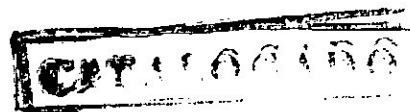


27938

COMISION NACIONAL  
DE INVESTIGACIONES ESPACIALES

CONSEJO FEDERAL  
DE INVERSIONES



**METODOLOGIA PARA LA  
EVALUACION FORESTAL POR  
PROCESAMIENTO DIGITAL DE  
INFORMACION LANDSAT**

DESARROLLADA EN UN AREA REDUCIDA DE LA  
PROVINCIA DE MISIONES

BUENOS AIRES 1982

Todos los derechos reservados.  
Queda hecho el depósito que marca la Ley 11.723  
IMPRESO EN LA ARGENTINA

© 1982 CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES  
San Martín 871 - (1004) Capital Federal  
COMISION NACIONAL DE INVESTIGACIONES ESPECIALES  
Avda. Dorrego 4010 - (1425) Capital Federal  
República Argentina

Se permite la reproducción parcial o total siempre que  
se mencione la fuente de origen.

## **AUTORIDADES**

COMISION NACIONAL  
DE INVESTIGACIONES ESPACIALES

### **PRESIDENTE**

Brig. (R) D. Miguel Sánchez Peña

### **JEFE DEL CENTRO DE SENSORES REMOTOS**

Vicecom. D. Fernando Anibal Alvarez

CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES

### **PRESIDENTE DE LA ASAMBLEA Y LA JUNTA PERMANENTE**

Cont. Ricardo Telleriarte  
(Gobernador de la Provincia de La Pampa)

### **SECRETARIO GENERAL**

Cnel. (R) D. Carlos Benito Pajariño

## **AUTORES DE LA OBRA**

CAMPANA, J. L. - CAMPI, M. G. - FERNANDEZ S. - NAVAS,  
G. D. - YUSSEN G. R.

Estudio realizado por convenio entre la Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales y el Consejo Federal de Inversiones.

Director Técnico: Cap. Ing. D. Marcelo Guillermo Campi  
(C.N.I.E.)

Coordinador Técnico: Arq. Jorge Luis Campana (C.F.I.)

Procesamiento Digital de Imágenes: Ing. Severino Fernández  
(C.N.I.E.)

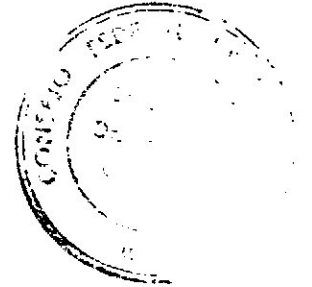
Análisis de Sistemas: Sr. Guillermo Daniel Navas (contratado  
por el C.F.I.)

Estudios Forestales: Ing. Forestal Gabriel Ricardo Yussen  
(contratado por el C.F.I.)

Auxiliar Técnica para Operación del Sistema: Srta. Clara  
Norma Sotelo (contratada por el C.F.I.)

Los autores de la obra agradecen la valiosa colaboración prestada por el Ministerio de Gobierno y la Secretaría de Planeamiento de la Provincia de Misiones, el Instituto Forestal Nacional, el Comando de Remonta y Veterinaria y la Gerencia de Programas Institucionales y Científicos de IBM Argentina.

## INDICE



1.	Introducción	9
2.	Generalidades sobre sensores remotos	11
3.	Algoritmos de procesamiento digital	13
4.	Metodología de control de campo	15
5.	Material de información y medios técnicos de procesamiento	25
6.	Desarrollo del trabajo	29
7.	Secuencia de trabajos	53
8.	Evaluación de costos	59
9.	Estimación de tiempos de aplicación	61
10.	Estudios de precisión	63
11.	Conclusiones y recomendaciones	65

## ANEXOS

I.	Estimación del error en el método de clasificación supervisada	69
II.	Descripción de la zona de estudio	73
III.	Cuadro de relevamiento terrestre	75
IV.	Especies de la selva misionera detectadas durante los trabajos de reconocimiento de campo	83
V.	Bibliografía	85



## 1. INTRODUCCION

El objetivo de este estudio fue desarrollar una experiencia piloto que permitiera una apertura en la utilización de la tecnología de sensores remotos para la evaluación de recursos forestales. El trabajo se efectuó a través de un convenio de investigación conjunta entre el Consejo Federal de Inversiones y la Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales.

Resultado del mismo es el planteo de una metodología expeditiva para la evaluación de determinadas características de las masas forestales y la apertura de un panorama para futuros trabajos de investigación, ya sea tendientes a un perfeccionamiento tecnológico en el campo de los sensores remotos o a la elaboración y procesamiento de la información.

Se tomó como área piloto la zona de la Provincia de Misiones comprendida por los ríos Paraná, Iguazú, Uruguay y el meridiano que corresponde a la isla San Agustín.

Sobre el área elegida se recopiló información histórica de evaluaciones anteriores, reconocimientos aéreos e información de campo.

La comparación de esta información con los resultados del procesamiento digital de una imagen del barredor multispectral (MSS) del satélite LANDSAT ha permitido realizar una evaluación de áreas con cubrimiento de monte natural en cuatro características identificables y de distintos tipos de plantaciones forestales presentes en la zona.

## 2. GENERALIDADES SOBRE SENSORES REMOTOS

Dentro de la tecnología de sensores remotos se hará una referencia especial a los denominados barredores multispectrales.

Estos son instrumentos de recolección puntual de información en distintas bandas del espectro, la cual, a través de un agrupamiento geométrico, conforma una escena compuesta de varias imágenes correspondientes a diferentes respuestas espectrales.

Con referencia a la tecnología espacial, los satélites de la serie LANDSAT son dispositivos que permiten recolectar esta información.

Ella se obtiene sobre elementos de tierra contiguos denominados "pixels", que constituyen el elemento de resolución de cada imagen espectral.

La información multispectral del satélite LANDSAT está discriminada en cuatro bandas del espectro electromagnético denominadas bandas 4, 5, 6 y 7, las cuales corresponden a las ventanas de 0.5 a 0.6, 0.6 a 0.7, 0.7 a 0.8 y 0.8 a 1.1 micrones de longitud de onda; por esta razón cada "pixel" queda definido por cuatro magnitudes digitales relativas al valor de la respuesta radiométrica en cada zona del espectro.

La evaluación de los recursos naturales mediante esta tecnología se basa en la diferente capacidad de reflexión en distintas zonas del espectro que tienen los elementos que componen la superficie terrestre, lo cual permite identificar cada uno de ellos por su denominada "firma espectral".

El procesamiento digital de la información provista por el satélite permite asignar cada elemento de imagen a una firma espectral. Las limitaciones de la metodología están determinadas por la no-separabilidad de firmas espectrales en las ventanas del espectro muestreadas y por la resolución del elemento de imagen, dentro del cual no se podrán realizar discriminaciones.

Para el caso de este estudio la resolución de trabajo fue de aproximadamente 79 x 56 m la cual permite discriminar complejos con características espectrales uniformes.

### 3. ALGORITMOS DE PROCESAMIENTO DIGITAL

#### 3.1. CLASIFICACION SUPERVISADA

Se denomina así al proceso mediante el cual se asigna cada pixel a una clase previamente elegida, basada en un patrón estadístico que la caracteriza. Este patrón queda determinado en base al estudio de una o varias muestras representativas.

El algoritmo de asignación se sustenta en la teoría Bayesiana de decisión. Se utiliza una función discriminante fundamentada en la estructura probabilística de las clases (conocidas por sus muestras) y se asigna el pixel en estudio a la clase cuya función discriminante sea máxima.

La estructura probabilística de las clases, para las técnicas utilizadas en este estudio, supone una distribución normal multivariante que define la formulación de la función discriminante.

Este método, uno de los más generalizados en el reconocimiento de patrones, es conocido como método de máxima verosimilitud (maximum likelihood).

#### 3.2. ESTADISTICAS DE LAS MUESTRAS

En el caso de la información proveniente del satélite LANDSAT se obtienen cuatro valores numéricos para cada pixel, correspondientes a niveles relativos de radiancia en cuatro bandas del espectro electromagnético, denominados canales espectrales o características espectrales.

La función de densidad normal que define la muestra está dada por :

$$P(x) = \frac{1}{(2\pi)^{F/2} |\epsilon|^{1/2}} \exp -\frac{1}{2} (x - \mu)^t \epsilon^{-1} (x - \mu)$$

donde

F: número de características = 4 (LANDSAT)

$\epsilon$ : matriz de covariancia (4 x 4)

x: vector con los valores de canales del pixel bajo estudio (dimensión = 4)

$\mu$ : vector con los valores medios de la muestra por canal (dimensión = 4)

La matriz de covariancia  $\epsilon$

$$\epsilon = \begin{vmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \sigma_{13} & \sigma_{14} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \sigma_{23} & \sigma_{24} \\ \sigma_{31} & \sigma_{32} & \sigma_{33} & \sigma_{34} \\ \sigma_{41} & \sigma_{42} & \sigma_{43} & \sigma_{44} \end{vmatrix}$$

recoge sobre su diagonal principal las variancias  $\sigma_{ii}$  de los cuatro canales, o sea el grado de variabilidad de los patrones respecto a sus valores medios.

Fuera de su diagonal principal contiene las covariancias entre canales  $\sigma_{ij}$  con  $i \neq j$ , que cuantifica la dependencia o correlación entre los canales. Se puede calcular el factor de correlación como:

$$C_{ij} = \frac{\sigma_{ij}}{(\sigma_{ii})^{1/2} (\sigma_{jj})^{1/2}}$$

o sea que cuanto menores sean los valores  $\sigma_{ij}$  mayor independencia existirá entre los canales.

La matriz de covariancia es simétrica y positiva definida, es decir que el determinante  $|\Sigma|$  es estrictamente positivo. Por lo tanto no se contempla el caso que exista algún

$$\sigma_{ii} = 0$$

La localización geométrica de los patrones de la muestra, en un espacio multiespectral, se efectúa sobre hiperelipsoides, definiéndose las direcciones de sus ejes por los autovectores de  $\Sigma$  y sus longitudes por los autovalores de la misma matriz.

Estas figuras geométricas se denominan grupos (clusters) y sirven para estudiar la separabilidad o agrupamiento entre clases.

En el caso límite en que todos los  $\sigma_{ij}$  (con  $i \neq j$ ) sean nulos, es decir que los canales sean independientes y sus variancias iguales, los hiperelipsoides se transforman en hiperesferas y se está en presencia de un clasificador denominado "natural".

En este caso se asigna el pixel por menor distancia euclídea, mientras en el caso general se utiliza la distancia de Mahalanobis en la asignación.

### 3.3. MATRIZ DE CONFUSION

Este procedimiento se utiliza para controlar la independencia de los clusters que definen las clases seleccionadas.

Consiste en un proceso de clasificación supervisada con las clases seleccionadas sobre áreas de validación. El método permite detectar, a través de los casos de clasificación equívoca, una aproximación a los porcentajes de confusión o solapamiento entre clases.

### 3.4. TRATAMIENTO DE COMPONENTES PRINCIPALES SOBRE LA IMAGEN

El tratamiento de componentes principales sobre una imagen consiste en realizar una rotación de ejes en el espacio espectral para una muestra de imagen, de tal forma que las nuevas direcciones coincidan con las direcciones de los ejes principales del elipsoide formado a partir del cálculo de los vectores y valores propios de la matriz de covariancia de la muestra.

La imagen, con nuevos valores de radiancia en los canales obtenidos de la transformación, pierde su validez en cuanto al comportamiento de las clases en el espectro electromagnético, pero permite obtener una mejor visualización en cuanto al reconocimiento de formas, útil para la identificación de accidentes de referencia y determinación de áreas de radiancia similar en los 4 canales.

### 3.5. TRASLACION DE PUNTOS DE IMAGEN A MAPA

La necesidad de este tipo de proceso se presenta cuando deben identificarse patrones definidos en la imagen e interesa conocer su ubicación dentro de la cartografía existente.

También se presenta el problema inverso, cuando accidentes indicados sobre la cartografía no son fácilmente separables en la imagen satelitaria.

Para realizar esta tarea, se utiliza el método de corrección geométrica por puntos de control terrestre. Consiste en determinar las funciones de transformación entre la imagen y el mapa a partir de las coordenadas en los dos espacios de puntos reconocibles denominados de control.

A partir de estos pares ordenados se establecen, por el método de cuadrados mínimos, los coeficientes de las fórmulas de transformación imagen-mapa y mapa-imagen.

Debido a que el método de cuadrados mínimos minimiza el error de transformación en el entorno determinado por los puntos de control y no garantiza sus beneficios fuera de él, se recomienda que la distribución de dichos puntos sea en lo posible uniforme dentro del área de aplicación.

## 4. METODOLOGIA DE CONTROL DE CAMPO



El área de estudio muestra dos ambientes bien definidos en lo que se refiere al reconocimiento de campo: el monte natural y las plantaciones forestales.

Los montes de producción del área de estudio pueden ser definidos y estudiados como plantaciones ordenadas, con relativamente pocas especies y sometidas a un manejo heterogéneo.

El monte natural, dadas las condiciones particulares de la selva misionera, presenta dificultades específicas para su estudio en lo referente a la apreciación visual de la estructura fitosociológica de la vegetación y la densidad, y la medición del área basal de las especies arbóreas. Por ello, para el estudio de la selva, se decidió adoptar una técnica de desmonte del sotobosque en puntos determinados, con medición del área basal por medio del relascopeo de Bitterlich.

Como ambos problemas son distintos, se desarrollaron dos blocks de muestreo en base a recorridos específicos para cada caso, uno para plantaciones forestales y otro para monte natural, sobre áreas de forma cuadrada, y un recorrido en transecta para selva destinado a verificar límites entre clases. El levantamiento de información se sistematizó por medio de encuestas, las que se desarrollaron en base al conjunto de datos a relevar.

De acuerdo con las características de la imagen clasificada se establecieron dos dimensiones para estas áreas cuadradas:

- Areas de validación "A": 240 x 240 m (5,76 Ha); aproximadamente 3 x 4 pixels.
- Areas de validación "B": 170 x 170 m (2,89 Ha); aproximadamente 2 x 3 pixels.

Los cuadrados se encuentran girados diez grados respecto del meridiano, de modo que la posición del área en el terreno coincida en forma aproximada con las direcciones de las líneas y columnas de la imagen.

### 4.1. RECORRIDO N° 1

Este recorrido se destinó al estudio de plantaciones forestales. El trazado (\*) se acompaña de una encuesta que permite registrar los cambios que se operan en los parámetros estudiados del ecosistema. Area "A", Figura 1; Area "B", Figura 2.

### 4.2. RECORRIDO N° 2

Este recorrido se destinó al estudio del monte natural. El trazado se elaboró para resolver los problemas ya mencionados que presenta el relevamiento de la selva y, como en el caso anterior, se acompaña de una encuesta. Area "A", Figura 3; Area "B", Figura 4.

#### 4.2.1. Area de validación "A"

El recorrido simétrico tiende a lograr una distribución equilibrada de los puntos donde se relevará la información sobre el área.

(\*) Véase JOYCE, A. T. en referencias bibliográficas.

El recorrido deja a cada lado del cuadrado una franja libre mínima de 20 m. a fin de prevenir distorsiones de borde de la información por la proximidad de otras clases.  
La distribución de los puntos de prueba para la medición del área basal, según la teoría de Bitterlich (\*) requiere:

$$a = 48 + 2 \sqrt{s}$$

donde

a: distancia entre puntos de prueba

s: superficie a relevar en Ha

para

$$s = 6 \text{ Ha} \quad \text{es} \quad a = 52,8 \text{ m}$$

El cálculo de área basal utilizando  $K = 1$  y  $s = 6$  Ha requiere 1,79 pruebas por Ha; entonces resulta:

$$n = s \cdot 1,79 \qquad n = 10,7$$

$$L = a \cdot s \cdot 1,79 \qquad L = 558,5$$

donde

L: longitud del recorrido

n: número de puntos de prueba

k: ancho de banda

Por aproximación se adopta un recorrido de 561 m con 11 puntos de prueba distanciados entre sí 51 m. En estos puntos se releva el conjunto de la información requerida por la encuesta.

#### 4.2.2. Área de validación "B"

El recorrido deja a cada lado del cuadrado una franja libre mínima de 14 m.

El cálculo de área basal utilizando  $k = 1$  y  $s = 2,89$  Ha requiere 1,96 pruebas por Ha.

Empleando las mismas fórmulas que en el caso anterior resulta un recorrido de 300 m con 6 puntos de prueba distanciados 50 m entre sí.

#### 4.3. DIAGRAMA DE MUESTREO EN TRANSECTA

Este diagrama de muestreo tiene como objetivo verificar las zonas limitrofes entre clases.

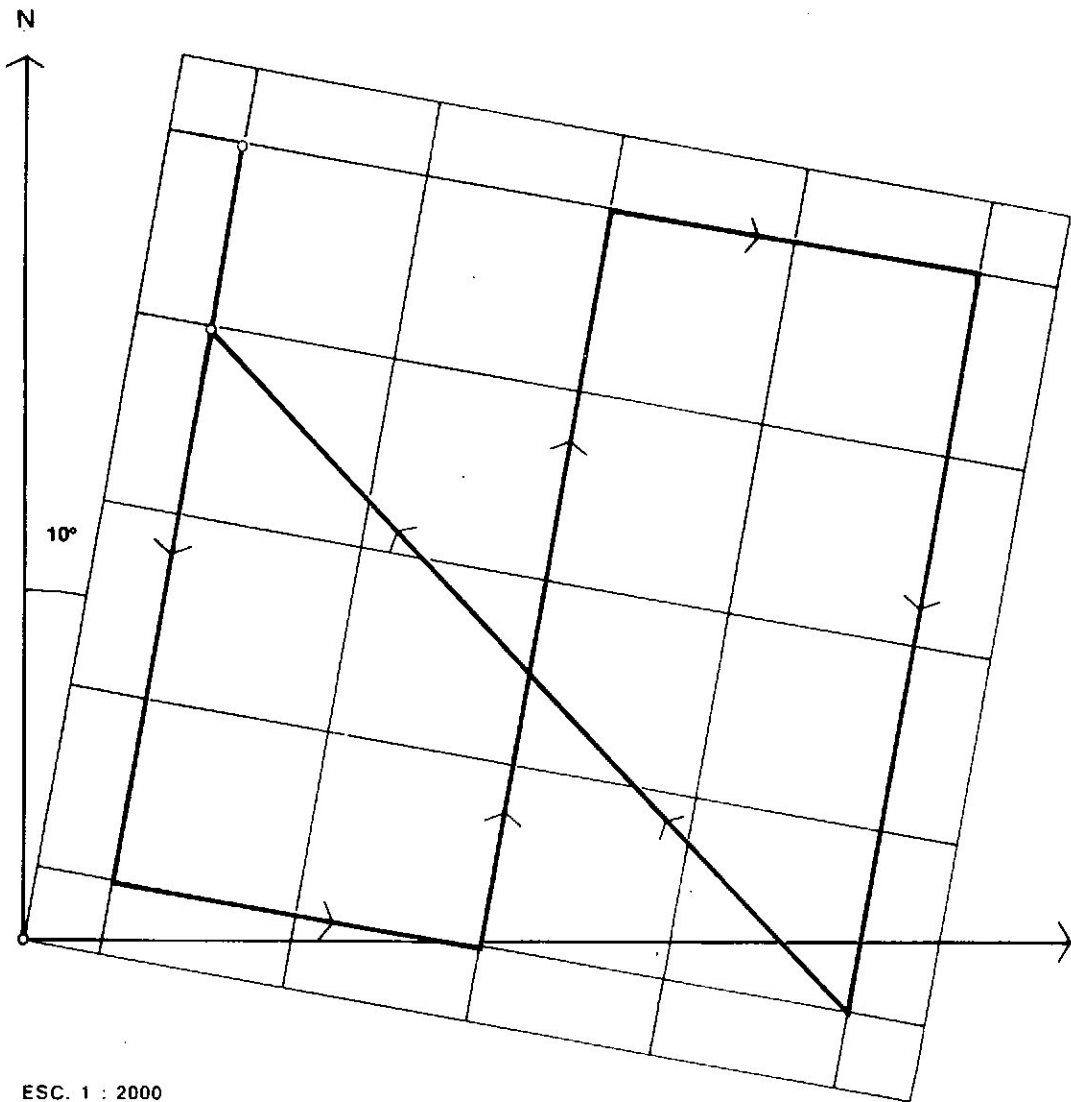
Se desarrolla en base a una transecta de 10 m de ancho por la longitud necesaria.

Para efectuar el relevamiento se realiza una picada con rumbo y distancia, establecidos de acuerdo con las clases que interesa comprobar.

El levantamiento de datos se realiza en el centro de cada pixel y se lo sistematiza por medio de una encuesta.

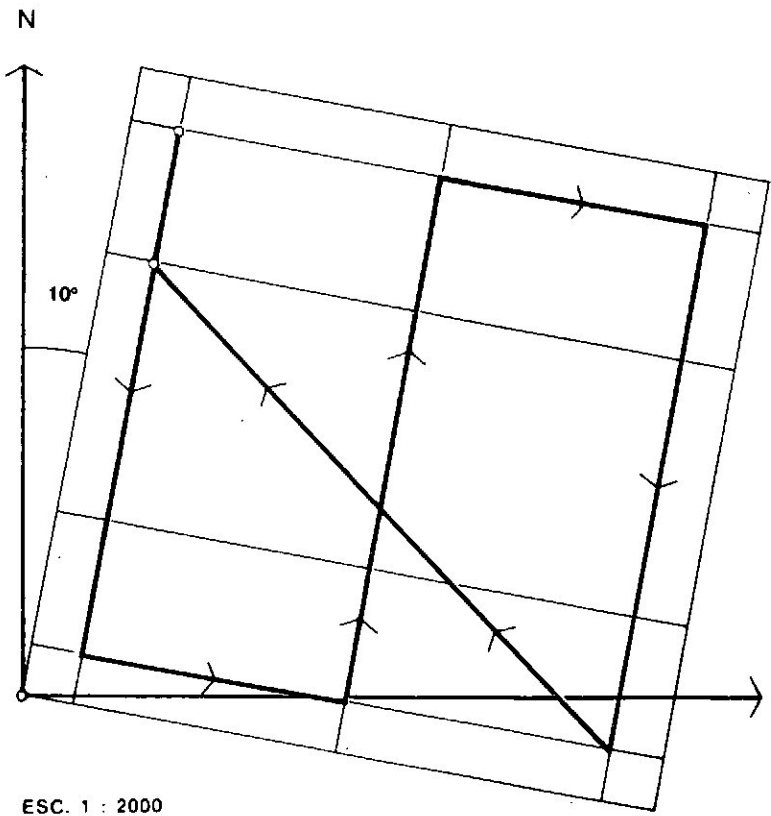
(\*) Véase VAN HOUTTE, J. en referencias bibliográficas.

FIGURA 1



ESC. 1 : 2000

FIGURA 2

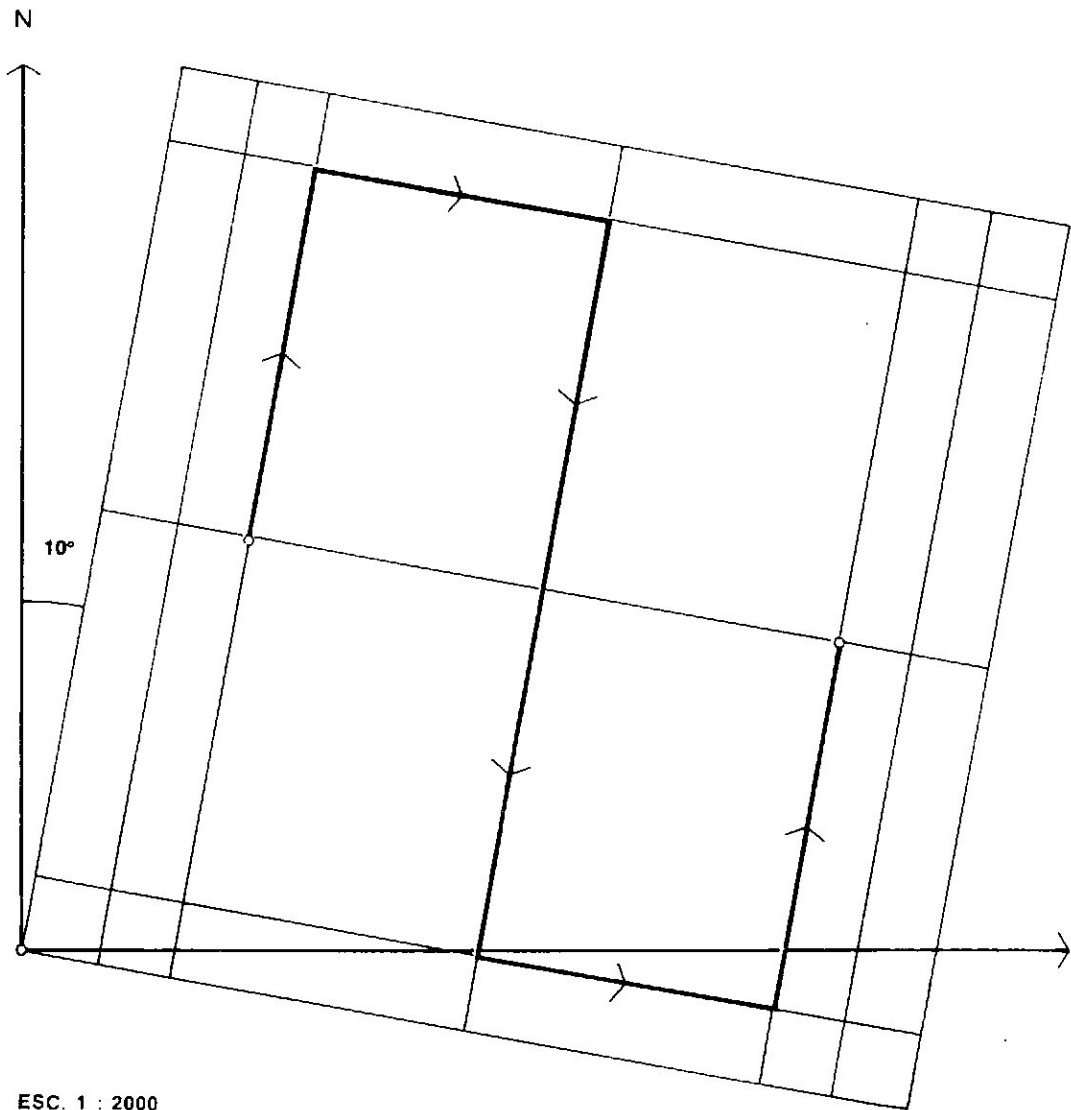


ESC. 1 : 2000

Tomado de JOYCE. A.T. y adaptado

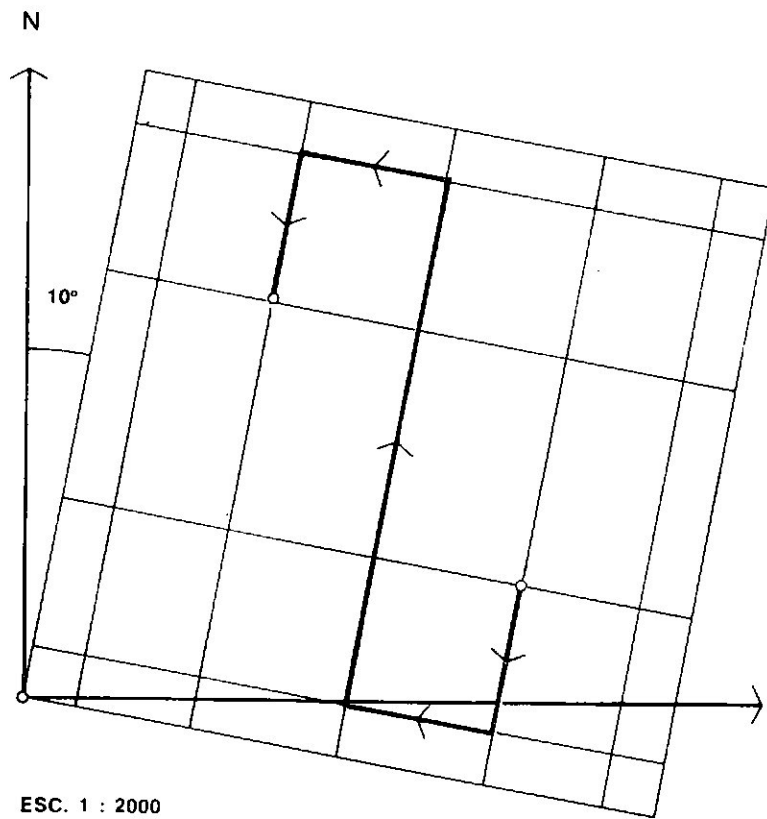


FIGURA 3



ESC. 1 : 2000

FIGURA 4



## **5. MATERIAL DE INFORMACION Y MEDIOS TECNICOS DE PROCESAMIENTO**

### **5.1. MATERIAL DE INFORMACION**

#### **5.1.1. Información bibliográfica**

La información bibliográfica requerida por el desarrollo del estudio, tanto forestal como sobre aplicaciones forestales de sensores remotos se detalla en el Anexo V (Bibliografía).

#### **5.1.2. Información cartográfica y aerofotográfica**

Se utilizó un conjunto de materiales existentes de información cartográfica y aerofotográfica sobre el área de estudio; ellos son:

- Inventario de Plantaciones Forestales Alto Paraná. Estudio ejecutado por fotointerpretación sobre fotogramas a escala 1:20.000.  
Escala del trabajo: 1:20.000.  
Realizado por el Instituto Forestal Nacional, División Mapa Forestal, octubre de 1979.
- Mapa Forestal de la Provincia de Misiones. Estudio ejecutado por fotointerpretación sobre fotogramas a escala 1:33.000.  
Escala del trabajo: 1:50.000.  
Realizado por CARTA (Compañía Argentina de Relevamientos Topográficos y Aerofotográficos). Años 1962-63.
- Relevamiento aerofotográfico de las áreas de Puerto Bossetti y Puerto Península.  
Escala aproximada 1:20.000.  
Realizado para el Instituto Forestal Nacional.

#### **5.1.3. Información satelitaria**

El estudio se efectuó a partir de una imagen del mes de octubre de 1980, recibida y procesada por la estación LANDSAT de la Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales. Esta imagen figura en la página

Satélite: LANDSAT 2  
Sensor: MSS  
Fecha de toma: 5-10-80  
Path Row: 240-078  
Coordenadas del centro: S 25° 91', E 54° 67'

## **5.2. MEDIOS TECNICOS DE PROCESAMIENTO**

### **Sistema de procesamiento digital de imágenes**

El sistema PI/RTM es un conjunto de programas orientado al procesamiento digital de imágenes, obtenido como subproducto del desarrollo de un sistema para la Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales.

Los programas fueron desarrollados en FORTRAN IV y adaptados para trabajar en una computadora DIGITAL PDP11-15 con la siguiente configuración:

- Memoria principal: 24 Kwords (48 Kbytes)
- Unidades de discos: 2 x 1,5 Mbytes
- Unidades de cinta: 2 x 800 bpi
- Sistema operativo: RT-11 (FORTRAN IV)
- Printer matriz: 120 líneas/minuto

Además se anexaron dos periféricos no-standard:

- Monitor TV RAMTEK color
- Digitalizador/formador de imágenes OPTRONICS

Salvo el uso de estos dos últimos periféricos, todo el sistema puede ser trasladado a cualquier computadora de uso general cuya configuración mínima sea igual o superior a la indicada.

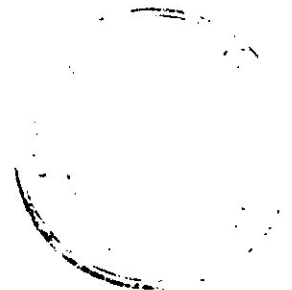
Se han dividido los tipos de aplicación del sistema en 5 partes:

- Entrada/salida
- Estadísticas
- Textura y contraste
- Clasificación
- Geometría

Cada uno de estos tópicos es tratado en un capítulo del manual de uso del sistema, en los cuales se encuentran la descripción y el modo de utilización de los programas que lo componen.

# IMAGEN LANDSAT

## NORTE DE MISIONES



\* CNIE LANDSAT PROCESSING CENTRE BY MBB AND ACS \*

M055-00+ S025-00+ M054-30+ M054-00+



M055-30+ M055-00+ M054-30+ M054-00+

05OCT80 C S25-55/M054-40 D240-078 N S25-55/M054-40 M 15 7 D SUN EL47 AZ067 SIUNDN U& CNIE-LANDSAT E-6:82-12511-B 24OCT80



## **6. DESARROLLO DEL TRABAJO**

### **6.1. TECNICAS DE RECONOCIMIENTO DE PATRONES EN ZONAS DE MONTE NATURAL Y ZONAS DE PLANTACIONES**

Ambas técnicas se diferencian claramente. En el primer caso no se cuenta inicialmente con las clases que componen la cobertura y en el segundo sí.

Para el monte natural es necesario obtener las clases "naturales" en que, de acuerdo con su similitud, se agrupan los píxels de la zona en estudio. Esto se consigue por métodos de clasificación con muestras no-controladas, denominados métodos no-supervisados o análisis cluster.

Con esta metodología se obtienen agrupamientos de píxels diferenciados entre sí por sus características espectrales. Ello no significa que representen distintos complejos de monte natural, ya que las diferencias de radiación se producen no sólo por distintos tipos de composición del complejo forestal sino por otros factores como ser diferencias de exposición por inclinación del terreno, área basal, humedad del suelo, estructura fitosociológica del monte y composición de la estructura vegetal.

Por esta razón, una vez obtenida una clasificación de la zona en base a las clases propuestas, es necesario agruparlas de acuerdo a la información de campo obtenida en los sitios de asignación de cada clase.

El caso de plantaciones permite seguir las técnicas de reconocimiento de patrones con muestras controladas, que se desarrolla en 6.1.1. y 6.1.2.

#### **6.1.1. Determinación de un área de diseño**

Se selecciona la zona donde se encuentra representada una clase en forma homogénea y en base a esta muestra se diseñan los patrones estadísticos que la representan.

#### **6.1.2. Determinación de un área de validación**

Se elige un área que tenga la misma composición que la elegida como área de diseño y se realiza una clasificación con todas las clases intervinientes en el problema para determinar el porcentaje de error de clasificación debido a la confusión en la asignación. Esto permite hacer una estimación del error cometido en la clasificación y conocer los porcentajes de confusión entre clases.

## **6.2. ESTUDIO DEL MONTE NATURAL**

En base a información bibliográfica, cartográfica, de fotografía aérea existente y de imágenes satelitarias se determinaron en gabinete las principales formaciones de monte natural y plantaciones forestales. Con estos datos se delimitaron cinco zonas de interés representativas de las formaciones forestales en estudio.

De ellas se seleccionó una zona en el área de Puerto Península, denominada S2, para realizar el estudio de detalle. Figuras 5 y 6 y Fotograma 1.

En esta zona se separaron, empleando técnicas de análisis cluster conjuntamente con fotointerpretación de la imagen satelitaria con un procesamiento de componentes principales, cuatro clases naturales de cobertura forestal denominadas SELVA.1, SELVA.2, SELVA.3 y SELVA.4.

En base a diferentes pasos de prueba y error se determinaron como áreas de diseño de estas clases las que se representan en los mapas de grises de las Figuras 5 y 6.

Estas áreas de diseño definen las firmas espectrales correspondientes a las clases establecidas, representadas numéricamente por el vector de valores medios y la matriz de covariancia. Cuadros 1 a 7. La separación espectral de estas clases se puede ver a través de la correspondiente matriz de confusión. Cuadros 8 y 9.

A continuación se realizó la clasificación supervisada de la zona que, en conjunto con la fotografía aérea existente y un vuelo de reconocimiento, permitió realizar una primera identificación de las clases separadas.

Esta etapa dio como resultado la siguiente caracterización:

- Las áreas clasificadas como pertenecientes a SELVA.3 y SELVA.4 corresponden a selva en áreas deprimidas, separándose entre sí, en general, por su textura.
- Las zonas de selva clasificadas como SELVA.2 conectan en la mayoría de los casos observados las zonas deprimidas con la masa de la selva, representada por la clase SELVA.1.

Como segunda etapa de identificación se realizó una campaña de control de campo a fin de relevar en el terreno las características ecológicas de las clases establecidas.

Para la programación de la campaña fue necesario trasladar en gabinete la ubicación geométrica de las agrupaciones de pixels en parcelas y transectas a la fotografía aérea existente. Figura 8 y Fotograma 1. Esta operación se efectuó por medio de un algoritmo de transformación de coordenadas imagen-foto basado en puntos de control terrestre.

Las fotografías aéreas con la identificación de los sitios de validación, en conjunto con la cartografía existente, sirvieron para ubicar en el terreno las zonas delimitadas en la imagen. Una síntesis de los resultados recopilados figuran en los Anexos III y IV.

El elemento de resolución de imagen (pixel) tiene una superficie constante de aproximadamente 0,45 Ha. Por ello es posible evaluar la superficie correspondiente a cada una de las clases establecidas mediante un conteo por computadora de los pixels asignados a cada clase, como se muestra al pie de las Figuras 7 y 8.

**CUADRO 1**

1	SELVA.1	M2		
VALORES MEDIOS MEAN VALUES				
CANALES:	1	2	3	4
	21	17	68	87
MATRIZ DE COVARIANCIA COVARIANCE MATRIX				
CANALES:	1	2	3	4
1	0,44	0,30	-0,44	-0,23
2	0,30	1,31	-1,11	-1,45
3	-0,44	-1,11	3,94	1,17
4	-0,23	-1,45	1,17	5,40

**CUADRO 2**

2	SELVA.1	M2		
VALORES MEDIOS MEAN VALUES				
CANALES:	1	2	3	4
	21	18	67	86
MATRIZ DE COVARIANCIA COVARIANCE MATRIX				
CANALES:	1	2	3	4
1	1,17	-0,04	-0,01	-0,65
2	-0,04	1,02	-0,14	-0,35
3	-0,01	-0,14	4,91	0,80
4	-0,65	-0,35	0,80	1,47

---

**CUADRO 3**

1	SELVA.2	M2		
VALORES MEDIOS MEAN VALUES				
CANALES:	1	2	3	4
	21	19	65	81
MATRIZ DE COVARIANCIA COVARIANCE MATRIX				
CANALES:	1	2	3	4
1	0,56	0,53	0,14	-0,67
2	0,53	1,91	-0,08	0,00
3	0,14	-0,08	3,41	-1,00
4	-0,67	0,00	-1,00	5,33

---

---

**CUADRO 4**

2	SELVA.2	M2		
VALORES MEDIOS MEAN VALUES				
CANALES:	1	2	3	4
	22	21	63	78
MATRIZ DE COVARIANCIA COVARIANCE MATRIX				
CANALES:	1	2	3	4
1	0,47	0,30	0,77	-0,01
2	0,30	2,00	1,19	-0,26
3	0,77	1,19	6,17	0,40
4	-0,01	-0,26	0,40	1,95

---

---

**CUADRO 5**

1	SELVA.3	M2		
VALORES MEDIOS MEAN VALUES				
CANALES:	1	2	3	4
	21	20	59	72
MATRIZ DE COVARIANCIA COVARIANCE MATRIX				
CANALES:	1	2	3	4
1	1,13	0,08	0,84	-0,00
2	0,08	0,43	-0,07	0,15
3	0,84	-0,07	6,89	2,31
4	-0,00	0,15	2,31	1,93

---

---

**CUADRO 6**

1	SELVA.4	M2		
VALORES MEDIOS MEAN VALUES				
CANALES:	1	2	3	4
	21	21	55	66
MATRIZ DE COVARIANCIA COVARIANCE MATRIX				
CANALES:	1	2	3	4
1	1,14	0,92	0,28	0,14
2	0,92	1,75	0,75	0,75
3	0,28	0,75	6,64	6,28
4	0,14	0,75	6,28	8,47

---

---

**CUADRO 7**

2	SELVA.4	M2		
VALORES MEDIOS MEAN VALUES				
CANALES:	1	2	3	4
	21	19	51	60
MATRIZ DE COVARIANCIA COVARIANCE MATRIX				
CANALES:	1	2	3	4
1	1,39	0,10	0,75	0,69
2	0,10	1,05	0,28	-0,59
3	0,75	0,28	6,05	3,82
4	0,69	-0,59	3,82	9,63

---



---

**CUADRO 8****MATRIZ DE ERROR ABSOLUTA**

	SELVA.1	SELVA.2	SELVA.3	SELVA.4	AR.1	AR.2	PINO	AGUA.1
SELVA.1	30	1	0	0	0	0	0	0
SELVA.2	4	20	0	0	0	0	0	0
SELVA.3	0	0	15	1	0	0	0	0
SELVA.4	0	0	0	29	0	0	0	0
AR.1	0	0	0	0	21	0	8	0
AR.2	0	0	0	1	0	120	0	0
PINO	0	0	0	1	7	1	62	0
AGUA.1	0	0	0	0	0	0	0	12
NO CLASIF.	0	0	0	0	0	0	0	0
Nº PUNTOS	34	21	15	32	28	121	70	12

**MATRIZ DE ERROR EN %**

	SELVA.1	SELVA.2	SELVA.3	SELVA.4	AR.1	AR.2	PINO	AGUA.1
SELVA.1	88	5	0	0	0	0	0	0
SELVA.2	12	95	0	0	0	0	0	0
SELVA.3	0	0	100	3	0	0	0	0
SELVA.4	0	0	0	91	0	0	0	0
AR.1	0	0	0	0	75	0	11	0
AR.2	0	0	0	3	0	99	0	0
PINO	0	0	0	3	25	1	89	0
AGUA.1	0	0	0	0	0	0	0	100
NO CLASIF.	0	0	0	0	0	0	0	0

Clasificación incorrecta 7,21%

Clasificación correcta 92,79%

---

**CUADRO 9****MATRIZ DE ERROR ABSOLUTA**

	SELVA.1	SELVA.2	SELVA.3	SELVA.4
SELVA.1	30	1	0	0
SELVA.2	4	20	0	0
SELVA.3	0	0	15	1
SELVA.4	0	0	0	31
NO CLASIF.	0	0	0	0
Nº PUNTOS	34	21	15	32

**MATRIZ DE ERROR EN %**

	SELVA.1	SELVA.2	SELVA.3	SELVA.4
SELVA.1	88	5	0	0
SELVA.2	12	95	0	0
SELVA.3	0	0	100	3
SELVA.4	0	0	0	97
NO CLASIF.	0	0	0	0

Clasificación incorrecta 5,88 %

Clasificación correcta 94,12 %

---

### 6.3. ESTUDIO DE CULTIVOS FORESTALES

Para desarrollar este estudio se procedió con técnicas de reconocimiento de patrones con muestras controladas.

Al igual que en el caso del monte natural se establecieron varias zonas de interés, entre las cuales se seleccionó la denominada P1. Figura 9 y Fotograma 2.

El trabajo se desarrolló sobre tres tipos de cultivos forestales: araucaria de baja densidad, araucaria de alta densidad y pino de alta densidad denominados AR.1, AR.2 y PINO, respectivamente.

Se determinaron áreas de diseño en los sitios que muestra la Figura 9, correspondientes a plantaciones representativas de las clases seleccionadas.

Las firmas espectrales de estas clases se muestran en los Cuadros 10, 11 y 12 y la matriz de confusión en los cuadros 8 y 14.

De estos últimos se extrae como conclusión que existe cierto porcentaje de confusión entre araucaria de baja densidad (AR.1) y pinos (PINO). Este problema queda pendiente de solución para un estudio más exhaustivo, ya que el trabajo sobre cultivos forestales no fue el objetivo principal del proyecto.

También es dable observar a través de la correlación entre las salidas clasificadas, la cartografía forestal utilizada para el trabajo en plantaciones (\*) y el reconocimiento terrestre, una confusión entre araucaria de baja densidad (AR.1) con clases de selva (SELVA.1 y SELVA.2), debido a que son plantaciones antiguas y raleadas en las cuales existe invasión de elementos selváticos que constituyen un sotobosque claramente definido.

Existen otros tipos de cultivos forestales que no fueron considerados como clases en el procesamiento digital, por lo cual la clasificación en esas zonas asigna los pixels a clases definidas previamente que tienen un comportamiento espectral semejante, por falta de las firmas espectrales correspondientes, o los da como elementos no clasificados en el caso que los clusters intervinientes estén separados en el espacio multispectral.

Como conclusión de la evaluación de cultivos forestales se puede asegurar una separación espectral de araucaria de alta densidad con un grado aceptable de confiabilidad y de pinos y araucarias de baja densidad con un menor grado de confianza, quedando la evaluación de otros cultivos forestales como base para un futuro estudio.

La ubicación de los sitios de validación en la zona P1 puede observarse en la Figura 10.

Respecto de la separación de cultivos forestales y monte natural, el procesamiento digital, apoyado en una información suplementaria de fotointerpretación de imágenes satelitarias, permite reducir los porcentajes de confusión a niveles aceptables, a cambio de un mayor trabajo de gabinete, sin que ello modifique la caracterización de esta metodología como expeditiva.

**CUADRO 10**

1	AR.1	M2		
VALORES MEDIOS MEAN VALUES				
CANALES:	1	2	3	4
	19	15	55	73
MATRIZ DE COVARIANCIA COVARIANCE MATRIX				
CANALES:	1	2	3	4
1	0.86	-0.51	0.01	0.08
2	-0.21	0.72	-0.39	-0.39
3	0.01	-0.39	8.96	6.33
4	0.08	-0.39	6.33	8.66

**CUADRO 11**

1	AR.2	M2		
VALORES MEDIOS MEAN VALUES				
CANALES:	1	2	3	4
	17	14	47	61
MATRIZ DE COVARIANCIA COVARIANCE MATRIX				
CANALES:	1	2	3	4
1	0.86	0.13	0.07	0.19
2	0.13	1.02	-0.51	0.34
3	0.07	-0.51	5.12	0.37
4	0.19	0.34	0.37	6.73

(\*) Véase el mapa de página 51

---

**CUADRO 12**

1	PINO	M2		
VALORES MEDIOS MEAN VALUES				
CANALES:	1	2	3	4
	19	16	56	69
MATRIZ DE COVARIANCIA COVARIANCE MATRIX				
CANALES:	1	2	3	4
1	0,92	0,03	0,16	0,40
2	0,03	1,35	-0,76	-0,22
3	0,16	-0,76	3,47	0,84
4	0,40	-0,22	0,84	4,68

---

---

**CUADRO 13**

1	AGUA.1	M2		
VALORES MEDIOS MEAN VALUES				
CANALES:	1	2	3	4
	27	40	30	10
MATRIZ DE COVARIANCIA COVARIANCE MATRIX				
CANALES:	1	2	3	4
1	2,06	0,75	-1,08	0,69
2	0,75	2,35	0,27	-0,02
3	-1,08	0,27	8,35	2,15
4	0,69	-0,02	2,15	3,24

---

---

**CUADRO 14**

## MATRIZ DE ERROR ABSOLUTA

	AR.1	AR.2	PINO	AGUA.1
AR.1	21	0	8	0
AR.2	0	120	0	0
PINO	7	1	62	0
AGUA.1	0	0	0	12
NO CLASIF.	0	0	0	0
N° PUNTOS	28	121	70	12

## MATRIZ DE ERROR EN %

	AR.1	AR.2	PINO	AGUA.1
AR.1	75	0	11	0
AR.2	0	99	0	0
PINO	25	1	89	0
AGUA.1	0	0	0	100
NO CLASIF.	0	0	0	0

CLASIFICACION INCORRECTA 6,93%  
CLASIFICACION CORRECTA 93,07%

---



FIGURA 6

777  
778  
779  
780  
781  
782  
783  
784  
785  
786  
787  
788  
789  
790  
791  
792  
793  
794  
795  
796  
797  
798  
799  
800  
801  
802  
803  
804  
805  
806  
807  
808  
809  
810  
811  
812  
813  
814  
815  
816  
817  
818  
819  
820  
821  
822  
823  
824  
825  
826  
827  
828  
829

SELYA 2  
SELYA 3

SELYA 2  
SELYA 3

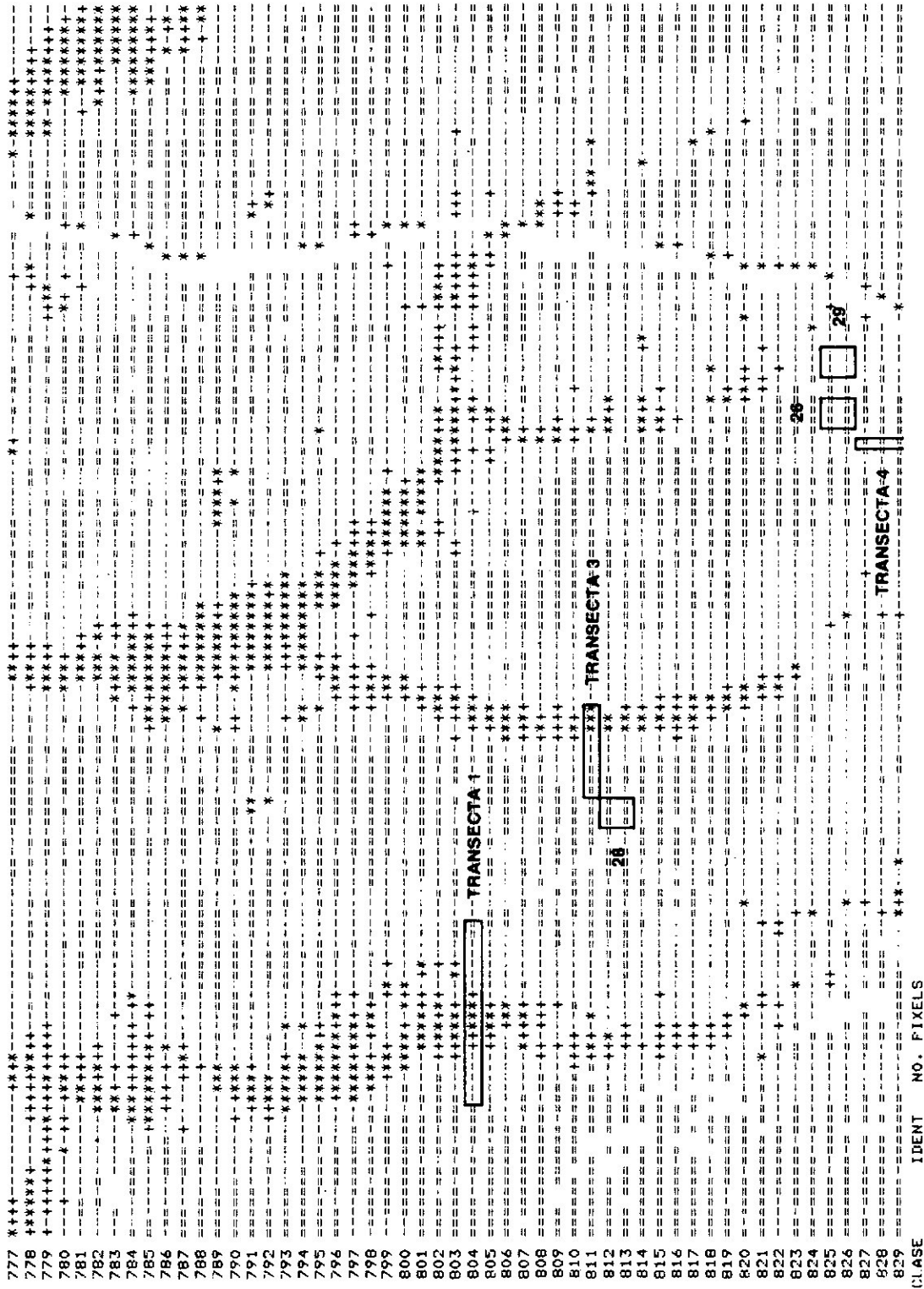
SELYA 2  
SELYA 3

FIGURA 7

CLASE	IDENT	NO. PIXELS
777		
778		
779		
780		
781		
782		
783		
784		
785		
786		
787		
788		
789		
790		
791		
792		
793		
794		
795		
796		
797		
798		
799		
800		
801		
802		
803		
804		
805		
806		
807		
808		
809		
810		
811		
812		
813		
814		
815		
816		
817		
818		
819		
820		
821		
822		
823		
824		
825		
826		
827		
828		
829		
SELVA.1	1	797.
SELVA.1	2	1562.
SELVA.2	1	1663.
SELVA.2	2	868.
SELVA.3	1	595.
SELVA.4	1	474.
SELVA.4	2	126.
NO CLASIFICADOS:		275.
TOTAL		6360.



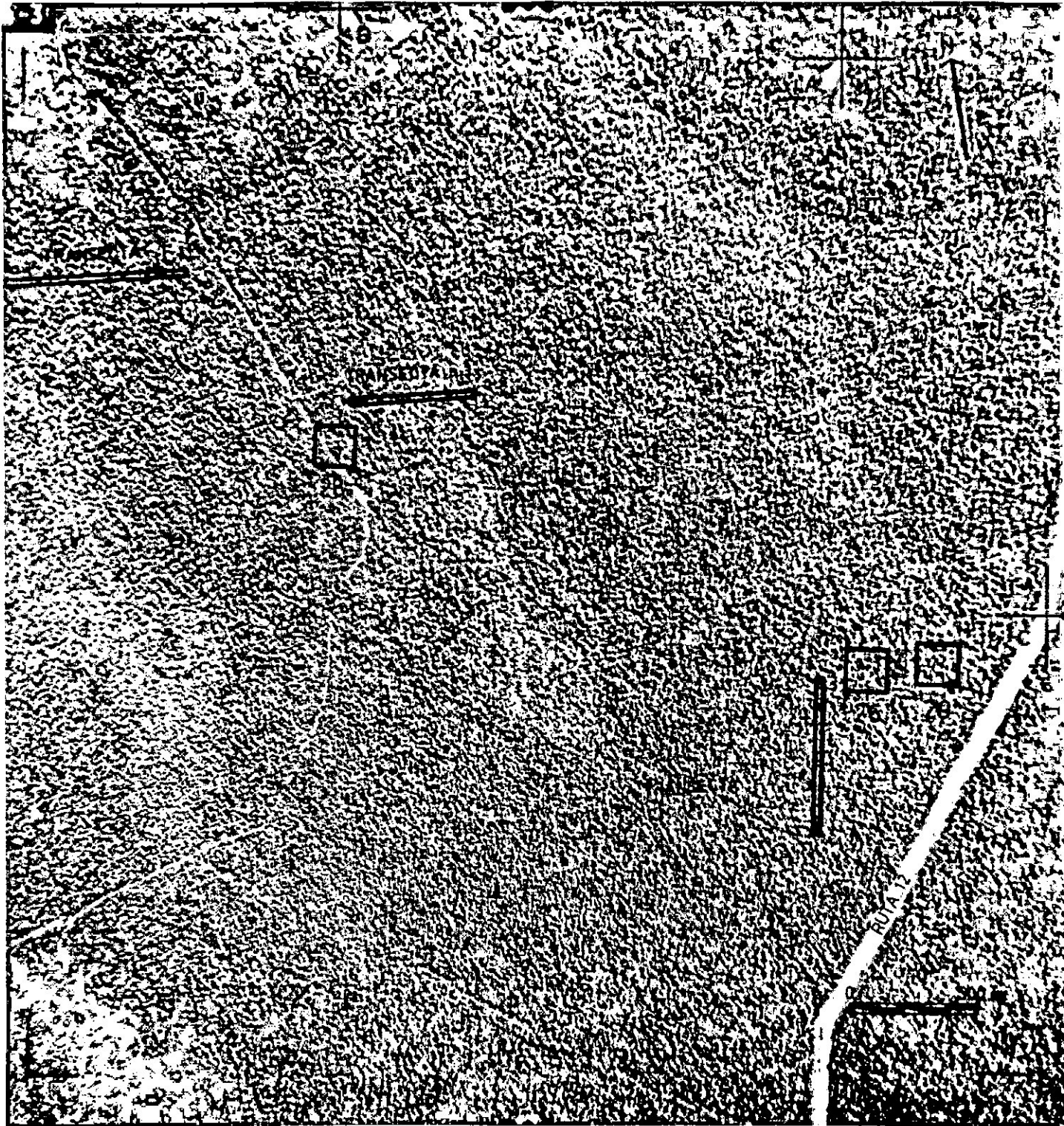
FIGURA 8



CLASE	IDENT	NO. PIXELS
SELVA.1	1	734.
SELVA.1	2	1449.
SELVA.2	1	2351.
SELVA.2	2	789.
SELVA.3	1	406.
SELVA.4	1	338.
SELVA.4	2	131.
NO CLASIFICADOS:		162.

# FOTOGRAMA 1

UBICACION: PUERTO PENINSULA, PROVINCIA DE MISIONES



A, B y C: PUNTOS DE CONTROL TERRESTRE



AREAS DE MUESTRA



TRANSECTAS

REPRODUCCION AUTORIZADA POR EL INSTITUTO FORESTAL NACIONAL



Figure 9: A large block of text consisting of a dense grid of characters, likely a barcode or a data matrix. The characters are arranged in a regular pattern, with some variations in spacing and alignment. The text is oriented vertically on the page.

FIGURA 9





FIGURA 10

CLASE IDENT NO. PIXELS

SELVA.1	1	=	188.
SELVA.1	2	=	549.
SELVA.2	1	-	1871.
SELVA.2	2	-	1927.
SELVA.3	1	+	1120.
SELVA.4	1	*	1414.
SELVA.4	2	*	671.
AR.1	1	] ]	1304.
AR.2	1	>	784.
PIND	1		2828.
AGUA.1	1	0	353.
NO CLASIFICADOS:			1631.



FIGURA 11

1979

INVENTARIO DE PLANTACIONES FORESTALES ALTO PARANA

DEPARTAMENTOS DE IGUAZU Y ELDORADO MISIONES

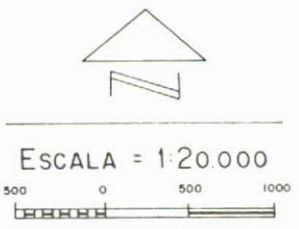


REFERENCIAS

<span style="background-color: blue; color: white; padding: 2px;">P</span> PINO	<span style="background-color: orange; color: white; padding: 2px;">Ar</span> ARAUCARIA
<span style="background-color: white; border: 1px solid black; padding: 2px;">E</span> EUCALIPTO	<span style="background-color: white; border: 1px solid black; padding: 2px;">K</span> KIRI
<span style="background-color: white; border: 1px solid black; padding: 2px;">Pa</span> PARAISO	<span style="background-color: white; border: 1px solid black; padding: 2px;">T</span> TUNG
<span style="background-color: white; border: 1px solid black; padding: 2px;">Y</span> YERBA	<span style="background-color: white; border: 1px solid black; padding: 2px;">C</span> CITRICO
<span style="background-color: white; border: 1px solid black; padding: 2px;">Cu</span> CULTIVO	<span style="background-color: white; border: 1px solid black; padding: 2px;">Co</span> CAPUERA
<span style="background-color: white; border: 1px solid black; padding: 2px;">Ta</span> TE	
<span style="background-color: white; border: 1px solid black; padding: 2px;">Mn</span> MONTE NATURAL	
<span style="background-color: red; color: white; padding: 2px;">Z</span> ZONA URBANIZADA	
<span style="background-color: black; color: white; padding: 2px;">S</span> SUPERFICIE PREPARADA CON 0	
<span style="background-color: white; padding: 2px;"> </span> SIN PLANTACION	
<span style="background-color: black; color: white; padding: 2px;">P</span> PLANTACIONES DE 2 A 5 METROS	
<span style="background-color: white; padding: 2px;"> </span> SIN IDENTIFICACION	
SUBINDICE ① = 0 a 2 m.	
SUBINDICE ② = 2 a 5 m.	
SUBINDICE ③ = 5 a 12 m.	
SUBINDICE ④ = más de 12 metros	

UBICACION

1	2	1	2	
3	4	3	4	
1	2	1	2	1
3	4	3	4	3
1	2	1	2	1
6	7	8		
3	4	3	4	3



## **7. SECUENCIA DE TRABAJOS**

### **7.1. RECOLECCION Y SELECCION DE INFORMACION**

La etapa inicial del trabajo consiste en recolectar y seleccionar el conjunto de información requerido por los desarrollos ulteriores del mismo. Esta información es de diversa índole:

#### **7.1.1. Información bibliográfica**

- Información forestal sobre el área de estudio.
- Información sobre aplicaciones forestales de sensores remotos.

#### **7.1.2. Información cartográfica y aerofotográfica existente sobre el área de estudio**

#### **7.1.3. Información satelitaria**

La selección del material satelitario depende del tipo de recurso a evaluar. Los principales factores a tomar en cuenta son:

- Época del año.
- Condiciones meteorológicas de la fecha de toma de la imagen.
- Calidad radiométrica de la imagen.

La información satelitaria utilizada es de dos clases:

- Imágenes de tipo fotográfico de las cuatro bandas espectrales del sensor MSS y falso color compuesto.
- Cintas compatibles con computadora (CCT).

### **7.2. ELABORACION DE LA INFORMACION**

En esta etapa se realizan tareas de preprocesamiento de la información tendientes a su ordenamiento y depuración para su uso en las etapas siguientes.

### **7.2.1. Determinación de las principales formaciones de monte natural y plantaciones forestales**

Esta tarea tiene como objetivo definir las principales categorías de cobertura terrestre presentes en el área de estudio. Se efectúa a partir de la información 7.1.1. y 7.1.2..

### **7.2.2. Análisis general del área de estudio**

La CCT se exhibe en el monitor color y por impresora para su análisis directo. En esta etapa interesa establecer por fotointerpretación las principales características geográficas y tipos de cobertura vegetal visibles en la imagen, y su correlación con la cartografía y fotografía aérea existentes.

### **7.2.3. Elección de zonas de interés dentro del área de estudio**

Se determinan subáreas donde realizar estudios de detalle. Estas subáreas deben reunir las siguientes condiciones:

- Que en ellas existan tipos de cobertura vegetal representativos de las condiciones generales del área.
- Que sean accesibles para el control terrestre.

### **7.2.4. Localización de zonas de interés sobre la cartografía existente**

Los límites de las zonas de interés pueden ser localizados sobre la cartografía existente por medio de un algoritmo de transformación imagen-mapa basado en puntos de control terrestre. Estos puntos deben ser identificables tanto en la imagen como en el mapa.

### **7.2.5. Vuelos de reconocimiento**

Una vez establecidas las zonas de interés es necesario efectuar vuelos de reconocimiento de las mismas con el objeto de verificar a campo las categorías de cobertura presentes en estas áreas. La fotografía aérea expeditiva que se obtenga servirá como apoyo para las tareas ulteriores de gabinete y de campo.

### **7.2.6. Procesamiento de la información para la elección de áreas de diseño**

#### **7.2.6.1. Elaboración de CCT con procedimientos de realce visual de la imagen**

La CCT se procesa efectuando filtrados, realces de borde y de contraste, tratamiento de componentes principales, etc., que aumenten el realce visual de la imagen.

#### **7.2.6.2. Exhibición de las zonas de interés**

Las zonas de interés se exhiben en el monitor color y por impresora para establecer:

- Cuáles canales son más adecuados para la interpretación.
- Qué realces de contraste son más convenientes para cada zona.

Como resultado de este proceso se obtiene:



- Mapas de grises de los cuatro canales.
- Imágenes color.
- Histogramas de cada zona de interés.
- Los histogramas más convenientes para obtener el mejor realce de contraste.

#### 7.2.6.3. Clasificación no supervisada en las zonas de interés

Se efectúan clasificaciones no supervisadas en las zonas de interés con el propósito de obtener una primera aproximación a la separabilidad natural de las clases de cobertura.

Como resultado de este proceso se obtiene:

- Mapas de clasificación.
- Estadísticas de cada cluster.

#### 7.2.6.4. Valor de la radiancia

Se establecen áreas de similar radiancia en las zonas de interés mediante mapas de valores de radiancia.

### 7.3. TRATAMIENTO DE LA INFORMACION

Esta etapa consiste en obtener una clasificación de la cobertura terrestre de cada zona de interés por técnicas de prueba y error.

#### 7.3.1. Elección de áreas de diseño

Las áreas de diseño se seleccionan visualmente sobre los mapas obtenidos en 7.2.6.:

- Mapas de grises de los canales seleccionados y de componentes principales.
- Mapas de clasificación no supervisada.
- Mapas de valores de radiancia.

Los criterios de selección de áreas de diseño son:

- Que cada área sea representativa de determinadas características de la cobertura terrestre.
- Que los niveles de gris comprendidos sean homogéneos dentro de un rango a determinar en base al conocimiento del histograma de la zona.

#### 7.3.2. Cálculo de estadísticas

Se calculan los parámetros estadísticos de las áreas de diseño, en base a cuyos valores puede realizarse una primera selección de las mismas.

El sistema de procesamiento digital suministra:

- Valor medio de la radiancia en los cuatro canales.
- Valor de la dispersión para cada canal.
- Histogramas.

Los criterios para la aceptación de un área determinada son:

- Que el valor medio en los cuatro canales corresponda a una clase de cobertura.
- Que el valor de la dispersión en dichos canales no supere los valores establecidos en 7.3.1..
- Que la matriz de confusión arroje valores aceptables de precisión.

### **7.3.3. Clasificación**

Las zonas de interés se clasifican en base a áreas de diseño, fijando a priori distintos valores de umbrales para la función discriminante.

### **7.3.4. Verificación de gabinete**

Las clasificaciones obtenidas se correlacionan por fotointerpretación con la información 7.1.2. y 7.2.1.. Se estudia la calidad del proceso realizado, orientando los cambios necesarios para mejorar el mismo en el paso siguiente.

### **7.3.5. Verificación de campo**

La verificación de campo comprende operaciones de gabinete y de campo.

#### **7.3.5.1. Diseño de blocks de muestreo**

Se establece el conjunto de datos a relevar en el terreno, en base a los cuales se desarrolla una metodología para su relevamiento sistemático (block de muestreo).

#### **7.3.5.2. Elaboración de encuestas**

Se elaboran encuestas que respondan a las características de la información a relevar. Las encuestas son parte del programa de trabajo del block de muestreo en la recolección de información terrestre.

#### **7.3.5.3. Elección de áreas de validación**

Las áreas de validación se seleccionan visualmente sobre los mapas de clasificación obtenidos en 7.3.3.. Los criterios de selección de un área determinada son:

- Que todos los pixels comprendidos en el área pertenezcan a una misma clase de cobertura.
- Que el número de pixels se encuentre dentro de valores determinados.
- Que las dimensiones del área se correspondan con las del block de muestreo.
- Que el área sea económicamente accesible para el control a campo.

La secuencia de operaciones requeridas para la elección de las áreas de validación es la siguiente:

- Elección visual de áreas y transectas.
- Selección de puntos de control terrestre como base para el algoritmo de transformación imagen-mapa.
- Ubicación de muestras sobre la foto aérea o cartografía existente.
- Verificación de accesos.

#### **7.3.5.4. Recolección de información de campo**

La recolección de información de campo se efectúa siguiendo un plan general establecido al efecto, utilizando como norma de recolección el diseño del block de muestreo. Comprende las siguientes operaciones:

- Preparación de la campaña.
- Desarrollo de la campaña.
- Elaboración y síntesis de la información relevada a campo.

## **7.4. PRESENTACION DE RESULTADOS**

La presentación de los resultados del estudio consiste de los siguientes materiales:

- Mapas de clasificación del área de estudio.
- Información estadística sobre las clases establecidas.
- Estudios de precisión sobre las determinaciones a través de la matriz de confusión.
- Estudio de costos.
- Estudio sobre los tiempos de aplicación del método.
- Conclusiones.



## 8. EVALUACION DE COSTOS

La realización de estudios sobre áreas extensas con procesamiento digital de imágenes provistas por el satélite LANDSAT, requiere considerar en primer término la cantidad de imágenes que cubren la zona de trabajo, ya que por cada una de ellas se deberán repetir las tareas de definición de las firmas espectrales de las clases a evaluar.

Para cada imagen satelitaria se debe tener en cuenta como costos representativos el uso de los medios técnicos necesarios para individualizar las clases en un espacio multispectral o, que es lo mismo, identificar las firmas espectrales de los recursos naturales a evaluar.

Estos medios son:

1. Relevamiento aerofotográfico de algunas zonas de interés donde se encuentran identificados dichos recursos.
2. Los medios técnicos necesarios para realizar un reconocimiento terrestre de parcelas, a fin de asegurar la verdad terrestre. Estos medios dependerán del tipo de verificación a realizar (monte natural, cultivos forestales, cultivos agrícolas, etc.).
3. El uso de un sistema de procesamiento digital de imágenes con los algoritmos necesarios para obtener un máximo rendimiento de la información multispectral provista por el satélite. Estos equipos varían sus costos, dependiendo ello principalmente de:
  - Rapidez de procesamiento.
  - Capacidad de procesamiento de áreas extensas.
  - Confortabilidad del acceso a los algoritmos por parte del analista.
4. El costo del personal requerido por el estudio.

## 9. ESTIMACION DE TIEMPOS DE APLICACION

El estudio forestal de Misiones se desarrolló en un lapso de siete meses, en el cual está incluido un mes de verificación de campo.

Este lapso no es totalmente aplicable a estudios de distinta escala debido a su carácter experimental. Se puede afirmar no obstante que, para un estudio de mayor magnitud, los factores determinantes son:

1. Diversidad de clases a evaluar: de ella depende la cantidad de áreas de control terrestre y los tiempos de clasificación por computadora.
2. Separabilidad de clases: la no separabilidad de clases en una época del año puede significar la utilización de dos o más imágenes de la misma zona y de distinta época para lograr, mediante un análisis temporal y multiespectral, la clasificación dentro de márgenes aceptables de precisión.
3. Area total de estudio: se encuentra estrechamente ligada al tiempo de procesamiento de clasificación digital, lo que significa mayor uso del tiempo de computadoras.
4. Tipo de recursos a evaluar: la naturaleza del recurso puede significar un mayor esfuerzo en la recolección de información de tierra. La selección de la época del año es crítica en algunos tipos de recursos como los agrícolas; por ello, una espera en la adquisición de la información satelitaria por razones meteorológicas puede dificultar o incluso imposibilitar la evaluación.
5. Medios técnicos de procesamiento digital de información empleados: los tiempos están directamente relacionados con la capacidad y confortabilidad de los sistemas de computación.

## 10. ESTUDIOS DE PRECISION

Se recomienda como procedimiento de determinación del error de clasificación el uso de la matriz de confusión, por ser éste el más expeditivo y de menor costo.

Procedimientos más elaborados(\*) involucran mayor esfuerzo y costo, no siendo la mejora en la información obtenida de esta forma justificativa de la adopción de estos métodos, en la mayoría de los casos.

(\*) Véase Anexo I

## **11. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **CONCLUSIONES**

Como resultado de la investigación desarrollada pueden extraerse las siguientes conclusiones:

1. Es factible evaluar masas forestales que respondan a las características del área misionera por procesamiento digital de información LANDSAT. Dentro de la zona estudiada se ha podido constatar:
  - El monte natural se separa de las plantaciones forestales. Esta separación es más nítida cuando las plantaciones son densas y no están invadidas por elementos selváticos.  
Se han encontrado ciertas excepciones que es necesario estudiar con mayor profundidad.
  - En el monte natural se separan entre sí clases espectrales que es posible caracterizar en el terreno como ambientes naturales.  
Esta separación se relaciona principalmente con la fisiografía, la superficie expuesta por cada estrato y la composición de la vegetación.
  - Las plantaciones forestales se separan entre sí, en general, por su composición específica y su densidad. La clasificación es más precisa en el caso de la araucaria que en el del pino. No se han considerado otras especies, ya que no son significativas dentro del área de estudio.
2. Los costos son competitivos con los que corresponden a los métodos tradicionales, a igualdad de escala de trabajo.
3. Los tiempos de aplicación son considerablemente más reducidos por el procesamiento automático de la información.
4. La precisión obtenida es significativa de acuerdo con la escala de trabajo.
5. La metodología presenta posibilidades de desarrollo hacia nuevas aplicaciones forestales de interés económico.

### **RECOMENDACIONES**

1. Existe un determinado conjunto de problemas relativos a la evaluación forestal, antes señalados, que son resueltos por el método; por lo tanto se recomienda aplicarlo en forma sistemática a dichas cuestiones.
2. Es necesario desarrollar la investigación de temas relativos a la evaluación forestal no abordados en esta etapa. Ellos son, fundamentalmente, los que hacen a un mejor conocimiento del sitio y sus parámetros ecológicos para cada clase espectral.

## **ANEXOS**

## ANEXO I

### ESTIMACION DEL ERROR EN EL METODO DE CLASIFICACION SUPERVISADA

#### 1. INTRODUCCION

En el problema más usual de clasificación automática, se desea estimar a qué clase puede pertenecer un objeto dado cuando de ese objeto se conocen algunas características cuantificables que permiten separarlo de objetos pertenecientes a otras clases.

Los métodos utilizados se basan en la estimación de funciones de densidad de probabilidad, suponiendo que se cuente con un número dado de muestras de cada clase.

A partir de estas muestras se estiman entonces los parámetros que definen a las funciones previamente mencionadas. Luego es posible, teniendo un objeto cuya clase se desconoce y teniendo las medidas realizadas sobre este objeto, predecir a cual clase ha de pertenecer.

Matemáticamente se puede decir que si  $x$  representa un vector de  $n$  componentes (las  $n$  características medibles)

$$x = \left\{ \begin{array}{c} x_1 \\ x_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ x_n \end{array} \right\}$$

y si  $F_i(x)$  es una función del vector  $x$ , donde  $i$  indica que está caracterizado por el vector  $x$ , pertenece a la clase  $k$  si

$$F_k(x) \geq F_i(x)$$

donde  $i$  se refiere a todas las clases distintas a  $k$ , o sea que asignaremos el objeto en cuestión a la clase  $k$  para la cual la función  $F_k(x)$  sea la mayor de todas.

#### 2. DEFINICION DEL ERROR DE CLASIFICACION

Esta definición es intuitiva y sencilla. Diremos que un objeto asociado con  $x$  será mal clasificado si, perteneciendo a la clase  $i$ , al aplicarle el método es identificado como perteneciente a la clase  $j$ .

### 3. CLASIFICADOR OPTIMO O DE BAYES

Sin introducirnos en la deducción de este método, diremos que se trata del algoritmo que produce el mínimo error de clasificación cuando se suponen conocidas las densidades de probabilidad de cada una de las clases(\*).

Asimismo, si se considera que un error en la clasificación está relacionado con un costo o penalidad dada, este clasificador es aquel en el que el costo  $c$  está dado por:

$$\begin{aligned} c &= 1 \text{ si } x \text{ pertenece a } i \text{ y es clasificado como } j \\ c &= 0 \text{ si } x \text{ pertenece a } i \text{ y es clasificado como } i \end{aligned}$$

Para el caso que se tengan dos clases  $w_1$  y  $w_2$ , el criterio de decisión es:

$$L(x, \theta) = \frac{p(w_1) p(x|w_1)}{p(w_2) p(x|w_2)} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{Si } L(x, \theta) > 1 & \quad x \in W_1 \\ \text{Si } L(x, \theta) < 1 & \quad x \in W_2 \end{aligned}$$

$p(w_i)$  es la probabilidad "a priori" que, al tomar un objeto del universo y sin realizar ninguna medida sobre él, el mismo pertenezca a la clase  $w_i$ .

$p(x|w_i)$  es la densidad de probabilidad de la clase  $w_i$ .

$\theta$  es el conjunto de parámetros que permiten calcular las  $p(x|w_i)$ .

Si  $\theta$  se conociese (tomando una cantidad infinita de muestras), el método de clasificación determinado por (1) daría una probabilidad de error mínima, lo cual equivale a decir que al clasificar utilizando este método se estaría asumiendo el menor riesgo, o expresado aún de otra manera, en promedio se lograría que el número de objetos o elementos mal clasificados fuera mínimo.

### 4. DESCRIPCION DE UN METODO PARA LA ESTIMACION DE LA PROBABILIDAD DE ERROR

En general, como los parámetros  $\theta$  no serán los reales sino los estimados, la probabilidad de error se podrá expresar

$$\varepsilon(\theta_1, \theta_2)$$

donde:

$\theta_1$  es el conjunto de parámetros reales

$\theta_2$  es el conjunto de parámetros estimados

De acuerdo a lo expresado más arriba, si para clasificar se utilizan los parámetros reales la probabilidad de error será mínima, lo cual significa que:

$$\varepsilon(\theta, \theta) \leq \varepsilon(\theta, \hat{\theta})$$

Ahora bien, como ya se mencionó anteriormente, los parámetros que normalmente se utilizan son estimados a partir de muestras que son tomadas al azar. Este conjunto de parámetros, que son una estimación de los reales, se pueden simbolizar como  $\hat{\theta}_N$ , entonces:

\* Véase CHOW, C.K.; FUKUNAGA, K. Y KESSEL, D.L.; MEISEL, W.S.; NIEMANN, H. en referencias bibliográficas.

$$\varepsilon(\theta, \theta) \leq \varepsilon(\theta, \hat{\theta}_N) \quad (2)$$

$$\varepsilon(\hat{\theta}_N, \hat{\theta}_N) \leq \varepsilon(\hat{\theta}_N, \theta) \quad (3)$$

Como (2) y (3) son ciertas para todas las estimaciones  $\hat{\theta}_N$ ,

$$\varepsilon(\theta, \theta) \leq E\{\varepsilon(\theta, \hat{\theta}_N)\} \quad (4)$$

donde  $E\{\varepsilon(\theta, \hat{\theta}_N)\}$  simboliza el valor esperado o promedio de  $\varepsilon(\theta, \hat{\theta}_N)$ .

Además

$$E\{\varepsilon(\hat{\theta}_N, \hat{\theta}_N)\} \leq E\{\varepsilon(\hat{\theta}_N, \theta)\} \quad (5)$$

Si se cumple la relación

$$E\{\varepsilon(\hat{\theta}_N, \theta)\} = \varepsilon(\theta, \theta) \quad (6)$$

entonces también vale

$$E\{\varepsilon(\hat{\theta}_N, \hat{\theta}_N)\} \leq \varepsilon(\theta, \theta) \leq E\{\varepsilon(\theta, \hat{\theta}_N)\} \quad (7)$$

La ecuación (6) no tiene por qué ser válida siempre.

Sin embargo, será cierta siempre que el promedio de los  $\hat{\theta}_N$  tienda a  $\theta$  cuando el número de muestras tiende a infinito.

La desigualdad (7) es de fundamental importancia.

Un método muy usual de estimar el error que se producirá en la clasificación es:

1. Estimar  $\theta$  a partir de las muestras  $(\hat{\theta}_N)$ .
2. Clasificar las muestras utilizando  $\hat{\theta}_N$ .

Esto corresponde en realidad a estimar  $\varepsilon(\hat{\theta}_N, \hat{\theta}_N)$ .

Sin embargo esta estimación es en promedio menor que la real, lo cual equivale a obtener una estimación del error muy optimista.

Utilizando entonces el término derecho de la desigualdad (7) se obtendría una cota superior del error de clasificación.

Un método posible para estimar  $E\{\varepsilon(\theta, \hat{\theta}_N)\}$  a partir de  $N$  muestras es la siguiente.

1. Suponiendo que se disponga de  $N$  muestras  $x_1, x_2, \dots, x_N$ , se calcula  $\hat{\theta}_{N-1}^k$  utilizando  $N-1$  muestras, dejando fuera de consideración el elemento  $x_k$ .
2. Para cada elemento se calcula  $L(x_i, \hat{\theta}_{N-1}^k)$ .
3. Se cuenta la cantidad de elementos tal que:

$$L(x_i, \hat{\theta}_{N-1}^k) > 1 \quad \text{y} \quad x_i \in w_1$$

$$L(x_i, \hat{\theta}_{N-1}^k) < 1 \quad \text{y} \quad x_i \in w_2$$

4. Los pasos anteriores se repiten para  $k = 1 \dots N$ .

El único inconveniente de este método es que para cada una de las  $N$  muestras se deben calcular los parámetros necesarios para la clasificación.

En el caso de que existan  $L$  clases y que cada muestra esté identificada por  $M$  medidas, se debieran calcular  $N$  veces:

$L$  vectores de valores medios de  $M$  dimensiones.

$L$  matrices de covariancia de  $M \times M$  elementos. En realidad, por ser simétricas, solamente:



$$\frac{M(M+1)}{2}$$

Las matrices inversas de las matrices de covariancia y sus respectivos determinantes.

Sin embargo, existe una simplificación que permite calcular fácilmente los vectores, matrices y determinantes necesarios a partir del cálculo para las  $N$  muestras.

Primeramente es fácil imaginarse que si el elemento  $x_k$  que se deja de considerar pertenece a la clase  $i$ , no es necesario recalculer los parámetros para todas las otras clases; bastará con hacerlo para la clase  $i$ . Se dan entonces a continuación las fórmulas necesarias para calcular los parámetros necesarios de la clase  $i$ .

En primer término se definirá:

$$\hat{M}_i = \frac{1}{N_i} \sum_{j=1}^N x_j$$

$$\hat{\Sigma}_i = \frac{1}{N_i - 1} \sum_{j=1}^N (x_j - \hat{M}_i) (x_j - \hat{M}_i)^T$$

Donde  $\hat{M}_i$  es el vector de valores medios para la clase  $i$ ,  $\hat{\Sigma}_i$  la matriz de covariancia para la misma clase y  $N_i$  el número de muestras de la clase  $i$ :

$$\sum_{i=1}^L N_i = N$$

Entonces el valor medio, habiendo dejado de lado el elemento  $x_k$  que pertenece a la clase  $i$  es:

$$\hat{M}_{ik} = \hat{M}_i - \frac{1}{N_i - 1} (x_k - \hat{M}_i)$$

La matriz de covariancia

$$\hat{\Sigma}_{ik} = \hat{\Sigma}_i + \frac{1}{N_i - 2} \left[ \hat{\Sigma}_i - \frac{N_i}{N_i - 1} (x_k - \hat{M}_i) (x_k - \hat{M}_i)^T \right]$$

La inversa de la matriz anterior

$$\hat{\Sigma}_{ik}^{-1} = \frac{(N_i - 2)}{(N_i - 1)} \left[ \hat{\Sigma}_i^{-1} + \frac{N_i \hat{\Sigma}_i^{-1} (x_k - \hat{M}_i) (x_k - \hat{M}_i)^T \hat{\Sigma}_i^{-1}}{(N_i - 1)^2 - N_i \hat{d}_i^2(x_k)} \right]$$

donde

$$\hat{d}_i^2(x_k) = (x_k - \hat{M}_i)^T \hat{\Sigma}_i^{-1} (x_k - \hat{M}_i)$$

$$|\hat{\Sigma}_{ik}| = |\hat{\Sigma}_i| \cdot \left( \frac{N_i - 1}{N_i - 2} \right)^n \left[ 1 - \frac{N_i}{(N_i - 1)^2} \hat{d}_i^2(x_k) \right]$$

## ANEXO II

### DESCRIPCION DE LA ZONA DE ESTUDIO

La selva misionera es un fustar alto natural, con sotobosque a veces denso, a veces laxo. Dentro de la selva existe un ambiente verde en toda la gama, con alto número de especies con características muy diversas de edad, estado sanitario, grado de desarrollo, etc.

La variación de la vegetación es muy amplia por la existencia de árboles de todas las magnitudes, renovales en todos sus grados de crecimiento, árboles vivos, semivivos y muertos en pie, troncos caídos, materia orgánica sobre el suelo, epífitas, parásitas y lianas; en el sotobosque aparecen helechos y gramíneas que, en el caso de las bambusoideas, pueden adquirir una gran importancia estructural.

Esta selva no tiene defoliación simultánea, por lo que siempre está verde.

La superficie de la selva misionera es de 1.759.000 Ha (Atlas General de la Provincia de Misiones, 1978). Los límites de la selva hacia el sur están determinados por las poblaciones de Bonpland y Cerro Azul; se desarrolla hacia el norte entre los ríos Paraná y Uruguay, hasta los ríos Iguazú, San Antonio y Pepirí Guazú, en la frontera con Brasil (Tortorelli, 1956).

La fisiografía es bastante accidentada, porque la zona ocupada por la selva está recorrida por serranías bajas que determinan divisorias de aguas, con numerosos arroyos y cascadas que bajan las pendientes. Generalmente, las alturas no pasan de 500 m sobre el nivel del mar, con desniveles no superiores a los 400 m sobre los grandes ríos. Las mayores alturas son de 840 m sobre el nivel del mar en la Sierra del Imán.

La resultante fisiográfica es que no hay diferencias muy grandes de altura, pero sí una diversidad muy amplia de tipos de terreno como lomas, barrancos, rocas descubiertas, llanuras, etc.

El suelo es muy variable, posible de definir generalmente como tierra roja, con fácil tendencia a laterizarse cuando está expuesta al sol.

El clima es muy importante para la existencia de la selva; cuando la lluvia supera los 1.600 mm anuales aparece la selva desde el sur hacia el norte, reemplazando a la sabana.

Los inviernos son suaves pero bien marcados, a veces con temperaturas inferiores a cero grado con heladas. En ocasiones se producen nevadas en algunas zonas altas. Este clima debe considerarse de un tipo subtropical sin estación seca, con precipitaciones abundantes.

La vegetación presente agrupa aproximadamente noventa especies de árboles grandes, ciento cincuenta especies de árboles y arbustos pequeños, epífitas, parásitas, herbáceas, helechos, musgos, líquenes, hongos, etc.

## ANEXO III

### CUADRO DE RELEVAMIENTO TERRESTRE

CLASE	POLIGONO	MUESTRA (T: Transecta P: Pixel)	CATEGORIA DE COBERTURA	AREA BASAL (m <sup>2</sup> /Ha)	RELIEVE		
SELVA.1	1	28	selva	24,00 ± 5,46	plano		
		T4 P3	selva	—	plano		
		T4 P4	selva	—	plano		
		T4 P5	selva	—	plano		
	2	1	selva naturalmente pobre o degradada	14,36 ± 2,00	ondulado		
		26	selva naturalmente pobre o degradada	13,08 ± 1,40	ondulado		
		T1 P1	selva naturalmente pobre o degradada	—	plano		
		T1 P2	selva naturalmente pobre o degradada	—	plano		
	SELVA.2	1	29	selva	16,16 ± 4,45	escarpado	
			T1 P17	selva	—	plano	
T1 P18			selva	—	plano		
2		3	selva degradada	10,50 ± 2,72	plano		
		T1 P3	área palustre o inundable	—	colinado		
		T1 P4	selva naturalmente pobre o degradada	—	plano		
		T1 P5	selva naturalmente pobre o degradada	—	plano		
		T1 P6	selva naturalmente pobre o degradada	—	plano		
		T1 P7	selva	—	plano		
		T1 P14	selva naturalmente pobre o degradada	—	plano		
		T1 P15	selva naturalmente pobre o degradada	—	plano		
		T1 P16	selva naturalmente pobre o degradada	—	plano		
		SELVA.3	1	14	selva	22,16 ± 6,74	plano
				T1 P12	selva	—	plano
T1 P13	área palustre o inundable			—	ondulado		
SELVA.4	1	8	selva degradada	9,75 ± 2,54	plano		
		T1 P9	selva degradada	—	plano		
		T1 P10	selva degradada	—	plano		
		T1 P11	selva degradada	—	plano		
	2	17	selva naturalmente pobre o degradada	12,41 ± 5,60	colinado		
		T3 P7	selva naturalmente pobre o degradada	—	colinado		
		T3 P8	selva naturalmente pobre o degradada	—	colinado		
		T3 P9	selva naturalmente pobre o degradada	—	colinado		

**CUADRO DE RELEVAMIENTO TERRESTRE  
(Continuación)**

CLASE	POLIGONO	PENDIENTE (%)	EXPOSICION	ALTITUD (Metros sobre el nivel del mar)	COLOR DEL SUELO	TEXTURA DEL SUELO (Hasta 10 cm de profundidad)	CUBRIMIENTO MATERIA ORGANICA
SELVA.1	1	0	—	205	rojo oscuro	arcilloso limoso	capa continua
		0	—	120	rojo oscuro	arcilloso limoso	capa continua
		1 E	E	120	rojo oscuro	arcilloso limoso	capa continua
		0	—	120	rojo oscuro	arcilloso limoso	capa continua
	2	variable	variable	150	rojo oscuro	arcilloso limoso	capa continua
		variable	variable	110	variable	variable	capa continua
		5	W-NW	120	rojo oscuro	arcilloso limoso	capa continua
		5	W-NW	115	rojo oscuro	arcilloso limoso	capa continua
SELVA.2	1	variable	variable	120	pardo claro	franco limoso	capa continua
		1	E	115	rojo oscuro	arcilloso limoso	capa continua
		1	E	115	rojo oscuro	arcilloso limoso	capa continua
	2	3	variable	150	rojo oscuro	arcilloso limoso	capa discontinua
		variable	variable	120	pardo claro	franco limoso	capa continua
		0	—	110	pardo claro	franco limoso	capa continua
		0	—	100	pardo claro	franco limoso	capa continua
		0	—	95	pardo claro	franco limoso	capa discontinua
		0	—	80	pardo claro	franco limoso	capa discontinua
		-10 W-NW	E-SE	110	rojo oscuro	arcilloso limoso	capa continua
		-10 W-NW	E-SE	120	rojo oscuro	arcilloso limoso	capa continua
		-10 W-NW	E-SE	130	rojo oscuro	arcilloso limoso	capa continua
SELVA.3	1	3 SE	SE	190	pardo claro	franco limoso	capa continua
		variable	variable	110	pardo claro	franco limoso	capa continua
		variable	variable	105	pardo claro	franco limoso	capa discontinua
SELVA.4	1	0	—	80	pardo claro	franco limoso	capa continua
		1 W-NW	W-NW	140	pardo oscuro	franco limoso	capa continua
		1 W-NW	W-NW	140	pardo oscuro	franco limoso	capa continua
		1 W-NW	W-NW	140	pardo oscuro	franco limoso	capa continua
	2	variable	variable	130	pardo rojizo	arcilloso limoso	capa continua
		variable	variable	190	pardo rojizo	arcilloso limoso	capa continua
		variable	variable	190	pardo rojizo	arcilloso limoso	capa continua
		variable	variable	185	rojo oscuro	arcilloso limoso	capa continua

**CUADRO DE RELEVAMIENTO TERRESTRE  
(Continuación)**

CLASE	POLIGONO	CAPA MATERIA ORGANICA (Espesor promedio cm)	ESTRUCTURA FITOSOCIOLOGICA VUELO						CARACTER DEL SOTOBOSQUE	ALTURA MAX. SOTOBOSQUE (m)		
			Im.	IIm.	III m.	IVm.	Renov.	Sot.				
SELVA.1	1	5	si	si	si	si	si	si	laxo	5		
		5	si	si	si	si	si	si	laxo	5		
		5	si	si	si	si	si	si	laxo	5		
		5	si	si	si	si	si	si	laxo	5		
	2	5	si	si	si	si	si	si	denso	10		
		5	si	si	si	si	si	si	variable	4		
		5	si	si	si	si	si	si	variable	2		
		5	si	si	si	si	si	si	variable	2		
SELVA.2	1	5	si	si	si	si	si	si	laxo	3		
		5	si	si	si	si	si	si	laxo	3		
		5	si	si	si	si	si	si	laxo	3		
	2	6	si	si	si	si	si	si	variable	15		
		5	si	si	si	si	si	si	variable	10		
		5	si	si	si	si	si	si	denso	10		
		5	si	si	si	si	si	si	denso	3		
		6	si	si	si	si	si	si	denso	3		
		6	si	si	si	si	si	si	denso	3		
		5	si	si	si	si	si	si	laxo	3		
		5	si	si	si	si	si	si	laxo	3		
		5	si	si	si	si	si	si	laxo	3		
		SELVA.3	1	5	si	si	si	si	si	si	laxo	4
				5	si	si	no	si	si	si	laxo	4
6	si			si	no	si	si	si	laxo	4		
SELVA.4	1	5	si	si	si	si	si	si	variable	4		
		5	si	si	si	si	si	si	laxo	10		
		5	si	si	si	si	si	si	laxo	10		
		5	si	si	si	si	si	si	laxo	10		
	2	5	si	si	si	si	si	si	variable	3		
		5	si	si	si	si	si	si	variable	3		
		5	si	si	si	si	si	si	variable	3		
		5	si	si	si	si	si	si	variable	3		

**CUADRO DE RELEVAMIENTO TERRESTRE  
(Continuación)**

CLASE	POLIGONO	CARACTERIZACION FORESTAL			SUPERFICIE EXPUESTA (%)					
		Densidad	Espesura	Cobertura	Im.	IIm.	IIIm.	IVm.	Sot.	Suelo
SELVA.1	1	80 %	normal	incompleta	80	80	0	0	20	0
		80 %	normal	completa	80	80	0	0	20	0
		80 %	normal	completa	80	80	0	0	20	0
		90 %	excesiva	completa	90	90	0	0	10	0
	2	50 %	defectiva	incompleta	20	0	30	0	50	0
		50 %	defectiva	incompleta	30	20	0	0	50	0
		20 %	defectiva	incompleta	20	20	20	20	80	0
		20 %	defectiva	incompleta	20	20	20	20	80	0
SELVA.2	1	60 %	normal	incompleta	60	60	0	0	40	0
		90 %	normal	completa	90	90	0	0	10	0
		90 %	normal	completa	90	90	0	0	10	0
	2	30 %	defectiva	incompleta	30	10	0	60	60	60
		20 %	defectiva	incompleta	15	5	0	0	80	0
		20 %	defectiva	incompleta	15	5	0	0	80	0
		20 %	defectiva	incompleta	15	5	0	0	80	0
		20 %	defectiva	incompleta	15	5	0	0	80	0
		50 %	defectiva	incompleta	40	15	5	0	50	0
		20 %	defectiva	incompleta	0	15	0	5	80	0
20 %	defectiva	incompleta	0	15	0	5	80	0		
20 %	defectiva	incompleta	15	5	0	0	80	0		
SELVA.3	1	60 %	defectiva	incompleta	60	60	60	60	40	0
		80 %	defectiva	incompleta	80	80	0	0	20	0
		80 %	defectiva	incompleta	80	80	0	10	10	10
SELVA.4	1	20 %	defectiva	incompleta	15	5	0	0	80	0
		20 %	defectiva	incompleta	5	15	0	0	80	0
		20 %	defectiva	incompleta	5	15	0	0	80	0
		20 %	defectiva	incompleta	5	15	0	0	80	0
	2	40 %	defectiva	incompleta	10	a	60	40	a	90
		20 %	defectiva	incompleta	3	10	4	3	80	0
		20 %	defectiva	incompleta	3	10	4	3	80	0
		20 %	defectiva	incompleta	15	30	5	0	50	0

## ANEXO IV

### ESPECIES PRINCIPALES, SECUNDARIAS Y ACCESORIAS DE LA SELVA DETECTADAS DURANTE LOS TRABAJOS DE RECONOCIMIENTO DE CAMPO (\*)

ESPECIE	SELVA.1		SELVA.2		SELVA.3	SELVA.4	
	1	2	1	2	1	1	2
<i>Nectandra saligna</i>	X	X		X			X
<i>Nectandra lanceolata</i>	X	X	X	X		X	X
<i>Balfourodendron riedelianum</i>	X	X		X		X	X
<i>Apuleia leiocarpa</i>				X			X
<i>Piptademia rigida</i>	X			X		X	X
<i>Cabralea oblongifoliola</i>	X						
<i>Cedrela tubiflora</i>	X	X	X		X	X	
<i>Lonchocarpus leucanthus</i>		X					
<i>Myrocarpus frondosus</i>	X					X	X
<i>Cordia trichotoma</i>	X	X		X	X	X	
<i>Clorophora tinctoria</i> var. <i>xanthoxyla</i>					X		
<i>Jacaranda semiserrata</i>	X	X	X		X		
<i>Albizia hassleri</i>					X		
<i>Enterolobium contortisiliquum</i>					X		
<i>Ocotea puberula</i>			X			X	
<i>Helietta longifoliata</i>					X		
<i>Tabebuia ipe</i>		X			X		
<i>Aspidosperma polyneuron</i>					X		
<i>Salix humboldtiana</i>					X		
<i>Ocotea acutifolia</i>					X		
<i>Rollinia emarginata</i>						X	
<i>Inga uruguayensis</i>			X		X		
<i>Patagonula americana</i>		X					
<i>Diatenopteryx sorbifolia</i>	X			X		X	X
<i>Ruprechtia polystachya</i>	X						
<i>Chrysophyllum marginatum</i>	X					X	
<i>Sebastiania klotzschiana</i>	X					X	
<i>Allophylus edulis</i>		X	X			X	X
<i>Vitex montevidensis</i>					X		X
<i>Arecastrum romanzoffianum</i>	X	X	X	X	X	X	X
<i>Prunus subcoriacea</i>			X				
<i>Choricia speciosa</i>			X				
<i>Crysohyllum gonocarpum</i>	X	X		X	X	X	X
<i>Erythrina falcata</i>	X						
<i>Holocalyx balansae</i>	X	X					X
<i>Ilex paraguariensis</i>			X		X		
<i>Inga affinis</i>					X		
<i>Peltophorum dubium</i>	X		X		X	X	X

**ESPECIES PRINCIPALES, SECUNDARIAS Y  
ACCESORIAS DE LA SELVA DETECTADAS  
DURANTE LOS TRABAJOS DE  
RECONOCIMIENTO DE CAMPO (\*)  
(Continuación)**

ESPECIE	SELVA.1		SELVA.2		SELVA.3	SELVA.4	
	1	2	1	2	1	1	2
Rapanea lorentziana		X		X	X		
Didymopanax morototoni		X	X				X
Luehea divaricata			X		X	X	X
Fagara sp.			X		X		
Gleditsia amorphoides					X		
Anadenanthera macrocarpa					X		
Acacia velutina var. monadena			X			X	
Dalbergia variabilis			X		X		
Ruprechtia laxiflora			X				X
Cupania vernalis					X		
Bastardiopsis densiflora				X			
Britoa sellowiana	X						
Ficus monckii		X					
Solanum auriculatum		X		X		X	X
Lonchocarpus muehlbergianus	X	X	X	X		X	X
Achatocarpus bicornutus	X						
Eugenia uniflora	X				X		
Phytolacca dioica					X		
Bahunia candicans	X				X		
Chusquea ramosissima						X	X
Guadua trinii					X	X	X
Guadua angustifolia		X					
Philodendron bipinnatifidum					X	X	
Celtis triflora			X			X	X
Cecropia adenopus					X		
Eugenia involucrata							X

(\*) Clasificados según Lucas Tortorelli, 1956.



## ANEXO V

### BIBLIOGRAFIA

- BONILLA, J. A. Muestreo Aleatorio y Muestreo Sistemático en Relevamientos Dasométricos. Actas del Primer Congreso Forestal Argentino. Buenos Aires, 1969, pág. 582-583.
- BONILLA, J.A. Tamaño de Parcela, su Magnitud más Adecuada para Relevamientos Dasométricos. Actas del Primer Congreso Forestal Argentino. Buenos Aires, 1969, pág. 584-586.
- BONILLA, J.A. Curso de Metodología de la Investigación en Ciencias Forestales. Facultad de Agronomía y Zootecnia. Universidad Nacional de Tucumán. Argentina, 1973.
- BRUCE, D. y SCHUMACHER, F.X. Medición Forestal. Ed. Herrero. México, 1965.
- CABRERA, A.L. Fitogeografía de la República Argentina. Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica, 1971, XIV (1-2) pág. 1-41.
- CASTELLANOS, A. y PEREZ, R.A. Los Tipos de Vegetación de la República Argentina. Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional de Tucumán. Argentina, 1944.
- CHOW, C.K. On Optimum Recognition Error and Reject Tradeoff. IEEE Transactions on Information Theory. Enero 1970.
- DIRECCION GENERAL DE ESTADISTICAS Y CENSOS, Secretaria de Planificación y Control, Provincia de Misiones. Atlas General de la Provincia de Misiones. Posadas, Argentina, 1978.
- DOWNS, S.W.; SHARMA, G.C. y BAGWELL, C. A. Procedure Used for a Ground Truth Study of Land Use Map of North Alabama Generated From Landsat Data. NASA TN D-8. 420. National Aeronautics and Space Administration. Washington, U.S.A., 1977.
- ESCUADERO, L.F. Reconocimiento de Patrones. Ed. Paraninfo. Madrid.
- FINLAYSON, W. The Relascope. The Tweeddale Press Ltd. Hawck, Scotland, 1969.
- FUKUNAGA, K. y KESSELL, D.L. Estimation of Classification Error. IEEE Transactions on Computers. Diciembre 1971.
- GARTLAND, H.M. Comportamiento Fenológico de *Pinus elliottii* Engelm. y *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. en el Noroeste de la Provincia de Misiones. Boletín de la Asociación de Plantadores Forestales de Misiones. Argentina, 1972, N° 7, pág. 17-20.
- HANCOCK, M.J. Inventario Forestal, Ordenación de los Pinares de Nueva Segovia. FAO Proyecto Nic/74/002. Managua, Nicaragua, 1978.
- HAUMAN, L.; BURKART, A.; PARODI, L. y CABRERA, A. La Vegetación de la Argentina. Capítulo de Geografía de la República Argentina. Buenos Aires, 1947, VIII, pág. 349.
- HUSCH, B. Planificación de un Inventario Forestal. FAO, Estudios de Silvicultura y Productos Forestales. Roma, Italia, 1971.
- IBARGUREN, R.A. Reconocimiento de Suelos, Métodos de Campo. NOA II, Inventario y Desarrollo

- Forestal del Noroeste Argentino, Manual N° 1, Oficina de Suelos. Salta, Argentina. 1972.
- INSTITUTO FORESTAL NACIONAL. Inventario de Plantaciones Forestales Alto Paraná. Ministerio de Economía. República Argentina. 1979.
- JOYCE, A.T. Procedures for Gathering Ground Truth Information for a Supervised Approach to a Computer-Implemented Land Cover Classification of Landsat-Acquired Multispectral Scanner Data. NASA Reference Publication 1015:32. Washington D.C., U.S.A., 1978.
- LASERRE, S. Los Suelos de Misiones y su Capacidad de Uso para Plantaciones Forestales de Coníferas. Actas del Primer Congreso Forestal Argentino. Buenos Aires, 1969, pág. 104-113.
- MEISEL, W.S. Computer-Oriented Approaches to Pattern Recognition. Academic Press. 1972.
- NIEMANN, H. Methoden der Mustererkennung. Akademische Verlagsgesellschaft. 1974.
- NYSSONEN, A. y MONTENEGRO MEJIA, E. Manual de Campo para el Inventario Forestal del Noroeste Argentino. NOA II, FO: ARG/70/536, Documento de Trabajo N° 3. Salta, Argentina, 1973.
- RELASKOP a Bande Large Finmechanische, Optische Betriebsgesellschaft MBH A 5020, Salzburg, Karolingerstrabe 4.
- ROBINSON, G.W. Los Suelos, su Origen, Clasificación y Constitución. Ed. Omega. Barcelona, España, 1960.
- ROGERS, E. J. Inventariación Forestal, Notas del Curso Desarrollado en Quintamar de la Sierra, Burgos, España. Servicio Forestal de los Estados Unidos de Norteamérica, Centro Regional de Ayuda Técnica. Agencia para el Desarrollo Internacional. México, 1963.
- STRASBURGER, E.; NOLL, F.; SCHENK, H. y SHIMPER, A.F.W. Tratado de Botánica. Ed. Manuel Marín y Compañía. Barcelona, España, 1960.
- THORLEY, G.A. Forest Lands: Inventory and Assessment. Manual of Remote Sensing. The American Society of Photogrametry. Ed. Keuffel y Esser Company. U.S.A. Volumen II, Capítulo 17, pág. 1353-1426.
- VAN HOUTTE, J. Empleo del Relascopio de Bitterlich en la Medición Forestal. IDIA, Suplemento Forestal: 83-118. Buenos Aires, 1969.
- WALSH, S.J. Coniferous Tree Species Mapping Using Landsat Data. Remote Sensing of Environment, 9: 11-26. U.S.A., 1980.
- YUSSEN, G. y BOLDRINI, C. Manejo de Recursos Naturales en el Chaco Aluvional Salteño, Unidad Teuco-Bermejo. IDIA, Suplemento Vreneras. Buenos Aires, 1974.