

CAPÍTULO 2 PREPARACIÓN DEL MAPA DE COBERTURA DE LA TIERRA EN LA REGIÓN ORIENTAL

CAPÍTULO 2

PREPARACIÓN DEL MAPA DE COBERTURA DE LA TIERRA EN LA REGIÓN ORIENTAL

En este capítulo se muestra el método de elaboración del mapa de cobertura de la tierra mediante el sensor remoto satelital con el objetivo de aprovecharlo para la selección del área de promoción de la reforestación y elaboración del plan de reforestación, y además para la evaluación del mismo. Asimismo, se ha realizado el análisis comparativo de la superficie forestal utilizando los resultados del presente Estudio y los estudios precedentes.

El análisis de clasificación de las coberturas de tierra usando los datos satelitales ha sido realizado siguiendo los procedimientos indicados en la Figura 2-1. En primer lugar, se elaboró el borrador del mapa de coberturas de tierra, y subsiguientemente, se llevó a cabo el reconocimiento en campo con el fin de elevar la precisión del mapa. La versión final del mapa de cobertura de la tierra fue elaborada modificando en base a los resultados del estudio de reconocimiento de campo.

La precisión del mapa producido fue de 89,8% según la evaluación realizada con los resultados del reconocimiento, los cuales se consideran excelentes. Por otro lado, se considera que los resultados del ordenamiento sistemático de los errores de clasificación contribuyen a elevar la precisión de la clasificación de las coberturas de tierra mediante el análisis de imágenes.

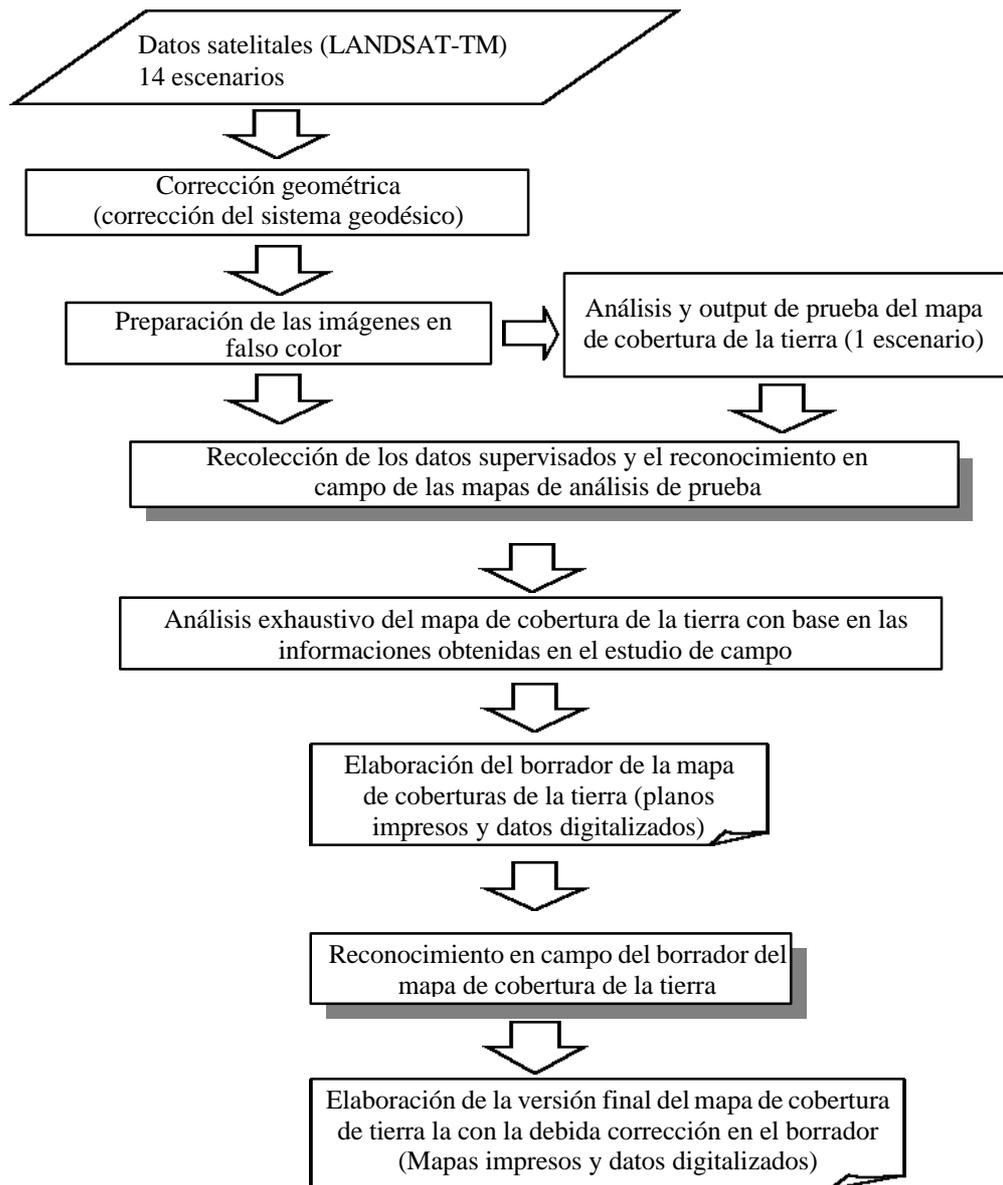


Figura 2-1 Flujo de Elaboración del Mapa de Cobertura de la Tierra

2-1 Preparación del Mapa de Cobertura de la Tierra

2-1-1 Análisis preliminar de los datos satelitales

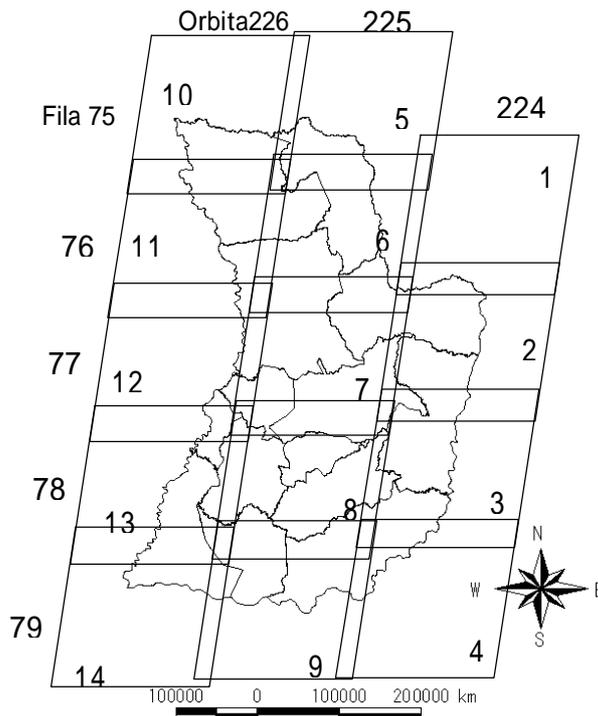
Se elaboraron imágenes satelitales (a color infrarrojo) para el trabajo de reconocimiento de campo utilizando 14 escenas de los datos de LANDSAT-TM que cubren el Área de Estudio. La metodología del trabajo es la siguiente:

(1) Preparación y ajuste de los datos de satélite

En el Cuadro 2-1 y en la Figura 2-2 se muestran las 14 escenas de los datos de LANDSAT-TM más recientes y de buena calidad que cubren el Área del Estudio.

Cuadro 2-1 Orbitas y días de observación de los datos satelitales

No.	Orbita	Fila	Fecha
1	224	76	1999/5/9
2	224	77	1999/5/9
3	224	78	1999/7/12
4	224	79	1999/7/12
5	225	75	1999/6/1
6	225	76	1999/6/1
7	225	77	1999/6/1
8	225	78	1999/6/1
9	225	79	1999/6/1
10	226	75	1999/7/10
11	226	76	1999/7/10
12	226	77	1999/5/23
13	226	78	1999/5/23
14	226	79	1999/5/7



m

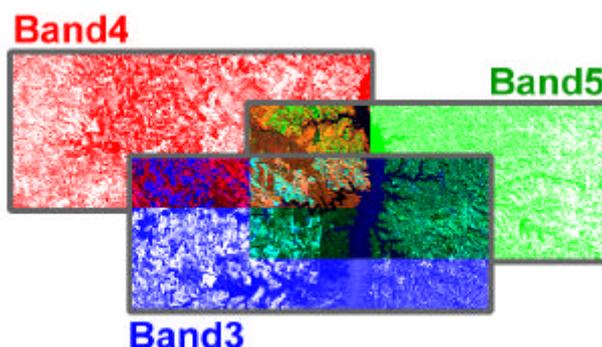
Figura 2-2 Mapa de ubicación de los escenarios de LANDSAT

(2) Corrección geográfica

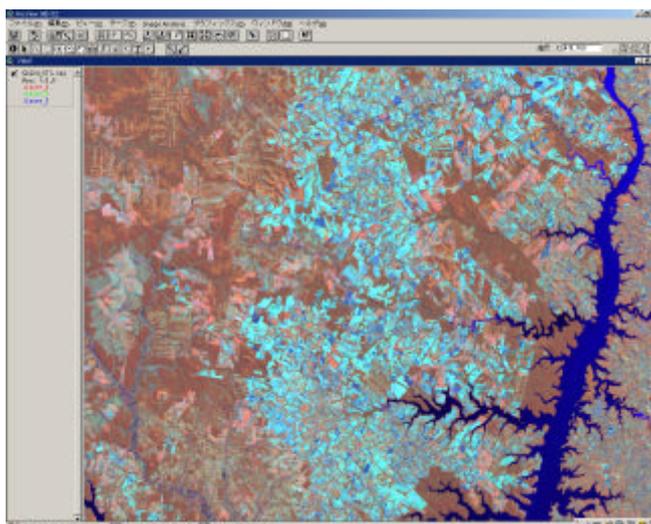
Los datos de las imágenes fueron sometidos a la corrección geográfica vinculando los datos de longitud y latitud con las coordenadas de las imágenes, de manera que los datos de las imágenes coincidan con la mapa topográfica (escala 1:250.000) existentes en Paraguay.

(3) Preparación de las imágenes a color de infrarrojo

Se prepararon las imágenes de falso color de escala 1:250.0000, atribuyendo el color rojo a la Banda TM 4 (región de infrarrojo próximo), verde a la Banda 5 (región de infrarrojo de ondas cortas) y azul a la Banda 3 (región de rojo). Estas imágenes se denominan comúnmente “imágenes de color infrarrojo” y fueron utilizadas para el reconocimiento en campo. En la Fotografía 2.1 se muestra la metodología de preparación de las imágenes de color infrarrojo, y en la Fotografía 2-2 se muestra un ejemplo del mapa.



Fotografía 2-1 Preparación de las Imágenes de Color Infrarrojo



Fotografía 2-2 Imágenes de Color Infrarrojo

(4) Análisis de prueba

Se seleccionó la región central del Área del Estudio donde los bosques están relativamente bien conservados y presentan abundantes tipos de coberturas de tierra. Aquí se realizó el análisis experimental de la densidad forestal y de las condiciones de coberturas, cuyos resultados sirvieron como base para el reconocimiento en campo y la preparación del borrador del mapa de cobertura de la tierra.

2-1-2 Reconocimiento en Campo

(1) Inspección aérea con avioneta

Planificación de las rutas de inspección aérea

Se realizó la inspección aérea previo al reconocimiento en campo. Las rutas fueron planificadas de manera que se pueda observar prioritariamente los siguientes sitios.

- Sitios de mala accesibilidad, a los que difícilmente se puede llegar en el estudio terrestre.
- Sitios que presentan diferentes tonos en las imágenes de falso color.
- Sitios que presentan diferentes condiciones naturales y uso de tierras en la Región Oriental.

Métodos de inspección aérea

La inspección aérea consistió además de cotejar la vegetación y el uso de las tierras con las informaciones de las imágenes de falso color, en tomar las fotografías por medio de una cámara GPS para comprobar la ubicación de los diferentes elementos, de manera que se pueda comparar las imágenes de falso color con los elementos terrestres.

(2) Reconocimiento en campo

Selección de los sitios de reconocimiento en campo (área de entrenamiento)

Se seleccionaron los sitios que requieren el reconocimiento en campo para cada una de las 14 escenas de imágenes de falso color, tomando en cuenta los siguientes aspectos.

- Áreas que presenten unidades de uso de tierras relativamente grandes, que permitan cotejar las coberturas y el uso de tierras con las informaciones de imágenes satelitales.
- Áreas correspondientes a las grandes clasificaciones de cobertura de la tierra más representativas.
- Áreas que pueden inducir fácilmente al error de clasificación en el análisis.

Métodos de reconocimiento en campo

Se comprobó en el campo la ubicación de las áreas sujetas al reconocimiento, seleccionadas sobre las imágenes, con el uso del GPS. Al mismo tiempo, se anotaron en las libretas las longitudes y latitudes, condiciones de localización, condiciones forestales, condiciones de uso del suelo, y se tomaron las fotografías de diferentes localidades.

Ejecución del reconocimiento en campo

Debido a la necesidad de cubrir extensa área en un tiempo limitado, el reconocimiento fue realizado por dos equipos, uno para la zona sur y el otro para la zona norte.

Las áreas de reconocimiento fueron 212 en la zona sur, y 237 en la zona norte, para un total de 449 áreas. Estas se desglosan según departamentos y coberturas como se indican en el Cuadro 2.2.

Cuadro 2-2 Sitios de Reconocimiento en Campo

Coberturas Deptos.	Bosques		Tierras de cultivo	Pradera	Áreas urbanas y Poblados	Otros	Total
	Nativos	Artificiales					
Concepción	5	0	2	28	0	0	35
Amambay	19	2	23	36	0	0	80
S. Pedro	8	3	15	35	0	0	61
Canindeyú	11	7	6	12	1	0	37
Dpto. Central	4	0	4	11	3	3	25
Cordillera	1	2	3	6	0	0	12
Caaguazú	5	1	9	11	1	0	27
Alto Paraná	12	7	23	7	0	0	49
Paraguarí	5	1	4	3	0	0	13
Guairá	1	1	3	1	1	0	7
Caazapá	3	3	4	5	0	0	15
Ñeembucú	3	1	0	9	0	0	13
Las Misiones	5	3	8	10	1	0	27
Itapúa	7	5	24	9	2	0	47
Región Chaco	1	0	0	0	0	0	1
Total	90	36	128	183	9	3	449

2-1-3 Análisis de las Categorías de Clasificación del Mapa de Coberturas de la Tierra

Se identificaron las diferentes clases de cobertura de la tierras indicadas en el Cuadro 2-3, como resultado del reconocimiento en campo, y el intercambio de opiniones con las instituciones de C/P, como Servicio Forestal Nacional y la Dirección de Ordenamiento Ambiental.

Cuadro 2-3 Clases de Coberturas de Tierra

Coberturas	Tipos	Clasificación	Descripción
Bosques	Bosques naturales	Bosques altos (densidad mediana a alta)	Bosques altos poco alterados artificialmente con densidades alta a mediana.
		Bosques altos (ralos)	Bosques altos ralos alterados artificialmente mediante la corta, etc.
		Bosques bajos	Bosques bajos donde predominan los árboles bajos por factores de limitación naturales (suelo, topografía, etc.) o porque se encuentran en el proceso de regeneración después de la corta.
		Bosques de bambúes	Bosques predominantemente de bambúes.
	Áreas arbustivas	Tierras donde predomina el área arbustiva por factores de limitación naturales (suelo, topografía, etc.) o área arbustiva en proceso de regeneración forestal en las tierras agropecuarias abandonadas, etc.	
	Bosques artificiales		Bosques formados artificialmente.
Tierras de cultivo	Secano		Tierras de cultivo en general. También se incluyen parcialmente frutales, plantaciones de la hierba mate, etc.
	Cultivo de regadío		Cultivo de regadío.
Pradera	Natural	Pradera natural no inundable y estacionalmente inundable	Pradera natural no inundable a lo largo del año o inundable estacionalmente, que en la mayoría es utilizado para la ganadería.
		Pradera natural permanentemente inundable	Pradera natural inundable a lo largo del año donde predominan la vegetación de pantanos o acuática. La mayoría no es utilizada o muy poco utilizada.
	Artificial		Pradera artificial mediante la siembra artificial, donde se desarrolla la ganadería intensiva.
Áreas urbanas y poblados			Además de las ciudades, se incluyen los suburbios, poblados y caseríos rurales.
Cuerpos de agua			Cuerpos de agua, como lagos, lagunas y ríos.
Otros			Tierras al descubierto, canteras, etc.

Además de las clases mencionadas anteriormente, el Servicio Forestal Nacional (SFN) ha solicitado incorporar las siguientes clases: Áreas Silvestres Protegidas según el Mapa de Ordenamiento Territorial de la Región Oriental, Tierras Forestales de Protección, Áreas de Conservación Ecológica o Especial y los Campos Bajos Inundables. Se tomará en cuenta esta clasificación ya sea en la fase de elaboración del mapa de cobertura de la tierra o durante el análisis de GIS.

2-1-4 Análisis de las Imágenes de Satélite y Preparación del Borrador del Mapa de Cobertura de la Tierra

Se elaboró el Catálogo de los Datos Supervisados con base en los resultados del reconocimiento en campo y los datos de imágenes de satélite, y se preparó el borrador del mapa de coberturas de tierra mediante la clasificación primaria. En la Figura 2-3 se muestra el flujo de los procedimientos del análisis de las imágenes satelitales. Asimismo, en la Figura 2-4 se muestra un ejemplo del borrador del mapa de coberturas de tierra.

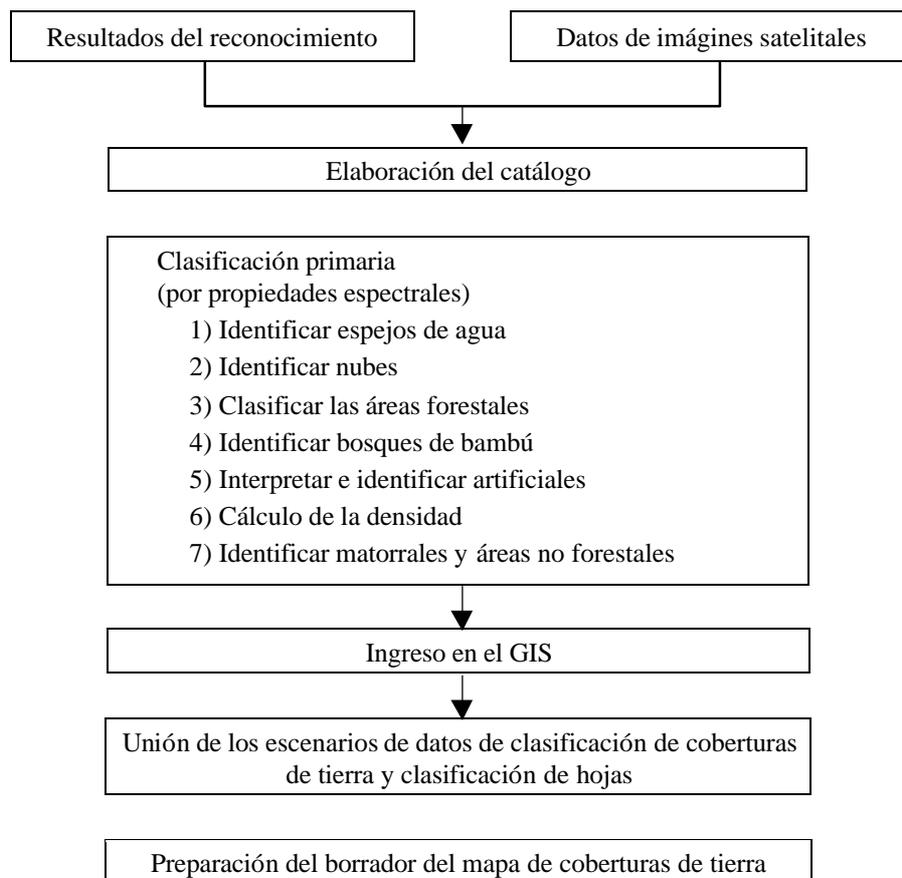


Figura 2-3 Flujo del Análisis de Imágenes Satelitales

Para la clasificación primaria (clasificación de las propiedades espectrales), se realizó el procesamiento de clasificación de la cobertura de la tierra según las propiedades espectrales por cada píxel de las imágenes satelitales.

(1) Identificación de los cuerpos de agua

Los cuerpos de agua auténticos fueron identificados utilizando las propiedades espectrales del rayo infrarrojo próximo.

(2) Identificación de las nubes

Las nubes fueron identificadas aprovechando las propiedades espectrales.

(3) Clasificación de los bosques

Las áreas forestales fueron identificadas mediante el análisis de densidad de las copas de bosques (separación de las áreas forestales y no forestales).

(4) Identificación de los bosques de bambú

Los bosques de bambú fueron separados mediante la clasificación con datos supervisados.

(5) Interpretación e identificación de los bosques artificiales

Los bosques artificiales son raros y presentan claras características, por lo que estos fueron identificados mediante la interpretación de imágenes y de las informaciones del estudio de campo.

(6) Estimación de la densidad forestal (clasificación de los bosques altos, bosques altos ralos y bosques bajos)

Se clasificaron los bosques altos (densos a moderadamente densos), los bosques altos (ralos) y los bosques bajos cotejando los datos de la densidad de copa de los diferentes bosques estudiados en campo, y los valores de la densidad de copa según los datos satelitales.

(7) Clasificación del área arbustiva y coberturas no forestales

En cuanto al área arbustiva y las coberturas no forestales, se extrajeron los datos supervisados de las imágenes según los resultados del estudio de campo. Además, como datos complementarios, se definieron las áreas supervisadas adicionales escogiendo las áreas cuyas imágenes se asemejan a los resultados del estudio de campo, con unidades de distribución grandes, y que presentan poca mezcla de otras coberturas. Estos datos supervisados definidos fueron clasificados aplicando el método de máxima verosimilitud.

fácil acceso. Aquí se verificaron los resultados de clasificación de coberturas, y para las áreas mal clasificadas se analizaron sus causas mediante la observación de las condiciones locales.

En la Figura 2-5 se muestran las rutas del reconocimiento de campo, cuya distancia acumulada sumó un total de 4.500 km aproximadamente.

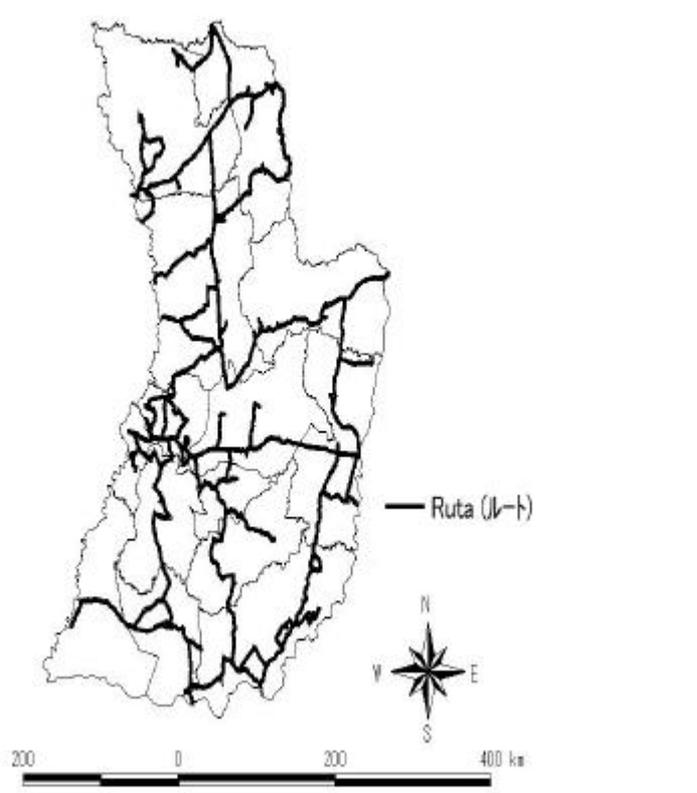


Figura 2-5 Rutas del Reconocimiento en Campo

2-1-6 Resultados del Reconocimiento en Campo y Retroalimentación de las Informaciones

De acuerdo con los resultados del reconocimiento en campo, se ordenaron por cada escenario, las áreas que presentaban algún tipo de problemas de clasificación y se analizaron sus causas. Los resultados son los siguientes.

(1) Error causado por la semejanza de las propiedades de la reflectividad espectral

a) Causas

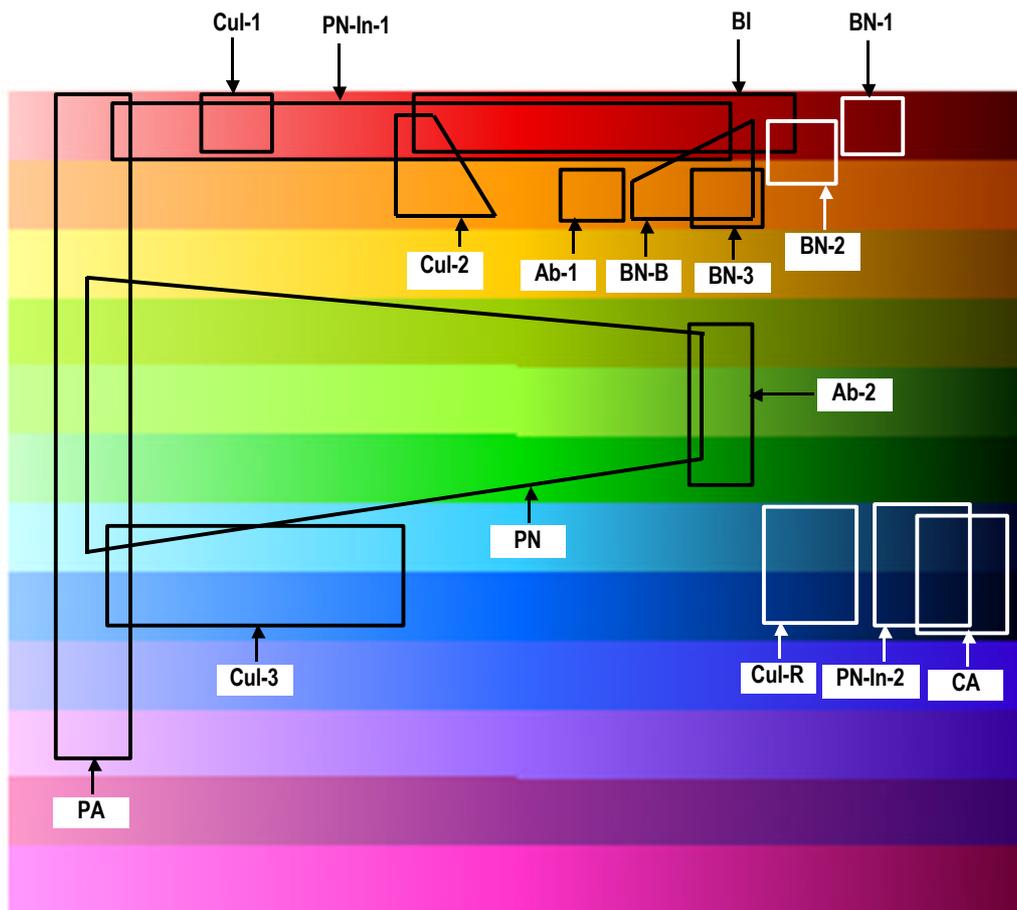
LANDSAT-TM tiene en total siete bandas: bandas 1 a 3 para las regiones visibles, 4 para la región de infrarrojo próximo, 5 y 7 para las regiones de infrarrojo intermedio y 6 para la región de infrarrojo lejano. El borrador del mapa de cobertura de la tierra ha sido producido identificando las diferentes clases de coberturas de tierra con base en los resultados del estudio de campo y aplicando los datos supervisados de las informaciones de reflectividad espectral, y luego mediante el análisis de las imágenes digitales aplicando el método de máxima verosimilitud. Por lo tanto, las clases de coberturas que presentan similares propiedades de reflectividad espectral pueden inducir a una clasificación errónea.

Las imágenes de falso color utilizadas en el presente Estudio han sido compuestas atribuyendo el color rojo a la Banda TM 4, verde a la Banda TM 5 y azul a la Banda TM 3 (estas imágenes se denominan comúnmente como “imágenes de color infrarrojo”).

En la Figura 2-6 se muestra el diagrama esquemático de las tonalidades con las que aparecen las principales cobertura de la tierra sobre las imágenes de falso color. Cuando las coberturas presentan similares propiedades de reflectividad espectral, estas tienden a aparecer en tonalidades similares en las imágenes de falso color, por lo que en el mapa puede manifestarse traslapadas, o pueden inducir al error de clasificación entre las unidades contiguas. Para el reconocimiento de campo se ha podido comprobar este error de clasificación por esta causa.

b) Soluciones

Para los casos del error de clasificación debido a similitud de las propiedades de reflectividad espectral, es útil realizar la clasificación no sólo sobre las imágenes digitalizadas con el método de máxima verosimilitud sino utilizar también el método de interpretación con el fin de elevar la precisión del trabajo. Esto es, interpretar las clases con base en las condiciones topográficas, condiciones de cobertura de las áreas contiguas, distribución de las áreas, y las ligeras diferencias de tonalidades, y realizar la corrección de las áreas identificadas mediante el proceso de enmascarado. Este método permite clasificar correctamente las coberturas de tierras que presentan similares propiedades de reflectividad espectral.



Símbolos	Categorías	Símbolos	Categorías
BN-1	Bosques altos (densos y medianos)	Cul-R	Cultivo de regadío
BN-2	Bosques altos (ralos)	PN	Pradera natural no inundable y temporalmente inundable
BN-3	Bosques de arbustos	PN-In-1	Pradera natural permanentemente inundable (con vegetación expuesta)
BN-B	Bosques de bambú	PN-In-2	Pradera natural permanentemente inundable (vegetación completamente sumergida)
BI	Bosques artificiales	PA	Pradera artificial
Cul-1	Cultivos (caña de azúcar)	Ab-1	Área arbustiva (regenerados después de la corta)
Cul-2	Cultivos (trigo y maíz ya crecidos)	Ab-2	Área arbustiva (por factores de limitación naturales)
Cul-3	Cultivos (altamente expuestos o que no tienen período de escasez)	CA	Cuerpos de agua

Figura 2-6 Diagrama Esquemático de los Tonos Sobre las Imágenes de Color Infrarrojo según las Categorías de Cobertura de la Tierra

Asimismo, las tierras de cultivo de trigo crecido presentan reflectividad espectral semejante a los de bosques bajos, y pueden ser confundidas con estos, por ejemplo. Sin embargo, en el caso de las tierras de cultivo de trigo donde se distribuyen dispersamente los bosques bajos, es difícil distinguir exactamente que parte se halla clasificada erróneamente. En este caso, se propone realizar las correcciones de la siguiente manera.

En primer lugar, se extraen sólo las áreas boscosas sobre el borrador del mapa de cobertura de la tierra y se preparan las imágenes satelitales solamente de esas partes, dado que los bosques y las tierras de cultivo de trigo pueden ser distinguidos fácilmente mediante la interpretación visual de los patrones de textura y tonalidades. Con base en los resultados de interpretación sobre las imágenes satelitales de los bosques y de las tierras de cultivos, se procedió a la corrección del mapa de cobertura de la tierra.

(2) Problemas debido a la mezcla de las pequeñas categorías de cobertura de la tierra

a) Causas

Las áreas en donde se concentran los pequeños productores presentan mezcla de los pequeños grupos de tierras de cultivo, pradera y poblados. Los cultivos son diversos (mandioca, maíz, caña de azúcar, batatas, piña, algodón, banana, etc.) con volúmenes de vegetación y tasas de exposición de tierra muy variables.

Un píxel de LANDSAT-TM corresponde a una área de 30m x 30m de tierra. En las áreas predominantemente de pequeños productores, no pocas veces se distribuyen pequeñas tierras de cultivo, pradera y poblados en una tierra equivalente a menos de un píxel. Se denomina “mixel” a una unidad donde se mezclan las coberturas de diferente reflectividad espectral dentro de un píxel. En este caso, un mixel puede incluir las informaciones de reflectividad espectral de varias clases de coberturas diferentes, por lo que en muchos casos no se pueden cotejar con los datos supervisados preparados con base a la reflectividad espectral que representen clases de cobertura uniforme, lo cual puede deberse al error de clasificación.

b) Soluciones

Las áreas de los pequeños productores que presentan propiedades de reflectividad espectral diferentes a las demás áreas por predominancia de mixel, se re-clasificaron mediante discriminación por procesamiento de enmascarado. En este caso, el trabajo se realizará para cada zona, puesto que las zonas presentan diferentes características en términos de rubros de cultivo y superficie de tierras agrícolas.

3) Error debido a la inundación de la vegetación

a) Causas

Las imágenes tomadas en mayo permiten discriminar las praderas inundables, no así las imágenes de junio donde las praderas están sumergidas bajo el agua en algunas zonas. Los cuerpos de agua clasificados según la reflectividad espectral de los datos

satelitales de junio pueden estar secos temporalmente o poco inundados, presentando condiciones de humedales o pueden estar eventualmente poblados con vegetación acuática. Estas áreas deben de ser clasificadas como praderas naturales permanentemente inundables, de acuerdo al lineamiento del mapa de cobertura de la tierra.

b) Soluciones

Cuando las praderas están inundadas, los datos de satélite presentan la reflectividad espectral de los cuerpos de agua, con los valores de la Banda TM 4 (región de infrarrojo próximo) de color rojo y de la Banda TM 5 (región de infrarrojo de ondas cortas) de color verde que indican 0 o valores próximos al 0. Sin embargo, los valores de la Banda TM 3 (región de rojo) de color azul presentan ciertas variaciones, pudiendo discriminar los lagos y las lagunas de las praderas inundables. Por lo tanto, se debe realizar una clasificación más adecuada utilizando los valores de la Banda TM3.

(4) Clasificación de los bosques artificiales

Los bosques artificiales presentan una reflectividad espectral semejante a otras clases de coberturas, por lo que se consideró que el análisis de las imágenes digitalizadas mediante el método de máxima verosimilitud con los datos supervisados no arroja datos de alta precisión. Por esta razón, los bosques artificiales han sido clasificados mediante la interpretación visual. Las grandes plantaciones de Eucaliptos maduros aparecen en las imágenes de falso color, de color rojo brillante, lo cual ha facilitado la clasificación. Sin embargo, fue difícil clasificar otras especies como el Pino, Paraíso, entre otros o las pequeñas áreas reforestadas, o las plantaciones jóvenes. Por lo tanto, se decidió realizar la clasificación en la versión final del mapa de cobertura de la tierra en el que se reflejarán los bosques artificiales identificados sobre las imágenes de falso color y con base en los resultados del reconocimiento con el borrador del mapa de cobertura de la tierra.

Para representar con mayor detalle las áreas reforestadas en el mapa de cobertura de la tierra, es necesario recopilar mayor cantidad de informaciones por parte del SFN para ir incorporando, aprovechando las funciones del GIS.

- (5) Temporadas de observación de las imágenes satelitales y las condiciones locales apropiadas para la elaboración del mapa de cobertura de la tierra

Se ordenaron las informaciones sobre las fechas de observación de las imágenes de satélite y las condiciones locales, para identificar las fechas de observación más apropiadas en la elaboración del mapa de cobertura de la tierra.

- a) Condiciones de las tierras de cultivo (secanos)

Como problemas que se presentan en la clasificación de las coberturas de tierra, se mencionan la semejanza de las propiedades de reflectividad espectral, y la diferencia de estas propiedades según las fechas de observación de las imágenes de satélite. En particular, en el caso de las tierras de cultivo, sus condiciones son variables según las estaciones debido al crecimiento de las plantas o al tipo de los cultivos existentes, con la necesidad de aclarar el calendario de cultivo y tomarlo en cuenta en la clasificación de coberturas en el futuro.

Consciente de esta necesidad, en el presente Estudio se aclaró el calendario de cultivo de la región, a partir de las informaciones recogidas en el estudio de campo entre los meses de mayo a julio, así como de las informaciones existentes y de las encuestas. En la Figura 2.7 se muestran las fechas de siembra y de cosecha según el calendario de cultivo. Asimismo en el Cuadro 2-4 se resumieron las características de las condiciones locales y las imágenes.

De acuerdo con esta Figura, se considera que el período de observación más apropiado para clasificar los cultivos en las tierras agrícolas es de mayo a julio. Estos meses corresponden a la época de siembra del trigo y la época de cosecha del maíz. Es decir, los cultivos presentan diferencias marcadas que facilitan la interpretación. En los meses precedentes, los cultivos presentan el color verde, haciendo difícil la discriminación, y en los meses posteriores, las tierras están casi descubiertas porque corresponden al período inmediatamente después de la siembra.

La mayoría de las grandes tierras de cultivo en Paraguay se destina al cultivo rotativo de trigo y de soja, y si se toma en cuenta esta modalidad de producción en la interpretación se puede distinguir los demás cultivos u otras clases de coberturas de tierra.

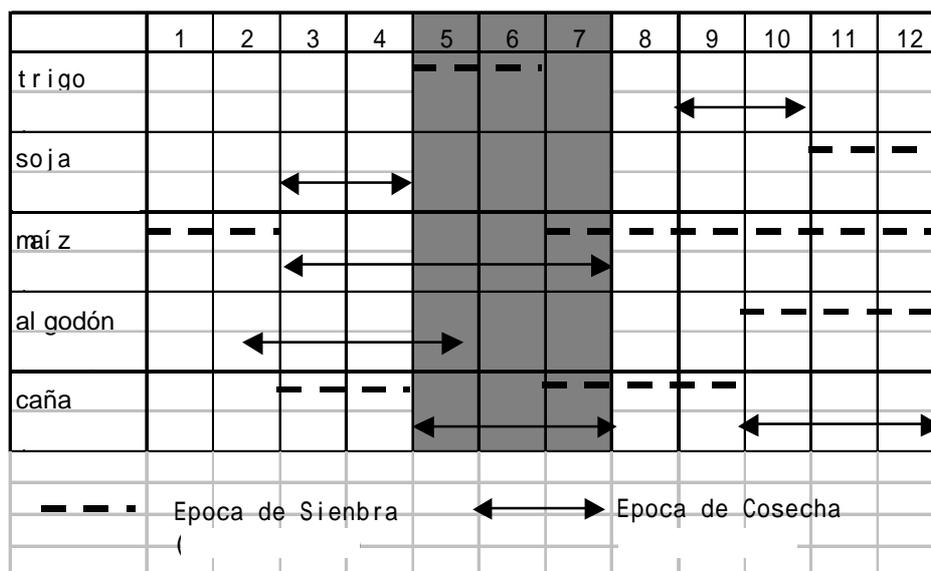


Figura 2-7 Calendario de Cultivo en las Tierras Agrícolas

Cuadro 2-4 Resultados del Estudio de Campo

Cultivos	Condiciones (entre mayo y julio)	Características de las imágenes
Trigo	Las plantas en los mayo y junio tenían una altura aproximada de 20 cm. Estas plantas habían alcanzado una altura entre 70 y 80 cm en julio. Se observaron esporádicamente las plantas secas de soja. Las mismas tierras se destinaban al cultivo de trigo, después de la cosecha de la soja.	El cultivo de trigo aparecía en color azul claro a azul en las imágenes de mayo y junio. El mismo cultivo aparecía en color anaranjado en las imágenes de julio.
Soja	No se pudo comprobar en el campo porque ya se había terminado la cosecha. Después de la cosecha de la soja, se había sembrado el trigo en las mismas tierras, por lo que las áreas coinciden con las áreas de siembra del trigo. En las tierras en descanso, se observaron algunas semillas caídas que estaban germinando, o se sembraba el nabo.	Idem. Esto es porque en la temporada de observación, se había sembrado el trigo.
Maíz	La época de siembra varía según las áreas, y las plantas tenían una altura entre 80 y 180 cm.	Aparecía en colores que varían entre rosado y anaranjado claro.
Algodón	En estos meses ya se termina de cosechar, y las plantas están secas. La altura es de 80 cm aproximadamente. Se observaron numerosos camiones transportadores de algodón. La cosecha era transportada a las plantas procesadoras o a los centros de acopio.	Las tierras de cultivo son pequeñas que no pueden ser identificadas en las imágenes. Se encuentran en las zonas donde se concentran los pequeños productores.
Caña de azúcar	La caña de azúcar es un cultivo perenne que puede ser cosechada durante cinco años aproximadamente. La altura varía entre 80 y 250 cm entre antes y durante la cosecha. Antes de la cosecha, las tierras presentan áreas desnudas en forma de parches.	Dependiendo de la etapa de crecimiento, el cultivo de la caña de azúcar puede presentar colores que varían de anaranjado claro a rojo oscuro, debiendo tener cuidado en la clasificación.

b) Condiciones de las praderas

Sobre las praderas, en el Cuadro 2.5 se muestran las condiciones locales y las características de las imágenes en los meses entre mayo y julio. Para distinguir las praderas artificiales de las naturales (no inundables) se considera apropiado observar las condiciones en estos meses. Asimismo, las praderas artificiales se localizan mayormente en las lomas, y pocas se distribuyen en las tierras planas donde los suelos son muy húmedos. Por lo tanto, la interpretación se facilita si se agregan las informaciones topográficas.

Como se indicó en el Cuadro, las praderas naturales (permanentemente inundables) pueden ser confundidas con los cuerpos de agua dependiendo de las estaciones, por lo que se propone utilizar las imágenes satelitales tomadas en dos temporadas, o realizar la clasificación utilizando las imágenes tomadas en una temporada poco lluviosa.

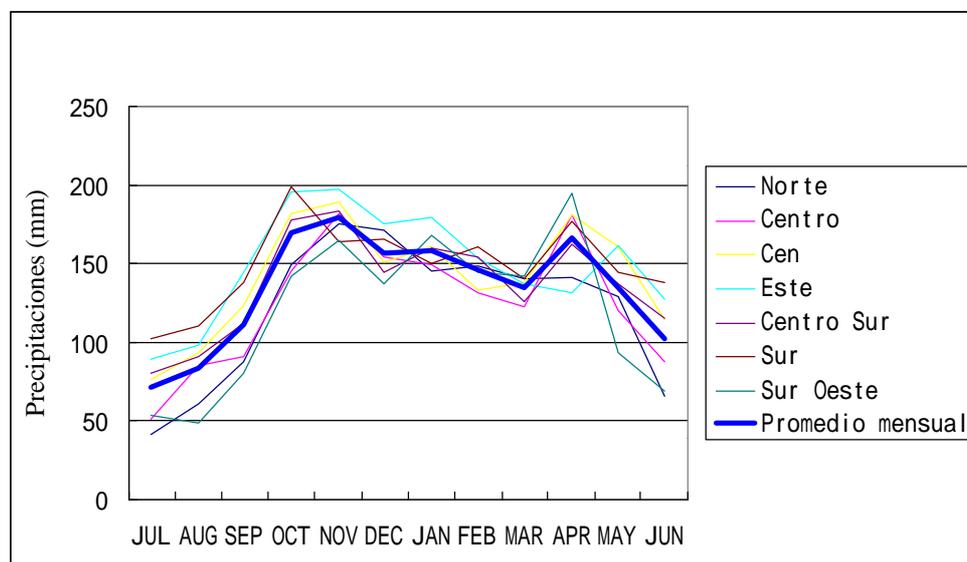
En la Figura 2-8 se muestran las precipitaciones mensuales para analizar las temporadas de observación. De acuerdo con estas informaciones, se considera que la temporada idónea para seleccionar las imágenes es entre junio y agosto puesto que las precipitaciones son relativamente bajas (menos de 100 mm). Sin embargo, las imágenes de satélite tomadas en 1999, las áreas que aparecieron como praderas naturales en mayo, aparecieron como cuerpos de agua en junio. Esto se debe a que el patrón de lluvias es muy variable dependiendo de los años, y a que no siempre presentan valores similares a las precipitaciones medias mensuales. Por esta razón, es necesario utilizar las imágenes de satélite tomadas en dos temporadas diferentes.

c) Condiciones de los bosques

Las condiciones forestales no presentaban variación estacional según el estudio de campo. Asimismo, no se encontró gran diferencia en las imágenes de satélite. Por estas razones, no es necesario para este caso tomar en cuenta el factor de temporada de observación.

Cuadro 2-5 Resultados del Estudio de Campo (pradera)

Cultivos	Condiciones (entre mayo y julio)	Características de las imágenes
Pradera artificial	No se ha encontrado pradera seco. Las principales especies son Estrellita, Pradera Colonial, Brizanda y Brancuria. En las áreas observadas, la mezcla de las dos últimas especies había sido predominante. La altura de las plantas es uniforme y no presentan sombras. La mayoría de los casos, esta cobertura se encuentra sobre las lomas.	Las tonalidades son variables, desde rosado claro a azul claro. Se distribuyen en topografías diferentes al pradera natural (tierras más altas en comparación con las áreas circundantes).
Pradera natural (no inundable)	Muchas veces está seco y es de color marrón en general. También se observaron muchas áreas negras por los efectos de la quema. La altura de la vegetación es variable, y presenta sombras.	Los colores son variables, desde amarillo hasta azul claro, con tonalidades muy diferentes. Se distingue de la pradera artificial por la topografía (se distribuye predominantemente en tierras bajas).
Pradera natural (permanentemente inundable)	Se encuentra permanentemente inundable, y tal vez sería mejor denominar humedal. Algunas partes estaban muy inundadas que no permiten distinguir las huellas del ganado. En las imágenes, aparecía la pradera natural denso también en el cuerpo de agua.	En las imágenes satelitales de junio aparece en color azul marino. Las partes que evidentemente eran cuerpos de agua, aparecían en color azul verdusco que corresponde al pradera natural. Es necesario tener suficiente cuidado puesto que puede variar considerablemente dependiendo de estaciones y de los años.



Ministerio de Agricultura y Ganadería, Producción Agropecuaria 1998/99

Figura 2-8 Precipitaciones Mensuales (promedio entre 1971 y 1998)

2-1-7 Elaboración del Mapa de Cobertura de la Tierra

Se elaboró el mapa de cobertura de la tierra aplicando las soluciones identificadas en el apartado 2-1-6. Se tomaron las siguientes medidas. Adicionalmente, se analizó el grado de precisión de dicho mapa aplicando el cuadro de eficiencia de interpretación.

- 1) Si la semejanza de la reflectividad espectral pudiera inducir al error de clasificación, se aplicó el método de interpretación además de la clasificación de las imágenes digitalizadas mediante el método de máxima verosimilitud para elevar su precisión. Es decir, se procuró interpretar correctamente las clases de coberturas tomando en cuenta las condiciones topográficas, de coberturas contiguas, distribución, y diferencias perceptibles de tonalidades, identificando y corrigiendo dichas áreas mediante el procesamiento por enmascarado.
- 2) Para las áreas, por ejemplo donde se concentran los pequeños productores, que presentan propiedades de reflectividad espectral diferentes a otras áreas por la predominancia de mixel, se procedió a la re-clasificación identificando dichas áreas mediante el procesamiento de enmascarado. En estos casos, el trabajo se realizó para cada zona, debido a que las zonas presentan diferentes rasgos según el tipo de cultivo, superficie de las tierras agrícolas, entre otros.
- 3) Existen áreas que fueron interpretadas como praderas inundables en las imágenes de mayo, que aparecieron como cuerpos de agua en las imágenes de junio porque la vegetación se hallaba eventualmente inundada. Los valores de la Banda TM 3 (región de rojo) de color azul presentan ciertas variaciones, pudiendo discriminar los lagos y las lagunas de las praderas inundables. Por lo tanto, se realizó la clasificación utilizando los valores de la Banda TM3.

Para determinar la tendencia del error de clasificación de coberturas y el grado de precisión, se preparó un cuadro de eficiencia de interpretación (Cuadro 2-6). Este consiste en seleccionar los puntos de muestreo mediante el método de muestreo sistemático utilizando las líneas de longitud y latitud (con intervalo de 10' respectivamente) y en comparar las clases interpretadas tomando en cuenta la clasificación del mapa y los resultados del estudio de campo. De este estudio, se determinó que la precisión general es de 89,8% (465 puntos /518 puntos \times 100).

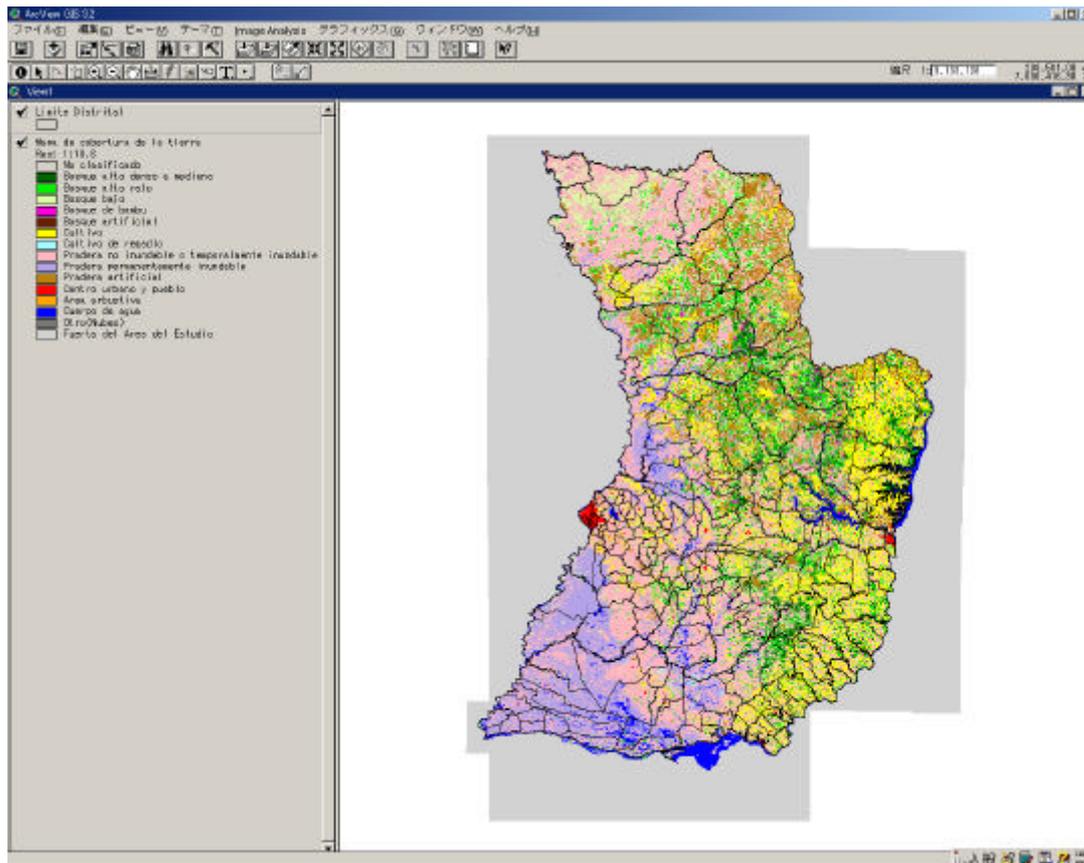


Figura 2-9 Mapa de Coberturas de Tierra

2-2 Superficie Forestal – Comparación con los Resultados de los Estudios Realizados en el Pasado

La superficie boscosa total según el mapa de cobertura de la tierra preparado con base en las imágenes de satélite de 1999, es de 3.974.271 ha. Por otro lado, de acuerdo con el estudio “Uso de la Tierra y Deforestación en la Región Oriental del Paraguay Periodo 1984 – 1991”, realizado por la Facultad de Ingeniería Forestal, Departamento de Ciencias Agrícolas de la Universidad Nacional de Asunción, la superficie boscosa de la Región Oriental es de 3.341.958 ha en total. Esto quiere decir que la superficie boscosa identificada en el mapa de coberturas de tierra del presente Estudio es 632.313 ha más (aproximadamente 4,0% de la Región Oriental). Sin embargo, esto no necesariamente quiere decir que la superficie aumentó, sino que se debe a la diferencia de los métodos de cálculo.

Cuadro 2-6 Cuadro de Eficiencia de Interpretación

Categorías		Clases referenciales												Total
		Bosques						Cultivos		Pradera			Cuerpos de agua	
Coberturas	Tipos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Bosques	1. Bosques nativos (bosques altos, de densidad alta a moderada)	24												24
	2. Bosques nativos (bosques altos raros)		31											31
	3. Bosques bajos			50										50
	4. Bosques de bambú			1	4									5
	5. Área arbustiva					2					3			5
	6. Bosques artificial						1							1
Cultivos	7. Cultivos (secano)							69		4		3		76
	8. Cultivos (cultivo de regadío)								1					1
Pradera	9. Pradera natural (no inundable)							6		131	3	10		150
	10. Pradera natural (permanentemente inundable)									5	64			69
	11. Pradera artificial							3		14		57		74
Cuerpos de agua	12. Cuerpos de agua												31	31
Total		24	31	51	4	2	1	78	1	155	70	70	31	518
Precisión media (%)		100,0	100,0	98,0	100,0	100,0	100,0	88,5	100,0	84,5	91,4	81,4	100,0	
Precisión de las coberturas (%)		99,1						88,6		85,4			100,0	
Precisión general (%)		89,8												

Nota 1: Las “categorías” corresponden a los resultados de la clasificación del mapa de coberturas de tierra, mientras que las “clases referenciales” son clases interpretadas según los resultados del estudio de campo.

El mapa de cobertura de la tierra del presente Estudio fue preparado mediante el análisis de las imágenes digitales, por lo que los bosques de más de 30 m x 30 m (0,09 ha) que es el tamaño equivalente a 1 pixel de LANDSAT-TM fueron clasificados todos como bosques.

Por otro lado, de acuerdo con el informe de la Universidad Nacional de Asunción, el mapa de uso de la tierra y deforestación ha sido preparado mediante el método de interpretación visual, y no por el análisis de los datos digitales. El trabajo consistió en identificar los bosques de más de 5 mm x 5 mm sobre las imágenes satelitales de escala 1:250.000. Esto corresponde a una extensión de 156 ha (1,25 km x 1,25 km), lo que significa que los pequeños bosques no han sido clasificados, y por ende, no han sido cuantificados en la superficie boscosa.

En el Cuadro 2-7 se muestran los resultados de comparación de la superficie boscosa según los estudios de 1991 y de 1999. La diferencia entre ambos estudios está en la superficie mínima boscosa, la cual ha sido de 156 ha para el estudio de 1991, y de 0,09 ha para el estudio de 1999. También las metodologías aplicadas han sido diferentes, puesto que en el primero consistió en la interpretación visual y en el segundo consistió en el análisis de las imágenes digitalizadas.

Como resultado de la identificación de los bosques, a través del GIS y del mapa de cobertura de la tierra del año 99, utilizando el criterio del estudio realizado en el año 1991, de mayor a 156 ha, el resultado es de 2.619.142 ha. Esta superficie es 722.816 ha menos que el valor arrojado por el estudio de 1991 (de 3.341.958 ha). En la Figura 2-10 se muestra la distribución de los bosques según el presente Estudio, discriminando los bosques de más de 156 ha y menos de 156 ha. Para hacer una comparación, en la Figura 2-11 se presenta la distribución de los bosques de más de 156 ha según el análisis realizado con el GIS.

El objetivo principal de la elaboración del mapa de cobertura de la tierra en el presente Estudio, es utilizarlo como base del GIS para la selección de las áreas para la promoción de la reforestación y la elaboración del plan de reforestación. Por lo tanto, se decidió clasificar los pequeños bosques como “bosques” y no como “áreas de reforestación”.

Cuadro 2-7 Comparación con los Resultados del Estudio Anterior (superficie forestal)

	Resultados del estudio de 1991	Resultados del estudio de 1999
Informes	Uso de la Tierra y Deforestación en la Región Oriental del Paraguay Período 1987-1991	Estudio para el Plan Maestro de Reforestación en la Región Oriental del Paraguay
Toma de las imágenes satelitales	1991	1999
Preparación del mapa de coberturas de tierra	Interpretación y análisis visual	Análisis de las imágenes digitalizadas
Superficie boscosa mínima	156 ha	0,09 ha (30m x 30m)
Superficie boscosa	3.341.958 ha	3.974.271 ha
Superficie boscosa de más de 156 ha	3.341.958 ha	2.619.142 ha

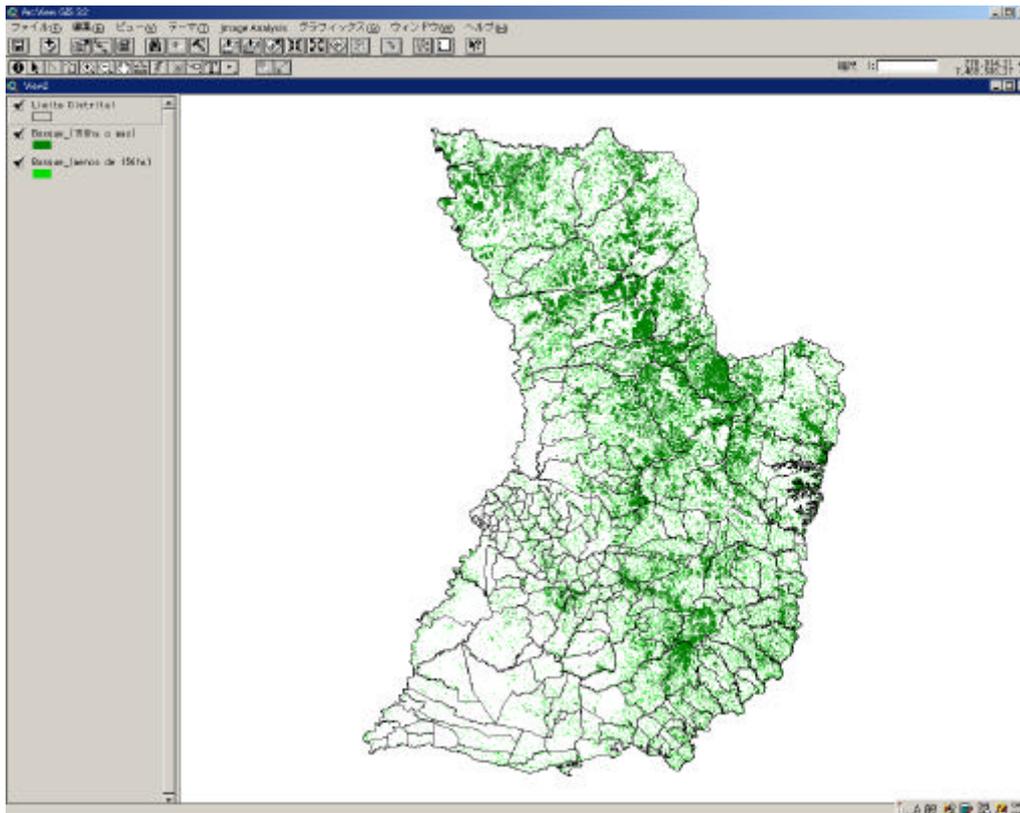


Figura 2-10 Distribución de los Bosques
(verde: 156 ha o más, verde amarillento: menos de 156ha)

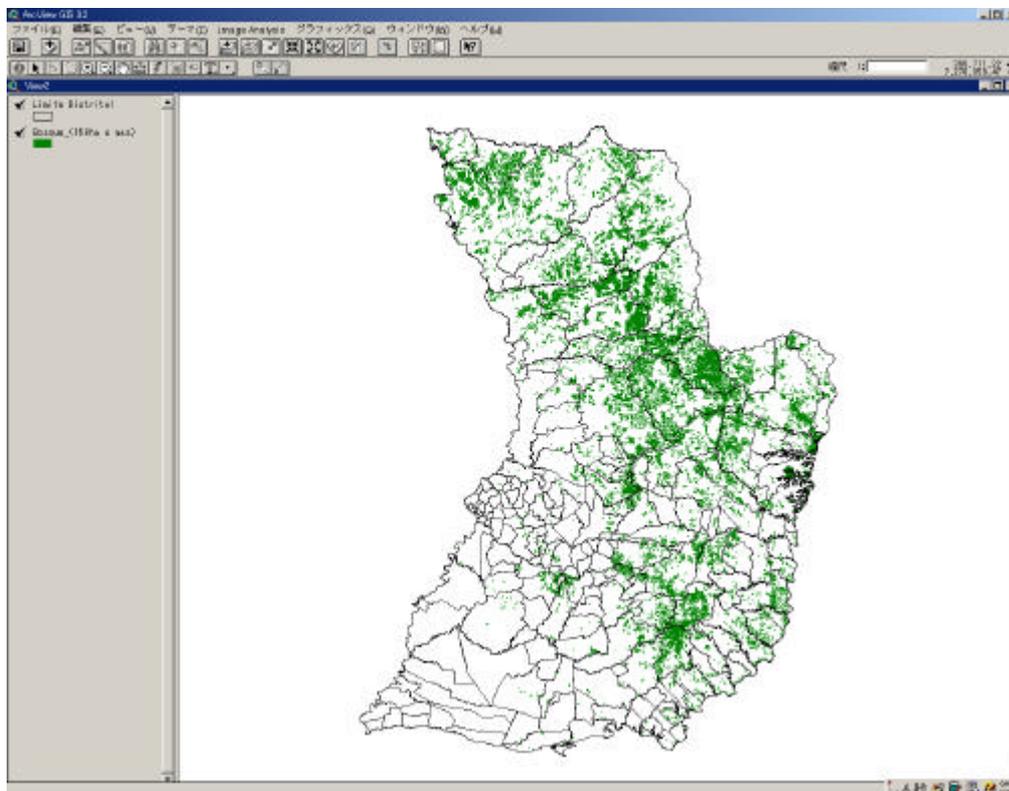


Figura 2-11 Distribución de los Bosques (156 ha o más)