



TOGETHER
for a sustainable future

OCCASION

This publication has been made available to the public on the occasion of the 50th anniversary of the United Nations Industrial Development Organisation.



TOGETHER
for a sustainable future

DISCLAIMER

This document has been produced without formal United Nations editing. The designations employed and the presentation of the material in this document do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of the Secretariat of the United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) concerning the legal status of any country, territory, city or area or of its authorities, or concerning the delimitation of its frontiers or boundaries, or its economic system or degree of development. Designations such as “developed”, “industrialized” and “developing” are intended for statistical convenience and do not necessarily express a judgment about the stage reached by a particular country or area in the development process. Mention of firm names or commercial products does not constitute an endorsement by UNIDO.

FAIR USE POLICY

Any part of this publication may be quoted and referenced for educational and research purposes without additional permission from UNIDO. However, those who make use of quoting and referencing this publication are requested to follow the Fair Use Policy of giving due credit to UNIDO.

CONTACT

Please contact publications@unido.org for further information concerning UNIDO publications.

For more information about UNIDO, please visit us at www.unido.org



FUNCATE

Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais

1644.3

INFORME FINAL

PARA

ONU DI - CONTRATO Nº 85/125/MK

PROYECTO Nº DP/URU/013

EVALUACIÓN DE LOS RECURSOS FORESTALES EN EL URUGUAY

PROPUESTA A

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO INDUSTRIAL (ONU DI)

PROPUESTO POR:

FUNCATE (Fundación de Ciencias, Aplicaciones y Tecnología Espaciales)

SAN JOSÉ DOS CAMPOS, SAN PABLO, BRASIL

Julio 1987



- ii -

RESUMEN

El objetivo principal de este proyecto fue obtener informaciones forestales básicas para el desarrollo, promoción y utilización de fuentes alternativas de energía, basadas en los recursos naturales del país. Otro de los objetivos de este proyecto fue evaluar el Mapeador Temático (TM) del Landsat como una ayuda en el manejo de los bosques en Uruguay.

Adicionalmente, se entrenó a un grupo de 8 técnicos uruguayos, en la interpretación de datos de satélite para mapeo y técnicas de mediciones forestales.

El área estudiada en este proyecto corresponde a todo el territorio de Uruguay, con un total de 176.027 kilómetros cuadrados.

Este informe describe la metodología que utilizó datos TM/LANDSAT, como la primera fase de un muestreo bietápico, diseñado para producir información para un inventario forestal de dos tipos de plantaciones (pinos y eucaliptos) y para mapear los bosques naturales del Uruguay.

Fueron preparados mapas temáticos de las plantaciones (pinos y eucaliptos) y bosques naturales a escala 1:100 000 (87 hojas) y de plantaciones a escala 1:1 000 000 (una hoja). Para eso, se utilizaron técnicas y procedimientos que han sido desarrollados por especialistas del Instituto de Investigaciones Espaciales de Brasil. Estas técnicas se basaron en análisis de imágenes con y sin contraste del satélite Landsat, interpretación de fotografías aéreas y mediciones en el terreno, sobre varias áreas diferentes y delimitadas, las cuales fueron extrapoladas para la interpretación en todo el país.

De los resultados de este proyecto se puede concluir que el área forestal total es solamente 3% del área total de Uruguay. Las plantaciones de pinos y eucaliptos, constituyen aproximadamente 23,7% del área total forestada.

La exactitud del mapeo de la cubierta forestal fue evaluado por comparación con resultados obtenidos a partir de mediciones en el terreno. Las exactitudes de interpretación y sus intervalos de confianza (en porcentaje) para pino fueron $82,4 \pm 4,15$ y para eucalipto $95,5 \pm 2,39$. Las exactitudes para mapeo y sus intervalos de confianza (en porcentaje) fueron $81,9 \pm 4,20$ para pino y $81,4 \pm 4,49$ para eucalipto, todo a un nivel de confianza de 95%.



- iii -

La interpretación visual para el mapeo de áreas forestadas utilizando imágenes TM del Landsat, es una técnica simple, que toma poco tiempo y de gran exactitud, cuando se utilizan imágenes impresas en papel a escala 1:100 000. Las exactitudes generales para interpretación y mapeo fueron 90,6% y 83,8%, respectivamente.

El volumen total de madera en pie de plantaciones de pino y eucalipto en todo el país, fue estimado en 3.539.418 y 24.231.118 metros cúbicos, con errores de muestreo entre 16.03% y 24.56% respectivamente a un nivel de confianza de 95%.

De todos los resultados obtenidos, puede concluirse que las imágenes TM del Landsat, a escala 1:100 000, resultan útiles como una fuente primaria de datos para mapeo de área forestal e inventarios de madera, a nivel nacional.



- iv-

INDICE

Título de Proyecto	i
Resumen	ii
Indice	iv
<u>CAPITULO 1 - INTRODUCCIÓN</u>	1
<u>CAPITULO 2 - AREA DE ESTUDIO</u>	3
<u>CAPITULO 3 - MATERIAL</u>	5
3.1 - Imágenes de Satelite	5
3.2 - Material Proporcionado por Uruguay	5
3.3 - Otros Materiales	8
<u>CAPITULO 4 - METODOLOGÍA</u>	9
4.1 - Interpretación Visual de las Imágenes	9
4.2 - Técnicas para Medir Areas	12
4.3 - Compilación de Mapa Temático	18
4.4 - Evaluación de la Exactitud	18
4.4.1 - Tamaño de la Muestra para Verificación de la Interpretación	18
4.4.2 - Trabajo de Interpretación	20
4.5 - Diseño de Muestreo	22
4.5.1 - Esquema de Muestreo	23
4.6 - Mediciones Volumétricas en el Terreno	27
<u>CAPITULO 5 - RESULTADOS Y DISCUSION</u>	29
5.1 - Leyenda y Clave de Interpretación	29



5.2 - Mapas Temáticos	31
5.3 - Interpretación y Exactitud de los Mapas	31
5.4 - Area Forestada	34
5.5 - Resultados Volumétricos	38
5.5.1 - Resultados Estadísticos	38
5.5.2 - Volumen Medio de Madera en Pie	38
<u>CAPITULO 6 - CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</u>	41
6.1 - Conclusiones	41
6.2 - Recomendaciones	43
<u>CAPITULO 7 - ACTIVIDADES DE ENTRENAMIENTO</u>	45
<u>REFERENCIAS</u>	48

**CAPITULO 1 - INTRODUCCIÓN**

A pedido del Gobierno de la República Oriental del Uruguay, en Noviembre de 1985, la Fundación de Ciencia, Aplicaciones y Tecnología Espaciales (FUNCATE), presentó una propuesta de Proyecto a la Organización de Naciones Unidas para El Desarrollo Industrial (ONUDI) para la ejecución del Proyecto denominado "Evaluación de los Recursos Forestales de Uruguay".

El principal objetivo de este Proyecto fue obtener información básica para el desarrollo, promoción y utilización de fuentes alternativas de energía a través del uso de recursos forestales del país y validar el uso de imágenes TM/LANDSAT como una ayuda eficiente en el manejo de las plantaciones forestales de Uruguay.

El objetivo secundario fue entrenar un equipo de 8 técnicos uruguayos, en el área de interpretación de imágenes orbitales, para obtener datos sobre la cobertura forestal del terreno.

Este Proyecto se basó en las necesidades de evaluar el recurso potencial forestal de Uruguay para desarrollar un programa de utilización de leña como fuente alternativa de energía. Para realizar tal evaluación resulta necesario establecer la distribución espacial de la cobertura forestal y cuantificar el volumen forestal de las plantaciones existentes. Dada la frecuencia con que las imágenes TM/LANDSAT son generadas (cada 16 días) y la resolución del sensor TM (30 metros), estos datos, conjuntamente con información obtenida en el terreno, ofrecen los medios más eficientes y a menor costo, para evaluar recursos madereros y áreas plantadas a nivel nacional.

Los objetivos específicos del Proyecto fueron:

- . Generar mapas de las áreas forestadas de Uruguay a escala 1:100 000 incluyendo las áreas de bosque natural con 50% de cobertura o una densidad mayor a 200 árboles/há;
- . Generar información de las plantaciones forestales sobre dichos mapas
- . Confeccionar un mapa de las áreas forestadas de Uruguay a escala 1:1 000 000;
- . Calcular el volumen de madera de las áreas plantadas.



- 2 -

En el marco del Proyecto FNUD-MIE-ONUDI/URU/83/013 a partir de diciembre de 1985, FUNCATE comenzó la ejecución del contrato. El grupo de trabajo "FUENTES ALTERNATIVAS DE ENERGIA" organizó un equipo inter-institucional que actuó como contraparte.

Por Uruguay participaron las siguientes entidades y técnicos:

- . Ministerio de Industria y Energía
 - Ing. Agr. Forestal Rosario Poi Ferrari
 - Ing. Agr. Forestal Gerardo Almeida Demarco
 - Ing. Agr. Forestal Gustavo Gamundi

- . Facultad de Agronomía de la Universidad de Uruguay
 - Ing. Agr. Forestal Arianna Sorrentino

- . Ministerio de Agricultura y Pesca
 - Ing. Agr. Forestal Peter U. Baptista Peláez
 - Técnico Forestal Francisco de Castro Silva

- . Serviço Geográfico Militar
 - Tte. Edilberto Viar

Por Brasil participaron las siguientes entidades y técnicos:

- . Ministerio de Ciencia y Tecnología - Instituto de Investigaciones Espaciales
 - Econ. René Antonio Novaes
 - Ing. For. Armando Pacheco dos Santos
 - Ing. For. David Chung Liang Lee
 - Ing. For. Flávio Jorge Ponzoni
 - Ing. For. José Simeão de Medeiros
 - Ing. For. Pedro Hernandez Filho

- . Fundación de Ciencia, Aplicaciones y Tecnología Espaciales
 - Ing. Agr. Kleber de Faria
 - Ing. Agr. Marcos Covre
 - Ing. Agr. Renato dos Santos
 - Ing. Agr. Ricardo Leonardo Vianna Rodrigues
 - Ing. Cart. Flávio Gewankisznajder
 - Dibuj. João Ermani Silva
 - Dibuj. Cássia Beatriz Sorbille Veiga

Este Proyecto fue ejecutado en base a la metodología y procedimientos ya desarrollados por el "Instituto de Pesquisas Espaciais" (INPE) de Brasil.

**CAPÍTULO 2 - AREA DE ESTUDIO**

El área de estudio considerada para la realización de este trabajo fue todo el territorio uruguayo el cual está constituido por 19 departamentos: Artigas, Canelones, Cerro Largo, Colonia, Durazno, Flores, Florida, Lavalleja, Maldonado, Montevideo, Paysandú, Río Negro, Rivera, Rocha, Salto, San José, Soriano, Tacuarembó y Treinta y Tres (Figura 2.1).

Debido a que las fotografías aéreas recientes disponibles no cubrían todo el país, fue necesario subdividir el territorio en dos zonas: Zona I y Zona II. La primera con 10 Departamentos y la segunda con 9. Solamente se disponía de fotografías aéreas recientes de la Zona II. (Figura 2.1).

La superficie territorial de Uruguay es de 176.027 Km², lo que corresponde a aproximadamente 1% del área total de América del Sur. La distancia entre sus puntos extremos es de 520 km en dirección N-S y 480 dirección E-O. Sus límites son: Brasil al N-E, el Océano Atlántico al SE, el Río de la Plata al S y Argentina al Oeste (a través del Río Uruguay).

La mayor parte del país posee relieve predominantemente plano a suavemente ondulado, y su cobertura vegetal está constituida por praderas naturales y artificiales, basicamente herbáceas y gramíneas.

Las áreas forestadas incluyen bosques naturales y artificiales (en su mayoría pinos y eucaliptos) y alcanzan apenas un 3% de todo el territorio.

Los bosques naturales se encuentran normalmente a lo largo de ríos y arroyos y en zonas de relieve.

Los bosques artificiales de pinos están localizados en su mayor parte a lo largo de la región costera siendo su objetivo principal el de fijación de dunas.

Las plantaciones de eucaliptos se distribuyen por toda la superficie territorial del país constituyendo bosques de extensión variable destinadas a la protección del ganado (sombra y abrigo) y/o como cortinas rompeviento.

Por otro lado también se encuentran plantaciones instaladas con fines de producción de madera, concentradas en algunas zonas y determinados Departamentos del país.

Las principales especies de *Pinus* y *Eucalyptus* plantadas en el país son: *Pinus pinaster*, *P. elliotii*, *P. taeda*, *P. insignis*, *Eucalyptus tereticornis*, *E. camaldulensis*, *E. globulus* y *E. grandis*.



REPUBLICA ORIENTAL DEL URUGUAY

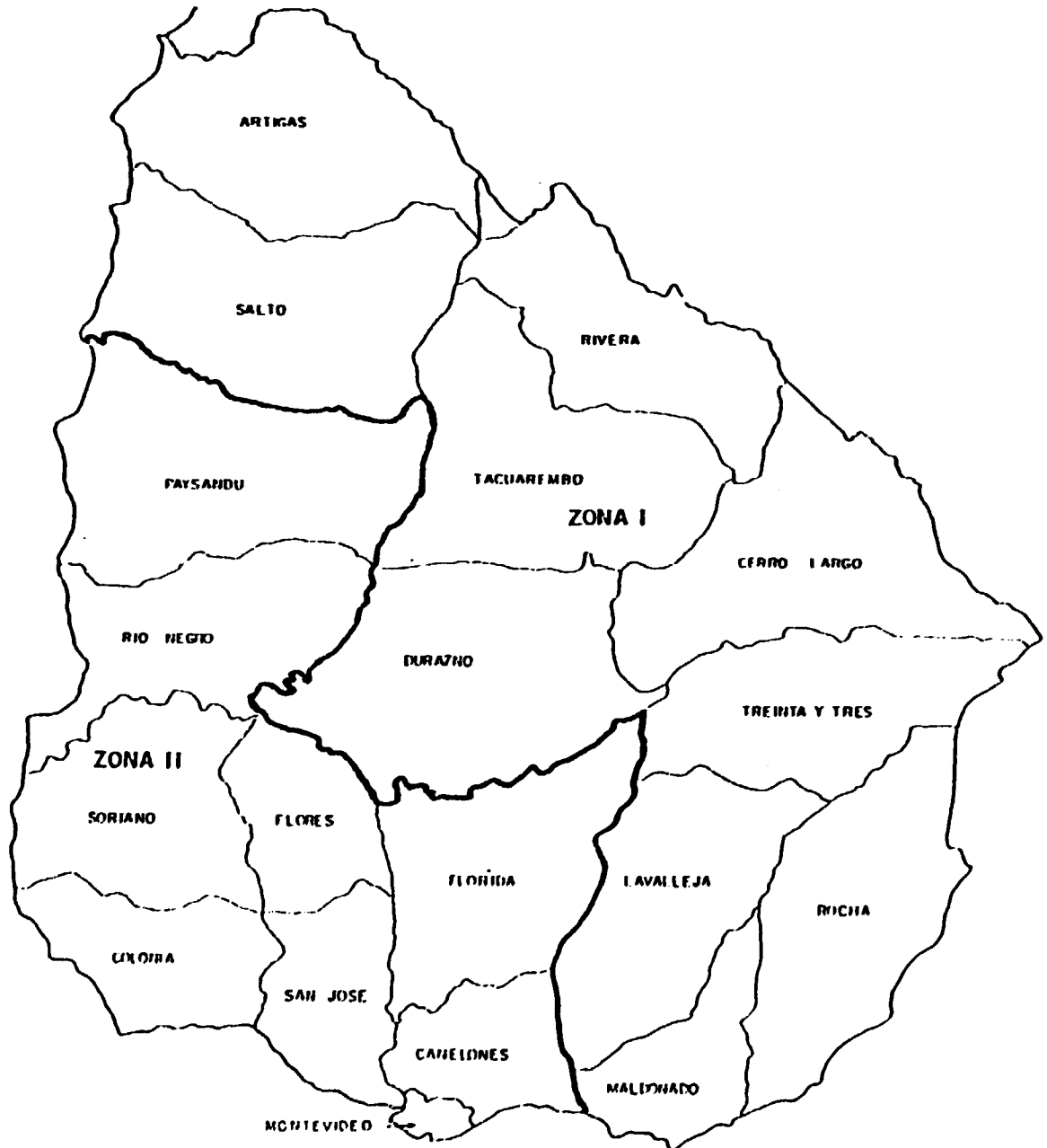


Figura 2.1 - Área de estudio: Límites departamentales y de las Zonas I y II.



CAPITULO 3 - MATERIALES

3.1 - IMAGENES DE SATELITE

El territorio uruguayo queda cubierto por 14 imágenes completas o 44 cuadrantes de imágenes del Landsat (Figura 3.1). La mayoría de ellas están sin cobertura de nubes, excepto la órbita/punto 224/84 durante el período 2/5/85 al 12/7/85. Información más detallada se presenta en la Tabla 3.1.

El material utilizado para la interpretación y la compilación de las cartas fueron imágenes del Mapeador Temático (Thematic Mapper-TM) de Landsat en papel blanco y negro, banda 3 (0,63 a 0,69 μm), banda 4 (0,76 a 0,90 μm), banda 5 (1,55 a 1,75 μm), todas a escala 1:100 000. También fue utilizada la banda 3 a escala 1:1 000 000. Las imágenes fueron adquiridas por ONUDI en el Instituto de Investigaciones Espaciales - Brasil.

3.2 - MATERIAL PROPORCIONADO POR URUGUAY

La contraparte uruguayo ha proporcionado todos los documentos cartográficos necesarios, bibliografía, datos estadísticos, y todo tipo de medios que fueron de importancia sustancial para el proyecto, tales como:

- 87 mapas de la Serie Cartográfica Nacional en papel cronaflex a una escala de 1:100 000 cubriendo todo el Uruguay .
- Carta Florestal actualizada y Suelos de Interés Forestal.
- Todas las fotografías aéreas disponibles abarcando parte del territorio uruguayo. Solamente para la Zona II (Figura 2.1) fueron utilizadas fotografías aéreas verticales en blanco y negro, a escala 1:20.000, tomadas en el período 1980 a 1982. Las fotografías aéreas proporcionadas por la contraparte Uruguaya fueron utilizadas como material de apoyo para la verificación de campo, para elaborar las claves de interpretación, y el trabajo de mensura.
- Bibliografía necesaria describiendo las zonas forestales y otros aspectos del territorio.



REPUBLICA ORIENTAL DEL URUGUAY

* 223/82 = ORBITA/PUNTO

* A, B, C y D = CUADRANTES

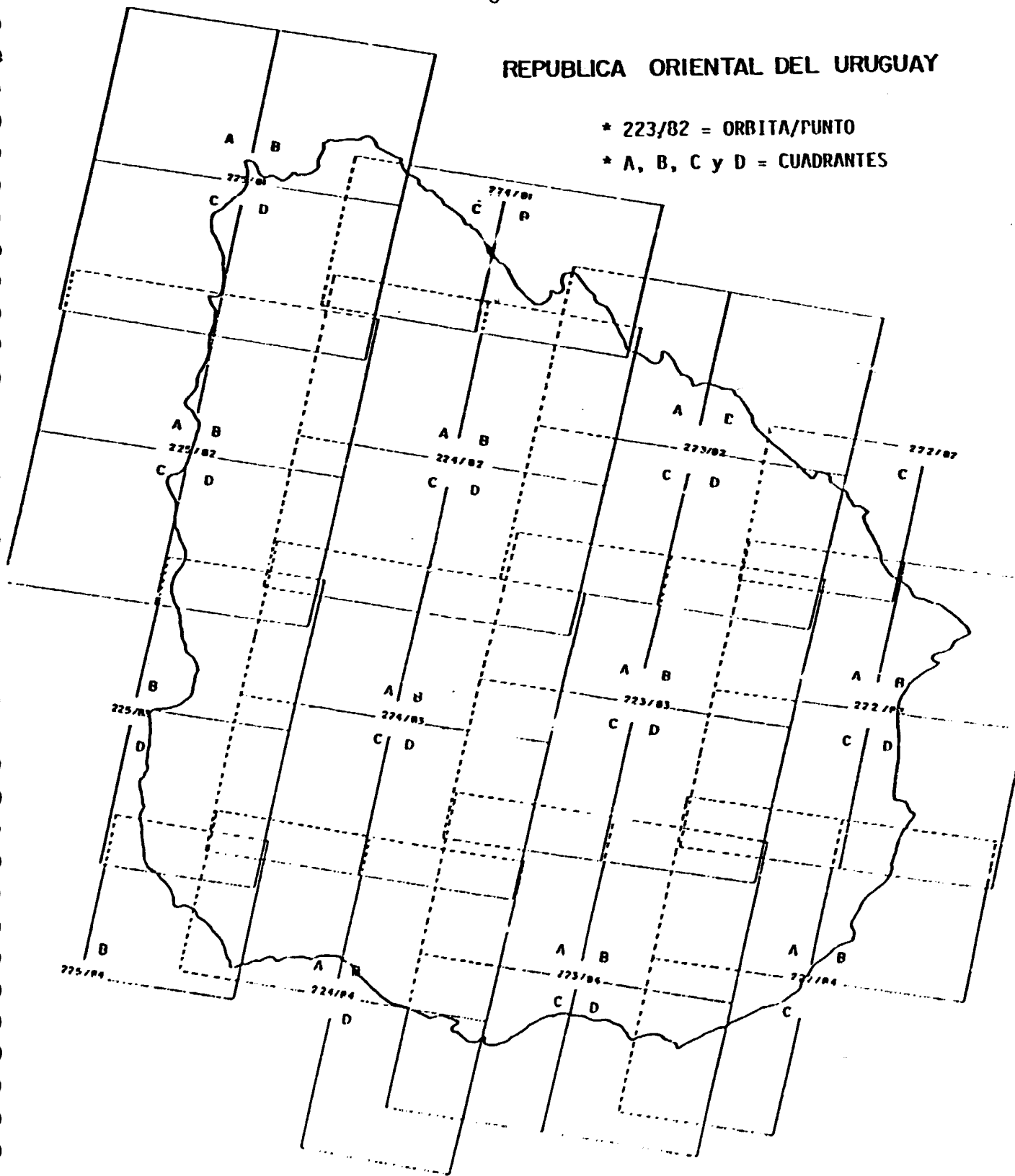


Figura 3.1 - Carta de Uruguay en que se muestran las imágenes del IM/Landsat-5 y sus cuadrantes.

**FUNCATE****Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais**

- 7 -

TABLA 3.1

IMÁGENES TM/LANDSAT UTILIZADAS EN EL TRABAJO

ÓRBITA/PUNTO	FECHA DE PASAJE	CUADRANTE	BANDAS ESPECTRALES DEL TM/LANDSAT
222/82	04/05/85	C	3 y 4
222/83	04/05/85	A,B,C y D	3 y 4
222/84	04/05/85	A,B y C	3,4 y 5
223/82	11/05/85	A,B,C y D	3 y 4
223/83	11/05/85	A,B,C y D	3,4 y 5
223/84	05/12/85	A y B	3,4 y 5
	07/02/86	A,B y D	3 y 4
	23/02/86	C	3 y 4
224/81	02/05/85	C y D	3 y 4
224/82	02/05/85	A,B,C y D	3 y 4
224/83	02/05/85	A,B,C y D	3 y 4
224/84	06/10/84	A,B y D	3 y 4
225/81	12/07/85	C y D	3 y 4
	10/06/85	A y B	3 y 4
225/82	12/07/85	A,B,C y D	3 y 4
225/83	12/07/85	B y D	3 y 4
225/84	12/07/85	B	3 y 4



3.3 - OTROS MATERIALES

- . Relascopios de Bitterlich, modelo banda angosta
- . Forcípulas
- . Cintas de lona de 15,71 m de largo (5 π)
- . Brújulas
- . "Range-Finder" para medición de distancias
- . Red de puntos
- . Reglas milimetradas
- . Planillas de campo
- . Cintas diamétricas
- . Lupas
- . Mesas con camara clara

**CAPITULO 4 - METODOLOGIA**

El diagrama de flujo de la Figura 4.1 muestra la secuencia de actividades del Proyecto y la Tabla 4.1 el tiempo requerido para desarrollar cada una de las actividades.

4.1 - INTERPRETACION VISUAL DE LAS IMAGENES

La metodología utilizada se basó en la interpretación visual de imágenes TM del Landsat-5 sin contraste, descrita por Hernández Filho y Shimabukuro (1978, 1985).

Las fotografías aéreas existentes, carta forestal y otras informaciones auxiliares de bosques fueron examinadas en conjunto con las imágenes.

El análisis de las imágenes fue realizado en dos fases. La primera fase tuvo lugar con anterioridad a los trabajos de campo y la segunda (reanálisis) fue cumplida posteriormente a los trabajos de verificación en el campo, cuando se logró un mayor conocimiento de la correspondencia entre características del terreno y el contenido de las imágenes.

Durante el entrenamiento de los técnicos uruguayos (Enero 1986), se realizaron trabajos de reconocimiento de campo, recogiendo informaciones de altura de árboles, área basal, densidad, área mínima de interpretación y composición de las especies, lo que sirvió para confeccionar las claves de interpretación primarias.

Para realizar dicho reconocimiento fueron seleccionados 22 rodales representativos para la verificación en el terreno, a partir de cuatro cuadrantes de dos imágenes Landsat con la ayuda de algunas fotografías aéreas.

Las imágenes fueron interpretadas visualmente, en base a aspectos espectrales y espaciales. A pesar de que la fecha de las imágenes varió de octubre 1984 a febrero de 1986, debido a problemas de coberturas de nubes, de modo general fue analizado un único pasaje para cada imagen. Por este motivo no fue posible la validación del aspecto temporal durante la fase de interpretación visual.



FUNCATE

Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Especiais

- 10 -

Tabla 4.1 - **CRONOGRAMA DE LAS ACTIVIDADES DEL PROYECTO**

ACTIVIDADES	AÑOS / MESES	1995												1996												1997														
		DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ENE													
1. Selección y Adquisición de Imágenes (BRASIL)																																								
2. Preparación del curso de entrenamiento (BRASIL)																																								
3. Curso de entrenamiento, chequeo de campo y adquisición de datos auxiliares																																								
4. Preparación de mapas base (URUGUAY)																																								
5. Interpretación preliminar de imágenes (BRASIL)																																								
6. Entrenamiento de técnicos uruguayos (BRASIL)																																								
7. Informe de progreso (BRASIL)																																								
8. Primer trabajo de campo (URUGUAY)																																								
9. Habilitación de imágenes, integración de datos y de datos de la muestra (BR)																																								
10. Entrenamiento de técnicos uruguayos (BRASIL)																																								
11. Informe de progreso (BRASIL)																																								
12. Segundo trabajo de campo (URUGUAY)																																								
13. Análisis integrado y evaluación de los datos de campo (BRASIL)																																								
14. Cálculo estadísticos y generación de mapas, tablas y figuras (BR)																																								
15. Preparación del informe final (BRASIL)																																								
16. Informe final (BRASIL/URUGUAY)																																								



DIAGRAMA DE FLUJO DE ACTIVIDADES DEL PROYECTO

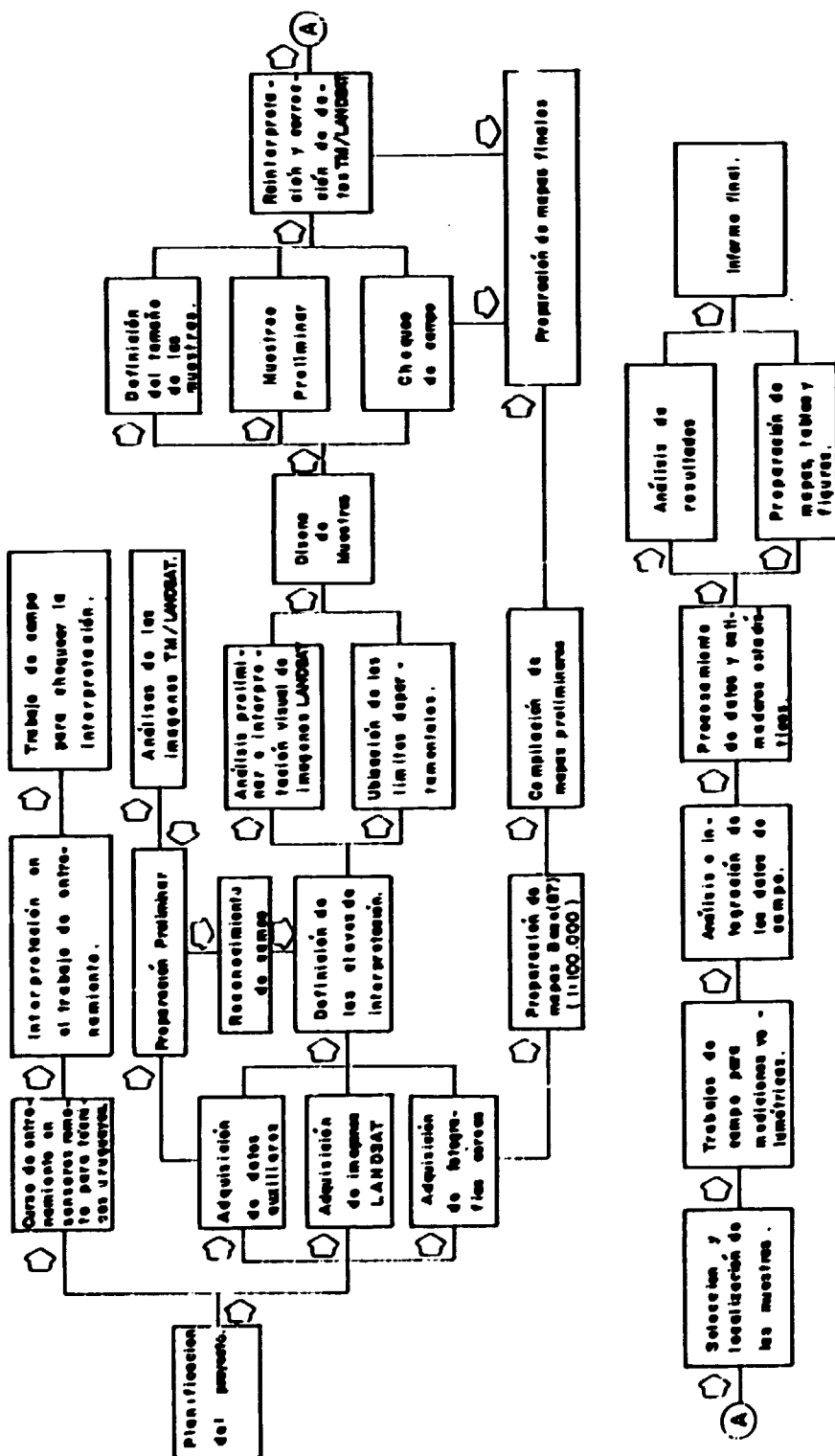


Figura 4.1



En cuanto a los aspectos espaciales se analizaron la forma el tamaño y el sitio topográfico ocupado por los bosques naturales y artificiales (Pinus y Eucalyptus). En cuanto a aspectos espectrales, se analizaron los elementos tonalidad y textura.

Como auxilio para la interpretación visual de las imágenes TM se utilizaron fotografías aéreas de algunas áreas del país y datos sobre bosques artificiales proporcionados por instituciones y entidades uruguayas.

Sobre cada base cartográfica en "Cronaflex" fue colocada una hoja de papel polyester estable transparente y este conjunto fue superpuesto sobre las imágenes para la interpretación de los temas definidos. Además de los bosques naturales y artificiales marcados con colores diferentes, también se delimitaron algunas calles y lagos artificiales que no aparecían en la base cronaflex.

La interpretación de bosques fue realizada primero sobre la banda 3) y luego confirmada en otras bandas Landsat (banda 4 y/o 5) definiendo la clase de bosque. Los colores de estas clases fueron codificados (Table 4.2).

4.2 - TECNICAS PARA MEDIR AREAS

Para medir las áreas, fue utilizado el mapa base (superposición), conteniendo las classes de bosques interpretadas.

Las áreas de plantaciones de pinos y eucaliptos fueron estimadas superponiendo una red cuadrículada transparente de 0,4 mm de lado y las de bosques naturales con otra red cuadrículada de 1 mm de lado. Cada uno de los mapas base conteniendo las clases incluía una cuadrícula de 5 km de lado que fue usada como UPM (Unidad Primaria de Muestreo). Para realizar las mediciones, la red cuadrículada (0,4 mm o 1 mm) se fue colocando sobre todas las cuadrículas de 5 x 5 km de los mapas (Figura 4.2). Las áreas de cada UPM correspondientes a cada clase, se presentan en la Tabla 4.3.

Para la Zona II, fue definida una Unidad Secundaria de Muestreo (USM) equivalente a 1/625 de UPM. El conteo en el interior de cada una de las USM fue realizado con una red de 1 mm x 1 mm, superpuesta en el mosaico de fotografías aéreas a escala 1:20.000. En cada uno de los fotomosaicos, una UPM equivale a 25 cm x 25 cm y una USM, 1 cm x 1 cm (200 m x 200 m en el terreno) Figura 4.3.

**TABLA 4.2****CLASES DE COBERTURA PARA INTERPRETAR EL TM DEL LANDSAT****1. Plantaciones**

Área mínima 1 x 1 mm = 1 há

- a) plantaciones de *Pinus* spp.: color rojo
- b) plantaciones de *Eucalyptus* spp.: color azul

2. Bosque Natural - color verde

Área mínima 5 x 5 mm = 25 há: mayor que 50% de cubierta
Usualmente a lo largo del drenaje y en los cerros

3. Cuerpos de Agua

- a) Lagunas artificiales y Lagos
- b) Ríos

4. Otros

- a) Tierra agrícola
- b) Tierra urbana
- c) Caminos y líneas férreas
- d) Ciudades y aldeas
- e) Otros bosques
- f) Parques

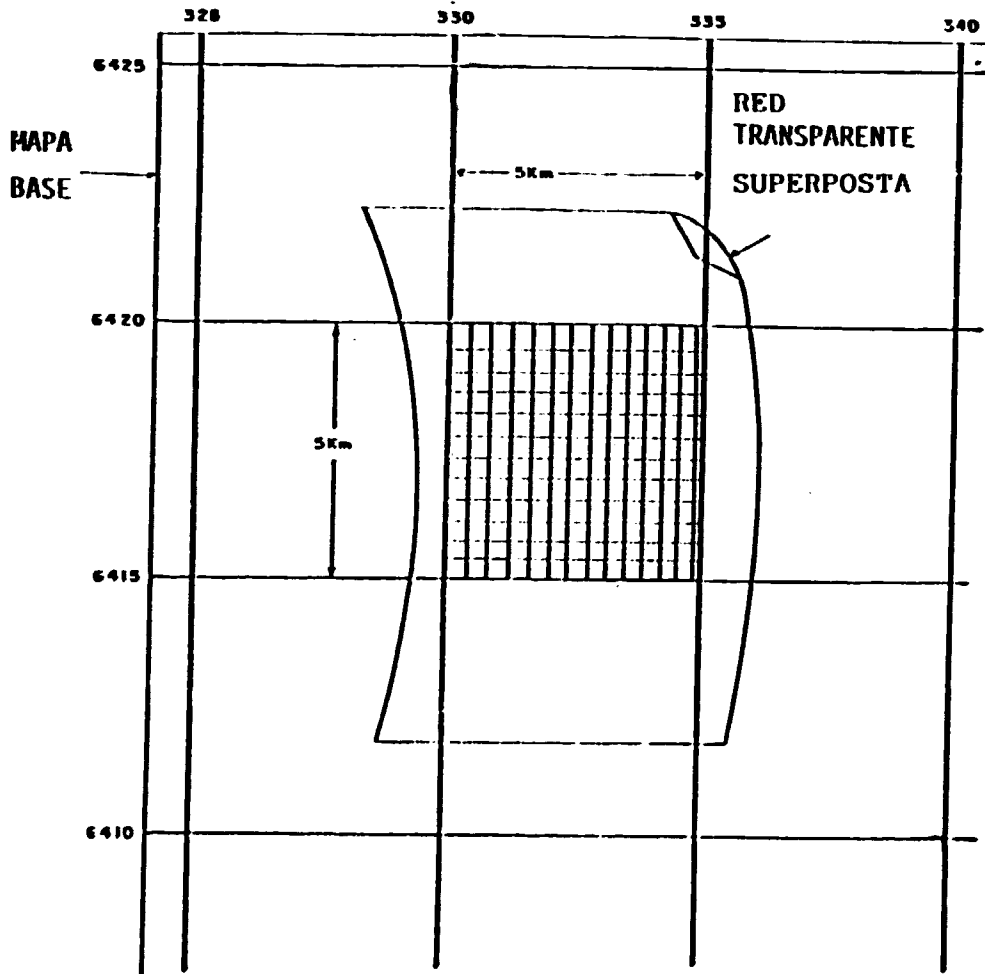


Figura 4.2 -Técnicas de medição de área forestada en la UPM en la primer etapa.

**FUNCATE****Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Especiais**

- 15 -

TABLA 4.3

PANILLA PARA MEDICIÓN DE AREA

MAPA:			MEDICIÓN DE LAS CLASES EN HÃ						OBS.
UPM		DEPARTAMENTO	PINO		EUCALIPTO		B. NATURAL		
LINEA	COLUMNA		AREA EN HÃ	ACUMULADO	AREA EN HÃ	ACUMULADO	AREA EN HÃ	ACUMULADO	



TABLA 4.4

PLANILLA PARA LA SEGUNDA SELECCIÓN DE MUESTRA

ZONA:				CLASE:											
MAPA:				Nº											
UPM:				LINEA:					COLUMNA:						
USM		AREA		Nº DE VECES QUE FUE SELECCIONADO											OBS.
LINEA	COL.	PUNTO	ACUMULADO TOTAL	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		

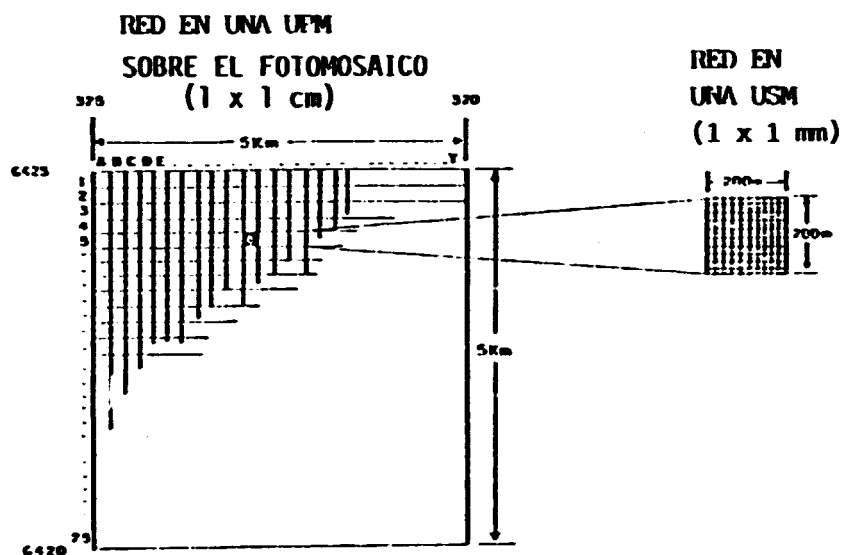


Figura 4.3 - Diagrama del diseño de muestreo mostrando el esquema de submuestreo en la segunda etapa para la Zona II.



4.3 - COMPILACION DE MAPA TEMATICO

Las áreas ya interpretadas fueron dibujadas sobre una hoja de papel Terkron superpuesta al mapa base en Cronaflex, conteniendo la cuadrícula de 5 km, a escala 1:100 000. Dicho mapa base se utilizó también para controlar la localización de la información extraída.

La variación de escala de las imágenes y errores en los mapas (rios, caminos, límites costeros) produjeron diferencias entre los límites de los bosques y algunas características de los mapas. Fue necesario realizar pequeños ajustes en los límites de los bosques interpretados

Los errores introducidos por este procedimiento, del orden de 1 km en el terreno a lo mas, fueron distribuidos en una escena, dividiendo el error y trabajando sistemáticamente de una subdimensión a la siguiente. Esto requirió solamente un ajuste muy pequeño entre la hoja de interpretación y los mapas base.

Como las imágenes Landsat son buenas aproximaciones de mapas geodésicos, la transferencia de ellos para los mapas existentes no produce problemas serios y puede hacerse visualmente (FAO, 1980).

4.4 - EVALUACION DE LA EXACTITUD

4.4.1 - TAMAÑO DE LA MUESTRA PARA VERIFICACIÓN DE LA INTERPRETACIÓN

La primera preocupación de la tarea de la evaluación de la exactitud de los mapas de cubierta forestal, fue la selección de una muestra suficientemente grande, para proporcionar precisión a un nivel de significancia especificado, aplicable al mapeo y a la interpretación.

La unidad de muestro para visitar en terreno, quedó definida por el punto central de cada USM (200m x 200 m).

El tamaño de muestra (número de USM) para un 95% de confianza fue calculado con la siguiente fórmula:

$$n = \frac{t^2 \tilde{p} (1-\tilde{p})}{E^2}$$



donde \bar{p} es la exactitud esperada (o exactitud asumida, basada en experiencia previa) y E es el error permitido (Snedecor and Cochran, 1967).

Por ejemplo, para una exactitud de 70% para el mapeo de la clase pino, con un error permitido E = 5% al nivel de confianza, el número de puntos de muestra necesarios sería:

para t = 2

$$n = \frac{2^2 (70 \times 30)}{5^2} = 336$$

TABLA 4.5

EVALUACIÓN DE LA EXACTITUD DEL TAMAÑO DE LA
MUESTRA PARA VERIFICACIÓN DE LA INTERPRETACIÓN Y MAPEO

Clase	\bar{p} %	Tamaño de Mues- treo calculado con E = 5%	Nº de puntos planea- dos para verifica- ción en el campo	Nº de puntos veri- ficados en el cam- po
Pino	70	336	282	324
Eucalipto	80	256	283	289
Bosque Natural	95	76	96	76
Otros	85	204	224	204
Total		872	985	893

**4.4.2 - TRABAJO DE INTERPRETACIÓN**

Los errores en la interpretación de las imágenes Landsat afectan: (1) la localización de los límites, y (2) la identificación de las clases delimitadas en ellos. Esto conduce a errores de desclasificación y mala localización, y como consecuencia, a errores en la estimación de las áreas de las clases relacionadas.

Para calcular la exactitud del mapeo de la cobertura forestal fue seleccionada una muestra de la población total de unidades clasificadas (USM) y realizada una verificación de campo para las muestras elegidas. El punto central de cada USM, fue verificado en los trabajos de campo. Los resultados de la interpretación de la imagen fueron expresados en términos de errores de inclusión, errores de omisión, exactitud de la interpretación y exactitud del mapeo temático para cada una de las clases.

Las exactitudes de interpretación propuestas por Kalensky (1976) son:

1. Exactitud general de interpretación (K%) calculada por:

$$K(\%) = (\sum N_i / \sum T_i) \times 100$$

donde $\sum N_i$ = Número total de puntos correctamente clasificados en todas las clases,

$\sum T_i$ = Número total de puntos en todas las clases.

2. Exactitud de mapeo (M_i %) de la clase i:

$$M_i(\%) = \frac{N_i}{N_i + E_i} \times 100,$$

onde N_i = Número de puntos correctamente clasificados en la clase i,

E_i = Número de puntos erróneos en la clase i,
(i.e. suma de errores de inclusión y omisión)

3. Exactitud de mapeo general (M%)

$$M(\%) = \frac{\sum P_i M_i}{\sum P_i} \times 100,$$



donde P_i = exactitud de interpretación de la clase i ,

$$P_i = \frac{T_i}{\Sigma T_i},$$

donde T_i = Número correcto de puntos de la clase i ,

ΣT_i = Número total de puntos de la clase i

Un ejemplo de cálculo para cada tipo de error se da a continuación.

Error de omisión (pino) = $(49 + 8)/324 = 17,6\%$,

Error de inclusión (pino) = $2/269 = 0,7\%$,

Exactitud de interpretación (pino) = $267/324 = 82,4\%$,

Error de mapeo (pino) = $267/(267 + 2 + 57) = 81,9$

Exactitud general de interpretación = $(267 + 276 + 69 + 197)/893 = 90,6\%$,

Exactitud general de mapeo = $\frac{82,4 \times 81,9 + 95,5 \times 81,4 + 90,8 \times 84,2 + 90,6 \times 85,7}{82,4 + 95,5 + 90,8 + 90,6} = 83,3\%$

Una estimación de la varianza de P_i es (FAO, 1973):

$$\text{Var}(P_i) = \frac{P_i (1-P_i)}{n-1},$$

donde n = Tamaño de la muestra

Por ejemplo: la estimación de la varianza de la exactitud de interpretación para pino es:

$$\text{Var } P \text{ (pino)} = \frac{0,824(1-0,824)}{324-1},$$

el error estándar es:

$$Sp = \sqrt{\frac{0,824(1-0,824)}{324-1}} = 2,12\%$$

el intervalo de confianza (95%) es:

$$P_i \pm 1,96 \times Sp = 82,4\% \pm 1,96 \times 2,12\% \\ = 82,4 \pm 4,15\%$$



4.5 - DISEÑO DE MUESTREO

La metodología y procedimiento para estimar el volumen de madera en un inventario polietápico con probabilidad variable, ha sido usado en Brasil (Lee, 1984; Hernandez, 1985). Con esta experiencia, puede establecerse un muestreo de dos etapas con probabilidad proporcional al tamaño (PPT) y muestreo aleatorio simple (MAS), de igual probabilidad ambos con reposición. Estos procedimientos fueron utilizados para estimar el volumen de la plantación de madera en pie en las dos zonas (Figura 4.4).

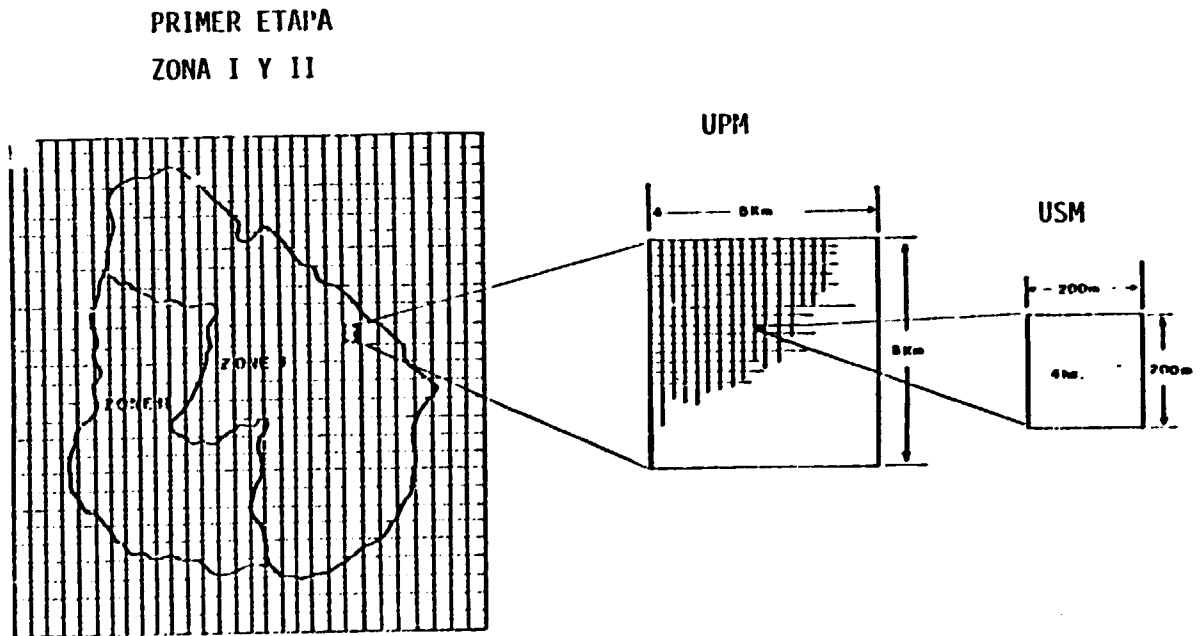


Figura 4.4 - Diagrama del diseño del muestreo mostrando la selección en dos etapas.

**4.5.1 - ESQUEMA DE MUESTREO****1 - Esquema de muestreo PPT - MAS en dos etapas**

Para la Zona I, sin fotografías aéreas, el método consistió de un diseño en dos etapas usando unidades de muestreo (UPM) seleccionadas con probabilidad proporcional a su tamaño (PPT) y con reposición. En una segunda etapa, cada una de las unidades secundarias de muestreo (USM) fue escogida de forma aleatoria simple. El estimador sin errores (Cochran, 1977) del volumen total de madera para cada una de las clases puede expresarse como:

$$\hat{V}_t = \frac{M}{m} \sum_{i=1}^m \frac{V_i}{P_i} \quad \text{para la primera etapa,}$$

$$V_i = \frac{N_i}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} V_{ij} \quad \text{para la segunda etapa,}$$

donde:

\hat{V}_t es el volumen total de madera estimada por clase en la Zona I o Zona II,

V_i es el volumen total estimado en la UPM i ,

P_i es la probabilidad condicional de extraer la UPM i ,

$$P_i = \frac{X_i}{\sum_{i=1}^M X_i}$$

V_{ij} es el volumen de madera medido en el terreno en la USM j de la UPM i ,

X_i es el área del bosque de una clase en la UPM i ,

N_i es el número de USM in la UPM i ,



m es el número de UFM seleccionadas en la clase,

M es el número de UFM en la zona por clase,

n_i es el número de USM seleccionadas en la UFM i .

El estimador para la varianza es:

$$\text{Var } \hat{V}_t = \frac{M}{m(m-1)} \sum_{i=1}^m \left(\frac{V_i}{P_i} - \hat{V}_t \right)^2$$

2 - Esquema de muestreo PPT-PPT en dos etapas

Para la Zona II, con fotografías, fue utilizado un diseño de muestreo con probabilidad variable, donde las unidades de muestreo fueron seleccionadas proporcionalmente a su tamaño (PPT) en ambas etapas. El tamaño fue el área de las plantaciones estimada tanto para UFM como para USM.

Un modelo generalizado para un estimador bietápico basado en Langley (1975) es:

$$\hat{V}_t = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{V_i}{P_i} \quad \text{para la primera etapa,}$$

$$V_i = \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} \frac{V_{ij}}{P_{ij}} \quad \text{para la segunda etapa,}$$

donde:

$$P_i = \frac{X_i}{\sum_{i=1}^M X_i}, \quad P_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sum_{j=1}^{N_i} X_{ij}}$$

P_{ij} es la probabilidad de selección de la USM j en la UFM i .

X_{ij} es la area forestal de una clase de la USM j de UFM i medida con una red de puntos.



La estimativa de varianza insesgada de la muestra puede ser obtenida a partir de la estimación de la primera etapa, esto es:

$$\text{Var } \hat{V}_t = \frac{1}{m(m-1)} \left(\sum_{i=1}^m \frac{v_i^2}{p_i} - m\hat{V}_t^2 \right);$$

donde los símbolos ya fueron definidos anteriormente.

Este estimador de varianza, para diseños monoetápicos, puede ser utilizado también para la estimación de varianza en muestreos bietápicos (Langley, 1975). La precisión del muestreo de probabilidad variable depende de la relación entre los valores predichos, que determinan la probabilidad de muestreo, y aquellos determinados por mediciones directas (en este proyecto el área medida de tierras con bosques). La premisa es que mientras más grande es el área con bosques dentro de las unidades de muestreo prescritas, mayor es el volumen de madera de las mismas (Langley, 1969; Aldrich, 1971).

4.5.2 - TAMAÑO DE LA MUESTRA (INTENSIDAD DE MUESTREO)

El tamaño de la muestra depende del nivel de confianza, error permisible, y la varianza del estimador a ser utilizado. De las tres variables relacionadas, el error permisible debe ser determinado, la variabilidad del parámetro de la población debe ser estimada, através de una muestra y el correspondiente tamaño mínimo de la muestra debe ser calculado a partir de las dos primeras variables. El tamaño de la muestra es calculado por:

$$n = \frac{t^2 CV^2}{E^2},$$

donde:

n = tamaño de la muestra.

t = desvío normal (de dos lados) para un nivel de confianza dado.

CV = coeficiente de variación del estimador,

E = error permisible en porcentaje.



El área basal por hectárea de las plantaciones (por clase), estimada de una muestra seleccionada en el trabajo de campo, de pre-muestreo, dió una aproximación de la varianza la que luego fue utilizada para estimar el tamaño de la muestra en la primera etapa (Tabla 4.6).

Para realizar un muestreo polietápico, la determinación del tamaño de la muestra no es tarea simple ya que deban, hacerse supuestos, y simplificaciones adicionales. Sin embargo deben usarse las ecuaciones anteriores para el tamaño de la muestra de acuerdo a la exactitud deseada y a los parámetros a partir de los cuales es posible realizar las estimaciones iniciales (Harding and Scott, 1978).

En el diseño bietápico en la primera etapa, de las M Unidades primarias correspondientes a las Zonas I o II fueron seleccionadas m unidades primarias de muestreo (UPM).

De las m UPM seleccionadas en la primera etapa, cada una conteniendo Ni USM, fueron escogidas ni USM dentro de cada UPM. El detalle de los números utilizados se muestra en la Tabla 4.6

TABLA 4.6

Clase	CV % (1)	Tamaño de muestreo calculado		Número de USM planificadas en la segunda etapa	Tamaño de muestreo utilizado en las dos etapas			
		con E = 10% para la pri- mera etapa (2)	Segunda etapa (3)		Zona I		Zona II	
					m	n	m	n
Pino	42	70	350	300	54	270	60	300
Eucalipto	36	50	250	250	55	275	57	285
Total	--	--	600	550	--	545	--	585

- (1) Fue obtenido en el trabajo de campo de premuestreo de área (há)
- (2) Fue obtenido usando $n = t^2 \cdot cv^2 / E^2$ con 95% de nivel de confianza para la pri-
mer etapa.
- (3) Para cada UPM se seleccionaron 5 USM (número constante de USM por UPM).



En lo que se refiere a la determinación de la muestra, la selección de las probabilidades utilizadas en este proyecto, se realizó con igual probabilidad (MAS) y con probabilidad proporcional al tamaño (PPT). El muestreo de igual probabilidad fue utilizado para la segunda etapa en la Zona I en la que no se disponía de fotografías aéreas recientes. La selección de unidades fue proporcional al tamaño en la primera etapa para la Zona I y en las dos etapas para la Zona II. Este procedimiento permite dar a las unidades más grandes, mayores probabilidades de selección, puesto que ellas representan porciones más grandes de la población. Esta fue la razón para adoptar un sistema de selección de PPT en el proyecto. Ambos métodos fueron aplicados con reposición.

4.6 - MEDICIONES VOLUMETRICAS EN EL TERRENO

En la segunda etapa, el trabajo de campo fue realizado para determinar el volumen de madera en pie para las unidades muestreadas (USH). Fueron estimados: el volumen medio en pie, el área basal media y la altura media utilizando el método de muestreo de línea vertical de Strand con el relascopio de Bitterlich (Husch et al., 1972; Loetsch et al., 1973 y Bitterlich 1984). Fueron utilizadas las siguientes fórmulas:

$$V = \frac{1}{10} \sum dv^2 \cdot FF,$$

$$G = \frac{1}{10} \sum dg,$$

$$Hm = \sum dv^2 / \sum dg,$$

- donde:
- V = volumen medio en pie en m³/ha,
 - dv = diámetro a 1.30m de altura de cada árbol incluido en la línea vertical de muestreo para estimar el volumen,
 - FF = factor de forma del rodal,
 - G = área basal del rodal en m²/ha,
 - dg = diámetro a 1,30m de altura de cada árbol incluido en la línea vertical de muestreo, para estimar el área basal.
 - Hm = altura media del rodal en m.



A partir de los datos de campo, fueron calculados los volúmenes de las unidades secundarias de muestreo (USM), los volúmenes de las unidades primarias (UPM) y el volumen total en pie de cada clase, utilizando las ecuaciones definidas en la sección 4.5.1.

Las medidas dendrométricas fueron ingresadas en un computador Bourroughs 6800, y con los programas preparados fueron calculados los parámetros estadísticos del volumen total de madera en pie.

**CAPITULO 5 - RESULTADOS Y DISCUSION****5.1 - LEYENDA Y CLAVE DE INTERPRETACIÓN**

De acuerdo con los objetivos del proyecto, las clases forestales mapeadas fueron plantaciones de pinos y eucaliptos, y bosques naturales. El establecimiento de la leyenda fue muy simple. Como se muestra en la Tabla 5.1 los símbolos para los tipos principales de cubierta fueron dibujados en colores para facilitar la separación de las clases.

TABLA 5.1

LEYENDA DE LA INTERPRETACIÓN

1. Plantaciones de Eucaliptos spp., *E. tereticomis*, *E. Camaldulensis*, *E. globulus* y *E. grandis*, todos ellos de diferentes edades y características, fueron delimitados en color azul.
2. Plantaciones de Pinos spp.: *P. pinaster*, *P. elliottii*, *P. taeda* y *P. insigni*, todos de diferentes edades y características, fueron delimitados en color rojo.
3. Bosques naturales: todos los bosques naturales con más de 50% de cobertura del suelo y/o 200 árboles por há fueron delimitados en color verde.
4. Otros: plantaciones de otras especies, caminos, vías férreas, parques, etc.

La Tabla 5.2 muestra la clave de la interpretación para las tres clases principales usando el TM del Landsat.

La textura y la tonalidad de estas clases en las imágenes varía según la edad, lugar, densidad, tamaño de las copas y desarrollo. El análisis de las imágenes permitió establecer las siguientes observaciones:



1. En las imágenes impresas, las plantaciones de pino aparecieron en gris oscuro (baja reflectancia) en la banda 3 (banda de absorción de la clorofila), pero más claras (alta reflectancia) en la banda 4 (reflejando infrarrojo) que en la banda 3.
2. Forma y tamaño fueron una clave muy importante para distinguir plantaciones y bosques naturales. En tierras planas de pastoreo, las áreas de plantaciones aisladas o aquellas áreas para dar abrigo a los animales o cortavientos, pudieron determinarse fácilmente hasta un área mínima de 1 há. Las áreas de plantaciones siempre mostraron formas regulares.
3. La sombra resultó útil para la identificación de las plantaciones, especialmente para pequeñas áreas aisladas en la banda 4. Estas áreas estaban siempre acompañadas por sombras de color gris oscuro.
4. Los bosques naturales fueron observados usualmente a lo largo de drenajes o en los cerros.
5. Áreas de plantaciones homogéneas de mas de 4 há pudieron identificarse en imágenes de la banda 3, en parte debido a los límites lineares. La separación de pino y eucalipto fue más nítida en la banda 4.

TABLA 5.2CLAVE DEL ANALISIS DE FOTOINTERPRETACION

Clase	Tonalidad		Textura	
	Banda 3	Banda 4	Banda 3	Banda 4
Pino	DG	G a DG	F	MC
Eucalipto	G a DG	LG	F	F
Bosque natural	G a DG	G	MC	MC

LG = Gris claro
G = Gris
DG = Gris oscuro

F = Fino
MC = Mas grueso



5.2 - MAPAS TEMATICOS

Los mapas finales de cobertura forestal preparados para impresión, resultaron de la interpretación de imágenes del Landsat. Como fue establecido en la propuesta de este proyecto, (Novaes 1986) los mapas de cobertura forestal para Uruguay fueron producidos en dos escalas 1:1 000 000 y 1:100 000. Los mapas finales de cubierta forestal 1:100 000 fueron impresos con tinta negra en tres capas de transparencias (overlays) uno para cada una de las clases forestales, pino, eucalipto y bosques naturales y un mapa base que tiene los elementos planimétricos para cada hoja, totalizando 348 hojas. El mapa de cubierta forestal a escala 1:1 000 000 que incluye pinos y eucaliptos sin distinción entre las clases, fue producido en una hoja en una película litográfica.

5.3 - INTERPRETACIÓN Y EXACTITUD DE LOS MAPAS

Las Tablas 5.3 y 5.4 muestran las matrices de errores confeccionadas a partir de los resultados de la interpretación visual. Ellas exhiben las correspondientes exactitudes, la cuales fueron evaluadas cuando se compararon con los datos de campo de las verificaciones del muestreo en el terreno.

En el proceso de obtención de la exactitud de los mapas y para determinar los errores de la interpretación se hizo un muestreo de 893 puntos, así como otros puntos de dudas a ser verificado en el campo. Mas de 2/3 de la totalidad destes puntos, além de los puntos de dudas, fueron visitados durante los trabajos de campo. Esto significó el re-examen de las imágenes Landsat y de fotografías aéreas de la Zona II.

La Tabla 5.3 muestra las exactitudes generales de interpretación y de mapeo, que fueron 90,6 y 83,8%, respectivamente. Las exactitudes de interpretación de pino y eucalipto, 82,4 y 95,5% y las exactitudes de mapeo de pino y eucalipto 81,9 y 81,4 81,4%, respectivamente. Las plantaciones de eucaliptos resultó sobreestimada en un 15,3% y las plantaciones de pino subestimada en un 17,6%. Estas exactitudes resultaron algo bajas en comparación con el error de inclusión para las plantaciones de pino (0,7%) y el error de omisión para las de eucalipto (4.5%).

Los intervalos de confianza y los errores de muestreo de las exactitudes de la interpretación y del mapeo temáticos, fueron calculados utilizando la ecuación de varianza de P_1 (Sección 4.4.1). Estos resultados se muestran en la siguiente tabla:



Exactitudes		Pino	Eucalipto	Bosque Natural	Otros
Interpretación	Intervalo de Confianza	± 4,15%	± 2,39%	± 6,54%	± 2,49%
	error de muestreo (z)	5,04	2,50	7,20	2,58
Mapeo Temático	Intervalo de Confianza	± 4,20%	± 4,49%	± 8,25%	± 4,82%
	error de muestreo (z)	5,13	5,52	9,80	5,62

Cada uno de ellos a un nivel de confianza de 95%.

Todos los requerimientos de exactitud de cada una de las clases de interpretación y mapas temáticos fueron cumplidos (error de muestreo por debajo de 5%) excepto aquellos para bosque natural.

Combinado los resultados para pino y eucalipto, se obtuvo una matriz de errores para tres clases, como se muestra en la Tabla 5.4. Comparando los resultados de cuatro clases (pino, eucalipto, bosque natural y otros) y los de tres clases (área de plantaciones, bosque natural y otros) diferencias de exactitud general de la interpretación y del mapeo son:

Exactitud general de	Cuatro clases	Tres clases	Aumento
Interpretación	90,6%	96,3%	5,7%
Mapeo	83,8%	89,0%	5,2%

TABLA 5.3MATRIZ DE ERRORES PARA LA EXACTITUD DEL ANALISIS
DE INTERPRETACIÓN-CUATRO CLASES

CLASE		VERIFICACIÓN DE CAMPO			
		PINO	EUCALIPTO	BOSQUE NATURAL	OTROS
INTERPRETACIÓN DE IMAGEN	PINO	267	2	0	0
	EUCALIPTO	49	276	0	1
	BOSQUE NATURAL	0	0	69	6
	OTROS	8	11	7	197
	TOTAL	Nº	324	289	76
	%	36,3	32,4	8,5	22,8
ERROR DE INCLUSIÓN	Nº	2	50	6	26
	%	0,7	15,3	8,0	11,7
ERROR DE OMISIÓN	Nº	57	13	7	7
	%	17,6	4,5	9,2	3,4
EXACTITUD DE INTERPRETACIÓN %		82,4	95,5	90,8	96,6
EXACTITUD DE MAPEO %		81,9	81,4	84,2	85,7
EXACTITUD GENERAL DE INTERPRETACIÓN %					90,6
EXACTITUD GENERAL DE MAPEO %					83,8



Puede concluirse que el análisis de las imágenes TM del Landsat proporciona una clasificación de las áreas de plantaciones y bosques naturales, con un alto porcentaje de exactitud.

5.4 - ÁREA FORESTADA

En la Tabla 5.5 son presentados las áreas (en há) para cada clase de plantaciones y bosques naturales, por departamento.

TABLA 5.4

MATRIZ DE ERRORES PARA LA EXACTITUD DEL ANALISIS
DE INTERPRETACIÓN-TRES CLASES

CLASE		VERIFICACIÓN DE CAMPO		
		PLANTACIONES	BOSQUE NATURAL	OTROS
INTERPRETACIÓN DE IMAGEN	PLANTACIONES	594	0	1
	BOSQUE NATURAL	0	69	6
	OTROS	19	7	197
	TOTAL			
	Nº	613	76	204
	%	68,7	8,5	22,8
ERROR DE INCLUSIÓN	Nº	1	6	26
	%	0,2	0,8	11,2
ERROR DE OMISIÓN	Nº	19	7	7
	%	3,2	9,2	3,4
EXACTITUD DE INTERPRETACIÓN %		96,9	90,8	96,6
EXACTITUD DE MAPEO %		96,7	84,2	85,7
EXACTITUD GENERAL DE INTERPRETACIÓN %				96,3
EXACTITUD GENERAL DE MAPEO %				89,0

**TABLA 5.5****AREA FORESTADA POR DEPARTAMENTO EN URUGUAY (HA)**

DEPARTAMENTO	PLANTACIONES			BOSQUE	TOTAL
	PINO	EUCALIPTO	SUBTOTAL	NATURAL	GENERAL
ARTIGAS	8,64	5 804,16	5 812,80	49 374	55 186,80
CANELONES	1 595,12	6 190,32	7 785,44	4 757	12 542,44
CERRO LARGO	164,80	6 509,28	6 674,08	33 468	40 142,08
COLONIA	568,42	2 289,37	2 857,79	5 237	8 094,79
DURAZNO	199,76	6 687,50	6 887,26	11 666	18 553,26
FLORES	-	2 335,04	2 335,04	3 305	5 640,04
FLORIDA	84,20	7 115,76	7 199,96	14 909	22 108,96
LAVALLEJA	115,52	6 817,86	6 933,38	32 284	39 217,38
MAI.DONADO	1 475,48	4 692,16	6 167,64	16 878	23 045,64
MONTEVIDEO	585,44	677,96	1 263,40	102	1 365,40
PAYSANDÚ	2 772,72	9 804,68	12 577,40	46 338	58 915,40
RIO NEGRO	1 442,80	6 137,38	7 580,18	10 455	18 035,18
RIVERA	1 620,96	8 081,73	9 702,69	24 650	34 352,69
ROCHA	7 213,06	6 570,32	13 783,38	19 454	33 237,38
SALTO	17,44	5 777,31	5 794,75	41 286	47 080,75
SAN JOSÉ	1 065,64	2 480,32	3 545,96	6 122	9 667,96
SORIANO	-	3 423,78	3 423,78	7 323	10 746,78
TACUAREMBÓ	930,36	8 270,58	9 200,94	47 643	56 843,94
TREINTA Y TRES	23,68	4 117,82	4 141,50	22 981	27 122,50
TOTAL	19 884,04	103 783,33	123 667,37	398 232	521 899,37



- 36 -

El Uruguay tiene una área total de 176.027 kilómetros cuadrados, y de acuerdo a los resultados de este proyecto se puede concluir que el total del área forestada es solamente un 3% del área total del Uruguay, como se muestra en la Tabla 5.6. Las áreas forestadas, correspondientes a plantaciones de pinos y eucaliptos constituyen aproximadamente 23,7% del área total forestada.

El área de bosques naturales está concentrada en su mayor parte sobre las márgenes de ríos y arroyos.

En Uruguay, numerosas plantaciones no fueron instaladas con fines de producción de madera, sino como elementos auxiliares de la producción agropecuaria, ya que gran cantidad de bosques fueron plantadas como abrigo y sombra para el ganado, y como cortinas protectoras o rompeniento.

Por este motivo abundan plantaciones cuyo tamaño oscila entre 0,25 y 20 hectáreas.

TABLA 5.6

RESUMEN DEL ÁREA FORESTADA (HÁ)

Area de Uruguay	Cubierta forestal				
	Plantaciones			Bosque Natural	Total General
	Pino	Eucalipto	Subtotal		
17 602 700	19 884	103 784	123 667	398 232	524 899
100%	0,1%	0,6%	0,7%	2,3%	3%
-	3,8%	19,9%	23,7%	76,3%	100%

TABLA 5.7

RESULTADOS ESTADISTICOS DEL VOLUMEN TOTAL DE MADERA ESTIMADA

ZONA	I		II	
	Dos etapas con esquema UPM - USM		Dos etapas con el esquema UPM - UPM	
METODO				
CLASE	Pino	Eucalipto	Pino	Eucalipto
FACTOR DE FORMA	0,45	0,50	0,45	0,50
Volumen total de madera en m ³	1 710 608,20	15 429 409,34	1 828 809,95	8 801 709,49
Error Standard en m ³	140 002,10	1 933 335,94	199 320,85	855 837,62
Error standard relativo en %	8,18	12,53	10,90	9,72
95% de confianza, limite superior	1 985 012,32	19 219 727,78	2 176 275,98	10 537 951,18
95% de confianza, limite inferior	1 436 203,88	11 639 090,90	1 438 140,98	7 065 467,71
Intervalo relativo de confianza%	± 16,03	± 24,56	± 21,36	± 19,06
Volumen medio de la madera con su intervalo de confianza (m ³ /há)	145,34 ± 23,30	243,64 ± 59,84	225,38 ± 48,14	217,57 ± 41,47



El área forestada por Departamento en Uruguay fue el resultado de la interpretación de las imágenes LANDSAT. Esto incluye áreas forestales plantadas antes de 1985.

Las áreas de parques, tales como Santa Teresa y San Miguel, no están incluidas. Las áreas calculadas no incluyen otras especies, tales como salix, populus spp. y palmares.

5.5 - RESULTADOS VOLUMETRICOS

5.5.1 - RESULTADOS ESTADISTICOS

Los resultados estadísticos del volumen total estimado para las Zonas I y II, se presentan en la Tabla 5.7. El factor de forma utilizado para las plantaciones de pino fue 0,45 y para eucalipto 0,50.

5.5.2 - VOLUMEN MEDIO DE MADERA EN PIE

La Tabla 5.8 muestra el volumen medio de la madera en pie, calculado para diferentes factores de forma.

TABLA 5.8

VOLUMEN MEDIO DE MADERA EN PIE CALCULADO CON DIFERENTES
METODOS Y CON DIFERENTE FACTOR DE FORMA (m³/há)

ZONA	I		II	
METODO	Dos etapas con PPT-MAS		Dos etapas con PPT-PPT	
CLASE				
FF	Pino	Eucalipto	Pino	Eucalipto
0.50	161,49	243,64	250,43	217,57
0.45	145,34	219,27	225,38	195,81
0.40	129,19	194,91	200,34	174,06
0.30	96,89	146,18	150,26	130,54

PPT: Muestreo con Probabilidad Proporcional al Tamaño

MAS: Muestreo Aleatorio Simple

FF : Factor de Forma



La Tabla 5.10 muestra el volumen medio de madera en pie por Departamento, en metros cúbicos. Los valores presentados fueron calculados utilizando datos de las Tablas 5.5 y 5.9.

TABLA 5.9

VOLUMEN MEDIO DE MADERA EN PIE POR HECTÁREA, DE PINO
Y EUCALIPTO PARA LAS ZONAS I Y II

ZONA	CLASE	Pino	Eucalipto
	FF	0,45	0,50
I		145,34 m ³ /há	243,64 m ³ /há
II		225,38 m ³ /há	217,57 m ³ /há

El volumen de madera en pie de las plantaciones de Pinus ssp. y Eucalyptus spp. en todo el país fue estimado en 3 539 418,15 m³ y 24 231 118,83 m³ respectivamente. (Ver Tablas 5.7 y 5.10).

TABLA 5.11

RESUMEN DE LOS RESULTADOS DEL VOLUMEN DE MADERA EN PIE PARA TODO EL PAIS

Clase	Pino	Eucalipto
Volumen Total de madera	3 539 418,15	24 231 118,83
Volumen Medio de madera	178,00 m ³ /há	233,47 m ³ /há

**TABLA 5.10****VOLUMEN DE MADERA EN PIE POR DEPARTAMENTO (m³)**

DEPARTAMENTO	ZONA	PINO (FF= 0,45)	EUCALIPTO (FF= 0,50)	TOTAL
ARTIGAS	I	1 255,74	1 414 125,54	1 415 381,28
CANELONES	II	359 508,15	1 346.827,92	1 706 336,07
CERRO LARGO	I	23 952,03	1 585 902,98	1 609 873,01
COLONIA	II	86 963,96	368 214,27	455 178,23
DURAZNO	I	29 033,12	1 629 342,50	1 658 375,62
FLORES	II	-	508 034,65	508 034,65
FLORIDA	II	18 977,00	1 548 175,90	1 567 152,90
LAVALLEJA	I	16 789,68	1 661 103,41	1 677 893,09
MALDONADO	I	214 446,26	1 143 197,86	1 357 644,12
MONTEVIDEO	II	131 946,47	147 503,76	279 450,22
PAYSANDÚ	II	624 915,63	2 133 204,23	2 758 119,86
RIO NEGRO	II	325 178,26	1 335 309,77	1 660 488,03
RIVERA	I	235 590,33	1 969 032,70	2 204 623,02
ROCHA	I	1 048 346,14	1 600 792,77	2 649 138,91
SALTO	I	2 534,73	1 407 583,81	1 410 118,54
SAN JOSÉ	II	240 173,94	539 643,22	779 817,16
SORIANO	II	-	744 911,81	744 911,81
TACUAREMBÓ	I	135 218,52	2 015 044,11	2 150 262,63
TREINTA Y TRES	I	3 441,65	1 003 265,67	1 006 707,32
TOTAL		3 539 418,15	24 231 118,83	27 770 536,98
VOLUMEN EN %		12,75%	87,25%	100,00%

FF = FACTOR DE FORMA PARA MADERA EN PIE

CAPÍTULO 6 - CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A continuación se presentan las conclusiones y recomendaciones establecidas luego del desarrollo de este proyecto:

6.1 - CONCLUSIONES

1. El proyecto permitió establecer que el mapeo de áreas forestadas y inventarios a nivel nacional en Uruguay, pueden realizarse satisfactoriamente utilizando imágenes TM/LANDSAT.
2. Las características de las clases forestales pueden ser reconocidas utilizando combinaciones de tonalidad, textura, forma y tamaño en las bandas espectral 3 y 4 de las imágenes TM del Landsat. La banda 5, cuando está disponible, también resulta útil.
3. En algunos casos, las plantaciones de pino y eucalipto no pudieron distinguirse claramente entre sí, sin datos complementarios de terreno.
4. En la banda 4 del TM, la sombra resultó un herramienta útil en la identificación de los bosques plantados, ya que dichas áreas de sombra siempre se presentaron con tonalidades de gris oscuro.
5. Una de las limitantes en la aplicación de imágenes TM/LANDSAT resulta de la obtención de un número restringido de imágenes de calidad aceptable, en fechas apropiadas. No fue posible obtener imágenes libres de nubes de las órbitas puntos 223/84 y 224/84, durante el período 2/5/85 al 12/7/85.
6. Las mediciones de áreas obtenidas utilizando imágenes Landsat y fotografías aéreas, algunas veces resultaron muy distintas, debido principalmente a la diferencia de tres a cinco años entre ambos materiales.
7. La interpretación visual es una metodología simple y eficiente para hacer mapas de áreas forestadas, utilizando imágenes TM del Landsat a escala 1:100 000 en impresos de papel. Esto queda indicado por los valores obtenidos para las exactitudes generales de la interpretación y mapeo temático, 90,6% y 83,8%.
8. A escala 1:100 000, las imágenes TM del Landsat mostraron diferencias apreciables, en las estructuras de las plantaciones; sin embargo algunas veces la separación de las especies resultó difícil, como es el caso de Eucalyptus, Populus y Salix spp, entre sí.



9. Generalmente cuanto mas grande es el área de la unidad de muestro ocupada por bosque, mayor es el volumen de madera de la misma. Sin embargo, la edad, las cortas y las diferencias de rendimiento conducen a variaciones en volumen, no necesariamente asociados con el tamaño del área.
10. Una de las limitantes encontradas en la aplicación del diseño de muestro bietápico en Zona II consistió en la utilización de fotografías aéreas desactualizadas, ya que se empleó material de los años 1980-1982 (del relevamiento aerográfico mas reciente que posee el país). Durante el trabajo de campo se constató una diferencia apreciable entre la información extraída de las fotografías y la situación real de las plantaciones; esto motivó que en muchos casos las imágenes de satélites resultaron apoyo de las fotografías en lugar de servir estas como elemento auxiliar para las primeras, tal como lo exige normalmente la metodología empleada para trabajos de esta naturaleza.
11. La metodología utilizada en terreno para las determinaciones volumétricas en la segunda etapa (Método Strand), resultó simple y rápida para este tipo de inventarios, ya que no era necesario delimitar parcelas de muestreo.
12. El fundamento teórico del método supone plantaciones homogéneas y ordenadas, situación que no siempre es real. Por este motivo, durante el trabajo de campo, en ciertos casos el procedimiento en terreno se vio eulantecido. Los inconvenientes mayores se presentaron en las plantaciones costeras de dunas arenosas, en zonas de regeneración natural y en ciertos rodales de eucaliptos plantados en quinquenio.
13. El método de Muestreo Strand, solamente fue útil cuando se dispuso de un gran número de muestras. Cuando los árboles no estuvieron uniformemente distribuidos en la Unidad Secundaria de Muestreo (USM), el método empleado no pudo ser un buen estimador del área basal, altura y volumen de una USM individual, con sólo cuatro medidas.
14. Los errores de muestreo obtenidos en este trabajo, resultan aceptables ya que se trata de un inventario de reconocimiento, extensivo. Los valores un poco elevados encontradas en algunos casos, se deben seguramente a la gran variabilidad real de la población forestal analizada: edad, especies, sitio y condiciones de manejo diferentes.
15. Considerando el objetivo del curso de entrenamiento para técnicos uruguayos, aunque no se hizo una evaluación individual, se puede concluir, basándose en las observaciones hechas durante el curso, en el trabajo de campo y también en el entrenamiento dado en Brasil, que los resultados fueron muy satisfactorios.

**6.2 - RECOMENDACIONES**

1. Dado que no se poseen datos de factores de forma generales para el país correspondientes a las especies analizadas, los calculos volumétricos se realizaron considerando 4 valores diferentes. Los resultados obtenidos quedarían sujetos a correcciones en la medida que con trabajos posteriores se disponga de información promedio para todo el país.
2. Resulta importante tener un buen conocimiento de las características espectrales de las diferentes clases forestales presentes en las imágenes Landsat, para lograr una interpretación mas exactas y tomar decisiones durante el proceso interpretativo
3. Se sugiere para estudios posteriores, utilizar composiciones coloridas y imágenes multitemporales, lo que permitiría mejorar sensiblemente la exactitud de interpretación y separación entre clases forestales.
4. Basándose en experiencias previas, las clasificaciones hechas con la ayuda de computador pueden dar una mejoría en la confección de mapas de áreas forestadas e inventarios, en cuanto a tiempo, costo y exactitud, especialmente a nivel nacional. Se sugiere para el futuro investigar la utilización operacional de la clasificación automática, para trabajos similares.
5. Para trabajos futuros, se recomienda establecer regresiones entre datos obtenidos através de imágenes de satélite, fotografías aéreas y datos de campo, para las distintas clases forestales, a los efectos de analizar y examinar resultados finales.
6. De acuerdo a las referencias utilizadas para emplear la metodología seguida, el error de muestreo máximo admisible fijado en el muestreo preliminar, fue aplicado sobre la variable área basal. En base a los resultados obtenidos y a errores de muestreo finales calculados, se recomienda realizar en trabajos posteriores, un pré-muestro para volumen, ya que la altura media de los rodales demostró ser una fuente de variación muy importante.



- 44 -

7. Para los objetivos de este inventario, los resultados y calidad de la información obtenida, pueden considerarse satisfactorios, aunque para un análisis mas exhaustivo de los recursos, se surgiere realizar una estratificación de las plantaciones por grupos de especies, sitios y edades.

8. La recomendación final para el gobierno uruguayo es establecer un grupo permanente para realizar mapeo de la cubierta forestal y actividades concernientes a inventarios utilizando imágenes de satélites (Landsat y Spot).

CAPITULO 7 - ACTIVIDADES DE ENTRENAMIENTO

En el mes de Enero del año 1986 fue realizado un curso de entrenamiento cuyo objetivo fue la presentación de la tecnología de percepción remota aplicada a interpretación y confección de mapas de recursos forestales. Dicho curso fue impartido para técnicos uruguayos en la sede del Servicio Geografico Militar en Montevideo, Uruguay, entre los días 21 y 30 de Enero.

El Instituto de Investigaciones Espaciales del Ministerio de Ciencia y Tecnología de Brasil fue responsable por el curso que se denominó "Utilización de Datos TM/LANDSAT para Levantamiento de la Cubierta Forestal y Uso de la Tierra". Los profesores de este curso fueron el Economista René Antonio Novaes y los Ingenieros Forestales Pedro Hernandez Filho, Armando Pacheco dos Santos y David Chung Liang Lee.

El curso fue predominantemente práctico y constó de treinta y dos horas de clases teórico prácticas y un trabajo de campo de tres días en el interior del país.

Asistieron al curso las siguientes instituciones y técnicos de Uruguay:

Ministerio de Industria y Energia

- . Ing. Agr. Forestal Rosario Pou Ferrari
- . Ing. Agr. Forestal Gerardo Almeida Demarco
- . Ing. Agr. Forestal Gustavo Gamundi
- . Ing. Agr. Forestal Carlos Blasi Serrano

Ministerio de Agricultura y Pesca

- . Ing. Agr. Forestal Peter U. Baptista Palaez
- . Técnico Forestal Francisco de Castro Silva

Facultad de Agronomía - Universidad de Uruguay

- Ing. Agr. Forestal Arianna Sorrentino
- Ing. Agr. Forestal Hugo Antúnez *

Servicio Geográfico Militar - Ministerio de Defensa

- . Teniente Edilberto Viar
- . Sr. Rómulo Guerra *

*Nota: No tomaron parte en el trabajo de campo.



- 46 -

El programa del curso fue el siguiente:

- Primer día:

- . Introducción a los fundamentos de percepción remota.
- . Sistemas sensores y productos del Landsat y Spot.
- . Metodología de interpretación visual usando el TM del Landsat para hacer mapas de cubierta forestal y uso de la tierra.

- Segundo, tercero y cuarto día :

- . Entrenamiento en interpretación de imágenes y ejercicios. Cada participante hizo un trabajo individual de interpretación utilizando los impresos TM/LANDSAT, escala 1:100 000, en las bandas 3, 4 y 5 de la imagen 222/84 del 4 de Mayo de 1985. Utilizando las transparencias (overlays) de la interpretación de la imagen y el mapa topográfico escala 1:100 000, se planificó el trabajo de campo, cuyo objetivo principal fue verificar los resultados de la identificación de pinos y eucaliptos através de las imágenes y hacer prácticas de mediciones de áreas y volumen en las plantaciones.

- Quinto, sexto y séptimo día:

- . El trabajo de campo fue hecho entre las ciudades de San Carlos y la Paloma, en los Departamentos de Maldonado y Rocha, alrededor de las rutas 9 y 10, realizando observaciones de género y especie, mediciones de área basal y volumen de madera, utilizando el Relascopio de Bitterlich (Método de Bitterlich-Strand) y el medidor de distancias "rangefinder" para medir áreas en 22 plantaciones de bosques.

- Octavo y último día:

- . La discusión y integración del trabajo de campo, se realizó el último día, conjuntamente con la evaluación del curso.

Como continuación del curso de entrenamiento, otras fases fueron cumplidas en São José dos Campos, Brasil, por dos técnicos uruguayos, el Ingeniero Agronomo Forestal Peter U. Baptista Pelaez del Ministerio de Agricultura y Pesca y el Teniente Edilberto Viar del Servicio Geografico Militar.



- 47 -

Ambos técnicos visitaron la base del INPE en Cachoeira Paulista - SP, donde pudieron conocer todo el procedimiento de obtención y transformación de los datos de satélite LANDSAT.

Durante el período de 5 a 12 de Marzo, el Ingeniero Agronomo Forestal Rosario Pou participó en la discusión sobre aspectos metodológicos y avance del proyecto. Asimismo, colaboró en el establecimiento de claves de interpretación para separación de especies en el proceso de interpretación preliminar.

La segunda fase fue entre el período de 2 a 28 de Junio de 1986. Los técnicos Ingeniero Peter Baptista y el Teniente Edilberto Viar participaron del trabajo de interpretación de datos y definición del número de muestras para el segundo trabajo de campo.

El Ingeniero Peter Baptista participó en la estimación de las áreas forestadas, determinación y sorteo de Unidades Primarias Y Secundarias de Muestreo, con Igual Probabilidad y/o Probabilidad Proporcional al Tamaño, integración de datos en el sistema de muestreo multietápico aplicado a inventario forestal y preparación de lo segundo trabajo de campo.

El Teniente Edilberto Viar participó del proceso de representación de los temas forestales en mapas a escala 1:100 000 y 1:1 000 000.

Durante el período de 8 de Diciembre de 1986 a 30 de Enero de 1987, la Ingeniera Agronomo Forestal Arianna Sorrentino desarrolló las siguientes actividades: procesamiento de datos volumétricos; discusión de resultados; colaboración en la redacción del informe final y traducción al español.

No se realizó una evaluación formal de cada uno de los participantes del curso, pero se pudo concluir que, en general, todos tuvieron un rendimiento satisfactorio.

REFERENCIAS

ALDRICH, R.C. 1971. Space Photos for Land Use and Forestry. Photogrammetric Eng. 37 (4): 389-401.

BITTERLICH, W. 1984. The relascope idea. Commonwealth Agricultural Bureaux, England.

COCHRAN, W.G. 1977. Sampling techniques New York, John Wiley and Sons. 2ª ed.

FAO, 1980. Global Environment Monitoring System. Pilot Project on Tropical Forest Cover Monitoring. Rome, FAO.

FAO, 1973. Manual of Forest Inventory, with special reference to mixed tropical forests (Lanly). Rome, FAO.

HARDING, R.A and Scott, R.B. 1978. Forest Inventory with Landsat, Phase II, Washington Forest Productivity Study, Department of Natural Resources, State of Washington. State of Washington, Dept. of Natural Resources Olympia, Washington.

HERNANDEZ FILHO, P.; SHIMABUKURO, Y.E. 1978. Estabelecimento de Metodologia para avaliação de povoamentos florestais artificiais utilizando-se dados do Landsat. Tese de mestrado em Sensoriamento Remoto e Aplicações. São José dos Campos, INPE. (INPE - 1271 TPT/089).

HERNANDEZ FILHO, P.; SHIMABUKURO, Y.E.; SANTANA, C.C. 1978. Relatório das atividades do Projeto IBDF/INPE (Subprojeto reflorestamento) durante o ano de 1978. São José dos Campos, INPE, dez. (INPE - 1408 - NTN/141).

HERNANDEZ FILHO, P.; LEE, D.C.L.; SHIMABUKURO, Y.E. 1985. Relatório das atividades do Projeto IBDF/INPE (Subprojeto reflorestamento) de 1982-1984. São José dos Campos, INPE, jan. (INPE - 3396 - RTR/067).

HUSCH, B.; MILLER, C.I.; BEERS, T.N. 1972. Forest mensuration. New York, John Wiley and Sons 2ª ed.

KALENSKY, Z.; WIGHTMAN, J.M. 1976. Automatic forest mapping using remotely sensed data. Forest management Institute Environment Canada. Ottawa, Ontario.

LANGLEY, P.G. 1969. New Multistage sampling techniques using space and aircraft imagery for Forest Inventory. Proceedings of the sixth Symposium on Remote Sensing of the Environment. The University of Michigan, Ann Arbor, 1969.

LANGLEY, P.G. 1975. Multistage variable probability sampling: theory and use in estimating timber resources from space and aircraft photography. Phd Dissertation, University of California, Berkeley.

LEE, D.C.L.; HERNANDEZ FILHO, P.; SHIMABUKURO, Y.E. 1984. Forest inventory using multistage sampling with probability proportional to size. In: INTERNATIONAL ARCHIVES OF PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING. Proceedings. Rio de Janeiro, Brasil. V.XXV, part A7, Commision VII. p. 285-292.

LOETSCH, F. ZOHRER, F.; HALLER, K.E. 1973. Forest inventory. BLV Verlagsgesellschaft MbH, Munchen.

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA. Dirección Forestal, Parques Y Fauna. Carta Forestal actualizada y suelos de interés forestal. 1980. Montevideo, Uruguay.

NOVAES, R.A.; LEE, D.C.L.; HERNANDEZ FILHO, P.; PACHECO DOS SANTOS, A.; PONZONI, F.J. A proposal for a project entitled "Assessment of Forest Resouces in Uruguay" submitted to the United Nations Industrial Development Organization (UNIDO), São José dos Campos - SP - 1985, Brasil.

Projeto OEA/SEPLACOPI - 1980, "Assistência Técnica Directa al Departamento del Planeamento Regional de SEPLACOPI". Anexo I: Recurso Naturale.

SNEDECOR, W.C. and Cochran, G.W. (1967) Statistical Methods, 6th edition Iowa State University Press, Iowa.