314	265887.4	9316547.4	404	16	231145.9	9347467.3
100	98	291285.3	9337520.3	200	200	209197.0	9374547.7	303	314	265887.4	9316547.4	405	16	231145.9	9347467.3
101	99	291182.4	9338134.8	201	201	208838.0	9375501.0	304	315	265908.4	9315439.0	406	17	230848.8	9347264.7
102	100	291285.8	9338337.6	202	202	208901.0	9376025.8	305	316	266176.4	9314587.2	407	17	230848.8	9347264.7
103	102	291464.3	9339589.1	203	203	208989.4	9376342.7	306	316	266176.4	9314587.2	408	18	230801.3	9347234.6
104	103	291409.0	9339882.0	204	204	210074.6	9376606.5	307	317	266023.5	9314059.0	409	19	231163.5	9347252.8
				205	205	210121.2	9376611.2					410	20	231387.7	9346909.7

Tab. 6.2: Matriz de cambio en las clases de cobertura del suelo entre las clasificaciones de 1999 y del 2002 para toda la cuenca del Alto Mayo.

Los valores describen el área [ha] que ha cambiado en cada clase de 1999 y a que clase este área ha sido atribuida en la clasificación del 2002. Los valores en paréntesis muestran el área que permanece en la misma clase asumiendo de forma conservadora que todas las áreas no clasificadas se mantienen en la clase original de 1999.

2002 \ 1999	Bosque Primario	Vegetación Secundaria	Purma / Pasto	Suelo / Pajonal	Arroz	Río / Arroz	Áreas Urbanas	No Clasificad
	ha							
Bosque Primario	**118395** (290121)	8902	130	317	40	280	5	35612
Vegetación Secundaria	42081	**68345** (105679)	2699	2774	356	1040	24	25736
Purma / Pasto	2296	16423	**7580** (11327)	1617	687	714	36	6002
Suelo / Pajonal	1899	2734	2190	**3629** (12084)	120	383	22	2576
Arroz	3156	1635	2301	310	**1059** (1783)	1597	29	4143
Río / Arroz	443	901	1128	680	576	**3162** (5190)	36	1368
Áreas Urbanas	48	199	73	688	20	36	**775** (890)	204
No Clasificado	171726	37334	3746	8455	724	2028	116	**757818**

Tab. 6.3: Matriz de cambio en las clases de cobertura del suelo entre las clasificaciones de 1999 y del 2002 para el subset de bosque primarioen la cuenca del Alto Mayo.

Los valores describen el área [ha] que ha cambiado en cada clase de 1999 y a que clase este área ha sido atribuida en la clasificación del 2002. Los valores en paréntesis muestran el área que permanece en la misma clase asumiendo de forma conservadora que todas las áreas no clasificadas se mantienen en la clase original de 1999.

2002 \ 1999	Bosque Primario	Vegetación Secundaria	Purma / Pasto	Suelo / Pajonal	Arroz	Río / Arroz	Áreas Urbanas	No Clasificad
	ha							
Bosque Primario	**31572** (34577)	2442	14	115	0.1	58.9	0.5	308
Vegetación Secundaria	4342	**5969** (7036)	155	615	18.5	70.4	0.8	166
Purma / Pasto	213	359	**77** (108)	58	8.3	16.3	1.0	51
Suelo / Pajonal	245	89	5	**26** (143)	1.5	2.3	1.1	9
Arroz	170	64	50	10	**18** (23)	39.6	0.0	38
Río / Arroz	71	54	43	12	10.2	**356** (405)	3.7	23
Áreas Urbanas	6	3	0	7	0.2	0.1	**8.5** (14.0)	0
No Clasificado	3007	1066	32	117	4.6	48.7	5.6	**567886**

Tab. 6.4: Matriz de cambio en las clases de cobertura del suelo entre las clasificaciones de 1999 y del 2002 para el subset de agricultura en el fondo del valle de la cuenca del Alto Mayo.

Los valores describen el área [ha] que ha cambiado en cada clase de 1999 y a que clase este área ha sido atribuida en la clasificación del 2002. Los valores en paréntesis muestran el área que permanece en la misma clase asumiendo de forma conservadora que todas las áreas no clasificadas se mantienen en la clase original de 1999.

2002 \ 1999	Bosque Primario	Vegetación Secundaria	Purma / Pasto	Suelo / Pajonal	Arroz	Río / Arroz	Áreas Urbanas	No Clasificad
	ha							
Bosque Primario	**2971** (4475)	95	71	6	29	56	0.4	56
Vegetación Secundaria	2874	**8793** (10048)	1087	291	242	439	5.0	752
Purma / Pasto	392	5346	**4151** (5645)	670	496	456	21.8	1965
Suelo / Pajonal	163	756	931	**300** (499)	84	123	3.4	526
Arroz	216	607	1249	73	**717** (1249)	921	10.6	884
Río / Arroz	93	422	753	183	428	**1070** (1724)	11.7	727
Áreas Urbanas	8	72	54	339	18	25	**340** (349)	71
No Clasificado	1504	1255	1494	198	532	654	9.0	**106058**

6.2 Figuras Coloridas

Las siguientes fotos pretenden ofrecer una descripción visual y una documentación de las clases de cobertura vegetal e ilustrar su composición.

6.2.1 Mapas de Clasificación

Las figuras coloridas que incluyen las imagenes base y los mapas de clasificación estan adjuntos:

- **Table Color I:** Mosaico LANDSAT™ imagen de falso color (RGB: TM5/4/3) de 1999
- **Table Color II:** Mosaico LANDSAT™ imagen de false color (RGB: TM5/4/3) del 2002
- **Table Color III:** Imagen de la clasificación del 1999
- **Table Color IV:** Imagen de la clasificación del 2002

6.2.2 Clave fotográfica para las clases de uso de la tierra

Bosque Primario – B. lluvioso premontano



GCP No. 197 16-Jan-2003

Localidad

Bosque de Protección Aguas Verdes / Paraiso

Descripción

Coordenada: UTM WGS-84
X 208950.2
Y 9373234.1

Bosque Primario – muy intervenido



GCP No. 85 13-Jan-2003

Localidad

Nuevo Progreso

Descripción

Coordenada: UTM WGS-84
X 287205.4
Y 9334503.2

Bosque Primario – Llanura aluvial / Aguajal





GCP No.173/378 15/28-Jan 2003

Localidad

Huancabamba / Tingana

Descripción

Bosque primario / Aguajal

Coordenada: UTM WGS-84
X 265216.3 / 262581.1
Y 9356672.6 / 9345565.3

Vegetación Secundaria – Purma arbustiva

GCP No. 314 21-Jan 2003

Localidad

San Marcos



Descripción

UTM WGS-84
X 265887.4
Y 9316547.4

Vegetación Secundaria – Purma arbustiva

GCP No. 155 15-Jan-2003

Localidad

Pueblo Libre



Descripción

UTM WGS-84
X 263257.8
Y 9350208.4

Vegetación Secundaria – Purma alta

GCP No. 236 17-Jan-2003

Localidad

El Porvenir



Descripción

Coordenada: UTM WGS-84
X 250446.7
Y 9332802.8

Vegetación Secundaria – Café



GCP No. 352 23-Jan-2003

Localidad

El Dorado

Descripción

Coordenada: UTM WGS-84
X 257324.3
Y 9306046.5

Vegetación Secundaria – Café



GCP No. 264 20-Jan-2003

Localidad

Jepelacio

Descripción

Coordenada: UTM WGS-84
X 284735.3
Y 9325157.0

Vegetación Secundaria – Café



GCP No. 156 15-Jan-2003

Localidad

Pueblo Libre

Descripción

Coordenada: UTM WGS-84
X 264083.0
Y 9350238.1

Pastura



GCP No. 137 14-Jan-2003

Localidad

El Charro / Arenal

Descripción

Coordenada: UTM WGS-84
X 287517.5
Y 9336135.7

Pastura



GCP No. 201 16-Jan-2003

Localidad

Perla de Mayo

Descripción

Coordenada: UTM WGS-84
X 208838.0
Y 9375501.0

Pastura abandonada



GCP No. 191 15-Jan-2003

Localidad

Los Olivos de Huascayacu

Descripción

Coordenada: UTM WGS-84
X 265893.0
Y 9350226.2

Pastura abandonada



GCP No. 117 13-Jan-2003

Localidad

El Condor

Descripción

Coordenada: UTM WGS-84
X 289807.5
Y 9343811.8

Shapumbal



GCP No. 130 14-Jan-2003

Localidad

Encima de Sucllaquiro

Descripción

Coordenada: UTM WGS-84
X 288973.5
Y 9339685.6

Shapumbal



GCP No. 209 16-Jan2003

Localidad

3 de Mayo

Descripción

Coordenada: UTM WGS-84
X 226222.7
Y 9364083.4

Quemado fresco



GCP No. 9 09-Jan-2003

Localidad

Yorongos

Descripción

Coordenada: UTM WGS-84
X 261381.3
Y 9326219.7

Quemado



GCP No. 157 17-Jan-2003

Localidad

Paraiso

Descripción

Coordenada: UTM WGS-84
X 252013.1
Y 9330552.4

Chamizal quemado



GCP No. 90 13-Jan-2003

Localidad

Cordillera Andina

Descripción

Coordenada: UTM WGS-84
X 288320.1
Y 9334928.5

Arroz vivero



GCP No. 14 10-Jan-2003

Localidad

Yuracyacu

Descripción

Coordenada: UTM WGS-84
X 254064.5
Y 9339703.0

Arroz joven



GCP No. 142 14-Jan-2003

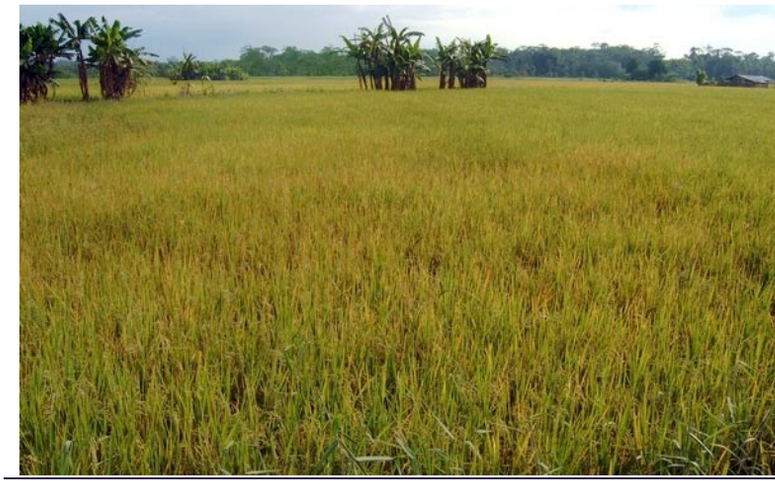
Localidad

Moyobamba

Descripción

Coordenada: UTM WGS-84
X 283045.4
Y 9335086.8

Arroz maduro



GCP No. 144 15-Jan-2003

Localidad

Valle de Conquista

Descripción

Coordenada: UTM WGS-84
X 254788.2
Y 9346794.8

Arroz cosechado



GCP No. Y29 09-Jan-2003

Localidad

San Juan de Tangumi

Descripción

Coordenada: UTM WGS-84
X 263460.0
Y 9320580.8

Arroz suelo



GCP No. 42 10-Jan-2003

Localidad

Ucrania

Descripción

Coordenada: UTM WGS-84
X 246938.2
Y 9342350.0

Arroz preparado



GCP No. 10 10-Jan-2003

Localidad

Tambo

Descripción

Coordenada: UTM WGS-84
X 254854.2
Y 9338070.0

Arroz inundado



GCP No. 27 10-Jan-2003

Localidad

San Fernando

Descripción

Coordenada: UTM WGS-84
X 248603.0
Y 9346422.5

Arroz inundado



GCP No. Y18 09-Jan-2003

Localidad

Posic

Descripción

Coordenada: UTM WGS-84
X 260118.5
Y 9333556.6

Arroz joven



GCP No. 14 10-Jan-2003

Localidad

Yuracyacu

Descripción

Coordenada: UTM WGS-84
X 254064.5
Y 9339703.0

Table Color I - Alto Mayo 1999

Imágen de la Cuenca de Alto Mayo
RGB: TM 5/4/3
a partir de un mosaico
de los imágenes LANDSAT ETM+ :

8/64 (11-07-1999)
9/64 (19-08-1999)

Bosque de Proteccion

77°45'W 77°30'W 77°15'W 77°W 76°45'W
5°30'S 5°45'S 6°S 6°15'S

LEYENDA

- Nubes / Sombra
- Bosque de Protección
- Áreas Urbanas
- Vias

Ellipsoid-Horizontal Datum: WGS-84
Grid: 10,000 Metros - UTM, zona 18 S
Projección: Transverse Mercator Projection

0 4 8 12 16 20 Miles
0 5 10 15 20 25 30 Km
Map Scale 1:250,000

© Procesado por CONAMBI, Junio 2003
R. Schröder & J. Dietz

Table Color II - Alto Mayo 2002

Imágen de la Cuenca de Alto Mayo
RGB: TM 5/4/3
a partir de un mosaico
de los imágenes LANDSAT ETM+ :

8/64 (07-10-2002)
9/64 (12-09-2002)

Bosque de Proteccion

LEYENDA

- *Nubes / Sombra*
- *Bosque de Protección*
- *Áreas Urbanas*
- *Vias*

Ellipsoid-Horizontal Datum: WGS-84
Grid: 10,000 Metros - UTM, zona 18 S
Projección: Transverse Mercator Projection

Map Scale 1:250,000

© Procesado por CONAMBI, Junio 2003
R. Schröder & J. Dietz

Table Color III - Clasificación del Uso de Tierra, Alto Mayo 1999

Clasificación del Uso de la Tierra
en la Cuenca de Alto Mayo
a partir de un mosaico
de los imágenes LANDSAT ETM+ :

8/64 (11-07-1999)
9/64 (19-08-1999)

Bosque de Proteccion

LEYENDA

- *Bosque Primario*
- *Vegetacion Secundaria*
- *Campos Abandonados / Pasturas*
- *Suelo Descubierto / Pajonal*
- *Arroz*
- *Río / Arroz*
- *Áreas Urbanas*
- *Nubes / Sombra / No Clasificado*
- *Bosque de Protección*
- *Vias*

Ellipsoid-Horizontal Datum: WGS-84
Grid: 10,000 Metros - UTM, zona 18 S
Projección: Transverse Mercator Projection

Map Scale 1:250,000

© Procesado por CONAMBI, Junio 2003
R. Schröder & J. Dietz

Table Color IV - Clasificación del Uso de Tierra, Alto Mayo 2002

Clasificación del Uso de la Tierra
en la Cuenca de Alto Mayo
a partir de un mosaico
de los imágenes LANDSAT ETM+ :

8/64 (07-10-2002)
9/64 (12-09-2002)

Bosque de Proteccion

LEYENDA

- *Bosque Primario*
- *Vegetacion Secundaria*
- *Campos Abandonados / Pasturas*
- *Suelo Descubierto / Pajonal*
- *Arroz*
- *Río / Arroz*
- *Áreas Urbanas*
- *Nubes / Sombra / No Clasificado*
- *Bosque de Protección*
- *Vias*

Ellipsoid-Horizontal Datum: WGS-84
Grid: 10,000 Metros - UTM, zona 18 S
Projección: Transverse Mercator Projection

0 4 8 12 16 20 Miles
0 5 10 15 20 25 30 Km

Map Scale 1:250,000

© Procesado por CONAMBI, Junio 2003
R. Schröder & J. Dietz