



Proyecto PD 138/02 Rev. 2 (F)
"Evaluación Integral y Estrategia para el Manejo Sostenible
de los Bosques Secundarios de la Región
Selva Central del Perú"



Informe de la metodología usada para la elaboración de Mapas de Cobertura Vegetal en la Selva Central



San Ramón - Junín
PERÚ

Proyecto PD 138/02
“Evaluación integral y estrategia para el manejo sostenible de bosques secundarios de la región de Selva Central del Perú”

Personal del Proyecto:

José Ríos Trigos
Ing. Fort, M. Sc.
Coordinador

Rolando Vivanco Vicencio
Geógrafo
Experto SIG

Edwin Quispe Soto
Lic. Mat., M. Sc.
Experto Informática

Marilu Tovar Baca
Ing. Fort. y Amb.
Asistente SIG

Tattiana Marcas Cáceres
Br. Geografía
Asistente SIG

Neyl Camacho Paraguay
Br. Informática
Asistente Informática

Lisseth Vega Lázaro
Br. Sociología
Asistente en Socioeconomía

Tracy Velita Ruiz
Técnico Contable
Secretaria - Administradora

Ryan Díaz Manuyama
Técnico Contable
Asistente Administrativo

Cluber Rocha Urbina
Conserje-Guardián

	Pág.
Introducción	5
Objetivo	6
Generalidades	7
1. Escala de trabajo	7
2. Criterios para la selección de la fuente primaria de información	7
2.1 Tipo de sensor	7
2.2 Fecha de Adquisición	7
2.3 Resolución Espectral	7
3. Información complementaria	7
 CAPÍTULO I	
Marco Conceptual	8
1.1 Imágenes Landsat	8
1.2 Imágenes ASTER	10
1.3 Comparaciones entre ASTER y Landsat	10
1.4 Análisis de imágenes de satélite	11
1.5 Criterios generales para la interpretación de imágenes	12
1.5.1.. Textura	12
1.5.2 Forma	12
1.5.3 Tamaño	13
1.5.4 Patrón	13
1.5.5 Sombras	14
1.5.6 Localización	14
1.6 Análisis estadístico	15
1.7 Análisis de perfiles espectrales	15
1.8 Análisis de componentes principales	16
1.9 Índice de vegetación de diferencia normalizado (NDVI)	17
1.10 Clasificación no supervisada	18
 CAPÍTULO II	
Metodología	20
2.1 Corrección geométrica	21
2.2 Generación de la banda sintética	21
2.3 Realces	21
2.4 Acopio de información de campo (ground truth)	21
2.5 Determinación de las unidades muestrales y parcelas de muestreo	21
2.6 Generación de la leyenda de trabajo	22
2.7 Clasificación mixta del área de estudio	22
2.8 Análisis estadístico	22
2.9 Generación del mapa final	22
2.10 Cálculo de la precisión del mapa	23

2.11 Acopio de la Información	23
2.12 Coeficiente KAPPA	23
2.13 Tabla de contingencia de matriz o error	24

CAPÍTULO III

Caracterización de los tipos de Bosque Secundario

3.1 Definiciones	25
3.1.1 Bosque primario	25
3.1.2 Bosque natural modificado	25
3.1.2.1 Bosque primario manejado	25
3.1.2.2 Bosques secundarios y degradados	25
3.2 Criterios para definir rangos de edad de bosque secundario	26

CAPÍTULO IV

Unidades Cartográficas

4.1 Bosque secundario de 1 a 3 años	27
4.2 Bosque secundario de 4 a 6 años	27
4.3 Bosque secundario de 7 a 10 años	28
4.4 Bosque secundario Tardío	28
4.5 Bosque primario Remanente	29
4.6 Asociación cultivo permanente y forestal	29
4.7 Áreas de Cultivo	29
4.8 Pastizales	30
4.9 Áreas degradadas	30
4.10 Suelo expuesto	31
4.11 Otras Áreas	31

CAPÍTULO V

Mapas de cobertura vegetal elaborados

5.1 Sector Pascual, Unión Capiri y Capirushari (Satipo)	35
5.2 Sector Río Negro	39
5.3 Distrito de Coviriali	42
5.4 Sector Quimiriki	45
5.5 Sector Yurinaki	47
5.6 Sector Belén de Anapiari	49
5.7 Sector Pichanaki	52
5.8 Sector Bajo Shiringal	55
5.9 Sector Santa Martha	57

CAPÍTULO VI

Conclusiones

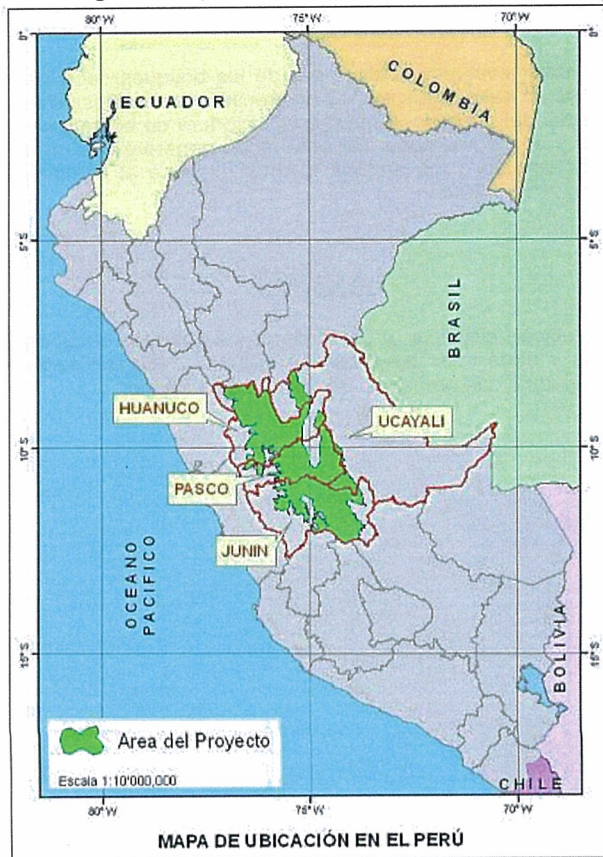
Bibliografía	60
---------------------------	-----------

INTRODUCCIÓN

En el marco del Proyecto PD 138/02 Rev.2 (F) Evaluación Integral y Estrategia para el Manejo Sostenible de los Bosques Secundarios de la Región de Selva Central, se desarrolla este manual sobre la Metodología de elaboración de productos cartográficos digitales y analógicos, aplicados a la evaluación de bosques secundarios a nivel local. Se espera que el manual tenga un efecto multiplicador por medio de la capacitación y autodidáctica, dirigido a técnicos con conocimiento básico de la tecnología de teledetección.

Es imperativo mencionar que esta primera versión del manual, proporciona las pautas más sencillas, pero a la vez susceptibles de mejoras en el tiempo, esperando que al final de los reajustes necesarios, se culmine en una versión, cuya aplicación permita la obtención de productos cartográficos de la misma calidad.

Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio



Fuente: Elaboración propia

Esta generación de mapas nos permite evaluar la deforestación a nivel distrital, que en conjunto con otros estudios ya sean de tipo socioeconómico forestal o de otra índole tratarán de dar respuesta a la problemática de los bosques secundarios y el avance de la deforestación del área total del proyecto, como se presenta en la **Figura 1**, se aprecia los cuatro departamentos que se encuentran dentro del área del proyecto, comprendiendo la zona de la selva central del Perú.

Además de un manual, se pretende también plasmar las experiencias obtenidas en el mapeo de bosques secundarios, que sirvan como apoyo a la investigación de zonas de la selva, y nos puedan dar un alcance para análisis del comportamiento del bosque secundario por lo que se citarán algunas experiencias que se encuentran en las memorias descriptivas de cada mapa elaborado en la zona.

Considerando los estudios anteriormente hechos en diversas zonas del área del proyecto, en este informe se integran los resultados obtenidos en cada una de esas áreas, con los cuales se verán las ventajas y desventajas que se encuentran en los trabajos de elaboración de mapas de cobertura vegetal para zonas de Selva Central, determinándose de este modo los procedimientos más adecuados para la generación de un mapa de cobertura vegetal que involucre el total del área del Proyecto.

Luego de haber evaluado la dinámica de los bosques secundarios, habiendo logrado dividir éstos en base a sus etapas de crecimiento, este estudio ya que abarca un área más extensa del territorio, tomará a la cobertura de bosque secundario como una entidad única y no fragmentada. De este modo generaremos un mapa que a su vez sirva de complemento a los análisis hechos en base al estudio de los mapas forestales de 1995, 2000 y 2005¹.

OBJETIVO

Identificar, ubicar, clasificar, y caracterizar los bosques secundarios en cuatro rangos de edades y otros tipos de cobertura vegetal y uso del suelo en las áreas determinadas como zona con presencia de bosque secundario.

¹ Memoria descriptiva de los mapas forestales de 1975, 1995 y 2000 con fines de cálculos de deforestación a nivel distrital

GENERALIDADES

1 ESCALA DE TRABAJO

La escala condiciona el número de las categorías a discriminar. Una cartografía a una escala grande no puede incluir el mismo número de clases que otra de escala pequeña, la necesaria generalización de líneas en mapas de pequeña escala exige también una generalización de las categorías cartografiadas. La leyenda no solamente depende de la escala, sino también de la complejidad del paisaje, algo que se toma en cuenta es que las áreas de bosque secundario presentan patrones muy fraccionados que no permiten hacer una generalización con tanta facilidad.

2 CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE LA FUENTE PRIMARIA DE INFORMACIÓN

2.1 Tipo de sensor

Esto dependerá de los objetivos y el nivel de precisión requerida en el estudio, así, una cartografía a nivel regional necesitará sensores de baja resolución espacial (por ejemplo [MSS](#), [NOAA](#)), en tanto que los de escala más grande se basarán en sensores que ofrezcan mayor detalle espacial ([Landsat-TM](#), [Spot](#), [Aster](#), [Cbers](#), etc.)

2.2 Fecha de adquisición

La fecha para seleccionar la imagen está en estrecha relación con el tema y el fenómeno motivo de investigación. El momento óptimo será aquel en que mejor se discrimine dicho fenómeno, frente a otros de similar comportamiento espectral. Es igualmente importante la relación existente entre la época de captura de la imagen y la realización de los trabajos de verificación de campo o "ground truth". Si se desea hacer estudios multitemporales se puede optar por descargar imágenes de servidores, pero eso está condicionado a la fecha y la cantidad de nubes que poseen dichas imágenes almacenadas.

2.3 Resolución espectral

Se refiere al número de bandas o canales que el sensor dispone para capturar la energía reflejada o radiancia de los cuerpos. Así, el [TM](#) posee 7 bandas, el [AVHRR](#) 5, 4 para el [MSS](#) y 3 para el [SPOT](#). Diferentes aplicaciones y espacios geográficos requerirá de uno u otro tipo de imagen, o en algunas ocasiones, la combinación de éstas. Las imágenes Aster por ejemplo cuentan con 14 bandas.

3 INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

La información cartográfica base nos sirve como herramienta para la georeferenciación de la imagen, como también de complemento para la interpretación de la misma, la información temática como mapas ecológicos ayudan a una mejor interpretación de las imágenes de satélite.

CAPÍTULO I

MARCO CONCEPTUAL

1.1 IMÁGENES LANDSAT

El programa estadounidense LANDSAT, cuyo primer satélite se pone en órbita en 1972, dadas las buenas características de sus sensores, la continuidad hasta nuestros días, y su buena distribución constituye una de las fuentes más importantes de imágenes espaciales para el estudio de los recursos terrestres.

Actualmente los problemas operativos de los dos últimos satélites de este proyecto (Landsat 5 y 7) han puesto en cuestión la continuidad del programa, que por otra parte puede entenderse que continua a través de otras misiones de la propia NASA.

En todo caso la homogénea biblioteca de datos Landsat constituye una riquísima fuente documental para las Ciencias de la Tierra.

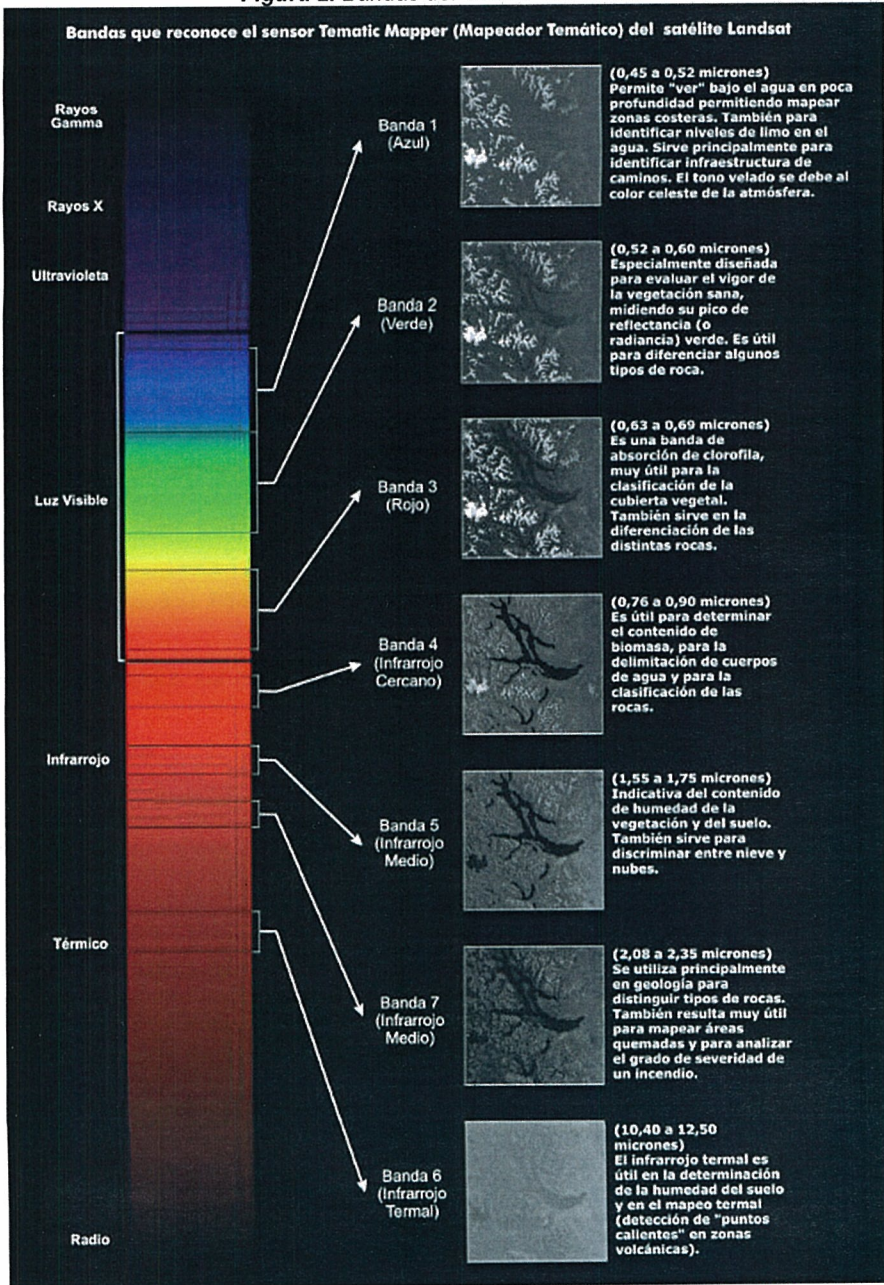
El sensor del LANDSAT MSS contaba con 5 bandas y una resolución espacial de 79 metros, los últimos satélites de esta generación incorporaron un nuevo barrido denominado Thematic Mapper, que dio origen a las imágenes LANDSAT TM, que poseen 7 bandas y una resolución espacial para 6 de ellas de 30 metros. Las imágenes TM tienen por lo tanto píxeles del tamaño de 30 x 30 metros².

Los satélites giran a una altura aproximada de 900 Km, el satélite vuelve sobre el mismo lugar cada 16 días, las imágenes cubren un área de 180 Km por lado.

Como se aprecia en la **Figura 2** se describen las bandas de este sensor y las principales aplicaciones que se les da a cada banda.

² FABIAN REUTER Ing. Forestal, Facultad de Ciencias Forestales UNSE, Carpeta de trabajos - Teledetección Forestal.

Figura 2. Bandas del Sensor LANDSAT



Fuente: <http://www.danbat.com.ar/ver.php?accion=radiometria&grupo=geo>

1.2 IMÁGENES ASTER

Aster son las siglas en inglés del Radiómetro Espacial Avanzado de Reflexión de Emisión Termal (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer), es un instrumento del visor que está volando a bordo del Terra, un satélite lanzado en diciembre de 1999 que forma parte del Sistema de Observación de la Tierra (EOS) de la NASA. El ASTER es un esfuerzo conjunto entre la NASA y el Ministerio de Economía, Comercio e Industria (METI) de Japón y el Centro de Análisis de Datos de los Sensores Remotos de la Tierra (ERSDAC). El ASTER se usa para obtener mapas de temperatura detallados de la superficie terrestre, emisiones, reflectancia y elevación. Las plataformas que forman el EOS son una parte de los proyectos de ciencia terrestre de la NASA cuya meta es conseguir averiguar, y entender las interacciones entre la biósfera, la hidrósfera, la litósfera y la atmósfera.

Este sensor tiene un ancho de barrido de 60 km. y cubre una amplia región espectral con 14 bandas, desde el visible al infrarrojo térmico, con una alta resolución espacial. ASTER posee tres subsistemas de sensores: VNIR, SWIR y TIR.

Si observamos las características de las imágenes Aster nos daremos cuenta que las 3 primeras bandas pertenecen al VNIR (Visible e Infrarrojo Cercano) las cuales cuentan con 15 metros de resolución, adicionalmente tiene una banda para esteroscopia.

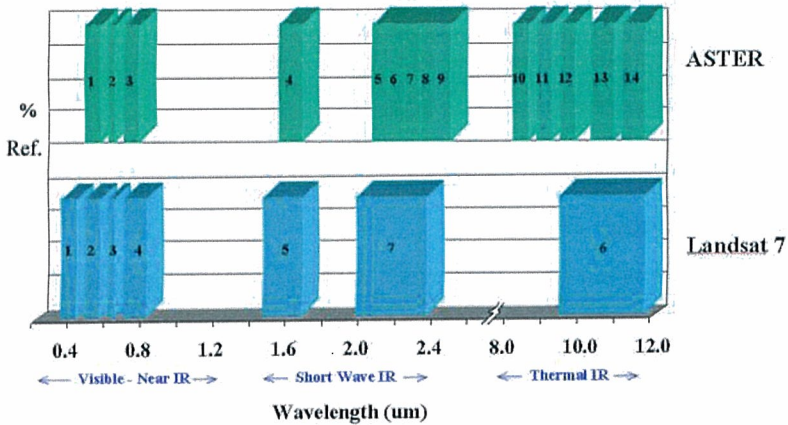
Luego tiene 6 bandas que corresponden al SWIR o MIR (Infrarrojo de Onda Corta), con una resolución de 30 metros.

Luego el (TIR) Infrarrojo Termal cuenta con 5 bandas las cuales tienen una resolución de 90 metros, de este modo tenemos lo siguiente:

- 3 bandas VNIR
- 1 banda VNIR
- 6 bandas SWIR y
- 5 bandas TIR

1.3 COMPARACIONES ENTRE ASTER Y LANDSAT

Si comparamos las bandas espectrales entre las imágenes ASTER y las imágenes Landsat (**Figura 3**), observaremos que además de las primeras 3 bandas ASTER de 15m de resolución necesitamos las bandas 5 y 6 de 30m, eso si queremos hacer una combinación con Aster, similar a las de Landsat, por ejemplo una 5,4,3.

Figura 3. Comparación de bandas espectrales entre ASTER y Landsat 7TM

Fuente: ASTER User Handbook

1.4 ANÁLISIS DE IMÁGENES DE SATÉLITE

El análisis de las imágenes procedentes del satélite puede llevarse a cabo de dos modos: mediante interpretación visual o bien mediante técnicas de tratamiento digital de información multispectral.

- La **interpretación visual** pretende, sin intervención del ordenador, extraer información espacial a partir del análisis de la imagen y sus cualidades (brillo, color, textura, forma, tamaño de los elementos que la componen).
- El **tratamiento digital** se encamina, del mismo modo, hacia la extracción de información temática del territorio, pero haciendo uso de técnicas matemáticas y estadísticas implementadas mediante algoritmos en programas informáticos.

Estas técnicas se engloban dentro del campo de la clasificación digital y se desarrollan en tres fases: *entrenamiento, asignación y verificación*.

- La **fase de entrenamiento** tiene por objeto la determinación de unas áreas piloto para cada una de las categorías en las que se pretende clasificar la imagen. De ellas el ordenador extraerá los valores estadísticos característicos (media aritmética, desviación típica y rango) en cada una de las bandas para posteriormente tomarlos en consideración a la hora de asignar el resto de los píxeles a las categorías preestablecidas.
- La **fase de asignación** persigue la categorización de todos los píxeles de la imagen atribuyéndoles una categoría informacional. Para ello existen múltiples criterios que se desarrollan apoyándose en teorías probabilísticas, y que reciben el nombre de clasificadores: de mínima distancia, de paralelepípedos, de máxima probabilidad, de lógica borrosa, redes neuronales, clasificadores en árbol.
- Finalizan las tareas de clasificación mediante la ejecución de los trabajos de **verificación**. Se pretende en esta fase final analizar la bondad de los resultados

obtenidos en la clasificación temática contrastándolos con la verdad-terreno mediante un muestreo de campo.

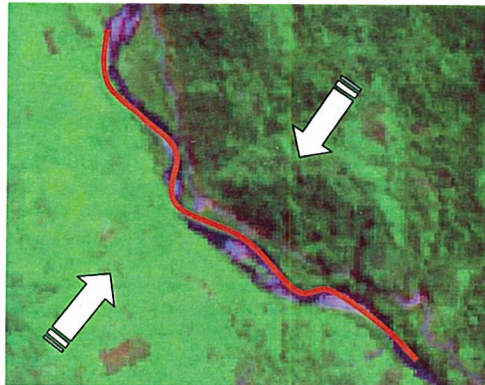
La definición del tamaño y forma de la muestra son cruciales y han de llevarse a cabo de modo riguroso. El resultado del contraste entre el mapa temático obtenido y la verdad-terreno se recoge en una tabla de contingencias que se denomina matriz de confusión. De su análisis estadístico se infiere la fiabilidad de los resultados obtenidos.

1.5 CRITERIOS GENERALES PARA LA INTERPRETACIÓN DE IMÁGENES

1.5.1 Textura

Es la frecuencia con la que suceden cambios tonales, es decir, el contraste espacial entre los elementos que componen la imagen (se percibe como repeticiones de cambios tonales). Esta característica se produce por una agregación de rasgos unitarios que pueden ser demasiado pequeños para diferenciarse individualmente, pero que juntos marcan una diferencia respecto al resto de la imagen.

Figura 4. Diferencia de texturas



Fuente: Imagen Aster (5,3,1)

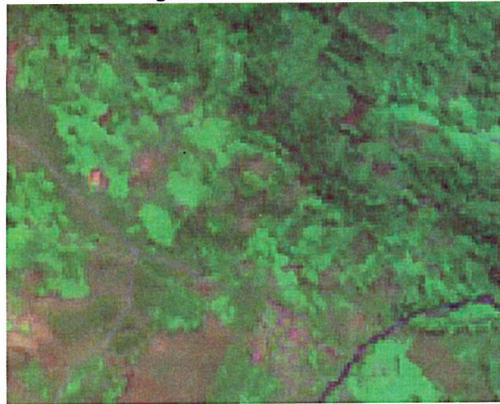
Si observamos la **Figura 4**, apreciamos una formación montañosa que tiene 2 vertientes, podemos ver una con formación de bosque y la otra que ya ha sufrido la intervención y muestra zonas degradadas, la textura rugosa de las copas de los árboles es bien diferenciable de áreas degradadas o sin cobertura vegetal, la textura de un tipo de vegetación frente a otro es lo que nos permite diferenciar coberturas.

1.5.2 Forma

Se refiere a la forma de los objetos, a la forma de su perímetro, a la forma tal y como se ve en las imágenes; en definitiva la forma caracteriza a muchos de los objetos que se ven en las imágenes. Asimismo también se incluye en la forma, la altura relativa de los objetos cuando se trabaja con visión estereoscópica en la interpretación visual. El intérprete deberá tender a identificar los objetos de acuerdo con esta característica ya que es una de las más fáciles. En algunos casos esta característica bastará para diferenciar el objeto de estudio de los del resto de la imagen, pero no en todos.

En la **Figura 5**, observamos la forma que tienen las áreas de cultivo y como éstas pueden ser fácilmente diferenciadas del resto de las coberturas.

Figura 5. Diferencia de formas



Fuente: Imagen Aster (5,3,1)

1.5.3 Tamaño

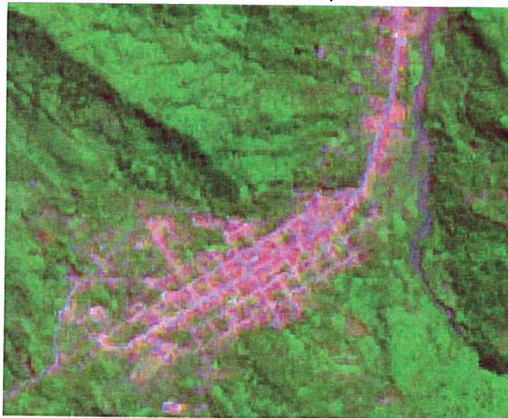
El tamaño de los objetos en las imágenes se tiene que considerar siempre en el contexto de la resolución espacial y de la escala en la que está impresa o desplegada la imagen. Igualmente es importante relacionar el tamaño del objeto analizado con otros objetos de la imagen o foto; por ejemplo para saber si una carretera o camino es más o menos importante.

De acuerdo con los estudios de zonificación, que se hagan esto también será una forma de regular el tamaño de los productos de la interpretación, para una macrozonificación no se necesita diferenciar muchas cosas, sino establecer grandes rasgos de las coberturas de un área, a diferencia de una microzonificación en la cual ya es necesario diferenciar inclusive tipos de cultivos y de allí la importancia de saber utilizar un tipo de imagen acorde con los estudios que se realicen.

Con las imágenes Aster podemos diferenciar fácilmente algunas carreteras en zonas de la selva, mientras que con las imágenes Landsat es más difícil y casi no se logran ubicar, salvo las principales, esto debido a que las imágenes Aster poseen una mejor resolución a diferencia de las Landsat.

1.5.4 Patrón

Se refiere a la distribución espacial de los objetos (tanto naturales como contruidos), a la repetición de formas cada cierto espacio, que permite su identificación. Por ejemplo patrón concéntrico, radial, etc. Los cultivos en terrazas también presentan un patrón característico, así como los distintos patrones de disposición de la red de drenaje en dendrítico, paralelo, etc. Los patrones de áreas urbanas resaltan claramente en zonas de bosque (**Figura 6**) por lo que es muy fácil de identificar.

Figura 6. Diferencia de patrones

Fuente: Imagen Aster (5,3,1)

1.5.5 Sombras

Es la oscuridad en un área o espacio debido a que los rayos de una fuente de energía (generalmente el sol) no llegan a ella por la interposición de un cuerpo opaco que forma parte del terreno, o una construcción. Las sombras pueden ocultar importantes fenómenos, pero también ayudan a la percepción tridimensional de los objetos, lo cual puede ayudar a su distinción. Son muy dependientes de la fecha de adquisición de la imagen y del relieve local.

También modifican la señal de una misma cubierta o sustrato recibida por el sensor ya que se produce una tonalidad ligeramente distinta pudiendo separar la misma categoría o clase en dos, cuando en realidad es la misma.

En la interpretación de las imágenes, las sombras muchas veces ocasionan problemas de discriminación de tipos de coberturas ya que al oscurecer un área dan la sensación de encontrarnos frente a zonas de bosque más denso cuando en realidad son los mismos sólo que con algunas sombras encima.

1.5.6 Localización

Se refiere a la posición topográfica o geográfica en la que se encuentra un objeto o elemento respecto a un marco de referencia (montaña, valle, ciudad, etc.).

Por ejemplo un gran edificio situado en el punto donde convergen numerosas vías de tren, lo más probable es que corresponda a una estación de ferrocarril y no a un hospital. En algunos casos la identificación de los objetos de estudio no se hace de una manera directa, sino que se realiza por eliminación: es decir, conociendo el tema de estudio (por ejemplo vegetación) se pueden conocer las características donde pueden darse determinados tipos: a partir de cierta altura únicamente pueden darse los pinos y los abetos. En el caso de la vegetación, de los usos de suelo, etc. esta distinción por eliminación variará de región en región y de estación en estación. En cuanto a las formas del relieve, también existe una variación condicionada por el clima.

1.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Un análisis estadístico nos permitirá determinar que banda o bandas son mejores para diferenciar mayor número de coberturas terrestres.

Para tal fin utilizamos un software de procesamiento de imágenes, y obtenemos la información de cada banda sin efectos de estiramiento de los píxeles, con esto conseguimos obtener los valores estadísticos para cada banda, de este modo obtenemos el **Cuadro 1**.

Cuadro 1. Valores estadísticos de las bandas de una imagen Landsat

Bandas	Media	D. Estándar	Min.	Máx.
B1	57.667	59.925	0	255
B2	28.605	38.763	0	255
B3	31.703	45.627	0	255
B4	49.993	46.681	0	255
B5	59.373	58.050	0	255
B6	88.119	58.325	0	185
B7	27.003	31.321	0	255

Fuente: Elaboración propia

Media Aritmética: Corresponde a la suma de todos los datos dividido por el número total de ellos. Es lo que se conoce como "promedio".

Mediante este valor podemos identificar que tan clara u oscura está la imagen conociendo que los valores de una imagen se distribuyen de 0-255, mientras la media esté más cercana a 0 la imagen será más oscura y mientras se acerque más a 255 la imagen será mucho más clara.

Desviación Estándar: Es un dato que representa la variabilidad existente en un conjunto de datos, ya que por ejemplo dos conjuntos de datos pueden presentar la misma media aritmética, pero poseer distinta variabilidad, por eso este estadígrafo nos permite saber acerca de la variabilidad o dispersión de los datos. Matemáticamente se define como "la raíz cuadrada del promedio de los cuadrados de las desviaciones medias de cada valor de la variable con respecto de la media aritmética"

Podemos ver en el **Cuadro 1**, que en el caso de la B2 y la B7 poseen la media aritmética parecida pero si nos fijamos en su valor de desviación estándar la B2 posee una mayor amplitud, lo cual representa que los píxeles no están todos agrupados en un mismo lugar, entendiéndose que se puede obtener mayor diferenciación entre ellos, por lo tanto se puede discriminar más clases con esta banda.

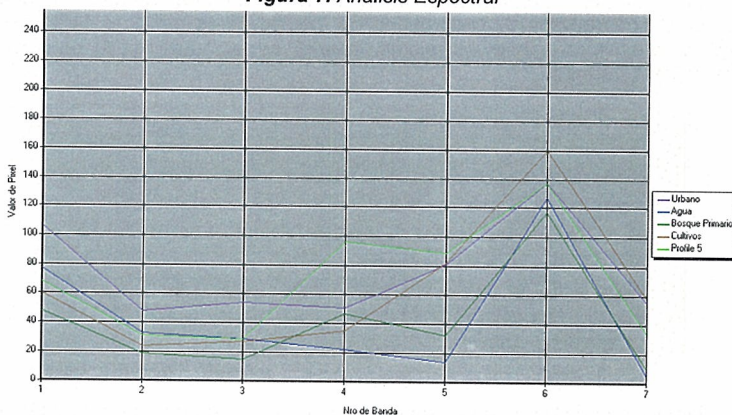
En conclusión, los valores cercanos a cero nos dicen que la imagen es más oscura y mientras los píxeles tengan valores más altos la imagen será más clara, para la B1 tenemos que la media es de 55 y la desviación estándar de 57.9, lo cual muestra la dispersión de los valores que se acercan mucho al cero, indicando que la mayoría de las bandas son muy oscuras.

1.7 ANÁLISIS DE PERFILES ESPECTRALES

La construcción de perfiles espectrales en un modo de análisis multibanda nos da una buena idea sobre la separabilidad espectral de distintas coberturas de una imagen, de este modo se pueden tomar decisiones en el uso de las bandas para un estudio en particular (**Figura 7**).

Para los estudios que vamos a determinar nos interesa mayormente saber que tipo de cobertura vegetal existe en cada zona por lo que se aprecia que las mejores bandas en el sensor Landsat, para ese estudio son las bandas 5,4,3, hay que tomar en cuenta que la banda 6 es la banda termal .

Figura 7. Análisis Espectral



Fuente: Elaboración propia

1.8 ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES

El cálculo de los componentes principales deriva de las imágenes sin redundancia espectral a partir de las bandas originales. Las bandas de componentes principales, son independientes y no correlacionadas y a menudo son más interpretables que la imagen fuente (Jensen 1996; Faust 1989).

El análisis de componentes principales consiste en convertir un conjunto de bandas con alto grado de correlación entre ellas (como son las observadas por el satélite) en otro conjunto de bandas diferentes totalmente incorreladas. Esto se consigue considerando el sistema inicial y el final como un espacio n -dimensional (siendo n el número de bandas) y localizando una matriz que permite diagonalizar dicho sistema. La obtención de un sistema diagonal garantiza la propiedad de incorrelación entre los nuevos ejes (en nuestro caso representando a las bandas). La ventaja de la utilización de este mecanismo radica en que la mayor parte de la información recae en las tres primeras bandas creadas (se estima entre un 95% y un 99%), lo cual permite mantener gran parte de la información con una reducción drástica de espacio (pasamos de 7 imágenes a 3).

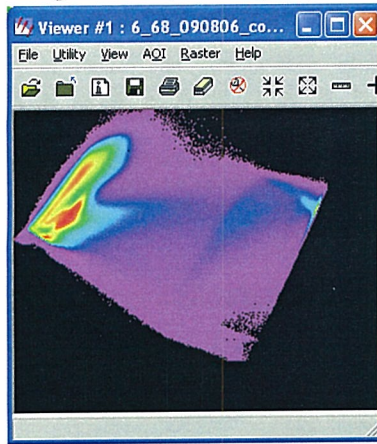
El análisis de componentes principales (ACP) es una técnica bastante empleada en ciencias sociales y naturales. Su objetivo es resumir la información contenida en un grupo amplio de variables en un nuevo conjunto, más pequeño, sin perder una parte significativa de esa información.³

“El ACP permite sintetizar las bandas originales, creando unas nuevas bandas —los componentes principales de la imagen—, que recojan la parte más relevante de

³ Teledetección Ambiental, Emilio Chuvieco, Capítulo 7. Análisis de Imágenes: Extracción de Información Temática, Josemaría Escrivá, Surco

la información original. Esta síntesis resulta muy conveniente cuando se pretende abordar un análisis multitemporal (Joly *et al.*, 1983; Maselli *et al.*, 1995)⁴

Figura 8. Componentes principales



Fuente: Elaboración propia

1.9 ÍNDICE DE VEGETACIÓN DE DIFERENCIA NORMALIZADO (NDVI)

El cálculo de índices de vegetación es una técnica de uso habitual en teledetección y es comúnmente utilizada para mejorar la discriminación entre dos cubiertas que presenten un comportamiento reflectivo muy distinto en dos o más bandas, por ejemplo para realizar suelos y vegetación en el visible e infrarrojo cercano, y para reducir el efecto del relieve (pendiente y orientación) en la caracterización espectral de distintas cubiertas (Chuvieco, 1996)

En la práctica esta metodología es muy usada para:

- Identificación de áreas forestadas-deforestadas;
- Evaluación del estado de la vegetación y su grado de estrés;
- Separación entre distintos tipos de masas vegetales;
- Monitoreo de plagas;
- Evaluación de riesgos de incendio

A continuación establecemos los parámetros, la fórmula del NDVI:

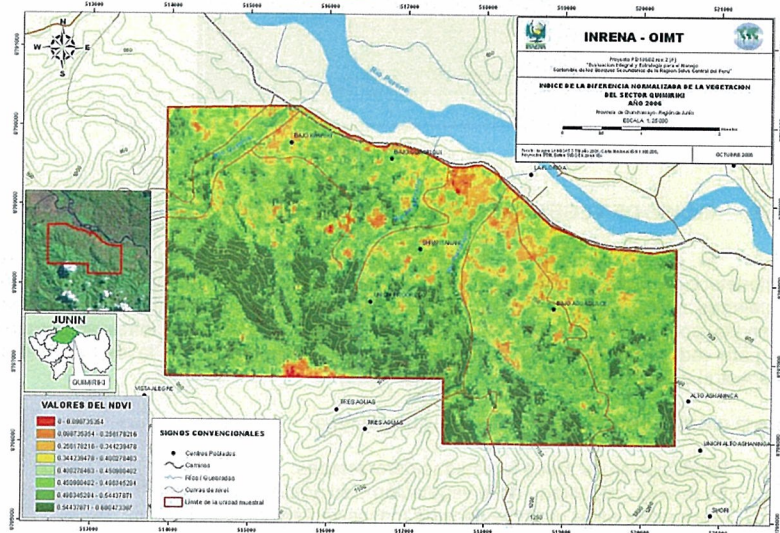
$$NDVI = \frac{(IRCercano - ROJO)}{(IRCercano + ROJO)}$$

⁴ Teledetección Ambiental, Emilio Chuvieco, Capítulo 7. Análisis de Imágenes: Extracción de Información Temática, Josemaría Escrivá, Surco

En la **Figura 9**, se aprecia el NDVI realizado para el sector de Quimiriki, apreciamos las áreas mostradas en verde, las cuales poseen valores altos de NDVI. Dado que estos valores están asociados habitualmente a vegetación sana, podemos inferir que estas áreas corresponden a áreas con fuerte cobertura vegetal. Los diferentes tonos de verde corresponden a distintas cubiertas vegetales, siendo los más oscuros los que corresponden a la vegetación más vigorosa, como por ejemplo masas boscosas. Por el contrario, las áreas mostradas en rojo, corresponden a valores de NDVI bajos, siendo más bajos cuanto más oscuro se observe el color rojo, si observamos las zonas cercanas a los ríos veremos que existen áreas degradadas, las cuales representan los valores mas bajos o cercanos a cero.

De esto podemos deducir que, los valores más altos, corresponden a Bosque Primario, siguiéndole las agrupaciones de bosque secundario, luego zonas de cultivo, posteriormente suelo expuesto y los valores más bajos o cercanos a cero corresponden a áreas de quema.

Figura 9. NDVI del sector de Quimiriki



Fuente: Elaboración propia

1.10 CLASIFICACIÓN NO SUPERVISADA

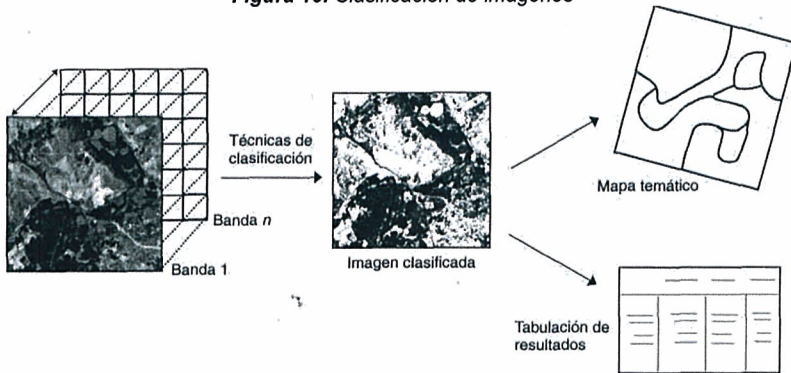
La clasificación es el proceso de agrupar píxeles en un número finito de clases individuales o de categorías de datos con base en los niveles digitales de los datos. Si un píxel satisface cierto criterio, entonces el píxel es asignado a la clase que corresponda a este criterio⁵.

Como fruto de la clasificación digital se obtiene una cartografía e inventario de las categorías objeto de estudio. La imagen multibanda se convierte en otra imagen, del mismo tamaño y características de las originales, con la importante diferencia de que el ND que define cada píxel no tiene relación con la radiancia detectada por el

⁵ ERDAS Tour Guide, Capítulo 4, Clasificación.

sensor, sino que se trata de una etiqueta que identifica la categoría asignada a ese píxel. A partir de una imagen como ésta puede fácilmente generarse cartografía temática, así como un inventario estadístico del número de píxeles —y por tanto de la superficie— asignados a cada categoría.⁶

Figura 10. Clasificación de imágenes



Fuente: Teledetección Ambiental, Emilio Chuvieco

Para tener un conocimiento previo de lo que se va a encontrar al realizar los trabajos de campos para determinar las coberturas a identificar, se efectúa una clasificación no supervisada en la cual se van a discriminar inicialmente 20 categorías las cuales mediante métodos de análisis en gabinete se irá determinando a qué tipo de cobertura pertenecen para posteriormente ir al campo y verificar la exactitud de los datos, así mismo la toma de muestras que nos permita efectuar una clasificación supervisada.

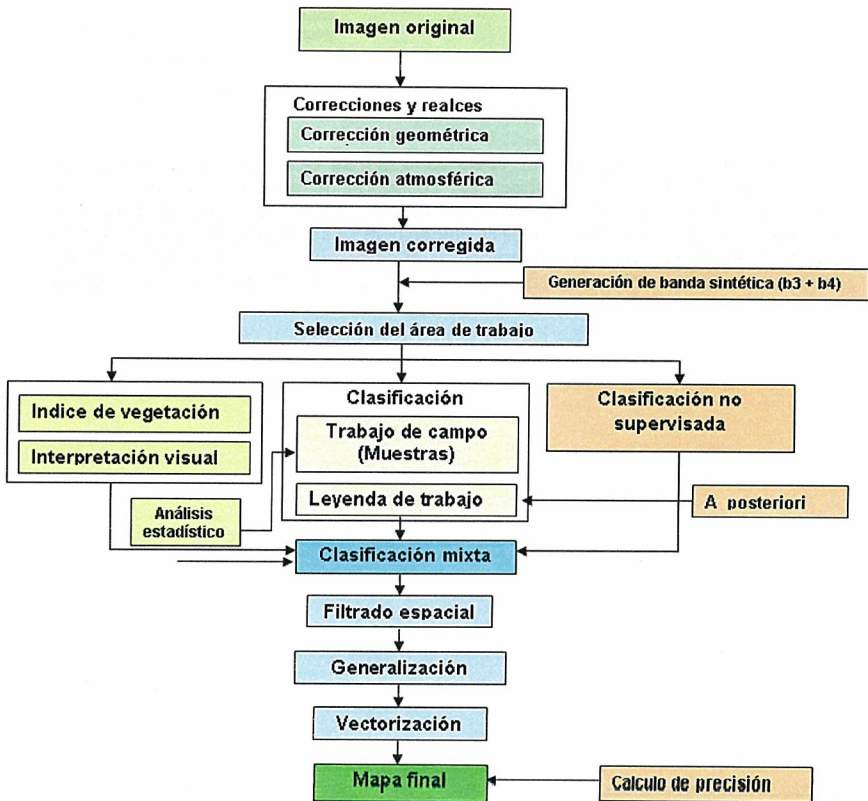
⁶ Teledetección Ambiental, Emilio Chuvieco, Capítulo 7. Análisis de Imágenes: Extracción de Información Temática, Josemaría Escrivá, Surco

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

Los pasos establecidos para los análisis de la data se ilustran seguidamente en la **Figura 11**. Las siguientes secciones, que describen los principales procedimientos implementados se basó en el trabajo realizado por INRENA. En este análisis se ha puesto particular atención a la definición de las variables estructurales de la vegetación en estudio, así como también al análisis espectral de la data con el objetivo de lograr un mejor entendimiento de los estadios sucesionales presentes en las áreas de estudio. La preparación o acondicionamiento (correcciones y realces) de la imagen original, así como la interpretación y generación del mapa, se realizó siguiendo las etapas que se mencionan a continuación.

Figura 11. Esquema metodológico para la generación del mapa de bosque secundario



Fuente: Elaboración propia

2.1 CORRECCIÓN GEOMÉTRICA

Mediante este proceso lo que se hace es ajustar la precisión de las imágenes de satélite, ya que éstas vienen con una posición referencial respecto a su posición real, toda las correcciones geométricas serán efectuadas en proyección UTM Zona 18 S, datum horizontal WGS 84, por lo que fue necesario la corrección geométrica para disminuir el error posicional. La corrección geométrica se puede llevar a cabo utilizando para ello como información base, puntos tomados en el campo, información vectorial u otra imagen ya corregida. Para el proyecto la corrección se llevó a cabo utilizando la ecuación polinomial de segundo grado y más de 20 puntos de control.

2.2 GENERACIÓN DE LA BANDA SINTÉTICA

Información especializada sobre estudios de bosques secundarios en el trópico húmedo, es limitada. Sin embargo Ima Celia, G. Vieira, reporta importantes hallazgos, particularmente en la clasificación sucesional de los bosques utilizando sus propiedades espectrales y características ecológicas. En trabajo similar, Steinger reporta una buena separación entre bosques secundarios de 2 a 19 años de edad, cerca de Manaos, Brasil, utilizando las bandas 5 y 7, y la suma de las bandas 3 y 4 en imágenes LANDSAT TM. Basado en esta experiencia se generó la banda sintética 8, con la suma de las bandas 3 y 4, previamente corregidas.

2.3 REALCES

Para efectos de facilitar y mejorar la interpretación visual, se realizaron los siguientes tratamientos: ecualización, estrechamiento del histograma, diferentes composiciones de color, corrección atmosférica, y filtrados. Finalmente se extrajo la información concerniente al área de estudio, y sobre ésta, el trabajo de clasificación.

2.4 ACOPIO DE INFORMACIÓN DE CAMPO (GROUND TRUTH)

La verificación de campo es una etapa importante en este trabajo, pues conlleva a contrastar la realidad y tener más criterios para el análisis espacial.

La cantidad y geometría de las áreas de muestreo no está normalizada y más bien está subordinada a la relación costo – precisión, a la complejidad del paisaje y a las confusiones en la reflectancia de los elementos en estudio, que pudieran existir. En este respecto, existen muchos métodos para coleccionar información de referencia, algunos de los cuales requiere evaluaciones cualitativas y otras requieren mediciones cuantitativas detalladas.

Dependiendo de la confiabilidad, dificultad y costos de colección de la información, se determina la técnica válida para un proyecto dado. En este caso, los objetivos del estudio requieren de un *inventario forestal*, el cual se ha realizado siguiendo la metodología que se indica a continuación y la información, utilizada como insumo para correlacionarla con las firmas espectrales de los campos de entrenamiento colectadas en la imagen satelital.

2.5 DETERMINACIÓN DE LAS UNIDADES MUESTRALES Y PARCELAS DE MUESTREO

Sobre el mapa generado a partir de la clasificación no supervisada, se eligieron y delimitaron áreas representativas de la cobertura vegetal y uso de la tierra, además de un adecuado acceso vial. La delimitación de 2000 hectáreas de territorio como unidad muestral se basó en la intensidad de muestreo de 0.60 % (para bosques con individuos de 40 cm < DAP > 20 cm) y dentro de la cual se distribuyeron 100 muestras de 0.12 ha, siguiendo la metodología BOLFOR.

2.6 GENERACIÓN DE LA LEYENDA DE TRABAJO

Para la leyenda de trabajo, luego de varios trabajos se estandarizó los tipos de coberturas en base a las clasificaciones de diversos trabajos, de este modo se agruparon y determinaron las clases en las siguientes:

1. Bosque Secundario de 1 a 3 años (*BS 1-3*)
2. Bosque Secundario de 4 a 6 años (*BS 4-6*)
3. Bosque Secundario de 7 a 10 años (*BS 7-10*)
4. Bosque Secundario Tardío (*BST*)
5. Bosque Primario Remanente (*BPR*)
6. Asociación Cultivo Permanente y Forestal (*Cp/F*)
7. Áreas de Cultivos (*Cu*)
8. Pastizales (*P*)
9. Áreas degradadas (*Ad*)
10. Suelo expuesto (*Se*)
11. Otras áreas (*Ur, Ca, Sd*)

2.7 CLASIFICACIÓN MIXTA DEL ÁREA DE ESTUDIO

Previamente a la clasificación, se colectaron los píxeles correspondiente a cada parcela muestreada (tipo de cobertura vegetal) y georeferenciada en el campo (sitios de entrenamiento), desplegando las bandas 1,2, y 3 de la imagen, las que permiten distinguir visualmente con mayor eficiencia los distintos tipos de bosque, asociaciones vegetales o clases de uso del suelo. Posteriormente se realizó la clasificación supervisada utilizando el método no paramétrico del paralelepípedo, y en el paramétrico, el de la mínima distancia.

El índice Diferencial de Vegetación Normalizado (NDVI), el cual es una clasificación de la imagen utilizando el cociente entre la diferencia y la suma de las bandas 3 y 4, complementa muy eficientemente a la interpretación visual, mejorando así la discriminación de las clases.

2.8 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Un componente importante en el cual se apoya el estudio de la dinámica poblacional de los bosques secundarios, sus características estructurales y sus relaciones con sus reflectancias, es sin lugar a dudas el análisis estadístico de la información de campo y de las conclusiones que de él se extraen. La literatura consultada y particularmente aquella que trata de explicar las respuestas del recurso forestal a la intervención antropogénica, se sustenta en comparaciones, correlaciones y tendencias basadas en hipótesis planteadas a priori. Éstas a su turno conforman el insumo para la generación de los mapas temáticos, y el respaldo matemático para el análisis espacio temporal de la vegetación. Se realiza un análisis gráfico de la información de campo utilizando los "box plots", correlaciones entre las variables consideradas, ANOVA, y comparaciones múltiples utilizando la prueba de Duncan y Tukey para encontrar semejanzas o diferencias entre clases.

2.9 GENERACIÓN DEL MAPA FINAL

La clasificación así generada y aún en formato Raster generalmente contiene lo que en el lenguaje común se le denomina "sal y pimienta", que no son más que píxeles o grupos de ellos esparcidos dentro de las unidades homogéneas que no le corresponden. Para eliminar estos píxeles se utilizan filtros, así mismo se reagruparon

a fin de generar el mapa final, esto depende de la escala de salida del mapa. Finalmente, el mapa en formato raster fue convertido a formato vectorial, y utilizando software SIG, el acabado o presentación final.

2.10 CÁLCULO DE PRECISIÓN DEL MAPA (VALIDACIÓN)

Todo trabajo de mapeo apoyado en tecnología de percepción remota, particularmente la tecnología satelital, requiere de compromisos entre la información satelital usada para generar el mapa, y el nivel de precisión requerido del mismo. Los mapas, siendo modelos de la realidad, son raramente 100% correctos. Por lo tanto, el fundamento del compromiso reside en la aceptación de un nivel de error en el producto cartográfico, a cambio del uso de una tecnología relativamente barata (soles / hectárea mapeada).

Evaluar la precisión para determinar si la información de un mapa se encuentra dentro de los estándares de aceptación es quizás una de las etapas más críticas de todo el proceso de mapeo, por cuanto indicará que tan útiles son los productos cartográficos y que tan confiables son las conclusiones obtenidas de esta información espacial.

La comparación entre la información que proporciona el mapa y la realidad, para efectos de evaluar la precisión puede apoyarse en dos fuentes de referencia: información satelital de mayor resolución espacial, fotografía aérea de gran escala (donde se tenga la certeza que la data geoespacial de referencia es la correcta), o data acopiada en el campo especialmente para su comparación con el producto cartográfico generado.

2.11 ACOPIO DE INFORMACIÓN

Para efectos del presente trabajo, la fuente de comparación estará conformada en su totalidad por información colectada en visitas de campo a zonas localizadas dentro de las áreas muestreadas. El muestreo será realizado al azar siguiendo el método itinerante, a lo largo de trochas carrozables, con la ayuda de un GPS navegador.

2.12 COEFICIENTE KAPPA

El coeficiente KAPPA mide la bondad de la clasificación, comparada con la probabilidad de asignar puntos al azar, a categorías correctas. Por lo tanto, la importancia y fortaleza del análisis de KAPPA radica en la posibilidad de probar si un mapa de uso y cobertura del suelo es significativamente mejor que si dicho mapa hubiese sido generado asignándole al azar, el tipo cobertura o clase temática, a los polígonos generados durante la clasificación. El coeficiente KAPPA es ampliamente usado porque todos los elementos de la matriz de error contribuyen en el cálculo y no solamente los valores de la diagonal mayor, descontándose además por los aciertos debidos al azar.

El coeficiente KAPPA representa la proporción de acierto obtenido después de restar aquella que puede ocurrir por pura suerte. Se representa típicamente entre 0 y 1; donde 1 indica total concordancia, y es una medida de la precisión cuando expresado en porcentaje. Senseman, caracteriza los valores de KAPPA en tres grupos: un valor > 0.80 (80%) representa una fuerte concordancia; entre 0.40 y 0.80 (40% a 80%) representa una moderada concordancia, y un valor < 0.40 (40%) representa una pobre concordancia.

2.13 TABLA DE CONTINGENCIA O MATRIZ DE ERROR

La matriz de error compara información de los sitios de referencia con la información del mapa para un número determinado de áreas muestreadas. Es una tabla de dos entradas en la que las columnas usualmente representan las clases de la información asumidas correctas, llamada información de referencia. Las filas representan generalmente las categorías o clases del mapa de la información generada a partir de los sensores remotos (ver **Cuadro 2**). El análisis que se presenta si bien no se ha sustentado con la data colectada en campo, sino con los puntos de entrenamiento sobre la imagen satelital, grafica en parte la metodología de cálculo, quedando pendiente la segunda parte del mismo (Índice Kappa) como objetivo del próximo fase.

Cuadro N° 2. Matriz de error para el sector Belén de Anapiari

		REFERENCIA (Verificación de Campo)											
		BPR	BST	BS 7 A 10	BS 4 A 6	BS 1 A 3	ASOCIADO	PASTIZAL	CULTIVO	SIN INFO	SUELO EXP.	TOTAL	% CORRECTO
MAPA	BPR	444	40	29	0	2	82	0	10	0	0	607	0.731
	BST	17	140	2	4	0	43	0	0	0	0	206	0.083
	BS 7 A 10	19	5	105	0	1	6	0	3	0	0	139	0.036
	BS 4 A 6	0	6	0	20	0	0	0	0	0	0	26	0.231
	BS 1 A 3	3	2	10	0	31	6	0	0	0	0	52	0.038
	ASOCIADO	64	75	13	30	31	157	0	2	0	0	372	0.202
	PASTIZAL	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	3	0.000
	CULTIVO	12	9	11	0	0	2	0	39	0	0	73	0.123
	SIN INFO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000
	SUELO EXP.	0	2	0	0	0	4	0	0	0	0	6	0.333
	TOTAL	559	279	170	57	65	300	0	54	0	0	1484	
	% CORRECTO	0.794	0.502	0.618	0.351	0.477	0.523	0.000	0.722	0.000	0.000		0.631

Fuente: Memoria descriptiva mapa Sector Anapiari

CAPÍTULO III

CARACTERIZACIÓN DE LOS TIPOS DE BOSQUE SECUNDARIO

3.1 DEFINICIONES.

De acuerdo con las nuevas Directrices⁷ de la OIMT para la restauración, ordenación y rehabilitación de bosques tropicales secundarios y degradados, los bosques se clasifican en las siguientes categorías:

3.1.1 Bosque Primario: bosque que nunca ha sido alterado por el hombre o que su afectación por la caza, la recolección de productos y la tala de árboles ha sido mínima, de tal forma que su estructura, sus funciones y su dinámica naturales no han sufrido cambios que excedan la capacidad de resiliencia del ecosistema.

3.1.2 Bosque Natural Modificado: bosque primario manejado o explotado para la producción de madera y otros productos forestales no maderables, fauna silvestre u otros fines.

3.1.2.1 Bosque primario manejado: bosque primario en el que la extracción sostenible de madera y productos no maderables, el manejo de la fauna silvestre y otros usos han cambiado la estructura y la composición de las especies del bosque primario original.

3.1.2.2 Bosques secundarios y degradados: bosques o tierras forestales que se han alterado más allá de los efectos normales de los procesos naturales mediante el uso insostenible o a través de desastres naturales tales como tormentas, incendios, deslizamientos de tierras o inundaciones. Se identifican tres subcategorías:

- **Los bosques primarios degradados:** son bosques primarios (u “originales”) en los que la estructura, procesos, funciones y dinámica de la cobertura boscosa inicial se han alterado más allá de la resistencia a corto plazo del ecosistema, quedando afectada la capacidad de resiliencia.
- **Los bosques secundarios:** están compuestos por vegetación boscosa que ha vuelto a crecer en tierra donde la cobertura boscosa original fue, en su mayor parte desmontada (< 10 % de la cobertura boscosa original). Estos, por lo general, se desarrollan naturalmente en tierras abandonadas después de cultivos migratorios, pastizales o fracaso de plantaciones de árboles.
- **Las tierras forestales degradadas:** son tierras previamente boscosas que fueron severamente dañadas por la extracción excesiva de productos forestales, prácticas deficientes de manejo, incendios reiterados, el pastoreo de ganado, u otras alteraciones o usos de la tierra que dañan la vegetación en tal grado que se inhibe o retrasa seriamente el restablecimiento del bosque posterior al abandono.

⁷ Directrices de la OIMT para la Restauración, Ordenación y rehabilitación de Bosques Tropicales Secundarios y Degradados. OIMT – Serie de políticas forestales N° 13

3.1.3 Criterios para definir los rangos de edad de los bosques secundarios en selva central del Perú

En un análisis de la dinámica del vuelo, reportado por Lamprecht Hans (Silvicultura en los trópicos – 1990), establece un rango de edades en bosques secundarios que va de 1 a 3 años, de 3.5 a 6 años y así sucesivamente, hasta 15.5 a 19 años. Originalmente llamado fases, caracterizados no por su edad, sino por las características estructurales y específicas. Considera a la fase final entre 15 y 20 años, estadio en que la dominancia de las especies pioneras llega a su término. Este antecedente fue tomado como información de inicio para el establecimiento de las categorías aquí presentadas. Además de ello, se hace un análisis de otros criterios considerados importantes para el análisis posterior.

1. **Diferenciación estructural:** aún cuando la sucesión de la cobertura boscosa es continua en el tiempo, es obvia la diferencia estructural entre edades o grupo de edades en el proceso de recuperación del bosque. Así, la densidad de individuos por unidad de área disminuye en proporción inversa con la edad del rodal. Esto tiende a ser más notorio en edades avanzadas, así como la composición específica. Del mismo modo, el área basal por unidad de área de los árboles aumenta a medida que el rodal envejece, notándose una correlación positiva con el **dap** (diámetro a la altura del pecho).
2. **Información variada confiable y accesible:** considerando la singularidad del estudio y la inexistencia de rodales testigos hace que el apoyo en información por parte de los campesinos y o propietarios de las parcelas evaluadas referente a las edades, sea de gran importancia durante la colección de datos. Ello es más confiable para rodales jóvenes.
3. **Patrones temporales y espaciales de barbecho (dinámica de uso del territorio):** se ha notado que los patrones de uso del suelo varía con la región que se evalúa, en ciertos casos el tiempo de descanso de las parcelas es de 2 a 3 años, mientras que en otros casos este es de 3 a 4 años.
4. **Escala de trabajo y resolución de imagen satelital:** la escala de trabajo y la practicidad del análisis exige cierta generalización, por lo que el área mínima de mapeo de 0.5 hectárea deja de lado a pequeños parceleros que rotan más a menudo sus terrenos, de 1 a 2 años en promedio, y de menos de 0.5 hectáreas.
5. **Antigüedad de intervención en el territorio:** uno de los factores importantes en el análisis es el tiempo transcurrido desde la primera intervención del bosque así como los tiempos de barbecho. No teniendo conocimiento de este dato, la consideración de bosque secundario tardío a partir del año 11 es lo más adecuado.

Estadios tempranos de sucesión de bosques secundarios pueden ser usados como alimento para ganado, por lo que podría haber una confusión con pastizales y pastizales abandonados.

Aún cuando el proceso de recuperación del bosque (estadios sucesionales del bosque secundario) ocurre en forma continua en la realidad, para distinguir y caracterizar las estructuras de estos en sus distintas fases, fue necesaria la selección de las categorías de edades de acuerdo con los criterios que se mencionaron

Así, se ha considerado la siguiente estratificación:

- Bosque Secundario de 1 a 3 años (BS 1 a 3)
- Bosque Secundario de 4 a 6 años (BS 4 a 6)
- Bosque Secundario de 7 a 10 años (BS 7 a 10)
- Bosque Secundario Tardío (BST): rodales a partir de 11 años

CAPÍTULO IV

UNIDADES CARTOGRÁFICAS

Para el desarrollo de los mapas, las leyendas y la interpretación de las coberturas se han considerados las siguientes coberturas

12. Bosque Secundario de 1 a 3 años (*BS 1-3*)
13. Bosque Secundario de 4 a 6 años (*BS 4-6*)
14. Bosque Secundario de 7 a 10 años (*BS 7-10*)
15. Bosque Secundario Tardío (*BST*)
16. Bosque Primario Remanente (*BPR*)
17. Asociación Cultivo Permanente y Forestal (*Cp/F*)
18. Áreas de Cultivos (*Cu*)
19. Pastizales (*P*)
20. Áreas degradadas (*Ad*)
21. Suelo expuesto (*Se*)
22. Otras áreas (*Ur, Ca, Sd*)

4.1 Bosque Secundario de 1 a 3 años (BS 1-3)

Espacialmente, estas áreas están localizadas en las partes altas de la ladera, en forma diseminada, esta característica de tamaño de parcela y área total, indicaría en una primera instancia una baja presión antrópica por una parte. Esta categoría de bosque se caracteriza por presentar un dap promedio de 0.30 m. Esto resulta de promediar las observaciones en parcelas de 1 año de edad, 2 años y 3 años.



FIGURA 12

BS 1-3

BOSQUE SECUNDARIO DE 1 a 3 AÑOS

EN SEGUNDO PLANO, AL FONDO

4.2 Bosque Secundario de 4 a 6 años (BS 4-6)

Estas tierras, por haber sido mas utilizadas, y su contenido de nutrientes aprovechables disminuido, el tiempo de barbecho se ha alargado. Es muy probable que en el año que sigue, estos bosques sean quemados para incorporar nutrientes al suelo y su conversión a tierras de cultivo permanente o temporal. Estas áreas están dispersas a lo largo y ancho del territorio evaluado, no existiendo un patrón espacial definido. El dap promedio encontrado en esta clase es de 0.29 m.



FIGURA 13

BS 4-6

BOSQUE SECUNDARIO DE 4 a 6 AÑOS

EN SEGUNDO PLANO

4.3 Bosque Secundario de 7 a 10 años (BS 7-10)

En esta etapa los bosques presentan parcelas con áreas de barbecho, de tal manera que la clasificación asocia en una sola unidad más grande a las parcelas pequeñas. Espacialmente presentan un patrón definido, pues mayormente se les localiza cerca de la carretera y cercanos a centros poblados. Son espacios que han sido dejados para un descanso más prolongado, por su sobre utilización como tierras de cultivo. Por su secuencia cronológica dentro del proceso de sucesión, el dap promedio se incrementa a 0.31 m.

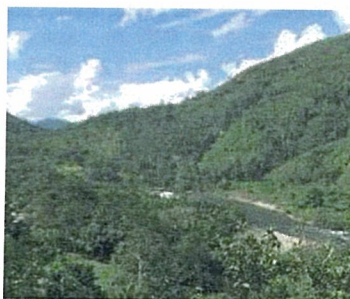


FIGURA 14

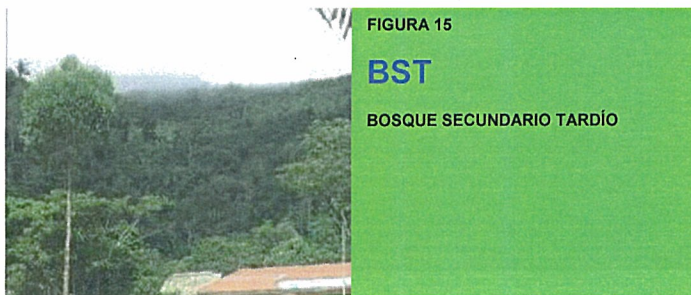
BS 7-10

BOSQUE SECUNDARIO DE 7 A 10 AÑOS

EN SEGUNDO PLANO AL CENTRO DE LA FOTO

4.4 Bosque Secundario Tardío (BST)

Según Lamprecht Hans, esta es la etapa en que termina la dominancia de las especies pioneras, por lo que se espera un cambio marcado en la composición específica así como estructural del bosque. Por otra parte, se incrementa el dap promedio a 0.32 m.



4.5 Bosque Primario Remanente (BPR)

Espacialmente localizadas en las partes altas de la ladera, mayormente como relictos que han permanecido exentos de una intervención antrópica intensa, debido a su inaccesibilidad o a condiciones de suelo, y en algunos casos como protección de quebradas en terrenos empinados.

Los árboles en esta formación son más grandes, presentando en promedio 0.54 m de dap.



4.6 Asociación Cultivo Permanente y Forestal (Cp/F)

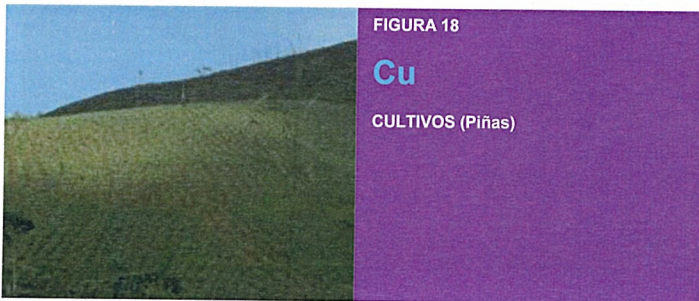
Estas asociaciones se localizan en forma diseminada en todo el territorio muestreado, sin mostrar un patrón espacial definido, generalmente esta asociación se compone de cafetales cultivados bajo sombra de árboles maderables, y eventualmente plantaciones de cacao.



4.7 Áreas de Cultivos (Cu)

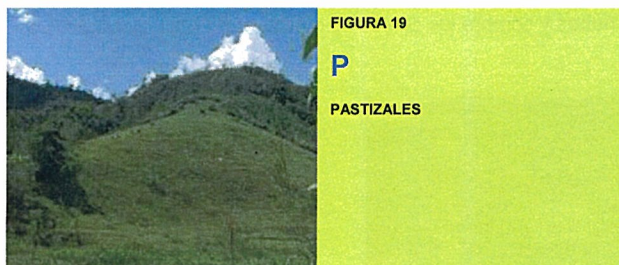
Comprende aquellas tierras en las se desarrollan actividades agrícolas, mayormente destinadas a cultivos de pan llevar, frutales y hortalizas, ya sea para la subsistencia del poblador o para la venta a intermediarios.

Como es de esperar, no existen parcelas de grandes extensiones destinadas al cultivo de pan llevar. Son estas tierras las que probablemente pasarán a descanso, cuando el rendimiento de los cultivos no justifique la inversión, iniciándose así la primera etapa de la sucesión de bosques secundarios.



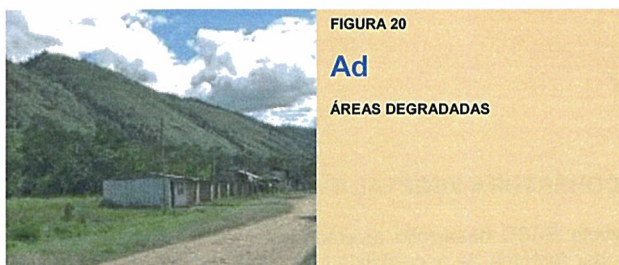
4.8 Pastizales (P)

Estos espacios están cubiertos por pastos naturales emergentes después de varios ciclos de uso agrícola de los suelos, cuando son abandonados y destinados al pastoreo de ganado.



4.9 Áreas degradadas (Ad)

Son espacios antes cubiertos por bosques, los cuales debido a incendios recurrentes, o a su uso intensivo y sin criterio de manejo sostenible, perdieron toda capacidad de regenerar la cobertura vegetal, es decir con una nula presencia de nutrientes orgánicos e inorgánicos. Estas tierras son fácilmente distinguibles en las imágenes de satélite.



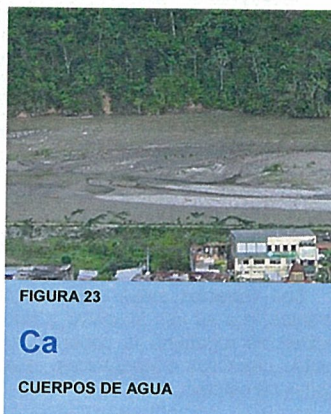
4.10 Suelo expuesto (Se)

Son espacios denudados, donde la cubierta vegetal es inexistente. Estos pueden ser de naturaleza variada: arenosa, arcillosa, o rocosa. Se les ubica en los lechos de los ríos y en espacios circundantes a los centros urbanos.



4.11 Otras áreas

Están constituidas por espacios ocupados por las áreas urbanas (**Ur**), cuerpos de agua (ríos, quebradas, lagos y lagunas) estos con el símbolo (**Ca**). Dentro del área evaluada no ha sido posible cuantificarlas por su pequeñez, a excepción de los centros poblados. Así mismo se presentan áreas sin información, las cuales son espacios cubiertos por nubes y sombra los cuales se consideran áreas sin datos (**Sd**)



CAPÍTULO V

MAPAS DE COBERTURA VEGETAL ELABORADOS

El proyecto BSSC desarrolló diversos estudios en la zona muchos de ellos condicionados por factores de accesibilidad o económicos los cuales se resumen en 11 mapas de cobertura en las áreas que se aprecia en el **Cuadro 3** y en la **Figura 24** como se aprecia el trabajo se desarrolló dentro de área del proyecto enfocándose en zonas donde había presencia de bosque secundario, primando las zonas que tenían mayor acceso a las vías de transporte.

Uno de los inconvenientes en el estudio de estas áreas es la cantidad de nubes que había en la zona que impedían en muchos casos cubrir en un 100% el estudio de las áreas.

La asociación de varias coberturas en una sola, por ejemplo; las áreas degradadas, zonas con arena y áreas urbanas son confundidas muchas veces por los sensores de los satélites, de allí la importancia de hacer una leyenda general con las coberturas para evitar que futuros estudios denominen a una misma cobertura con otro nombre ya que la interpretación de imágenes depende mucho del conocimiento que posee cada interpretador, es por eso que se trata de agrupar asociaciones similares y homogeneizar términos los cuales permitan.

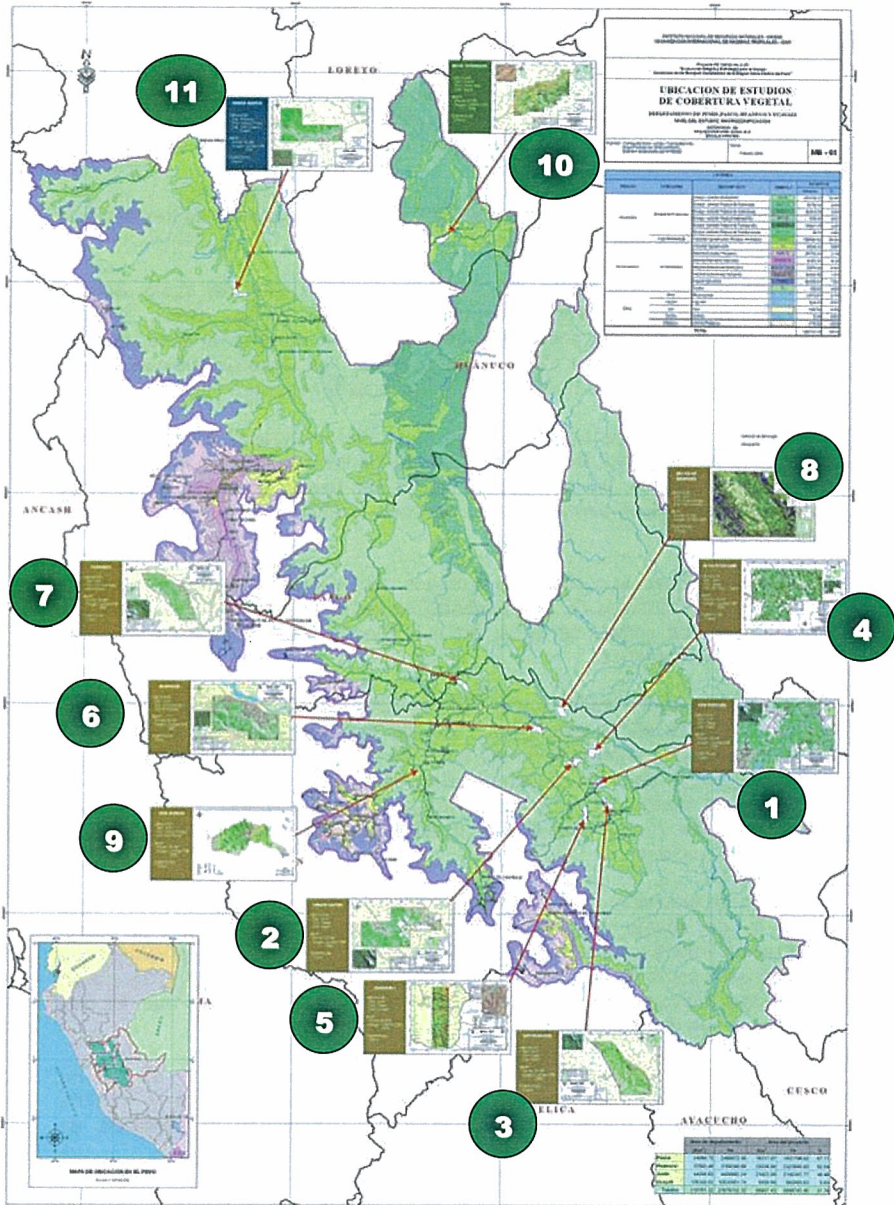
Se demuestra la metodología usada para el manejo de imágenes de satélite con fines de clasificación de la cobertura vegetal, en algunos casos se usaron diferentes tipos de imágenes y diferentes métodos para poder obtener los resultados esperados, el de fragmentar el bosque secundario y poder discriminarlos mediante las imágenes de satélite

A continuación se exponen los resultados que se obtuvieron para cada área evaluada

Cuadro N° 3. Áreas de evaluación de cobertura vegetal*Fuente: Elaboración propia*

	MAPA	UBICACIÓN				ESCALA	SENSOR		COBERTURAS ENCONTRADAS
		DEPART.	PROVINCIA	DISTRITO	LOCALIDAD		TIPO	FECHA	
1	San pascual	Junín	Satipo	Satipo	San Pascual	30000	Landsat 5 TM	2006	9 coberturas
2	Unión Capiri	Junín	Satipo	Satipo	Unión Capiri	25000	Landsat 5 TM	2006	9 coberturas
3	Capirushari	Junín	Satipo	Satipo	Capirushari	25000	Landsat 5 TM	2006	8 coberturas
4	Alto Pitocuna	Junín	Satipo	Rio Negro - Satipo	Alto Pitocuna	20000	Landsat 5 TM	2006	10 coberturas
5	Coviriali	Junín	Satipo	Coviriali	Coviriali	60000	CBERS CCD	2004	4 coberturas
6	Quimikiri	Junín	Chanchamayo	Pichanaki	Quimikiri	25000	Landsat 5 TM	2006	8 coberturas
7	Yurinaqui	Junín	Chanchamayo	Perene	Yurinaqui	30000	Landsat 5 TM	2006	8 coberturas
8	Belén de Anapiari	Junín	Chanchamayo	Chanchamayo	Belén de Anapiari	23000	Aster	2006	10 coberturas
9	San Ramon	Junín	Chanchamayo	San Ramon	San Ramon	80000	Landsat 5 TM	2006	7 coberturas
10	Bajo Shiringal	Ucayali	Padre Abad	Irazola	Anexo Bajo Shiringal	30000	CBERS CCD	2006	8 coberturas
11	Santa Martha	Huanuco	Leoncio Prado	Jose Crespo y Castillo	Santa Martha	30000	Landsat 5 TM	2006	8 coberturas

Figura 24. Áreas evaluadas dentro del límite del proyecto



Fuente: Elaboración propia

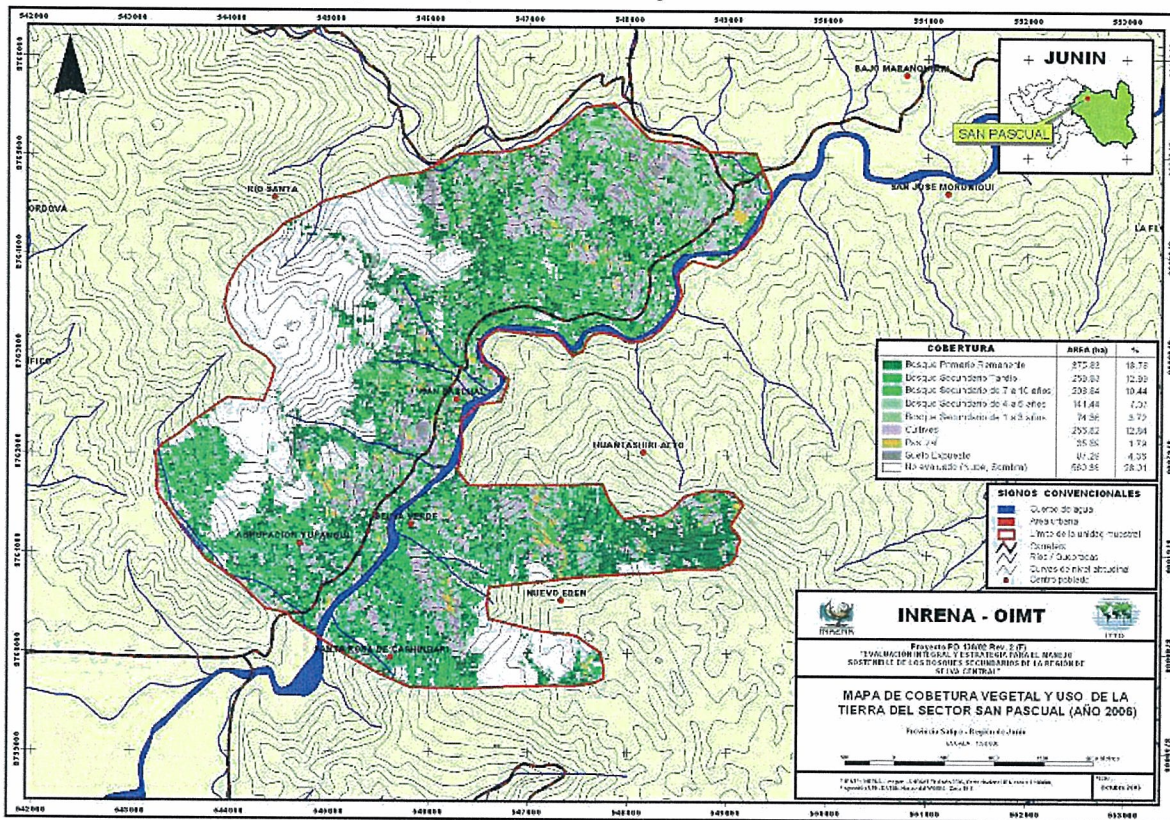
5.1 SAN PASCUAL, UNIÓN CAPIRI y CAPIRUSHARI (Satipo)

La comunidad nativa San Pascual presenta un solo acceso a través de un camino afirmado de una sola vía, no cuenta con energía eléctrica y sólo tiene escuela primaria. Los anexos Unión Capiri y Capirushari están ubicados al margen de la Carretera Marginal de la Selva Central, cuentan con servicios básicos como energía eléctrica. El anexo Unión Capiri tiene escuela primaria y el anexo Capirushari cuenta con escuela primaria y secundaria y una plana docente con mucha capacidad de gestión.

Los mapas de cobertura vegetal y uso del suelo definitivo para los tres sectores se muestran a continuación de las discusiones:

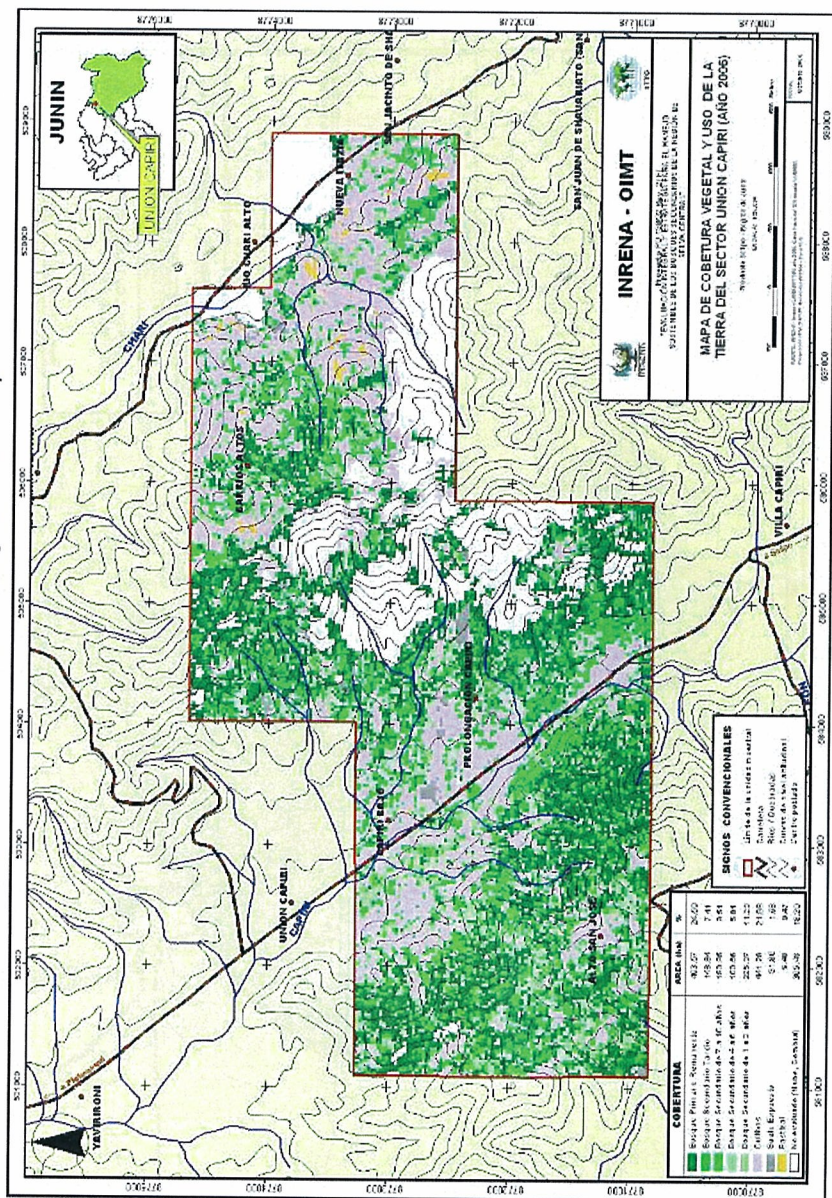
- Se identificaron siete clases de cobertura vegetal y usos del suelo: Bosque primario remanente (BPR), Bosque Secundario Tardío (BST), Bosque Secundario de 7 a 10 años, Bosque Secundario de 4 a 6 años, Bosque Secundario de 1 a 3 años, Cultivos, y Pastizales. La clase de suelo expuesto, podría ser resultado de la degradación extrema de la cobertura vegetal.
- Como característica general del paisaje se puede observar el espacio ocupado por las tierras de cultivo, localizadas alrededor de las ciudades y a lo largo de los caminos. Igualmente, en espacios contiguos, las tierras ocupadas por la clase asociación de cultivos permanentes y especies forestales es bastante frecuente en estas áreas.
- Se observan espacios conspicuos cubiertos por bosques primarios remanentes localizados en las cimas de las montañas, en los lugares con alta pendiente y a los lados de los cursos de agua; en ese sentido, estas formaciones cubren espacios muy pequeños.
- De las 8 bandas analizadas por el método SIG, las bandas 4,5 y 8 mostraron buena eficiencia en la segregación de los bosques primarios residuales y bosques secundarios tardíos; no así entre los bosques secundarios jóvenes. La mejor separación espectral de la mayoría de las clases de cobertura vegetal se logró con la banda 4,5 y 8 de la imagen Landsat 5 TM. Los bosques secundarios de 7 a 10 años y 4 a 6 años son las coberturas de más alta reflectancia hallados.
- El cálculo de precisión considerando la validación de campo dio como resultado 68.18 % de acierto para el sector San Pascual, 60.11% para el sector Capirushari y 80 % para el sector Unión Capiri (a nivel de píxel). Los valores son considerados como de "moderada concordancia", según Senseman y Congalton (1995), que indican que esta variable varía entre 40 y 80 %, por lo que, los tres sectores tienen dicha precisión.
- En los sectores San Pascual y Unión Capiri existe un porcentaje alto de área no evaluada del área total por la presencia de nubes, 28.01% y 18.20% respectivamente; mientras que para el sector Capirushari la presencia de nubosidad en la imagen satelital fue 0%.

Figura 25. Mapa de Cobertura Vegetal de San Pascual



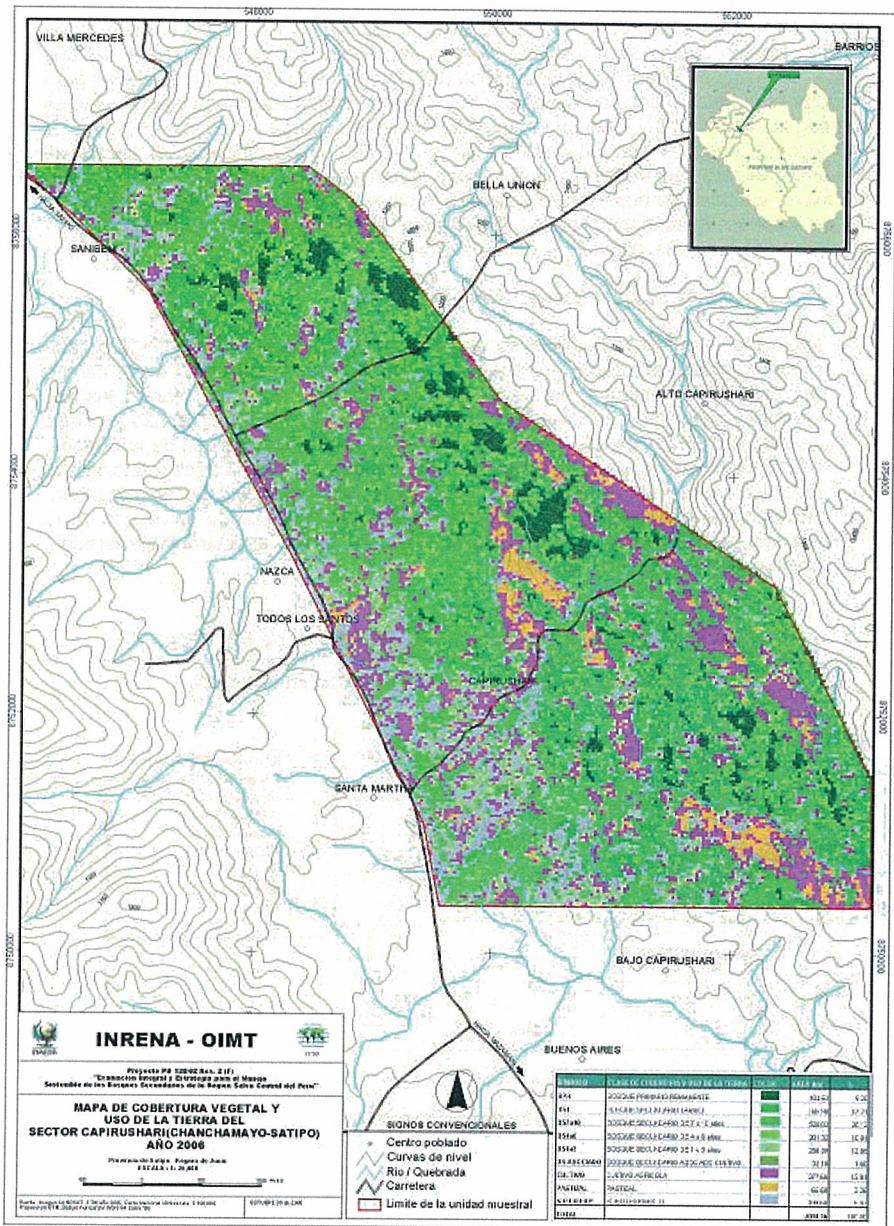
Fuente: Elaboración propia

Figura 26. Mapa de Cobertura Vegetal de Unión Capiri



Fuente: Elaboración propia

Figura 27. Mapa de Cobertura Vegetal de Unión Capirushari



Fuente: Elaboración propia

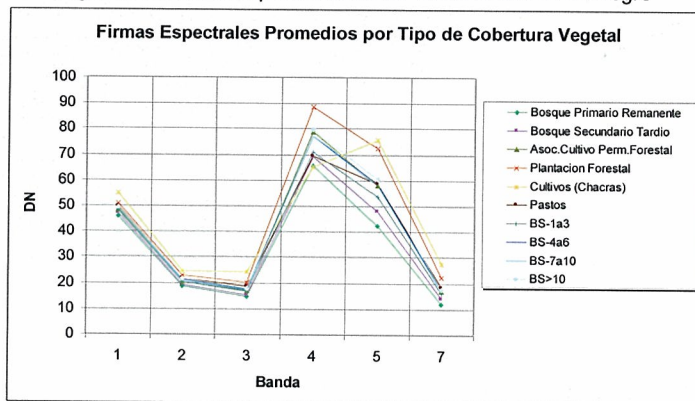
5.2 SECTOR RÍO NEGRO

Se presenta la metodología modificada y resultados obtenidos del mapeo de cobertura vegetal y uso del suelo en los distritos de Río Negro y Satipo, provincia de Satipo, Región Junín. Se utilizó una imagen de satélite LANDSAT 7 ETM+ del año 2003, Sistemas de Información Geográfica (SIG) y muestreo de campo extensivo para generar el producto final. Las bandas 4, 5, y 7 fueron utilizadas para la clasificación de la imagen; siendo la 5 y 7 las que más eficientemente segregan los estadios adulto de los jóvenes bosques secundarios. En las 4,000 ha, se identificaron 10 clases de cobertura vegetal, dentro de las cuales cinco caracterizan a los bosques secundarios. La mayor cantidad de bosques se hallan en la clase de 4 a 6 años, y la de menor, en la de Bosque Secundario Tardío. En el área evaluada todavía existen 51,219.1 hectáreas de bosques, el 54.87 % del área total.

5.2.1. Clasificación mixta del área de estudio

Previamente a la clasificación, se colectaron los píxeles correspondiente a cada parcela muestreada (tipo de cobertura vegetal) y georeferenciada en el campo (sitios de entrenamiento), desplegando las bandas 4, 5, y 7 de la imagen, las que permitían distinguir más eficientemente los distintos tipos de bosque, asociaciones vegetales o clases de uso del suelo. Para evaluar la separabilidad de las clases, se planteó el valor de la reflectancia de las 7 bandas para cada clase mencionada. Estableciéndose las bandas 4, 5, y 7 como las que mejor se comportaban. Posteriormente se realizó la clasificación supervisada utilizando el método de la máxima probabilidad (maximum likelihood), y las firmas espectrales generadas, como clases indicaba la leyenda.

Figura 28. Firmas Espectrales de las Coberturas de Río Negro

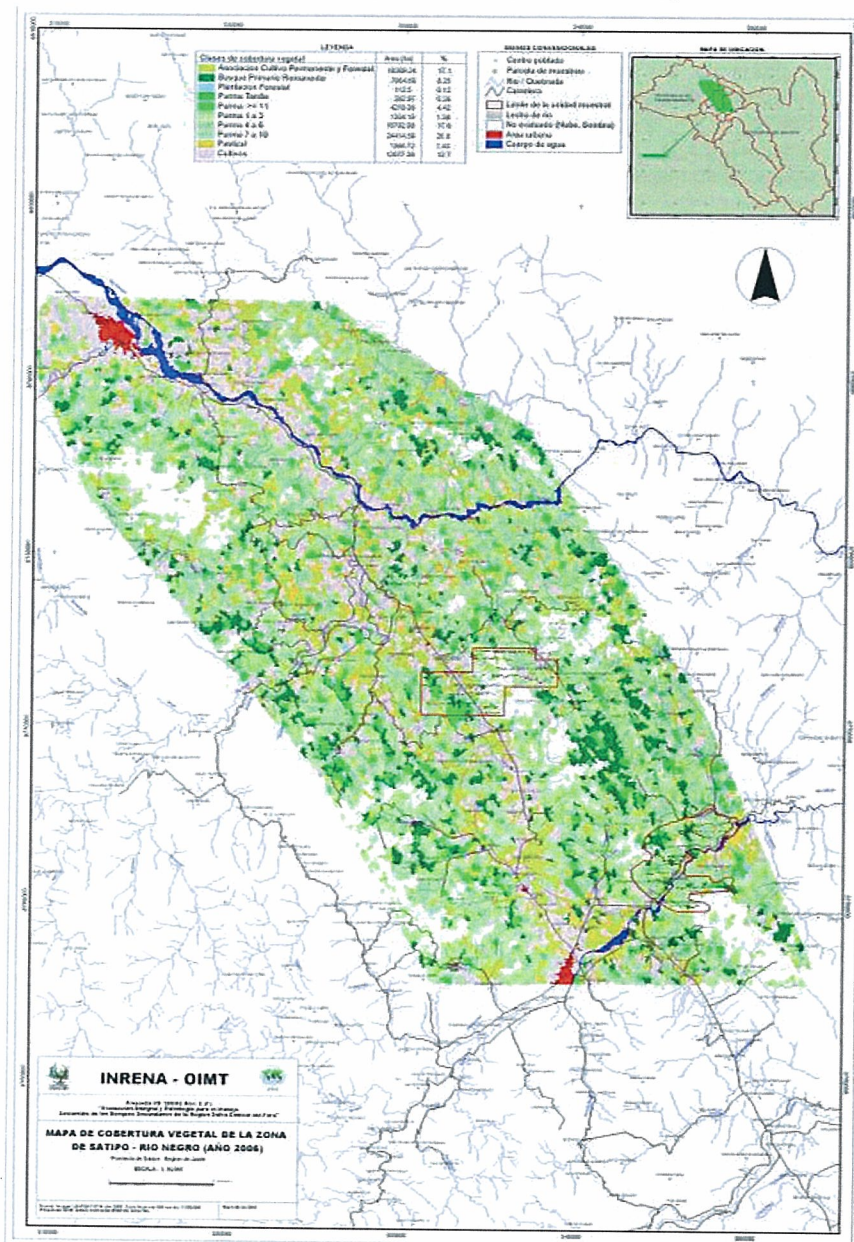


Fuente: Elaboración propia

- Se identificaron seis clases de cobertura vegetal del suelo, de las cuales la clase Purma (Bosque Secundario) se subdividió en 5 rangos de edad.
- El análisis espacial demostró que el área total por clase de Purma, en general varía en forma inversa con su edad. Es decir, grandes extensiones son ocupadas por purmas de menor edad y purmas maduras ocupan áreas pequeñas. Indicando este fenómeno, una presión extensa sobre el suelo, con tendencia a su conversión en tierras de cultivo permanente.

- En general, el grado de fragmentación de las purmas es alto, particularmente la Purma de 4 a 6 años, característica que podría dificultar su manejo.
- A pesar de ser considerada un área de alta presión antrópica, el corredor comprendido entre la ciudad de Pichanaqui, a lo largo de la carretera hacia Satipo, se ha encontrado que el 54.87 % de este territorio está cubierto por bosques. Es decir, 51,219.1 hectáreas de las 95,307.09 ha evaluadas son fuente potencial de madera, y susceptible de manejo.
- De las 3 bandas (4, 5, 7), las bandas 5 y 7 mostraron buena eficiencia en la segregación de los BPR, BST, no así entre los bosques Secundarios jóvenes.
- El cálculo de precisión a nivel de píxeles clasificados versus píxeles de los campos de entrenamiento dio un valor de 73% para todas las categorías. Valor considerado aceptable según Senseman.

Figura 29. Mapa de Cobertura Vegetal de Río Negro



Fuente: Elaboración propia

5.3 DISTRITO DE COVIRIALI

Ubicado en la provincia de Satipo, Región Junín. Se utilizó una imagen de satélite CBERS del 04 de agosto del año 2004, Sistemas de Información Geográfica (SIG) y muestreo de campo extensivo para generar el producto final. Las bandas 4, 2 Y 3 fueron utilizadas para la clasificación de la imagen. En las 2013.75 ha, se identificaron 4 clases. Una clase particular, por su extensión en el sector, corresponde al Bosque Primario y a las asociaciones Primarias Remanentes, cubriendo un área de 723.46 ha, es decir el 35.93% del área evaluada. Por otra parte los cultivos se hallan con 30.31%, comparados con el patrón de uso de otros sectores estudiados indican un uso creciente de tierra explotada. Cabe destacar que la cobertura suelo expuesto presentes en la imagen seleccionada representa el 3.41% de la clasificación.

5.3.1. Imágenes de satélite

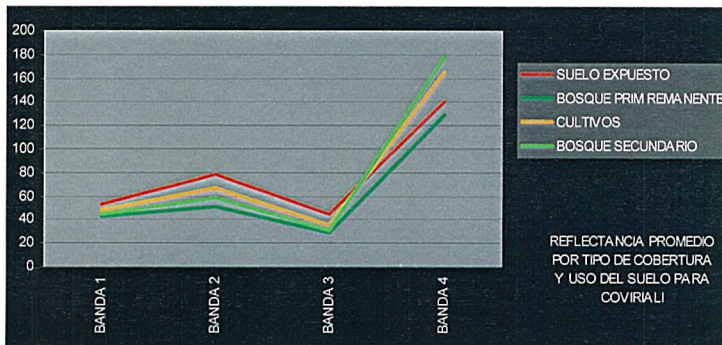
Imagen de satélite CBERS del 04 de agosto del año 2004 de 20 m de resolución espacial y 3 bandas, en formato Tiff, como fuente primaria de información digital.

5.3.2. Clasificación mixta del área de estudio

Previamente a la clasificación, se colectaron los píxeles correspondiente a cada parcela muestreada (tipo de cobertura vegetal) y georeferenciada en el campo (sitios de entrenamiento), desplegando las bandas 1,2, y 3 de la imagen, las que permitían distinguir visualmente con mayor eficiencia los distintos tipos de bosque, asociaciones vegetales o clases de uso del suelo. Posteriormente se realizó la clasificación supervisada utilizando el método no paramétrico del paralelepípedo, y en el paramétrico, el de la mínima distancia.

El Índice Diferencial de Vegetación Normalizado (NDVI), el cual es una clasificación de la imagen utilizando el cociente entre la diferencia y la suma de las bandas 3 y 4, complementa muy eficientemente a la interpretación visual, mejorando así la discriminación de las clases. Los valores que arroja esta clasificación varían de -1 a 1, representando los valores negativos a las nubes y agua, y los valores cercanos a cero a roca y suelo expuesto, mientras que las áreas cubiertas por vegetación varían entre 0.1 y 0.6, hallándose las de mayor densidad (bosques) por encima de 0.6.

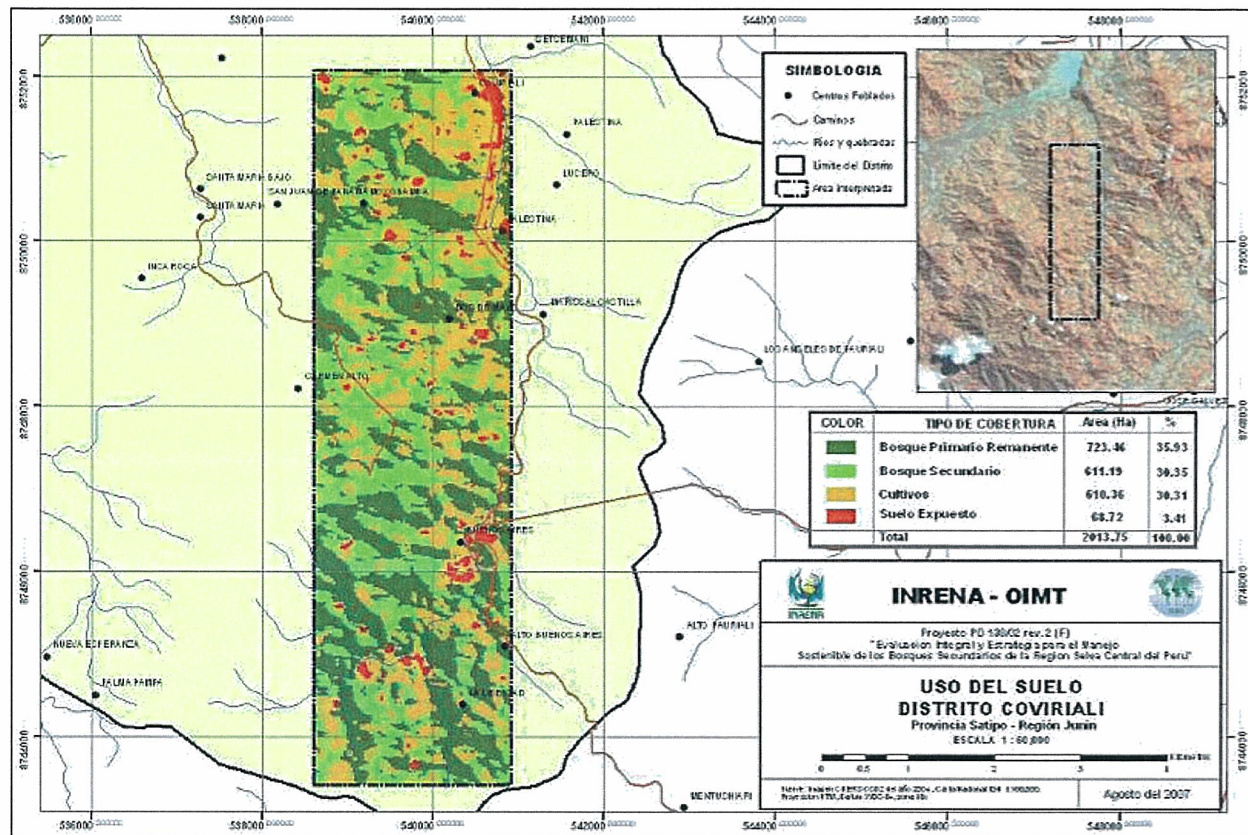
Figura 30. Firmas Espectrales para las coberturas del distrito de Coviriali



Fuente: Elaboración propia

- Se identificaron tres clases de cobertura vegetal y uso del suelo: Bosque primario (BP), Bosque Secundario (BS) y Cultivos. La clase de suelo expuesto, que podría ser resultado de la degradación extrema de la cobertura vegetal o afloramiento de rocoso esta igualmente identificada.
- El análisis espacial demuestra un patrón definido del uso de la tierra. Notoriamente una gran extensión territorial destinado al cultivo de café, asociado con árboles maderables y un mínimo uso de la tierra como barbecho. Aunado a ello se puede notar asimismo que el 66.28% del territorio evaluado está cubierto por bosques primarios remanentes y secundarios.
- Basado en el análisis espacial y la comparación con el paisaje de otros sectores estudiados, se puede decir que la presión antrópica se ha estabilizado o en su defecto la actitud del poblador es contraria al típico migrante de la cultura de barbecho para el distrito de Coviriali.
- Por ser una zona eminentemente cafetalera, y según el análisis espacial de la ocupación de la tierra, se puede afirmar que existe una estabilización de la presión antrópica sobre el cambio de uso.
- El cálculo de precisión en base a verificación de campo dio como resultado 98.28% considerando todas las clases mencionadas. Valor considerado moderado según Senseman.

Figura 31. Mapa de Cobertura Vegetal del Sector Coviriali



Fuente: Elaboración propia

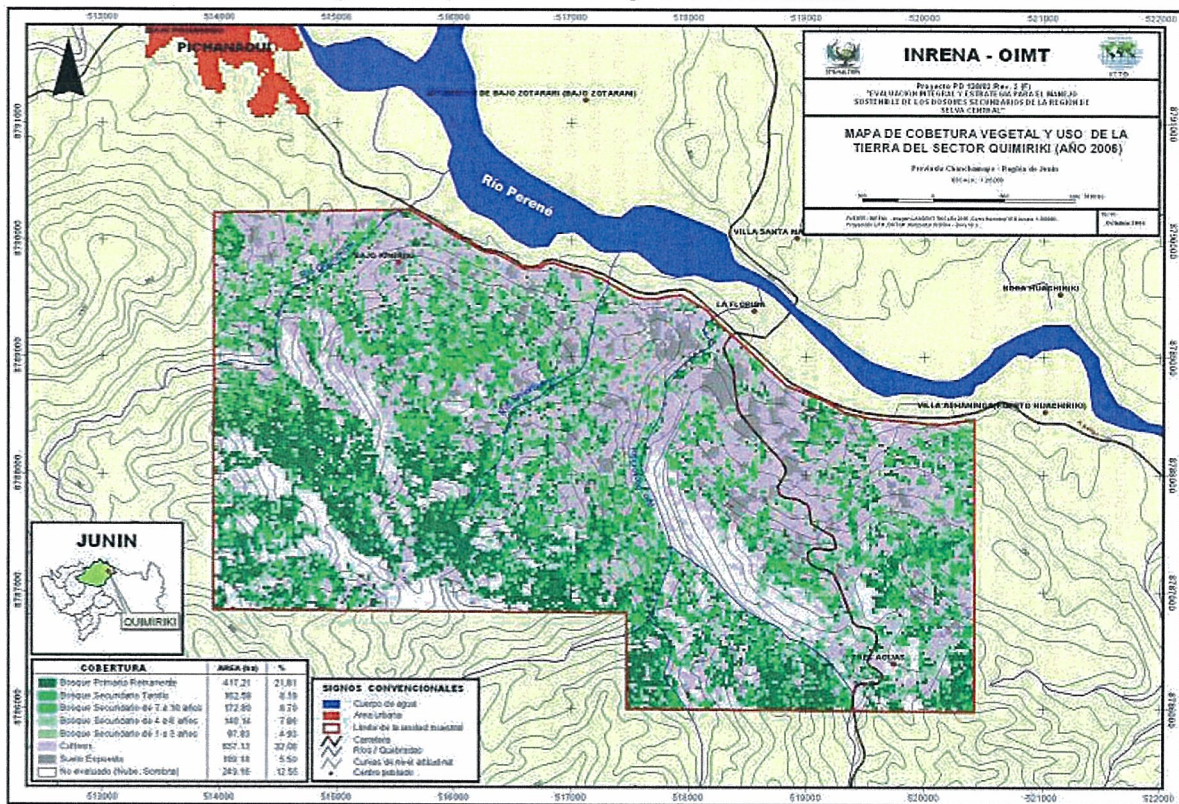
5.4 SECTOR QUIMIRIKI

La comunidad nativa Quimiriki se encuentra al margen derecho de la carretera marginal, a 10 minutos de la ciudad de Pichanaki; mientras que la vía de acceso a la comunidad nativa Alto Yurinaki es por la misma vía pero en el sentido contrario entrando por el puente de Puerto Yurinaki y se encuentra a 2 horas aproximadamente de la ciudad de Pichanaki.

Los mapas de cobertura vegetal y uso del suelo definitivo para los dos sectores se muestran a continuación de las discusiones:

- Se identificaron siete clases de cobertura vegetal y usos del suelo: Bosque primario remanente (BPR), Bosque Secundario Tardío (BST), Bosque Secundario de 7 a 10 años, Bosque Secundario de 4 a 6 años, Bosque Secundario de 1 a 3 años, Cultivos, y Pastizales. La clase de suelo expuesto, podría ser resultado de la degradación extrema de la cobertura vegetal.
- Como característica general del paisaje se puede observar el espacio ocupado por las tierras de cultivo, localizadas alrededor de las ciudades y a lo largo de los caminos. Igualmente, en espacios contiguos, las tierras ocupadas por la clase asociación de cultivos permanentes y especies forestales es bastante frecuente en estas áreas.
- Se observan espacios conspicuos cubiertos por bosques primarios remanentes localizados en las cimas de las montañas, en los lugares con alta pendiente y a los lados de los cursos de agua; en ese sentido, estas formaciones cubren espacios muy pequeños.
- De las 8 bandas analizadas por el método SIG, las bandas 4, 5 y 8^a mostraron buena eficiencia en la segregación de los bosques primarios residuales y bosques secundarios tardíos; no así entre los bosques secundarios jóvenes. La mejor separación espectral de la mayoría de las clases de cobertura vegetal se logró con la banda 4, 5 y 8 de la imagen Landsat 5 TM. Los bosques secundarios de 7 a 10 años y 4 a 6 años son las coberturas de más alta reflectancia hallados.
- En el sector Quimiriki presenta un porcentaje de área no evaluada del área total por la presencia de nubes del 12.55% y en el sector Yurinaki la presencia de nubosidad en la imagen satelital es del 4.59%.

Figura 32. Mapa de Cobertura Vegetal del Sector Quimiriki



Fuente: Elaboración propia

5.5 SECTOR YURINAQUI

El territorio evaluado se encuentra ubicado en el distrito de Perené, provincia de Chanchamayo, Región Junín, a lo largo de éste discurre la quebrada Yurinaqui, y Chancarmás.

Metodologías para distinguir entre cuatro rangos de edades de Bosques Secundarios en la Amazonía Peruana, utilizando imágenes de satélite, no se han encontrado en la literatura consultada. Dada la gran extensión del territorio a evaluar, la tecnología LANDSAT de 30 metros de resolución espacial y 7 bandas de resolución espectral, resulta económicamente y técnicamente apropiada. Las imágenes LANDSAT pueden adquirirse a diversos niveles de procesamiento; sin embargo, cualesquiera sea éste, son necesarias ciertas correcciones y realces antes de su análisis.

5.5.1. Generación de nueva banda

Estudios realizados por Vieira, Ima Celia G. et al. 2002, indican que la mejor separación, para una sola banda en una imagen LANDSAT 7 ETM se observa en la banda 5. Las tierras cultivadas, pastizales, y áreas de cultivo permanente tuvieron las reflectancia más altas en la banda 5 y la variabilidad más alta entre los sitios de entrenamiento, lo que demuestra la naturaleza diversa de usos agrícolas de estos suelos. El bosque secundario más joven (3 años) también tuvo elevada reflectancia en la banda 5, comparada con otras edades, mientras que el bosque secundario más viejo (70 años) presentó la más baja reflectancia en la banda 5. Las diferencias de las propiedades espectrales en la sucesión cronológica de los bosques secundarios pueden deberse en la composición química de las hojas, su estructura, o contenido de humedad entre las especies que caracteriza cada una de las clases sucesionales del bosque. Steininger (1996), también encontró una buena separación entre bosques de 2 a 19 años en Brasil, Manaos, utilizando las bandas 5 y 7, y la suma de las bandas 3 y 4 en imágenes LANDSAT TM.

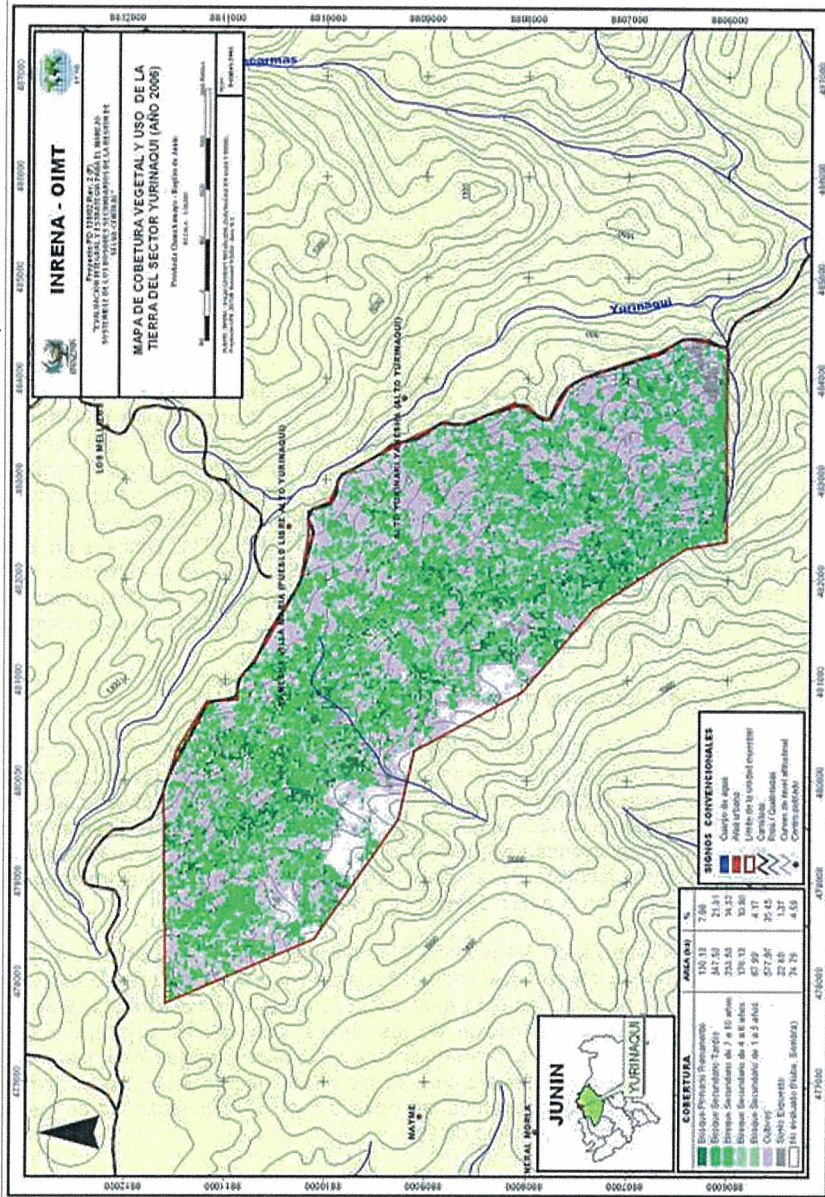
En el presente estudio, se utilizan las bandas 5, 7 y la suma de las bandas 3 y 4, tomando en consideración los buenos resultados experimentados en los trabajos mencionados anteriormente.

5.5.2. CLASIFICACIÓN MIXTA - Generación del mapa preliminar

Concluido los realces y correcciones de la imagen, se determinaron las bandas que mejor segregaban los distintos tipos de bosque, asociaciones vegetales o clases de uso del suelo. Posteriormente se realizó la clasificación (no supervisada) propiamente dicha utilizando el método de la ISODATA, asignándose 15 clases, anteriormente mencionadas. Se empleó para ello las bandas 5 y 7, y la nueva banda como resultado de la suma de las bandas 3 y 4; con las que mejor se pueden discernir las diferentes clases de cobertura vegetal. Seguidamente se procedió a la evaluación de las clases generadas, teniendo como información de referencia la imagen satelital e información cartográfica de apoyo.

El resultado de la clasificación no supervisada se plasmó en un mapa preliminar, el cual sirvió como base para la ubicación de los puntos de verificación de campo e insumo para la clasificación supervisada. Este producto intermedio, en formato Raster, no fue objeto de filtrado espacial alguno (no se aplicó el área mínima de mapeo), por lo que la información espacial mínima siguió siendo el píxel.

Figura 33. Mapa de Cobertura Vegetal del sector de Yurinaqui



Fuente: Elaboración propia

5.6 SECTOR BELÉN DE ANAPIARI

El área de estudio se encuentra ubicada en el distrito de Perené, provincia de Chanchamayo, Región Junín.

Se utilizó una imagen de satélite ASTER del año 2006, Sistemas de Información Geográfica (SIG) y muestreo de campo extensivo para generar el producto final. Las bandas 1,2 y 3 (comparables a las bandas 2,3 y 4 de Landsat) fueron utilizadas para la clasificación de la imagen. En las 2,002 ha, se identificaron 8 clases de cobertura vegetal, dentro de las cuales cuatro caracterizan a los bosques secundarios. Una clase particular, por su extensión en el sector, corresponde a la asociación Forestal / cafetal. La mayor cantidad de bosques se hallan en la clase Bosque Primario Remanente (BPR), en segundo lugar los Bosques Secundarios Tardíos.

5.6.1. Generación de la banda sintética

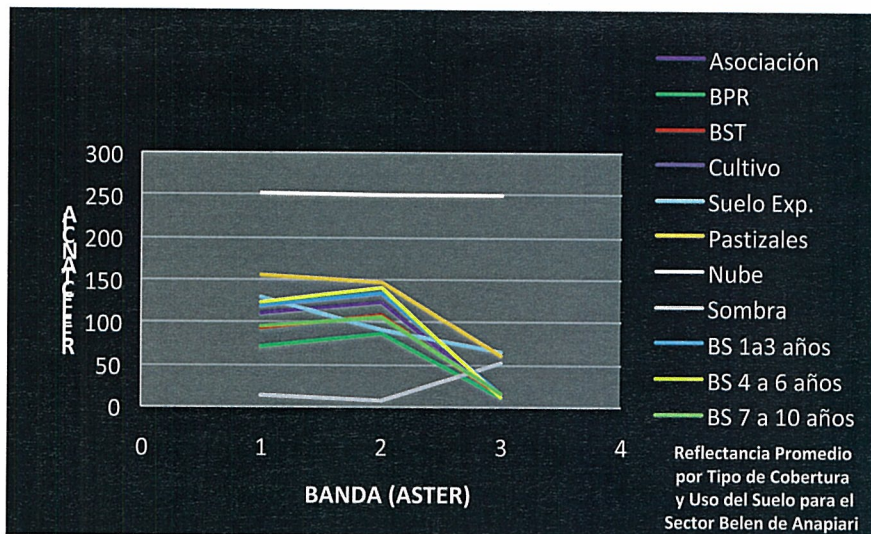
Información especializada sobre estudios de bosques secundarios en el trópico húmedo, es limitada. Sin embargo Ima Celia, G. Vieira, reporta importantes hallazgos, particularmente en la clasificación sucesional de los bosques utilizando sus propiedades espectrales y características ecológicas. En trabajo similar, Steinger reporta una buena separación entre bosques secundarios de 2 a 19 años de edad, cerca de Manaus, Brasil, utilizando las bandas 5 y 7, y la suma de las bandas 3 y 4 en imágenes LANDSAT TM. Basado en esta experiencia se generó la banda sintética 8, con la suma de las bandas 3 y 4, previamente corregidas. La generación de esta banda no se realizó para el caso de la imagen ASTER, ya que por alguna razón, el software no lo permitió, provocando un error constante.

5.6.2. Clasificación mixta del área de estudio

Previamente a la clasificación, se colectaron los píxeles correspondiente a cada parcela muestreada (tipo de cobertura vegetal) y georeferenciada en el campo (sitios de entrenamiento), desplegando las bandas 1,2 y 3 de la imagen, las que permitían distinguir visualmente con mayor eficiencia los distintos tipos de bosque, asociaciones vegetales o clases de uso del suelo. Posteriormente se realizó la clasificación supervisada utilizando el método no paramétrico del paralelepípedo, y en el paramétrico, el de la mínima distancia.

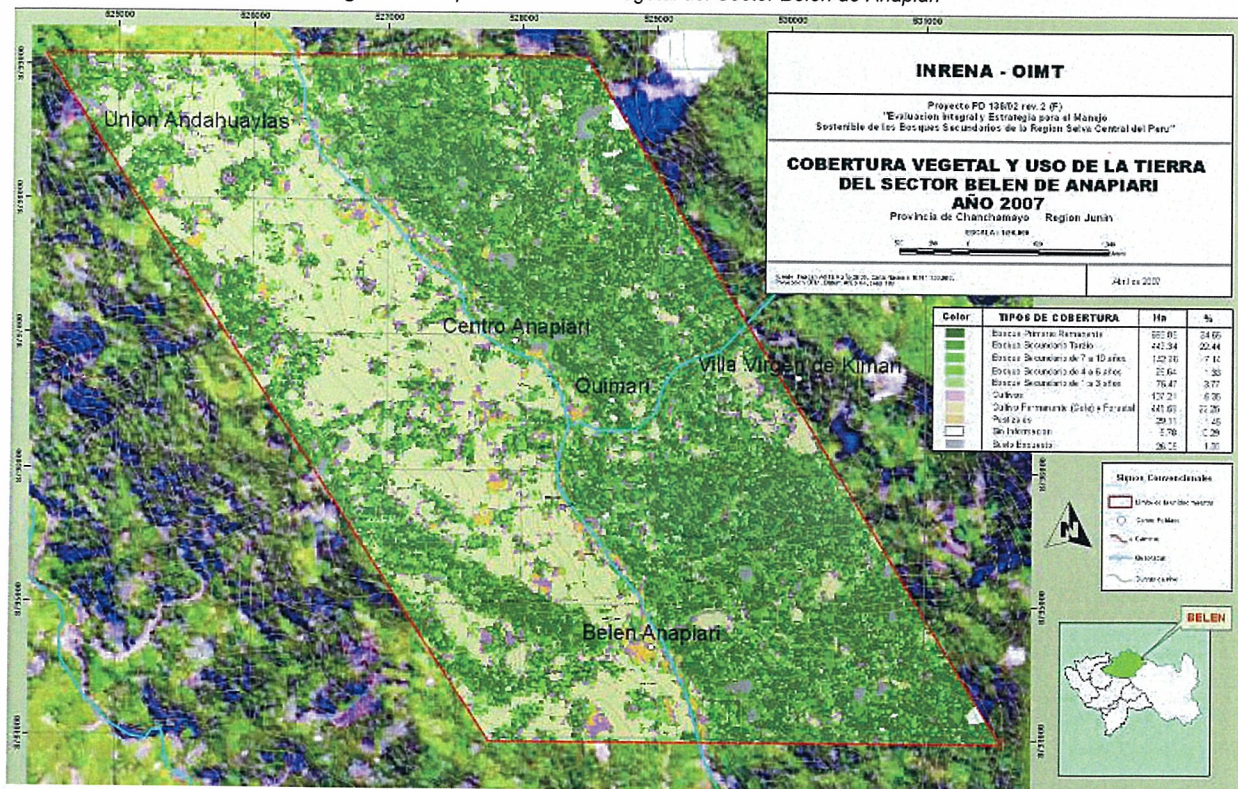
El Índice Diferencial de Vegetación Normalizado (NDVI) (1), el cual es una clasificación de la imagen utilizando el cociente entre la diferencia y la suma de las bandas 3 y 4, complementa muy eficientemente a la interpretación visual, mejorando así la discriminación de las clases. Los valores que arroja esta clasificación varían de -1 a 1, representando los valores negativos a las nubes y agua, y los valores cercanos a cero a roca y suelo expuesto, mientras que las áreas cubiertas por vegetación varían entre 0.1 y 0.6, hallándose las de mayor densidad (bosques) por encima de 0.6.

Figura 34. Firmas Espectrales para las coberturas del sector Belén de Anapiari



Fuente: Elaboración propia

Figura 35. Mapa de Cobertura Vegetal del Sector Belén de Anapiari



Fuente: Elaboración propia

5.7 SECTOR PICHANAKI

Ubicado en el distrito de Pichanaki, provincia de Chanchamayo, Región Junín. Se utilizó una imagen de satélite LANDSAT TM del año 2006, Sistemas de Información Geográfica (SIG) y muestreo de campo extensivo para generar el producto final. Las bandas 5,4 y 2 fueron utilizadas para la clasificación de la imagen; siendo la 5 y 4 las que más eficientemente segregan los estadios adultos de los jóvenes bosques secundarios. En las 110700.94 ha, se identificaron 7 clases. Una clase particular, por su extensión en el sector, corresponde al Bosque Primario y a las asociaciones Primarias Remanentes, cubriendo un área de 46384.22 ha, es decir el 37.62 % del área evaluada. Por otra parte, la cantidad de Bosques Secundario se hallan con 12.86%. El porcentaje de tierras de cultivo con 11.36%, comparados con el patrón de uso de otros sectores estudiados indican un uso creciente de tierra explotada. Cabe destacar que la cobertura de nubes presentes en la imagen seleccionada representa el 33.59% de la clasificación.

5.7.1. Generación de la banda sintética

Información especializada sobre estudios de bosques secundarios en el trópico húmedo, es escasa. Sin embargo, Celia y Vieira en el año 2003, reportaron importantes hallazgos, particularmente en la clasificación sucesional de los bosques utilizando sus propiedades espectrales y características ecológicas.

En trabajo similar, Batistella en el año 2001, reporta una buena separación entre bosques secundarios de 2 a 19 años de edad, cerca de Manaus, Brasil, utilizando las bandas 5 y 7, y la suma de las bandas 3 y 4 en imágenes LANDSAT TM. Basado en esta experiencia se generó la banda sintética 8, con la suma de las bandas 3 y 4, previamente corregidas.

5.7.2. Generación de la leyenda de trabajo.

La leyenda de trabajo fue generada después del trabajo de campo. Se encontró la clase "Bosque Secundario" diferenciándola por edades en cuatro subclases, y cuyos rangos constituyen las edades de los estados sucesionales hallados en el campo. En total se identificaron siete clases de cobertura vegetal, de las cuales cinco corresponden a coberturas boscosas, una a cultivos (permanentes y estacionales), y una a pastizal.

La clase cultivo permanente corresponde a los cítricos, y a la combinación arbórea con cacao, café, siendo las especies arbóreas, maderables, plantadas o no. Considerando que la deforestación extensiva (cultivo migratorio) empezó en los años 50, los bosques secundarios más antiguos de selva central tienen alrededor de 50 años, y en nuestro entorno la incertidumbre sobre la edad es marcada.

Por lo expuesto, y acogiendo las observaciones de Grafe en el año 1981, mencionado en Lamprecht en el año 1990; se tomaron los rangos de edad de 1 a 3, de 4 a 6, de 7 a 10 y mayor a 10 años como bosque secundario tardío (BST). Estas etapas de sucesión presentan características estructurales y específicas, peculiares en cada una de ellas que permite su análisis.

5.7.3. Clasificación mixta del área de estudio

Previamente a la clasificación, se colectaron los píxeles correspondiente a cada parcela muestreada (tipo de cobertura vegetal) y georeferenciada en el campo (sitios de entrenamiento), desplegando las bandas 4, 5 y 7 de la

imagen, las que permitan distinguir visualmente con mayor eficiencia los distintos tipos de bosque, asociaciones vegetales o clases de uso del suelo (OIMT, 2002). Para evaluar la separabilidad de las clases, se planteó el valor de la reflectancia de las 7 bandas para cada clase mencionada.

Estableciéndose las bandas 4, 5, y 8 como las que mejor se comportaban, en base a la tabla de contingencia generada. Posteriormente se realizó la clasificación supervisada utilizando el método no paramétrico del paralelepípedo y en el paramétrico, el de la mínima distancia.

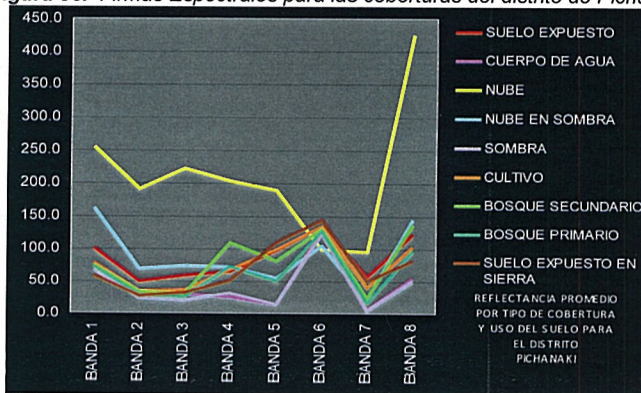
El Índice Diferencial de Vegetación Normalizado (NDVI) (1), es una clasificación de la imagen utilizando el cociente entre la diferencia y la suma de las bandas 3 y 4, complementa muy eficientemente a la interpretación visual, mejorando así la discriminación de las clases. Los valores que arroja esta clasificación varían de -1 a 1, representando los valores negativos a las nubes y agua, y los valores cercanos a cero a roca y suelo expuesto, mientras que las áreas cubiertas por vegetación varían entre 0.1 y 0.6, hallándose las de mayor densidad (bosques) por encima de 0.6.

5.7.4. Análisis estadístico

Un componente importante en el cual se apoya el estudio de la dinámica poblacional de los bosques secundarios, sus características estructurales y sus relaciones con sus reflectancias, es sin lugar a dudas el análisis estadístico de la información de campo y de las conclusiones que de él se extraen. La literatura consultada y particularmente aquella que trata de explicar las respuestas del recurso forestal a la intervención antropogénica, se sustenta en comparaciones, correlaciones y tendencias basadas en hipótesis planteadas a priori.

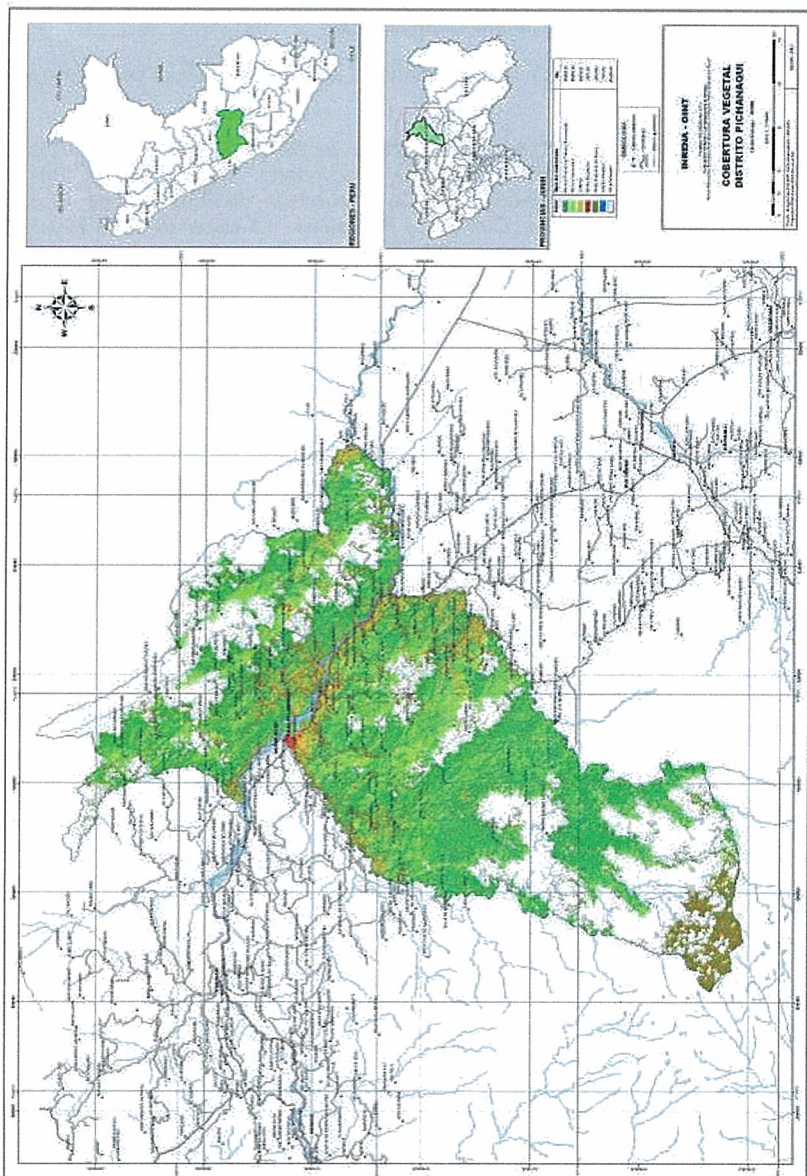
Éstas a su turno conforman el insumo para la generación de los mapas temáticos, y el respaldo matemático para el análisis espacio temporal de la vegetación. Se realiza un análisis gráfico de la información de campo utilizando los “box plots”, correlaciones entre las variables consideradas, ANOVA y comparaciones múltiples utilizando la prueba de Duncan y Tukey para encontrar semejanzas o diferencias entre clases.

Figura 36. Firmas Espectrales para las coberturas del distrito de Pichanaki



Fuente: Elaboración propia

Figura 37. Mapa de Cobertura Vegetal del distrito de Pichanaki



Fuente: Elaboración propia

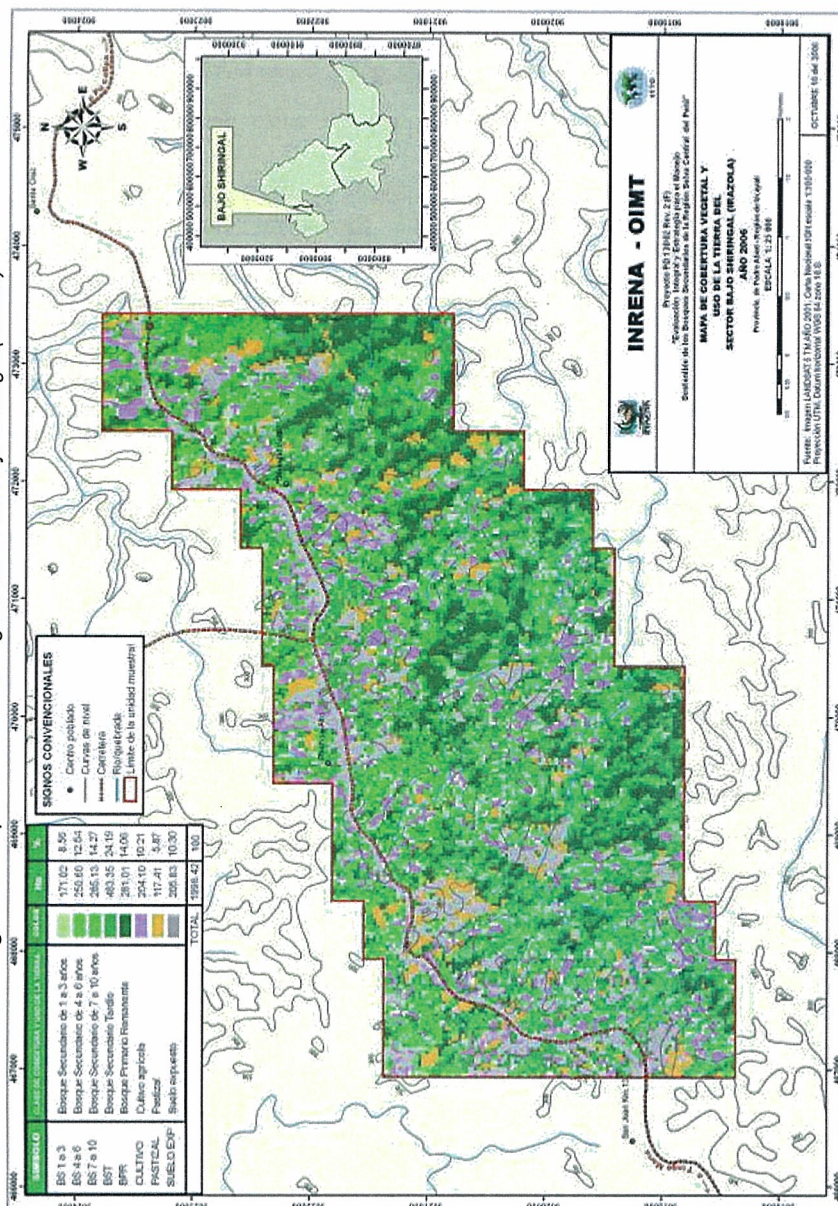
5.8 SECTOR BAJO SHIRINGAL

El área de estudio se encuentra en el Departamento de Ucayali, provincia de Padre Abad, Distrito de Irazola, anexo Bajo Shiringal.

Para esta área se usó una imagen Landsat del 2003, de la cual se muestran los resultados encontrados:

- Se identificaron siete clases de cobertura vegetal y usos del suelo: Bosque primario remanente (BPR), Bosque Secundario Tardío (BST), Bosque Secundario de 7 a 10 años, Bosque Secundario de 4 a 6 años, Bosque Secundario de 1 a 3 años, Cultivos, y Pastizales. La clase de suelo expuesto, podría ser resultado de la degradación extrema de la cobertura vegetal.
- Como característica general del paisaje se puede observar el espacio ocupado por las tierras de cultivo, localizadas alrededor de las ciudades y a lo largo de los caminos. Igualmente, en espacios contiguos, las tierras ocupadas por la clase asociación de cultivos permanentes y especies forestales es bastante frecuente en estas áreas.
- Se observan espacios conspicuos cubiertos por bosques primarios remanentes localizados en las cimas de las montañas, en los lugares con alta pendiente y a los lados de los cursos de agua; en ese sentido, estas formaciones cubren espacios muy pequeños.
- De las 8 bandas analizadas por el método SIG, las bandas 4,5 y 8 mostraron buena eficiencia en la segregación de los bosques primarios residuales y bosques secundarios tardíos; no así entre los bosques secundarios jóvenes. La mejor separación espectral de la mayoría de las clases de cobertura vegetal se logró con la banda 4,5 y 8 de la imagen Landsat 5 TM. Los bosques secundarios de 7 a 10 años y 4 a 6 años son las coberturas de más alta reflectancia hallados.
- En el sector Bajo Shiringal, el porcentaje de área no evaluada del área total por la presencia de nubes en la imagen de satélite es 0%.
- En la **Figura 25** se aprecia el mapa resultado de la interpretación.

Figura 38. Mapa de Cobertura Vegetal del Sector Bajo Shirringal (Irazola)



Fuente: Elaboración propia

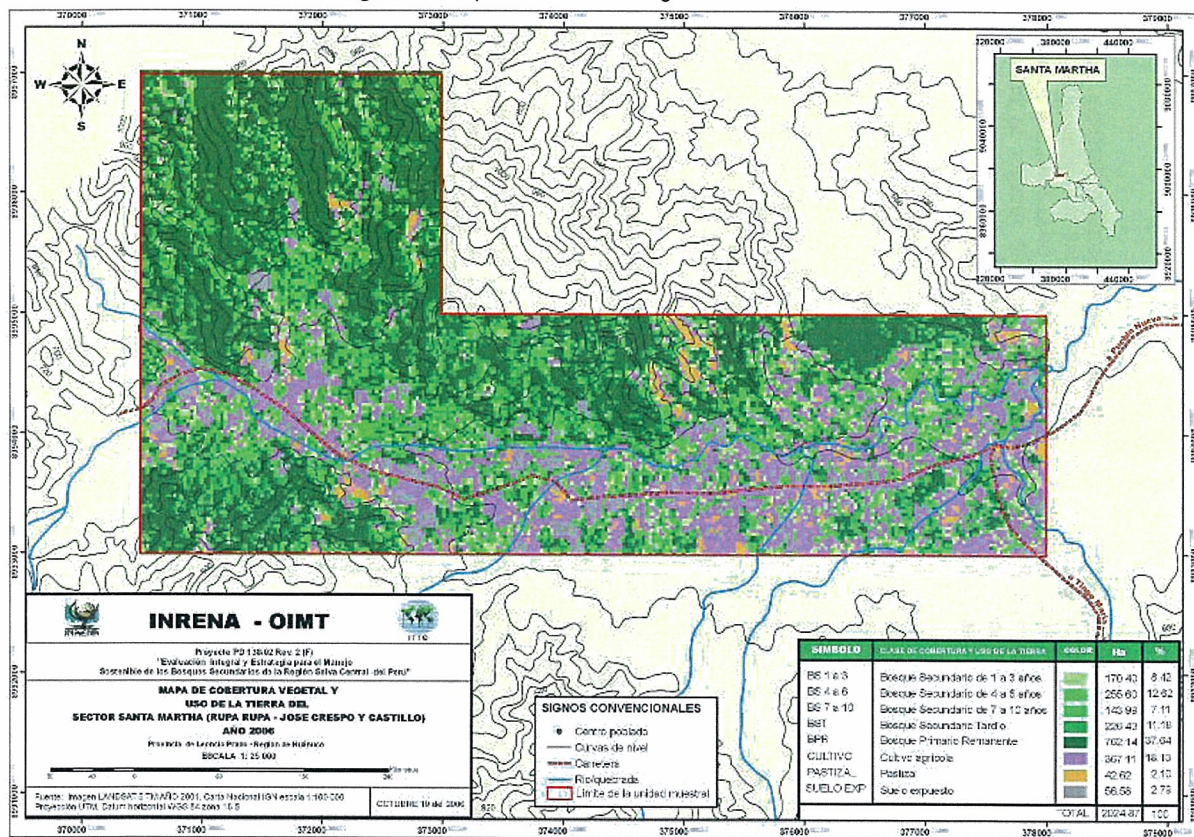
5.9 SECTOR SANTA MARTHA

El área de estudio se encuentra en la Región de Huánuco, Provincia de Leoncio Prado, distrito José Crespo y Castillo, anexo Santa Martha.

El mapa de cobertura vegetal y uso del suelo definitivo se muestra a continuación de las discusiones:

- Se identificaron siete clases de cobertura vegetal y usos del suelo: Bosque primario remanente (BPR), Bosque Secundario Tardío (BST), Bosque Secundario de 7 a 10 años, Bosque Secundario de 4 a 6 años, Bosque Secundario de 1 a 3 años, Cultivos, y Pastizales. La clase de suelo expuesto, podría ser resultado de la degradación extrema de la cobertura vegetal.
- Como característica general del paisaje se puede observar el espacio ocupado por las tierras de cultivo, localizadas alrededor de las ciudades y a lo largo de los caminos. Igualmente, en espacios contiguos, las tierras ocupadas por la clase asociación de cultivos permanentes y especies forestales es bastante frecuente en estas áreas.
- Se observan espacios conspicuos cubiertos por bosques primarios remanentes localizados en las cimas de las montañas, en los lugares con alta pendiente y a los lados de los cursos de agua; en ese sentido, estas formaciones cubren espacios muy pequeños.
- De las 8 bandas analizadas por el método SIG, las bandas 4,5 y 8 mostraron buena eficiencia en la segregación de los bosques primarios residuales y bosques secundarios tardíos; no así entre los bosques secundarios jóvenes. La mejor separación espectral de la mayoría de las clases de cobertura vegetal se logró con la banda 4,5 y 8 de la imagen Landsat 5 TM. Los bosques secundarios de 7 a 10 años y 4 a 6 años son las coberturas de más alta reflectancia hallados.
- El sector Santa Martha no presenta nubosidad en la imagen de satélite utilizada para la evaluación.

Figura 39. Mapa de Cobertura Vegetal de Santa Martha



Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES

Las metodologías utilizadas por el Proyecto para recopilar, procesar y analizar la información socioeconómica, forestal y cartografía; son las más adecuadas porque se acondicionan a las características sociales y ecológicas de la zona; así como, a los objetivos específicos del Proyecto. Además, nos permite recoger la información relevante y complementaria para obtener productos que sean herramientas para tomar decisiones sobre el manejo forestal en los bosques secundarios.

Los resultados de la interpretación de mapas sumados a los inventarios forestales mas un análisis de las variables socioeconómicas y ecológicas; sirven como base para la elaboración de Planes de manejo de bosques secundarios.

El bosque secundario tiene una connotación muy fragmentada, es decir dentro de él la cobertura vegetal es variada, también existen cultivos, lo cual hace más complicada la generalización de las áreas, para estudios a nivel micro donde el nivel de detalle es alto esto va bien, pero cuando se quiere generalizar para estudios a nivel macro hay que asumir al grupo como un bosque secundario con características diversas.

El uso de Imágenes de satélite, nos permiten identificar muchas unidades, siendo una dificultad la presencia de las nubes las cuales no permiten contar con un cubrimiento al 100%, de allí la importancia de contar con imágenes que cuenten con el menor porcentaje de nubes posible.

La implementación de un trabajo de campo que agrupe trabajos de evaluación forestal, identificación de clases para la interpretación de las imágenes y un trabajo socioeconómico de manera conjunta, optimizan el desarrollo de los trabajos y nos permiten tener un mejor conocimiento del área de estudio.

En base a los resultados obtenidos en las diferentes áreas estudiadas, se estandarizaron las clases de cobertura vegetal en base a los resultados de cada mapa, con el fin de poder integrar la información y poder hacer consultas a la base de datos de manera integral.

BIBLIOGRAFÍA

Carlos Pérez Gutiérrez y Ángel Luís Muñoz, "TELEDETECCIÓN NOCIONES Y APLICACIONES", Nieto, Universidad de Salamanca, Julio 2006

Emilio Chuvieco, TELEDETECCIÓN AMBIENTAL, Salinero Editorial Ariel Ciencia, 2006, Barcelona, España

ASTER User Handbook (Version 2), Michael Abrams, Simon Hook Pasadena, CA 91109 Bhaskar Ramachandran, EROS Data Center

Beatriz Elena Alzate, IMÁGENES ESPACIALES DE LA SUPERFICIE TERRESTRE. Procesamiento digital, análisis y extracción de información temática (Notas de Clase), Santa Fe de Bogota – 2001.

Fabián Reuter, Ing. Forestal, Facultad de Ciencias Forestales UNSE, CARPETA DE TRABAJOS TELEDETECCIÓN FORESTAL.

Álvaro Yébenes Gómez, Álvaro Giner Sotos, CLASIFICACIÓN DIGITAL DE IMÁGENES POR SATÉLITE

<http://mural.uv.es/gislo/telemidida.pdf>

Francisco J. Flores-López y Christopher A. Scout, SUPERFICIE AGRÍCOLA ESTIMADA MEDIANTE ANÁLISIS DE IMÁGENES DE SATÉLITE EN GUANAJUATO, MÉXICO. INTERNATIONAL WATER MANAGEMENT INSTITUTE, Serie Latinoamericana: No. 15

http://www.iwmi.cgiar.org/Publications/Latin_American_Series/pdf/15_1.pdf

Zuleima Molina Mora, Geog (PhD), Centro de Procesamiento Digital de Imágenes, Fundación Instituto de Ingeniería. Caracas. Venezuela.

APLICACIÓN EXPERIMENTAL DEL MUESTREO DE MARCOS MÚLTIPLES EN ESTADÍSTICAS AGRÍCOLAS CONTINUAS USANDO IMÁGENES DE SATÉLITE, UN SIG E INFORMACIÓN DEL CENSO AGRÍCOLA.

<http://gis.esri.com/library/userconf/latinproc99/ponencias/ponencia05.html>

Aller González, D., Prieto López R., Gallego Priego M., Precedo Ledo A. DESARROLLO METODOLÓGICO PARA LA OBTENCIÓN DE ESTADÍSTICAS COMARCALES DE SUPERFICIES, DÍAZ MANSO M., BARCIA NOIA B., MARTÍN ROSÓN A., Secretaría Xeral de Planificación Territorial e Desenvolvemento Comarcal de Galicia.

http://age.ieg.csic.es/metodos/docs/doc1_2.pdf

Carlos Manjares Domínguez, Carmelo Pinedo Álvarez, Cristina Elizabeth Vélez Sánchez Verín, Alfredo Pinedo Álvarez, SEPARABILIDAD ESPECTRAL DE CULTIVOS AGRÍCOLAS CON IMÁGENES LANDSAT TM

<http://tecnociencia.uach.mx/data/files/num2/separabilidad.pdf>

Armando Rodríguez Montellano (tesis), LA DENSIDAD DE DOSEL FORESTAL, COMO UNA NUEVA ALTERNATIVA PARA LA ESTRATIFICACIÓN DE LOS BOSQUES EN EL VALLE DEL SACTA.

http://www.sl.kvl.dk/upload/tesis_armando_rodriguez_m.pdf

ERDAS Tour Guide, Capitulo 4, Clasificación, 1997-2001, United States of America

Paginas Web consultadas:

Monitoreo mediante imágenes satelitales, Disponibilidad de datos satelitales para monitoreos en el Chaco seco argentino.

<http://www.geocities.com/hzerda/monitoreo/monitor.htm>

Estimación de clases de edad de las plantaciones de la provincia de Corrientes, Argentina, con base en datos satelitales Landsat, Bosque (Valdivia) 2007

http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0717-92002007000200003&script=sci_arttext

Cálculo de NDVI con Multispec, Cátedra Técnicas Espaciales de Análisis de la Licenciatura en Gestión Ambiental - Universidad CAECE

[http://caece.edu.ar/tea/Tutoriales/Tutorial%20Multispec.%20Calculo%20de%20NDVI.p
df](http://caece.edu.ar/tea/Tutoriales/Tutorial%20Multispec.%20Calculo%20de%20NDVI.pdf)

