

DEMOSTRACION DE MANEJO Y UTILIZACION
INTEGRAL DE BOSQUES TROPICALES

PERU

CURSO ELEMENTAL DE
FOTOINTERPRETACION

R. De Milde

Oficial en inventarios forestales

DIRECCION GENERAL FORESTAL Y DE FAUNA
ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA
AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION

LIMA, MAYO 1978

C U R S O E L E M E N T A L D E
F O T O I N T E R P R E T A C I O N

R. De Milde

INDICE

Página

PRÓLOGO	i
1. Introducción	1
2. Clasificaciones forestales y de uso de la tierra	3
21. Diversas clases de clasificaciones	3
22. Clasificaciones basadas en las interrelaciones vegetación/medio ambiente	4
23. Clasificación de "uso de la tierra" empleada por la FAO en los trabajos de inventario	6
231. Etapas y definiciones	6
232. La clasificación propuesta por la FAO	11
3. Interpretación de fotografías aéreas convencionales en inventarios forestales	12
31. Introducción	12
311. Estimación de superficies con o sin cartografía forestal	12
312. Clasificaciones "prefijadas" y clasificaciones desarrolladas con las operaciones del inventario	12
32. Alguna información sobre fotografías aéreas y recu- brimientos aéreos	13
321. Características de las fotografías aéreas	13
321.1 Escala	13
321.11 Definición	13
321.12 Escalas adecuadas para el inventario forestal	14
321.13 Información contenida en el margen de la fotografía	16
321.2 Tipo de emulsión	16
321.21 Fotografías convencionales fuera de las infrarrojas cercanas	16
321.22 Fotografías infrarrojas	17
321.3 Copias	18
321.4 Factores básicos de la calidad de la imagen	19
322. Características de los recubrimientos aéreos	19
322.1 Solapes y áreas efectivas	19
322.2 Líneas de vuelo	21
322.3 Inclinación y rectificación	21
323. Algunos problemas relacionados con los recubri- mientos aéreos	21
324. Mosaicos	24
33. Fotointerpretación	24
331. Cualidades de una buena fotointerpretación	25
332. Interpretación estereoscópica	26
332.1 La vista estereoscópica	26
332.2 Requisitos para fotografías estereoscópicas	26

332.3	Los estereoscopios	27
332.4	Orientación de un par estereoscópico debajo de un estereoscopio de espejos	27
333.	La fotointerpretación	29
333.1	Técnica de la fotointerpretación	29
333.2	Auxilios para la interpretación	32
334.	Fotointerpretación por parcelas y fotointer- pretación con delineación	34
334.1	Introducción	34
334.2	Fotointerpretación de parcelas	34
334.3	Fotointerpretación con delineación	36
4.	Cartografía forestal a partir de fotografías aéreas convencionales	36
41.	Introducción	36
42.	Transferencia con fotografías simples	37
43.	Transferencia con pares estereoscópicos	38
5.	Estimación de superficies por fotografías aéreas y mapas	39
51.	Observaciones previas	39
52.	Mediciones directas por planimetría sobre mapas	41
53.	Métodos de estimación basados en técnicas de muestreo	41
531.	Estimación de superficies en mapas	41
531.1	El error	42
532.	Estimación de superficie con fotografías	44
54.	Estimación continua de superficies	45
6.	Desarrollos recientes en las técnicas de detección remota y cartografía	46
61.	Breve presentación de las técnicas recientes	46
611.	Nuevas formas de detección remota	46
611.1	Nuevas plataformas	46
611.2	Otras radiaciones electromagnéticas	47
611.3	Exploradores	49
611.4	Radiaciones artificiales	49
611.5	Selección de bande	49
612.	Nuevos medios para el almacenaje y reproducción de la información	50
613.	Nuevos procedimientos para el análisis de la información	51
614.	Ortofotografía	52
62.	Aplicaciones operacionales corrientes para el inven- tario forestal	53
621.	Uso de la radiación situada fuera del espectro visible	53
621.1	Uso de la radiación en el campo del infra- rojo térmico	53

332.3	Los estereoscopios	27
332.4	Orientación de un par estereoscópico debajo de un estereoscopio de espejos	27
333.	La fotointerpretación	29
333.1	Técnica de la fotointerpretación	29
333.2	Auxilios para la interpretación	32
334.	Fotointerpretación por parcelas y fotointer- pretación con delineación	34
334.1	Introducción	34
334.2	Fotointerpretación de parcelas	34
334.3	Fotointerpretación con delineación	36
4.	Cartografía forestal a partir de fotografías aéreas convencionales	36
41.	Introducción	36
42.	Transferencia con fotografías simples	37
43.	Transferencia con pares estereoscópicos	38
5.	Estimación de superficies por fotografías aéreas y mapas	39
51.	Observaciones previas	39
52.	Mediciones directas por planimetría sobre mapas	41
53.	Métodos de estimación basados en técnicas de muestreo	41
531.	Estimación de superficies en mapas	41
531.1	El error	42
532.	Estimación de superficie con fotografías	44
54.	Estimación continua de superficies	45
6.	Desarrollos recientes en las técnicas de detección remota y cartografía	46
61.	Breve presentación de las técnicas recientes	46
611.	Nuevas formas de detección remota	46
611.1	Nuevas plataformas	46
611.2	Otras radiaciones electromagnéticas	47
611.3	Exploradores	49
611.4	Radiaciones artificiales	49
611.5	Selección de bande	49
612.	Nuevos medios para el almacenaje y reproducción de la información	50
613.	Nuevos procedimientos para el análisis de la información	51
614.	Ortofotografía	52
62.	Aplicaciones operacionales corrientes para el inven- tario forestal	53
621.	Uso de la radiación situada fuera del espectro visible	53
621.1	Uso de la radiación en el campo del infra- rojo térmico	53

	<u>Página</u>
621.2 Uso de la radiación de radar	54
622. Uso de plataformas espaciales	55
622.1 Programa "Earth Resources Technology Satellite" (ERTS)	55
622.2 Diseños multi-etápicas usando fotografías espaciales	55

PREFACIO
=====

Para el presente texto, preparado principalmente con el propósito de servir de base al curso elemental de fotointerpretación, dado a los peritos forestales de las disciplinas de inventario, silvicultura y manejo, y clasificación de tierras, hemos utilizado

- el Capítulo IV "Estimación de Superficies en los Inventarios Forestales por medio de los Sensores Remotos y de la Cartografía" del "Manual de Inventario Forestal con especial referencia a los bosques mixtos tropicales", FAO, Roma 1974, y el Project Working Document N° 15 "Notes for the Photo-interpretation Course for Forest Rangers" FO:SF/SUR/71/506, FAO, Paramaribo 1974.

El Capítulo IV del Manual es tan comprensivo que no nos pareció necesario modificar parte alguna del texto original. Sin embargo, durante el curso, cada párrafo se explicó con más detalle y fue ilustrado por fotografías aéreas, mapas, gráficas etc...

En lo que concierne la aplicación práctica de fotografías convencionales y de radar, nos referimos a la publicación: "Uso de fotografías de radar y convencionales en la elaboración de mapas para el plan de manejo de bosques tropicales" - R. De Kilde, Lima 1978.

1 Introducción

La mayor parte de los inventarios forestales aspiran a suministrar estimaciones satisfactorias de los valores totales de los parámetros forestales (principalmente volúmenes de madera) sobre la totalidad de la superficie inventariada y/o sobre parte de ella. Estos valores totales se obtienen gracias a la estimación de la superficie correspondiente y a la de los valores medios por unidad de superficie de estos parámetros.

Tanto las superficies como los valores medios de los parámetros por unidad de superficie se pueden estimar mediante el uso de las fotografías aéreas (y mapas) y/o medidas y observaciones en el campo, pudiéndose hacer estas estimaciones por censos completos o por muestreo.

No consideraremos en este texto el caso de la estimación de los valores por unidad de superficie de los parámetros completa o parcialmente mediante el uso de las fotografías aéreas (o por cualquier otro medio de detección remota), por cuanto estas técnicas son principalmente aplicables a bosques templados francamente uniformes o a repoblaciones, y actualmente su aplicación a los bosques tropicales es escasa. La dificultad de la identificación de especies en las fotografías aéreas en los trópicos, la baja correlación entre las características de la copa y las dimensiones del fuste y la imposibilidad de evaluar las cortas en las fotografías aéreas limitan severamente la utilización de las medidas fotogramétricas en los inventarios de bosques tropicales. Sin embargo, alguna literatura se cita en el Apéndice II, que deberá consultarse en caso de que tales métodos se estimen factibles en los trópicos (por ejemplo en repoblaciones).

Como indica el título, este documento se limita al uso de los sensores o detectores remotos y mapas para la estimación de superficies, aunque no toda la información de superficies se obtiene por estos métodos.

Estos se determinarán algunas veces parcial o enteramente por medidas y observaciones de campo.

Las fotografías aéreas convencionales han sido en el pasado la única herramienta de detección remota utilizada en los inventarios forestales, y ciertamente seguirán siendo una de las más importantes por largo tiempo.

La primera parte de este texto se limitará al estudio de la

grafía aérea convencional, pero el subcapítulo 6 se consagrará a la descripción y aplicaciones actuales para el inventario forestal de las nuevas herramientas de detección remota.

Daremos por sentado que existe a una escala apropiada 1/, una buena cartografía topográfica (o solamente planimétrica) sobre la totalidad de la superficie, permitiendo la reducción a valores despreciables del error en la estimación de la superficie total a inventariar. Si no sucede así, el inventario a efectuar no es un inventario de reconocimiento grosero o no se va a aplicar a una superficie relativamente pequeña que pueda ser reconocida topográficamente en el terreno, el primer objetivo del inventario sería el obtener esta cartografía de las imágenes de detección remota existentes, por un instituto cartográfico, usando restituidores de primer orden. No estudiaremos estas técnicas ni los métodos de inventarios topográficos que están bien descritos en manuales y libros de texto apropiados.

En el caso de que esta cartografía no sea asequible por razones financieras u otras, debe señalarse que el error resultante sobre la superficie total incrementará los errores en las estimaciones de los volúmenes totales (o en los totales de otros parámetros).

1/"Apropiada" en relación al tamaño del área a inventariar y a la intensidad de los trabajos de inventario.

2 Clasificaciones forestales y de uso de la tierra

21 Diversas clases de clasificaciones

Dada una superficie forestal a inventariar, los resultados del inventario se dan usualmente no sólo para la superficie total, sino también para partes de ella. Cuando se divide la superficie inventariada se puede utilizar varios criterios simultáneos. En líneas generales éstos son los siguientes :

- Criterio de las interrelaciones vegetación/medio ambiente teniendo en cuenta factores medio ambientales tales como clima, altitud y suelos. Las clasificaciones correspondientes no indican generalmente el uso de la tierra existente, pero son útiles para la ordenación de tierra y bosques : la toma de decisiones, ya de conservar los bosques ya de desmontarlos para la agricultura, de la localización y especies para repoblaciones, o de tratamientos selvícolas, etc.. puede apoyarse, con la mayor confianza, en las informaciones obtenidas gracias a esta clasificación.
- Criterio del uso actual de la tierra : este criterio define la más importante clasificación, así como separa los bosques de otros usos de la tierra y tipos de vegetación. En esta clasificación las superficies de bosques están divididas en clases muy amplias y universalmente aceptadas.
- Criterio de ordenación de bosques : bajo este epígrafe incluimos todos los factores de directa aplicación en la ordenación de bosques, tales como :
 - propiedad y pertenencia; por ejemplo, si hay bosques de propiedad pública y privada en la superficie inventariada es casi seguro que será necesario dar resultados separados para cada tipo de bosque. Lo mismo ocurre si hay bosques bajo concesiones que es necesario separar de los otros bosques;
 - administración : los resultados pueden darse por unidades administrativas (distritos, condados, regiones, departamentos, provincias y estados) si la superficie inventariada se extiende sobre varias de estas unidades;
 - fisiografía y accesibilidad : los resultados se podrán dar por unidades forestales aislados, por cuencas hidrográficas, por tipo de relieve, etc.. siendo tratadas separadamente los correspondientes unidades;

- unidades de ordenación : además de las anteriores hay otras clasificaciones de ordenación y/o explotación forestal (unidades de producción sostenida, compartimiento de explotación forestal, etc..). Por ejemplo, la clasificación en bosques sin explotar y super explotados es de importancia primordial en muchas zonas tropicales para la preparación del plan de cortas. Los resultados se darán separadamente para cada clase.
- Criterio de estratificación estadística : si las mismas unidades forestales de ordenación y/o "uso actual de la tierra" y/o "capacidad potencial de la tierra" son significativamente diferentes con relación a los parámetros a estimar, es útil estratificar los bosques adecuadamente con objeto de disminuir el error de muestreo en la estimación y hacer el inventario más eficiente. La estratificación será más eficaz si se hace antes del muestreo. Esta estratificación se hace generalmente por medio de la fotointerpretación y está basada en criterios que se pueden apreciar en las fotografías aéreas, tales como especies dominantes o altura y densidad de los árboles dominantes. Las clases basadas en los últimos criterios son llamadas frecuentemente "clases de condición".
Los resultados por clases de condición pueden no ser útiles, ya que las clases de condición son en principio solamente estratos usados para el muestreo. Pero serán útiles si la estratificación se usa como base para propósitos de ordenación.

22 Clasificaciones basadas en las interrelaciones vegetación/medio ambiente

En la mayor parte de los casos estos tipos de clasificación no se utilizan para fijar el modelo de uso actual de la tierra, así como este modelo generalmente difiere de uno de los tipos de vegetación potencial o climas que se consideran en estas clasificaciones. Sin embargo, pueden usarse en los inventarios forestales para una primaria estratificación grosera de los bosques a inventariar, especialmente cuando la vegetación original está más o menos intacta.

Se han desarrollado muchos criterios de clasificación y cartografía basados en las interrelaciones vegetación/medio ambiente, algunos con una base mundial, otros con una base regional más restringida, por ejemplo, para Africa, Asia

del Sudoeste y América del Sur. Generalmente se usan varios métodos de análisis del complejo de factores que componen el medio ambiente, con énfasis principalmente en uno o más factores climáticos, por ejemplo pluviosidad, temperatura, evaporación, transpiración, etc.. Para los fines del inventario forestal, es necesario que el intérprete de fotografías aéreas se familiarice primero con el sistema de clasificación nacional adoptado para el uso local y relacione éste, hasta donde sea posible con un tipo de clasificación apropiado regional y mundial.

No es propósito de este manual considerar los méritos o limitaciones de las distintas clasificaciones mundiales y regionales. Es aconsejable para cada proyecto de inventario descubrir primero qué mapas de clima y vegetación existen ya con una base nacional y regional. Se han publicado varios mapas con sistemas de clasificación mundiales y regionales y entre los más recientes se pueden citar :

1. Mapa de vegetación de Africa, publicado bajo los auspicios de la "Association pour l'étude taxonomique de la flore d'Afrique tropicale" con la ayuda de la Unesco, por la Oxford University Press, 1958.
2. Atlas de "Crop Ecologic Survey in West Africa", por J. Papadakis bajo los auspicios de la FAO en 1966 (que incluye también una clasificación de zonas climáticas correlacionados con los tipos de vegetación).
3. Una serie de mapas para distintos países del Sudoeste de Asia, Africa y Europa, publicados por Gausson y sus colaboradores, por ejemplo, las publicaciones del Instituto Francés de Pondichéry comprenden entre otros la India, Ceilán y Madagascar.
4. Mapas climáticos mundiales en los sistemas de Thornthwaite, Swain y Köppen.
5. Mapas climáticos de vegetación para América Latina por Holdridge.
6. Mapa mundial de vegetación por Schmithüsen a 1/25.000.000

La Unesco, la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y la FAO se han interesado especialmente, y lo han apadrinado, en la preparación de mapas mundiales o regionales especializados en aspectos ecológicos (incluyendo suelos), por ejemplo, el Mapa Ecológico de Producción de Papadakis mencionado más arriba, un estudio de la "Agroclimatología de las Areas Semiáridas del Sur del Sahara en Africa occidental", por J.

Cochemé y P. Franquin, publicado conjuntamente en 1967 por la FAO, la Unesco y la OIM, y un Mapa Mundial de Suelos por la FAO que se completó en 1974. Aunque la FAO no ha recomendado específicamente un determinado sistema para la clasificación de la vegetación con una base mundial o regional, el sistema de Holdridge parece ser especialmente interesante, tanto por su simplicidad como por su fácil adopción con fines de inventario forestal. Una descripción de este sistema se dio por Holdridge (1967). Este sistema se ha aplicado en la formación de mapas ecológicos en varios países de América Latina.

23 Clasificación de "uso de la tierra" empleada por la FAO en los trabajos de inventario.

231 Un esquema de la clasificación de superficies fue proyectado en las oficinas centrales de la FAO en una reunión de expertos en inventarios forestales en setiembre de 1967 y en los proyectos de inventario de la FAO se exige usarla (con introducción eventual de subdivisiones para satisfacer los requisitos particulares del proyecto). En la preparación de esta clasificación se esforzaron en ajustarla a las categorías y definiciones usadas por la FAO en su compilación Inventario Forestal Mundial. La elaboración de estadísticas de recursos forestales mundiales, regionales y nacionales se obtendrán más fácilmente cuantas más agencias acepten esta clasificación.

Las etapas en la clasificación y las definiciones y explicaciones solicitadas son las siguientes :

<u>Etapas de clasificación</u>	<u>Definiciones ó explicación, si se solicita</u>
1. Clasificar la superficie en : I. Superficie de tierra II. Superficie de agua	Las bases para estas divisiones deben definirse y dar su fecha, por ejemplo, según la cartografía existente, fotografías aéreas, etc.. Los manglares y los bosques costeros de palmeras se deben incluir en la superficie de tierra.
2. Clasificar la "superficie de tierra" en : A. Superficie forestal B. Otras superficie arboladas C. Superficie no forestal	Se consideran como <u>forestal</u> : todas las tierras con una "cubierta forestal" (incluyendo el bambú y las palmeras); por ejemplo, con árboles cuyas copas cubran

más del 20% de la superficie y no se usen principalmente para otros propósitos que los forestales. Para la definición de árbol se usa la siguiente dada por la "Terminology of forest science, technology, practice and products" (editada por F.C. Ford Robertson y autorizado por la junta "FAO/IUFRO Committee on Forestry Bibliography and Terminology"):

árbol : "planta leñosa de tamaño grande, tallo bien definido y copa más o menos claramente formada".

Incluye :

- (a) Bosques públicos y privados;
- (b) Todas las repoblaciones, incluyendo las de un solo turno, usadas principalmente con propósitos forestales;
- (c) Superficies temporalmente de escasa espesura así como masas naturales jóvenes y todas las repoblaciones establecidas con fines forestales, aunque no hayan logrado una densidad de copas de más del 20%;
- (d) Carreteras forestales, arroyos y otras pequeñas superficies forestales rasas, así como viveros forestales, que constituyen parte integrante del bosque y que no pueden excluirse fácilmente por el sistema de inventario usado.

Excluye :

- (a) Grupos de árboles aislados cubriendo superficies inferiores a 0.5 ha;
- (b) Parques de ciudades, jardines privados y pastizales;
- (c) Superficies de árboles usadas como cortavientos y cortinas protectoras con área superior a las 0.5 ha, pero demasiado estrechas para ser administradas como bosques.

Se consideran como otras superficies arboladas las tierras con árboles cuyas copas cubren menos del 20% de la superficie o con arbustos o árboles achaparrados que cubren más del 20% de la superficie, que no se usen para agricultura u otros propósitos forestales (tales como pasto para animales domésticos). También incluye superficies ocupadas por árboles alineados (a lo largo de carreteras, canales y corrientes de agua, etc., equivalentes en superficie a 0.8 ha cada 1,000 metros) así como las cortinas rompevientos y de protección que no están incluidos en "Forestal".

- 3. Clasificar la "Superficie forestal" en
 - 1. Bosques naturales
 - 2. Bosques artificiales

Para la definición de bosques artificiales : Ver el Manual de la FAO mencionado en el Prefacio

- 4. Clasificar los "Bosques naturales" en:
 - a) Especies frondosas excluyendo los manglares
 - b) Especies coníferas
 - c) Especies mezcladas de frondosas y coníferas

Las categorías (a) y (b) se definieron por una composición del 80% o más de los grupos de especies. Los bosques mezclados, con menos del 80% de (a) o (b), se clasificarán como (c). Cuando el bambú se encuentra en uno de los tipos anteriores como un piso inferior, esto se

- d) Superficies puras de bambú
- e) Manglares
- f) Bosques costeros y ribereños de palmeras
- g) Superficies temporalmente de escasa espesura

tendrá en cuenta para estimar la superficie mixta de bambú. Puede ser útil subdividir (a) en ciertas áreas tropicales donde se encuentran masas de frondosas puras o casi puras en bosques mixtos de frondosas y bosques puros (o casi puros) de frondosas (caso de *Gilbertiodendron dewevrei* en la cuenca del Congo).

Las superficies de cultivos nómadas, ya reconstituida la espesura con vegetación forestal, se clasificarán como subdivisiones de las categorías (a), (b) o (c).

- 5. Clasificar los "Bosques artificiales" en aquellas divisiones aplicables de los indicados en etapas 4.
- 6. Clasificar "Otras superficies arboladas" en:
 - 1. Sabanas, bosques abiertos
 - 2. Landas, montes achaparrados y arbustivos.
 - 3. Árboles alineados, cortinas rompevientos y de protección
 - 4. Otras superficies
- 7. Clasificar la "Superficie no forestal" en:
 - 1. Terreno agrícola
 - a. Cultivos y praderas o pastizales cultivados
 - b. Plantaciones
 - 2. Otros terrenos
 - a. Terrenos rasos

Se consideran las sabanas como superficies de árboles o arbustos esparcidos sobre una capa de gramíneas o herbáceas. La cubierta de copas de la vegetación leñosa puede exceder el 20%. Las categorías (2) y (3) se definen en etapas 2.

(a) incluye las superficies de agricultura nómada donde la tierra está preparada para la recolección agrícola o no es plantada con cultivos agrícolas o no está aún repoblada con vegetación forestal

Las plantaciones incluyen huertas, plantaciones de caucho, palmerales, etc.

Ej. rocas, arena, hielo, etc.
ej. praderas, pampas, estepas.

- b. Pastizales y herbazales
 - c. Pantanos
 - d. Landas sin árboles
 - e. Superficies urbanas industriales y vías de comunicación
 - f. Otras superficies
- Si existe una base de vegetación leñosa esparcida, la superficie se clasificará en "otras superficies arboladas".
- Incluye las superficies pantanosas sin una cubierta arbórea. Ej. la tundra en las zonas boreales.
- Incluye las servidumbres de paso para carreteras, ferrocarriles, líneas eléctricas, etc.

232 La clasificación propuesta por la FAO, por tanto es la siguiente:

Uso actual de la tierra y tipos de bosques

I. Superficie total de tierras

A. Superficie boscosa

1. Bosques naturales

- a. Frondosas excluido el manglar
- b. Coníferas
- c. Bosques mixtos de coníferas y frondosas
- d. Bambú puro
- e. Manglar
- f. Palmeras costeras y de riberas
- g. Temporalmente despoblado

2. Bosques artificiales

(se reseñarán las divisiones de la "a" a la "g" que existan)

B. Otras superficies pobladas

- 1. Sabana, bosques abiertos
- 2. Llanas, montes chaparrados y arbustivos
- 3. Plantaciones lineales, cortavientos y fajas protectoras
- 4. Otras superficies

C. Superficie no boscosa

1. Tierra agrícola

- a. Cultivos y praderas o pastizales cultivados
- b. Plantaciones

2. Otras tierras

- a. Rasos
- b. Pastos y herbazales naturales
- c. Zonas pantanosas
- d. Errial, tundra
- e. Urbana, industrial y vías de comunicación
- f. Otras superficies

II. Superficies de Aguas

3 Interpretación de fotografías aéreas convencionales en inventarios forestales

31 Introducción

311 Estimación de superficies con o sin cartografía forestal. El uso de todas las clasificaciones citadas en el párrafo 21 va dirigido a la distribución de la superficie total en subdivisiones o estratos. Uno de los objetivos de un inventario forestal es conseguir una estimación satisfactoria de estas superficies (o de las proporciones de estas superficies con respecto a la superficie total). En muchos casos un objetivo adicional del inventario forestal es conocer la localización exacta de esas superficies por dibujo en un mapa.

312 Clasificaciones "prefijadas" y clasificaciones desarrolladas con las operaciones del inventario. Las clasificaciones citadas más arriba son de dos clases :

a) Algunas clasificaciones existentes vienen ya dadas y no pueden ser evitadas o corregidas por el experto en inventario. Este es el caso, por ejemplo, de las clasificaciones de propiedad y administrativas. La estimación y cartografía de las superficies de las clases correspondientes no requiere generalmente la interpretación de fotografías aéreas: consiste principalmente en transferir a los mapas disponibles topográficos (o planimétricos) la información obtenida de la documentación existente (tales como leyes creando reservas forestales, acuerdos de concesión, etc.) y en la medición de superficies en esos mapas. Las fotografías aéreas se pueden usar ocasionalmente para añadir a los mapas algunos detalles que faltan, referidos en la documentación pertinente (rasgos planimétricos o topográficos tales como un pequeño río, la divisoria de una alineación de colinas, etc).

b) Algunas otras clasificaciones son creadas parcial o totalmente por el inventariador, por ejemplo las clasificaciones del uso actual del terreno, de accesibilidad, de "clases de condición". Pero el inventariador debe intentar hasta donde sea posible compaginar su clasificación con las existentes y que han sido aceptadas, así como que sirva para la comparación y edición de los resultados dados por diferentes inventarios diseñados por diferentes forestales. Desgraciadamente esto no es el caso muy a menudo y demasiadas operaciones de inventario desarrollan su propia clasifi-

cación, no haciendo caso de las existentes. Si las clasificaciones precedentes no se juzgan satisfactorias, primeramente se debe tratar de perfeccionarlas o condensarlas con objeto de que las clases (o grupos de clases) de la clasificación propia sean compatibles con las clases (o grupos de clases) de una existente. Sólo si este intento no tiene éxito se hará una nueva clasificación.

La estimación y delineación de las superficies correspondientes a estas clasificaciones se hacen generalmente mediante la interpretación de fotografías aéreas.

32 Alguna información sobre fotografías aéreas y recubrimientos aéreos

(Hay muchos libros de texto y manuales sobre fotografía aérea y fotointerpretación. No se intenta revisar ni aun resumir en los párrafos siguientes toda la información pertinente, si no más simplemente señalar los elementos más importantes que los ejecutores de inventarios usan de las fotografías aéreas convencionales).

321 Características de las fotografías aéreas

321.1 Escala

321.11 Definición

La escala (o fracción representativa) es la relación entre una distancia en la fotografía y la distancia correspondiente en el terreno expresada como una fracción (1/25.000) o como una proporción (1:25.000) : 1 cm en la fotografía aérea es equivalente a 25,000 cm = 250 m en el terreno.

Es igual a la proporción :

$$\frac{\text{longitud focal de la cámara}}{\text{altura de la cámara sobre el terreno}} = \frac{f}{H}$$

H es exactamente la distancia entre la lente de la cámara y su proyección vertical en el terreno.

Si el terreno no es completamente llano la escala no es uniforme sobre toda la fotografía. Esto es particularmente importante cuando la escala es relativamente grande (altitud media relativamente baja) y el terreno es montañoso (diferencia significativa entre las altitudes de varios puntos del terreno).

321.12 Escalas adecuadas para el inventario forestal
(exigencias de escala para inventario forestal)

Una clasificación de escalas de las fotografías aéreas puede ser la siguiente :

1/200 a 1/3.000	fotografías aéreas de muy gran escala
1/3.000 a 1/10.000	fotografías aéreas de gran escala
1/10.000 a 1/25.000	fotografías aéreas de escala media
1/25.000 a 1/60.000	fotografías aéreas de pequeña escala
1/60.000 y más pequeñas	fotografías aéreas de muy pequeña escala

Las fotografías aéreas de gran y muy gran escala se usan en los inventarios forestales en los que la estimación de los parámetros de masa se realiza principalmente por medio de medidas en las fotografías (fotogrametría). Este es el caso en algunos bosques templados con un número limitado de especies reconocibles, siendo los parámetros medidos la altura de los árboles dominantes y codominantes, la densidad de la cubierta de copas, el diámetro de copas individuales, etc.. Uno de los problemas a resolver es la estimación precisa de la altura de la cámara sobre el terreno (usada a su vez para obtener una apreciación exacta de la escala de los fotogramas).

Las escalas medias y pequeñas se usan generalmente sólo para estratificación, cartografía y estimación de las superficies arboladas en los inventarios forestales donde todos o la mayor parte de los parámetros se estiman por medio del trabajo de campo. La escala más apropiada en cada inventario forestal depende mucho del refinamiento con que se haya de hacer la estratificación y de los criterios usados para esta estratificación. Por ejemplo, será necesaria una escala media, si se han de reconocer especies individuales. Pero, si la estratificación no implica el reconocimiento de especies individuales, será suficiente una escala pequeña. Esto sucede muy a menudo en los bosques tropicales mezclados en los que la identificación de especies individuales no es factible actualmente, al menos a escalas más pequeñas que 1/10.000 y por esto no se usa como un criterio para la estratificación.

En muchos países tropicales las únicas fotografías utilizables tienen una escala pequeña ya que los reconocimientos aéreos fueron diseñados primeramente para cartografía topográfica y generalmente a una escala no más grande que 1/50.000.

El cuadro siguiente resume groseramente el uso de las distintas escalas de las fotografías aéreas para los inventarios forestales :

Tipo	Escala	Usos
Escala muy grande	1/200 - 1/3.000	Medidas fotogramétricas (estimación de parámetros de masa) o estratificación refinada basada en criterios <u>calculados</u> cuantitativamente.
Escala grande	1/3.000 - 1/10.000	
Escala media	1/10.000 - 1/25.000	Estratificación más amplia basada en criterios cualitativos, incluyendo presencia de especies o en criterios cuantitativos estimados (tales como densidad de copas o altura de los árboles dominantes).
Escala pequeña	1/25.000 - 1/50.000	Estratificación amplia, basada en criterios cualitativos, excluyendo en muchos casos la presencia de especies y en clases amplias de criterios cuantitativos.
Escala muy pequeña	< 1/50.000	

Las ventajas de fotografías de pequeña escala sobre fotografías de gran escala son :

1. El área cubierta por una fotografía es más grande.
2. Los costos del vuelo son más bajos.
3. Se necesitan menos fotografías para una cierta área y por lo tanto el mapeo es más rápido y más barato.
4. Se necesita menos control de terreno para el mapeo.
5. La escala así entre las fotografías como sobre el área de una fotografía es más uniforme.

más comunes y las más usadas hasta ahora. De hecho, la mayoría de los reconocimientos aéreos extensos para cartografía topográfica usan película pancromática. Estas fotografías son también las más conocidas por la mayoría de la gente. La sensibilidad espectral de la mayor parte de las películas pancromáticas fluctúa entre 0.36μ y 0.72μ . En muchos casos se usan con un filtro "minus blue" que intercepta la luz azul por debajo de 0.5μ . La resolución (en términos de líneas por milímetro registradas en la película), la velocidad y el grano varían considerablemente de una película a otra.

Las fotografías en color son mucho menos comunes y se usan generalmente para fines especiales o en superficies limitadas. Actualmente son solamente un poco más caras que las correspondientes fotografías pancromáticas. Se dice que, "el ojo humano puede separar combinaciones de colores (matices, tonalidades e intensidades) en número superior a 100 veces el de tonalidades de la escala de los grises (relación de 20,000 a 200)". La identificación de especies, así como la detección de masas enfermas, es más fácil en las fotografías aéreas en color que en las pancromáticas, de modo que es factible generalmente una estratificación más refinada.

321.22 Fotografías infrarrojas

La sensibilidad de las películas infrarrojas en blanco y negro abarca de 0.9μ a 1.0μ . Los filtros interceptan generalmente las longitudes de onda del azul y el azul-verde, de modo que la fluctuación de la sensibilidad es aproximadamente de 0.6μ a 0.9μ . Las principales diferencias para la interpretación forestal entre las películas en blanco y negro y la infrarroja son las siguientes :

- fácil distinción en las fotografías infrarrojas entre angiospermas (frondosas) y gimnospermas (coníferas);
- posible distinción entre los árboles sanos y enfermos de las frondosas en las fotografías infrarrojas;
- fácil diferenciación en las fotografías infrarrojas entre las superficies de aguas y tierra, y entre los suelos húmedos y secos : esto es particularmente útil para distinguir los bosques en suelos secos y pantanosos;
- mejor individualización de los árboles en las fotografías infrarrojas que en las pancromáticas; consecuentemente es más fácil delinear las masas que en las fotografías pancromáticas. Esto es válido especialmente en las escalas grandes.

Las películas infrarrojas en color (película "falso color" o la rusa "Spectrozonol") admiten para la reproducción en color la misma gama espectral que la película infrarroja en blanco y negro. Combina las ventajas de la reproducción en color (gran número de combinación de matices, tonalidades e intensidades de colores) y las de la detección del infrarrojo cercano (detección de humedad y de falta de vitalidad de la vegetación). La identificación de especies, y estratificaciones generalmente más refinadas basadas en la mezcla de suelos, composición de masas y salud de la vegetación, puede ser más fácil con este tipo de película que con los tres tipos anteriores. Generalmente la vegetación sana es roja y la vegetación menos vigorosa es rosada, pero esta distinción no es muy notoria en el trópico porque existen diferencias muy grandes entre los reflejos infrarrojos de árboles sanos de diferentes especies.

La adición de color a las fotografías hace posible un gran número de diferentes imágenes de falso color de la misma colección de una tira de fotogramas (ver párrafo 613).

321.3 Copias

Las copias (en medios opacos o transparentes) se obtienen de los negativos por copiadoras de contacto o por copiadoras electrónicas. La última es más económica y "tiene la ventaja de ajustarse en cada copia a la gama de densidades que aparecen en el negativo".^{1/} Esta es una ventaja para el mapeo pero puede ser una desventaja para la interpretación porque se pierde una parte del contraste tonal. Las "copias brillantes" con un alto contraste tienen la ventaja de una mayor gama de densidades pero en las "copias mates" puede escribirse fácilmente y el brillo reflejado por la superficie no es tan molesto para los ojos. Hoy día una superficie "semi-mate" o semi-brillante o brillante-mate se prefiere generalmente como un compromiso entre los dos tipos.^{1/} Los defectos posibles de las copias aéreas son numerosos y deben hacerse estipulaciones en los contratos de recubrimiento con el objeto de evitarlos tanto como sea posible. Son citados en el libro referido en ^{1/}; superficies borrosas, presiones de dedos, rayas de abrasión y raspaduras, burbujas, velo, rayaduras, manchas blancas irregulares, manchas negras irregulares, copias sin viveza, contraste excesivo (ver abajo), densidad demasiado alta o demasiado baja, ampollas, manchas pardas, coloraciones chillonas, desvanecimientos, imáge-

^{1/} De J.A.Koward, "Aerial photo-ecology", páginas 36-37.

nes dobles, marcas de secado, marcas de las barras de presión, huellas de pinzas o dedos, rayas oscuras, pequeñas zonas circulares sobreexpuestas.

321.4 Factores básicos de la calidad de la imagen

La interpretación de las fotografías aéreas depende de la habilidad del intérprete, del equipo usado y también, por supuesto, de las calidades de las fotografías. Estas cualidades pueden estimarse por medio de los tres factores principales siguientes :

- contraste tonal (o contraste de color para la fotografía en color) que se puede definir como "la diferencia efectiva, en el tono fotográfico o brillo, entre un rasgo particular que se va a interpretar y el fondo contra el cual está representado";
- "agudeza" que corresponde a "la brusquedad con la que un cambio parece ocurrir en la fotografía" : a más agudeza en la fotografía, más facilidad en la interpretación;
- "paralaje estereoscópico" que quiere decir, "la diferencia en la posición aparente de un rasgo tal como la cima de un árbol con respecto a otro rasgo tal como el pie del mismo árbol, causada por un traslado en el punto de observación". Se mide por la diferencia de paralaje D_p , y se relaciona con la diferencia de altura h entre estos dos rasgos por la fórmula siguiente :

$$h = \frac{H \times D_p}{P}$$

donde H es la altura de la cámara sobre el terreno y P es la "base aérea", a saber la distancia horizontal entre los dos puntos de observación; D_p se expresa como la suma de las proyecciones sobre la línea de vuelo en cada fotografía de las distancias entre los dos rasgos. Esta fórmula se usa en fotogrametría para la medición en las fotografías de cosas tales como las alturas de los árboles. Un instrumento de medida basado en esta fórmula es la barra de paralaje; un instrumento sencillo es la cuña de paralaje.

322 Características de los recubrimientos aéreos

322.1 Solapes y áreas efectivas

A lo largo de la misma línea de vuelo, las superficies cubiertas por dos fotografías sucesivas se solapan. Este sola-

pe se puede expresar como un porcentaje de la superficie cubierta por una fotografía y es llamado "solape longitudinal". El "solape transversal" corresponde al solape entre fotografías de líneas de vuelo paralelas adyacentes.

El solape longitudinal está usualmente entre el 55, al 65%, y el solape transversal es más variable, desde el 10% o más. Ambos solapes son necesarios para una buena interpretación estereoscópica y para la restitución para cartografiar la superficie inventariada.

El número N de fotografías correspondientes al recubrimiento aéreo de una superficie dada es aproximadamente igual a :

$$N = \frac{S \times e^2}{L^2(1-R_1)(1-R_2)}$$

donde e es la escala media del vuelo

L es el lado de una fotografía aérea

R_1 es el solape longitudinal (usualmente $0.55 < R_1 < 0.65$)

R_2 es el solape transversal (usualmente $R_2 > 0.10$)
(si S se expresa en Ha , L debe expresarse en hm)

Por ejemplo, supongamos que:

$$S = 1,000,000 \text{ Ha}$$

$$e = \frac{1}{20,000}$$

$$L = 23 \text{ cm} = 0.0023 \text{ hm (9 pulgadas)}$$

$$R_1 = 0.60$$

$$R_2 = 0.20$$

Tendremos:

$$N = 1,000,000 \times \left(\frac{1}{20,000}\right)^2 \times \frac{1}{(0.0023)^2 \times 0.40 \times 0.80} \approx 1,500$$

Se puede construir gráficos en los que es posible leer N para una escala dada, supuesto dados los solapes y el tamaño de las fotografías.

Debido a las variaciones significativas de la escala en superficies montañosas es recomendable pedir mayores solapes longitudinales (hasta el 80%) y transversales (hasta el 40%).

El área efectiva de una fotografía es el área encerrada por cuatro líneas de igualdad. (Match lines).

Una línea de igualdad es una línea perpendicular a la línea de vuelo, a media distancia del punto base y del punto base

conjugada o una línea, aproximadamente paralela al borde de la fotografía, que biseca el solape transversal.

322.2 Líneas de vuelo

Las líneas de vuelo deben ser teóricamente paralelas y equidistantes. Debido a muchos factores tales como la deriva del vuelo, inclinación y giro del avión, los solapes no son constantes.

Los gráficos de vuelo en papeles transparentes estables, donde se dibujan las líneas de vuelo con la indicación del centro de las fotografías sucesivas, son muy útiles y se deben exigir en cualquier contrato de vuelo.

322.3 Inclinación y rectificación

El declive y el giro del avión en vuelo se traducen en inclinaciones de la cámara, esto es, en la inclinación del eje de la cámara respecto a la vertical. De este modo, el plano de la fotografía no es exactamente horizontal. Las fotografías inclinadas se pueden rectificar, por ejemplo, proyectando sobre un plano horizontal de referencia, determinándose el ángulo entre el plano de la fotografía y el horizontal por reconocimientos en el terreno o por los datos del vuelo.

323 Algunos problemas relacionados con los recubrimientos aéreos

En muchos inventarios forestales es deseable obtener nuevas fotografías aéreas porque faltan en una parte o en la totalidad de la superficie a inventariar, o porque son demasiado antiguas (en el caso de que haya habido cambios rápidos en el uso de la tierra desde la fecha del recubrimiento anterior) o porque no tienen la escala o características deseables. Si se dispone de dinero y si el diseño de inventario incluye el uso de fotografías aéreas, se proyectará el reconocimiento aéreo.

Además de las especificaciones técnicas, se han de considerar algunos otros puntos, cuando se prepara un contrato de reconocimiento aéreo.

a) Restricciones del Gobierno:

Muchos gobiernos ejercen distintos grados de restricción sobre la obtención de fotografías aéreas. Es necesario investigar dónde está permitido el reconocimiento aéreo sobre la

superficie inventariada (en particular para contratistas extranjeros), si se permite el revelado fuera del país (cuando las facilidades locales para el revelado no satisfacen las especificaciones técnicas), etc.

b) Información preliminar que ha de recogerse:

A los efectos de estudiar una oferta de vuelo la investigación se hará en puntos tales como:

- época del vuelo, número de días aptos para hacer fotografías e información meteorológica general;
- topografía, terreno y altitudes en la superficie a fotografiar;
- documentación existente (mapas) y control del terreno;
- localización de aeropuertos con instalaciones de servicios;
- permisos requeridos, etc...

c) Costo y pago:

El costo de un reconocimiento aéreo no está determinado solamente por el tamaño de la superficie a inventariar para una escala y características dadas de los fotogramas. El posicionamiento (movilización y desmovilización) y los tiempos muertos pueden tener un peso importante, especialmente en países tropicales donde la cubierta de nubes es muchas veces un serio inconveniente. La base para el pago puede ser la fotografía solamente; la fotografía más el posicionamiento; las fotografías, posicionamiento y tiempos muertos; las fotografías, posicionamiento, tiempos muertos y horas de vuelo, o varias combinaciones. Es cuestión de ponderar los distintos componentes, cuando se reciben las ofertas, en un intento de asegurar que las fotografías se obtendrán a un precio razonable.

El siguiente ejemplo muestra la gama de costos por capítulo de acuerdo a la importancia relativa dada a ellos por los ofertantes. Se refiere a un vuelo hecho en 1972 a varias escalas sobre una superficie de 5,000 km² en un país tropical.

	Ofertas (en dólares ME.UU.)
1. Movilización	1,200 a 6,150
2. Desmovilización	<u>1,200 a 6,150</u>
Subtotal (posicionamiento)	2,400 a 12,300

3. Precio por km ² para fotografía pancromática a 1/15.000	4.73	a	7.98
4. Precio por km ² para fotografía infrarroja a 1/30.000	3.42	a	6.77
5. Precio por km ² para fotografía pancromática a 1/5.000	24.47	a	37.31
6. Precio por km ² para copias por contacto seminales del punto 3			
a) primera colección	0.17	a	0.75
b) segunda colección	0.13	a	0.35
c) colecciones subsiguientes hasta 6	0.13	a	0.30
7. Precio por km ² para copias por contacto seminales del punto 4			
a) primera colección	0.09	a	0.26
b) segunda colección	0.07	a	0.15
c) colecciones subsiguientes hasta 6	0.05	a	0.15
8. Precio por km ² para copias por contacto seminales del punto 5			
a) primera colección	3.00	a	5.71
b) segunda colección	1.60	a	3.00
c) colecciones subsiguientes hasta 6	1.53	a	3.00
9. Precio por gráfico de vuelo de las fotografías del punto 3 (la indicación de los gráficos se hará sobre mapas existentes topográficos a 1/50.000)	0.10	a	26.54
10. Precio por gráfico de vuelo de las fotografías del punto 4	0.10	a	1.21
11. Precio por gráfico de vuelo de las fotografías del punto 5	1.50	a	61.35
12. Precio por km ² para la ejecución de un mosaico incontrolado a una escala de 1/15.000 de las fotografías del punto 3 incluyendo una copia positiva de cada colección	1.41	a	3.66

324 Mosaicos

Algunas veces es útil usar un montaje de las fotografías aéreas con el objeto de formar un cuadro claro de la superficie inventariada o de una parte de ella. Este ensamblaje puede estar "compuesto por copias sin corregir, los detalles de los cuales se unen copia a copia sin control del terreno u otra orientación" y el mosaico se dice que es incontrolado. Un mosaico controlado está hecho de copias que han sido rectificadas y proporcionadas (con el objeto de que todas las fotografías tengan la misma escala media). Los mosaicos semi-controlados se hacen con fotografías corregidas o sin corregir ordenadas por medio de "una base común de orientación distinta a la de control del terreno".

Los mosaicos controlados no son sin embargo comparables a un mapa, ya que no están corregidas las variaciones debidas a las aberraciones de los lentes y los desplazamientos debidos a la topografía. Los mosaicos completamente corregidos son los ortofoto-mosaicos llamados también "ortofotomapas" (ver párrafo 614). Sin embargo, en terrenos llanos o ligeramente ondulados los mosaicos controlados se pueden usar como mapas planimétricos.

33 Fotointerpretación

Definición de fotointerpretación:-- Es el acto de examinar imágenes fotográficas con el propósito de identificar objetos y juzgar sus significados. (Definición dado por la Sociedad Americana de Fotogrametría).

La fotointerpretación en el inventario forestal consiste en la identificación en las fotografías aéreas y eventualmente en su delineación de las diferentes clases correspondientes a las clasificaciones adoptadas.

Algunas clases dentro de la superficie inventariada son relativamente fáciles de identificar y delinear, como las que están definidas por límites geográficos, tales como las clases correspondientes a propiedad, pertenencia, administración o fisiografía. La parte más importante y más interesante del trabajo de fotointerpretación en el inventario forestal está relacionada con la identificación (y eventualmente la delineación) de las distintas clases de uso de la tierra, vegetación, tipo de bosque y accesibilidad.

331 Cualidades de una buena fotointerpretación

Una buena fotointerpretación debe ser tan objetiva como sea posible. Aunque el análisis de las fotografías aéreas se hace a través de la observación directa y la interpretación por un ser humano, debe siempre basarse en una colección de criterios y definiciones precisas o claves. Este requerimiento es necesario por las dos principales razones siguientes :

- la fotointerpretación será tan uniforme como sea posible desde el principio al final del trabajo; las claves sirven como una referencia permanente para el fotointérprete;
- la fotointerpretación será tan consistente como sea posible, independientemente de los fotointérpretes, y las claves servirán para reducir las discrepancias entre ellos. Estas claves también sirven como una ayuda para los equipos de campo en el reconocimiento "in situ" de las diferentes clases de fotointerpretación y esto hace más fácil acoplar las clasificaciones de fotointerpretación y campo.

Los criterios usados para la clasificación en fotointerpretación serán fácilmente identificables en el terreno con el objeto de que también pueden usarse en el inventario de campo. En otras palabras, las clasificaciones diseñadas con base en parámetros fotográficos, tales como cubierta de copas, altura de árboles dominantes, humedad del suelo, detalles topográficos, deben ser significativos y aceptables para una persona sobre el terreno; de otro modo serán inútiles para el inventario. En muchos inventarios el trabajo de fotointerpretación y el inventario de campo se han hecho independientemente, con el resultado que el trabajo de fotointerpretación usado para la cartografía forestal no ha servido para reducir el error de muestreo de los resultados del inventario y, reciprocamente, estos resultados no pueden aplicarse a la clase de bosques individuales delineados en los mapas. Puede suceder que cambios en la cubierta arborea desde la toma de las fotografías aéreas, o errores en la fotointerpretación, introduzcan alguna discrepancia entre los resultados de la fotointerpretación y el trabajo de campo. Estas discrepancias pueden tomarse en cuenta en el diseño del inventario teniendo cuidado de que las clasificaciones de las superficies de bosque usadas en la fotointerpretación y en el campo sean básicamente las mismas.

Como una consecuencia de los requerimientos anteriores (objetividad y posibilidad para el uso en el campo), las cla-

sificaciones de fotointerpretación no deben ser demasiado refinadas. Si lo son, los riesgos de errores, de inconsistencias a través del tiempo y entre los intérpretes, y de discrepancias con las observaciones de campo, se incrementan y consiguientemente resulta una pobre realización.

332 Interpretación estereoscópica

332.1 La vista estereoscópica - habilidad de apreciar la profundidad

La habilidad de apreciar la profundidad varía de una persona a otra. Algunas personas no pueden ver en relieve, pero estiman la profundidad por otras maneras. Por ejemplo, sabemos todos que los objetos cercanos son más grandes, más claros y más detallados que los objetos distantes, y que los objetos cercanos obstruyen la vista de los objetos distantes.

Estos indicios monoculares pueden confundir el juicio de la profundidad del intérprete y por lo tanto el intérprete debe confiar en la vista binocular verdadero para hacer una interpretación exacta.

Normalmente los ojos nos dan dos vistas algo diferentes de la misma escena. Estas dos imágenes son fusionados por el cerebro dándonos la impresión de un modelo tri-dimensional. Si, en vez de mirar la escena original, observamos fotografías de esta escena tomadas de dos puntos diferentes, podemos obtener un modelo tri-dimensional de las dos fotografías bi-dimensionales.

La interpretación de fotografías aéreas convencionales debe hacerse siempre estereoscópicamente con el objeto de beneficiarse de la visión en relieve que, de acuerdo con muchos especialistas, se considera uno de los componentes más efectivos de la interpretación. La observación de una fotografía sola y de un mosaico puede, por supuesto, suministrar información muy útil, pero en menor grado.

332.2 Requisitos para fotografías estereoscópicas

(a). Las fotografías deben solaparse y así mostrar imágenes de la misma área.

(b). El eje de la cámara debería estar aproximadamente en el mismo plano.

(c). La razón B/Z , en la cual B = distancia entre dos estaciones de exposición, y Z = la altura de vuelo sobre el terreno, debe tener un valor apropiado. Esta razón se llama : razón base/altura.

Si esta razón es demasiado pequeña (más pequeña que 0.02) podemos obtener una fusión de las imágenes, pero la impresión de la profundidad no es mejor que ella después de haber observado una sola fotografía.

El valor de B/Z no es conocido, pero es probablemente en la región de 0.25.

(d). La escala de las fotografías debería ser aproximadamente la misma. Para observaciones y mediciones continuas, diferencias más grandes que 5% pueden dar problemas.

332.3 Los estereoscopios

Los estereoscopios se clasifican en tres categorías: estereoscopios de lentes, estereoscopios de espejos y estereoscopios de aplicaciones especiales.

Los estereoscopios de lentes generalmente son instrumentos pequeños, con lentes de aumento (2 a 4) separados por una distancia igual al espacio interpupilar. Se pueden usar fácilmente en el campo, pero tienen inconvenientes tales como su limitado poder de aumento, la imposibilidad de visión de la superficie estereoscópica total a lo largo de la línea de vuelo sin levantar el borde de una de las fotografías, y la imposibilidad de visión de la superficie estereoscópica total a través de la línea de vuelo sin trasladar el estereoscopio o las fotografías.

Los estereoscopios de espejos usan una combinación de prismas, espejos y lentes para evitar los defectos mencionados anteriormente de los estereoscopios de lentes. Son los instrumentos básicos de fotointerpretación en el gabinete. Diferentes tipos de mecanismos hacen posible examinar la superficie total con gran aumento, sea por movimiento de la superficie en que estén colocadas las fotografías, o por movimiento de la totalidad del juego óptico, o solamente de los espejos (estereoscopio examinante Old Delft).

De los estereoscopios para aplicaciones especiales unos se han diseñado para permitir la visión estereoscópica de varias fotografías sucesivas de la misma pasada; otros se han diseñado con fines de entrenamiento y permiten la visión simultánea de las mismas fotografías por dos intérpretes.

332.4 Orientación de un par estereoscópico debajo de un estereoscopio de espejos

1. La base del ojo del intérprete debe medirse. Esto puede fácilmente hacerse con una regla.

2. La base del instrumento debe determinarse para esta base del ojo. Esto puede hacerse como sigue :

- (a). Ajuste el instrumento a la base del ojo requerida y enfoque a los binoculares.
- (b). Trace una línea recta en un pedazo de papel (aproximadamente 30cm) y marque un punto "A" al fin de la línea.
- (c). Coloque el papel debajo del estereoscopio de tal manera de que el punto A aparezca en el centro del área de vista del ojo izquierdo.
- (d). Cheque que cuando vea con ambos ojos solamente una línea sea visible. En caso contrario mueva el papel hasta que las partes de la línea que vea por cada ojo coincidan.
- (e). Solo vea con el ojo derecho y marque un punto "B" en la línea en el centro del área de vista.

La distancia AB es la base del instrumento para este estereoscopio, ajustada a esta base del ojo.

3. Un par estereoscópico de fotografías debe prepararse.

- (a). El punto base de cada fotografía debe localizarse.
- (b). Los puntos base conjugados deben localizarse. Un punto base conjugado es el punto en una fotografía que corresponde exactamente al punto base de la fotografía adyacente.
- (c). Las líneas de vuelo deben trazarse en las fotografías.

La línea de vuelo es la línea que conecta el punto base al punto base conjugado.

4. Arregle las fotografías de tal manera que :

- (a). Las líneas de vuelo se alínean
- (b). La separación de las fotografías esté igual a la base del instrumento.

Esto puede verificarse por medición de la distancia entre el punto base en una fotografía y el punto base conjugado en la otra.

Las líneas siempre deberían coincidir cuando se vean con ambos ojos :

La base del ojo, la base del instrumento y la base de la fotografía entonces están paralelas y el modelo estereoscópico puede verse sin fatiga para los ojos.

333 La fotointerpretación

333.1 Técnica de la fotointerpretación

La interpretación debe hacerse metódicamente. Se aconseja interpretar una facción o grupo de facciones a la vez, empezando con la más amplia hasta llegar a las menos amplias :

- Facciones de transporte y de accesibilidad (carreteras, ríos navegables etc...)
- Facciones de drenaje
- Areas boscosas
- Areas no boscosas
- Tipos de bosque
- etc....

También es mejor proceder de las facciones conocidas hasta las facciones desconocidas. La facción identificable ya puede compararse con la facción no identificable. Al comparar un objeto con otro es posible, a menudo, identificar o clasificar los dos objetos.

Cuando se hace esta comparación hay que considerar varios factores, de los cuales :

(1) tamaño y altura, (2) forma, (3) sombra, (4) contraste tonal o de color, (5) patrón, (6) textura, (7) sitio y (8) asociación, son los más importantes.

Ocasionalmente un solo factor será suficiente para identificar o clasificar un objeto o un grupo de objetos, pero más a menudo diversos factores deberán ser considerados.

(1). Tamaño y Altura

El tamaño y la altura de un objeto, tomados individualmente o ambos a la vez, son dos de los indicios más útiles para su identificación; al medir un objeto desconocido en una fotografía aérea el intérprete a menudo puede eliminar grupos enteros de identificaciones posibles.

Ejemplo : Utilizando este indicio podemos hacer inmediatamente una distinción entre bosque denso, chaparral y sabana. Es un ejemplo exagerado pero sirve para ilustrar este punto.

(2). Forma

La forma de un objeto es un indicio importante para su identificación.

Frecuentemente objetos tienen formas poco familiares cuando vistos de arriba, pero con mayor práctica el intérprete fácilmente reconocerá objetos en la fotografía que le son familiares cuando vistos del ángulo normal.

Ejemplo : Si interpretamos una área cerca de un río sinuoso e identificamos la forma de un codo, podemos concluir inmediatamente que el bosque situado dentro del codo probablemente es un bosque de tipo aguajal; entonces hemos clasificado una área del bosque puramente por su forma.

(3). Sombra

Este factor es asociado estrechamente con la forma y, en realidad, podemos a menudo identificar la forma de un objeto simplemente al estudiar su sombra. La forma de la copa de un árbol o de un grupo de copas es una ayuda importante para la identificación. La forma puede ser no aparente de la imagen en la fotografía, pero las sombras, proyectadas por estos árboles, pueden ser claramente visibles.

Ejemplo : Si hay una faja de alta vegetación a la orilla de un río, proyectando sombras largas pero estrechas en el río, podemos inmediatamente concluir que la vegetación muy probablemente es un manglar.

Nota : Un aspecto interesante de la sombra es que el intérprete siempre deberá reglar las fotografías de tal manera que las sombras caigan en su dirección o a un lado. Si las sombras caen fuera de él, el intérprete, muchas veces, tendrá la impresión que objetos altos son bajos y objetos bajos, altos. Esto puede explicarse por el hecho de que, en la actualidad, estamos acostumbrados de ver sombras que caen en nuestra dirección o a un lado, mientras que sombras que caen fuera de nosotros normalmente son oscurecidas por el objeto que proyecta las sombras.

(4) Contraste tonal o de color

La tonalidad se refiere a las varias matrices de gris representados en fotografías en blanco y negro. La tonalidad gris de un objeto no siempre puede ser el mismo en condiciones diferentes. El agua puede representarse en tonalidades variando de negro hasta blanco, dependiendo de la importancia de la reflexión del sol. Una área de suelo puede aparecer con una tonalidad clara cuando está seco y con una tonalidad oscura cuando está húmeda. La tonalidad es un factor muy importante a considerar en la delineación de tipos de bosque. Ejemplo : El bosque de sabana alto generalmente está representado por una tonalidad gris uniforme, mientras que el bos-

que mixto de terreno seco aparece como una mistura de tonalidades claras y oscuras.

El color es probablemente el tipo de película más provechosa para la identificación de especies porque el ojo humano puede separar combinaciones de colores en número superior a 100 veces el de tonalidades de las escalas de los grises (relación de 20,000 a 200).

(5). Patrón

Una diferencia en el patrón vegetativo a menudo indica las actividades anteriores o presentes del hombre. La mayor parte de estas actividades deja cicatrices en la superficie de la tierra, las cuales son visibles por mucho tiempo después que han cesado las actividades. Estos patrones a veces nos dan un indicio del tipo del terreno y por esto del tipo de bosque.

Ejemplo : El patrón dejado por la agricultura itinerante es muy distintivo. Cuando se ve este patrón se puede concluir que, en la vecindad inmediata, se encontrará un tipo de bosque de terreno seco.

(6). Textura

La textura en las fotografías aéreas es creada por la repetición de tonalidades y de alturas en un grupo de objetos. Es posiblemente el factor más importante a considerar en la delineación de tipos de bosque.

Ejemplo : El bosque de sabana alto tiene una altura relativamente igual y una tonalidad muy uniforme. El bosque mixto de terreno seco tiene una apariencia mucho más interrumpida y es representado por una mistura de tonalidades claras y oscuras que acentúan la textura desigual de este tipo de bosque.

(7). Sitio

Al considerar el sitio, el intérprete tiene que preguntarse :

- ¿ El área esta situada cerca de un río o de un cuerpo de agua?
- ¿ El terreno es suave?
- ¿ Si es suave, es un terreno bajo o alto?
- ¿ Si no es suave, como son las pendientes ? ¿ Suaves, fuertes?
- etc...

Las repuestas a estas preguntas darán al intérprete una

idea del tipo de terreno : seco, húmedo, plano, accidentado etc..., indicios preciosos para la identificación del tipo de bosque.

(8). Asociación

"Asociación" significa que algunos objetos son enlazados a tal punto con otros que, si podemos identificar a uno de ellos, podemos asumir que los otros también son presentes. A veces podemos reconocer un objeto (o grupo de objetos) que nos dan un indicio valioso para la vegetación circundante, la cuál en sí mismo no puede ser particularmente distintiva. La presencia de un objeto también puede inducirnos a mirar más atentamente a otros objetos que son muy asociados con el primero.

Ejemplo : La presencia de concentraciones de palmas es un indicio que el bosque es estudio es probablemente del tipo agual. Las palmas pueden reconocerse fácilmente porque, usualmente tienen una tonalidad muy clara y se presentan en forma de una estrella.

Todos estos factores se enlazan estrechamente y, a menudo, se solapan parcialmente. Ya sea que estén estudiados individualmente o en grupos, dirigen el intérprete a hacer una interpretación exacta e imparcial.

333.2 Auxilios para la interpretación

Siempre debe tenerse presente que la fotointerpretación es un paso hacia la preparación de un mapa de tipos de bosque, que se usará como un "instrumento" para el inventario. El intérprete se preocupará solamente con las informaciones que son útiles para la ejecución del inventario. Si un mapa contiene demasiado información llega a ser difícil a leer y, por eso, menos útil.

(1). Mosaicos

Un estudio preliminar de los mosaicos del área, si están disponibles, siempre es útil. Se pueden delinear los principales tipos de bosque y dibujar el patrón general de drenaje, y de esta manera se puede obtener una imagen global del área en estudio.

(2). Mapas

Será preciso obtener mapas topográficos porque se usarán como mapas base para la compilación del mapa de los tipos de bosque. Estos mapas nos dan una imagen exacta del patrón de drenaje y la gama de condiciones de pendientes que se encuentran en el área. Esto puede dar al intérprete unos indicios iniciales acerca de los tipos de bosque que espera encontrar. Convendría verificar si existen otros mapas del área, además de los mapas topográficos.

Mapas planimétricos (muy importante si no existen mapas topográficos), del suelo, del uso de la tierra etc... pueden suministrar indicios valiosos al intérprete.

(3). Claves de fotointerpretación

La preparación de las claves de fotointerpretación siempre se considerará una parte importante del trabajo de fotointerpretación, y se invertirá el tiempo suficiente en ella. Como es esencial que la clasificación utilizada en la fotointerpretación sea fácilmente utilizable en el campo, se han de efectuar muchas parcelas en el campo en los diferentes tipos de vegetación y bosque. Una clave estará siempre apoyada en una colección de estereogramas testigos, estando ilustrada cada clave por uno o más estereogramas. Si la densidad de cubierta de copas se usa como un criterio para la estratificación, se puede usar "escalas de densidad" reproduciendo cubiertas de copas con diferentes porcentajes de espesura de copas.

(4). Códigos

Cuando una superficie del bosque ha sido delineada en la fotografía, hay que identificarla de algún modo. El método más fácil es dar un código a cada tipo de bosque. El uso de códigos permite al intérprete agrupar los tipos de bosque, así como terrenos secos ó húmedos, terrenos altos y bajos, dando el mismo prefijo a los tipos de bosque que pertenecen a cada grupo.

De esta manera el mapa de los tipos de bosque se loará mucho más fácilmente, porque el lector no necesitará consultar constantemente la leyenda a fin de determinar cuales son los tipos de bosque generales.

La forma en la cual se dará esos códigos es una cuestión de juicio personal, pero conviene de mantenerla tan breve que sea posible, y una vez que un sistema ha sido desarrollado, debería ser aplicado durante todo el trabajo.

Por ejemplo : Para nuestro trabajo hemos dado el prefijo (1) a los bosques de terreno suave, (2) a los bosques de las colinas bajas y (3) a los bosques en las colinas altas.

(5). Informes

Será preciso leer los informes acerca de previas actividades en el área en estudio. Esos informes podrían contener informaciones sobre los tipos de bosque, la extensión del bosque explotado, medios de acceso y muchas otras cosas que pueden ser útiles al intérprete.

334. Fotointerpretación por parcelas y fotointerpretación con delineación

334.1 Introducción

En un inventario forestal a gran escala, la cartografía puede no ser un objetivo del trabajo, por considerar suficiente para estimar las superficies de los diferentes tipos de bosques la realización de un muestreo de parcelas en las fotografías aéreas, sin delineación de las clases en las fotografías y sin transferencia de los límites a los mapas planimétricos o topográficos.

La fotointerpretación por parcelas generalmente es más satisfactoria que la fotointerpretación con delineación. Es un hecho comprobado que es a menudo difícil dibujar un límite exacto entre clases; alguna subjetividad es inevitable en zonas de transición entre tipos de vegetación y tipos de bosques. La fotointerpretación por parcelas está menos expuesta a la subjetividad. La estimación de la superficie del mismo tipo de bosque por el mismo fotointérprete puede ser significativamente diferente bajo cada uno de los dos métodos, y esta diferencia ser debida enteramente al diseño de muestreo usado para la fotointerpretación por parcelas. Es preferible en muchos casos aceptar un error de muestreo conocido con datos básicos válidos (fotointerpretación por parcelas) que valores de superficies no sujetos a errores de muestreo, pero sujetos a sesgos subjetivos desconocidos (fotointerpretación con delineación).

334.2 Fotointerpretación de parcelas

- En la fotointerpretación sin delineación, las parcelas de igual tamaño se usarán siempre mejor que puntos, de modo que la contribución de los tipos de vegetación o bosques se da siempre en la misma superficie de referencia. (En la foto-

interpretación con delimitación la contribución de las superficies de las diferentes clases se puede hacer por puntos contados en las fotografías, o en mapas a los que se ha transferido la información de las fotografías). Las parcelas son generalmente circulares con un radio de dos o más milímetros en una fotografía. Esta parcela circular se imprime generalmente en un material transparente estable que se sitúa en cada fotografía. Si el recubrimiento aéreo en un inventario se basa en más de una escala, es mejor conservar las parcelas de un tamaño constante; de este modo, los círculos impresos en el superponible transparente variarán de tamaño de acuerdo con la escala.

Una parcela se asigna a una clase dada si más del 50% de su superficie pertenece a esa clase. El parámetro correspondiente para esta clase tiene el valor de 1 en esta parcela; en una parcela no asignada a esta clase el valor 0. La preparación de la superficie total cubierta por una clase de fotografía interpretada dada y el error típico se estiman por las fórmulas dadas en el párrafo 53.

- Diseño de muestreo

En principio, el muestreo de las parcelas a interpretar se hará con base en un mapa o un mosaico y las parcelas de este modo seleccionadas transferidas a las fotografías. La selección puede ser al azar o sistemática sobre la totalidad de la superficie a inventariar o sobre cada estrato ya delimitado en el mapa (tales como las unidades administrativas o fisiográficas).

Por motivos de conveniencia la selección de las parcelas de muestreo se hace a menudo directamente sobre las fotografías. La superficie útil de una fotografía se admite que es un rectángulo en la parte central, los lados del cual se determinan de los solapes medios transversal y longitudinal del recubrimiento aéreo. Las parcelas se seleccionan en cada rectángulo de acuerdo a un diseño sistemático o al azar. Si la topografía es llana y los solapes son aproximadamente constantes, cuando se haga una distribución sistemática de las parcelas en cada fotografía resultará aproximadamente una distribución sistemática sobre la superficie inventariada.

Debido a variaciones en la escala y en los solapes la intensidad del muestreo - que es la misma en cada rectángulo - varía de una fotografía a la próxima. Ha de aplicarse un factor de corrección a todas las parcelas de una fotografía dada (o grupos de fotografías de aproximadamente la misma escala y teniendo los mismos solapes) para tener en cuenta las

variaciones en la intensidad de muestreo cuando son significativas. 1/

Se puede elegir un muestreo sistemático o al azar de las fotografías para su interpretación en lugar de tener que interpretar todas las fotografías. En este caso la selección corresponde a un diseño de muestreo bietápico, siendo las superficies útiles rectangulares de las fotografías las unidades primarias y las parcelas las unidades secundarias.

334.3 Fotointerpretación con delineación

Cuando se solicita cartografía forestal, las distintas clases se pueden delinear en las fotografías. Ha de dibujarse primero la superficie útil de cada fotografía y la delineación en esta fotografía se limitará a la superficie útil. Instrucciones detalladas tienen que especificar la dimensión de terreno mínimo representable (en relación tanto con la escala de la fotografía como con el mapa final), la precisión del dibujo, y otros puntos tales como el grado de iluminación de las fotografías bajo el estereoscopio, tipo de pluma o lápiz a usar, borrado de líneas equivocadas, etc.

4 Cartografía forestal a partir de fotografías aéreas convencionales

41 Introducción

La cartografía se hace generalmente una vez que se ha completado la interpretación de las fotografías aéreas y el dibujo en las fotografías de las diferentes clases de bosque y vegetación. Este ocurre necesariamente cuando la cartografía se hace usando restituidores no estereoscópicos (ver párrafo 42). Cuando se usan estereo-restituidores, es posible hacer la fotointerpretación y la transferencia simultáneamente, dado que el operador tiene una visión estereoscópica de la superficie a cartografiar. Los estereorestituidores, de tercer orden se pueden comprar y usarse dentro de la organización de los trabajos de inventario, mientras que los estereorestituidores de primero y segundo orden son propiedad generalmente de compañías o institutos fotogramétricos.

Como ya se estableció en el subcapítulo 1, suponemos que

1/ Existen otros métodos de corrección más sofisticados: uno de ellos consiste en determinar la superficie útil de cada fotografía y usar un factor de corrección relacionado con la escala de la fotografía.

existe sobre la totalidad de la superficie inventariada una cartografía planimétrica o topografía aceptable y a una escala adecuada.

42 Transferencia con fotografías simples

En este caso, durante la transferencia el operador no tiene la visión estereoscópica de la superficie a cartografiar, ya que solamente se utiliza una fotografía cada vez. La interpretación estereoscópica se supone que ha sido realizada antes de la tarea cartográfica y no se puede contrastar ni corregir eventualmente durante la mapificación; esto es un serio inconveniente, pero por otra parte el equipo usado es sencillo y poco costoso. Los instrumentos permitirán la adaptación de la escala de la fotografía a la del mapa que se va a dibujar. Los ajustes de la fotografía alrededor de su centro deben ser posibles con objeto de rectificar la fotografía si es necesario, para tener en cuenta los desplazamientos del relieve y, además, poner en coincidencia óptica los mismos detalles del terreno en la fotografía y el mapa. Para evitar excesivas manipulaciones de las fotografías el caso de las líneas de interpretación debe limitarse a la superficie útil central de cada fotografía (ver párrafo 334.3)

Los instrumentos usuales están basados en el principio de la cámara clara y la mayoría de ellos se denominan Sketchmasters (Zeiss Aerosketchmaster, Aero Service Universal and Vertical Sketchmaster, Abrams Oblique Sketchmaster). La descripción siguiente de este tipo de instrumentos se ha obtenido de "Manual of Photogrammetry: "El observador percibe dos imágenes superpuestas, una de la fotografía y otra del manuscrito (mapa). Este resultado se alcanza por medio de un espejo semi-transparente que a la vez transmite y refleja la luz. El ojo recibe la imagen del manuscrito por luz transmitida. El operador puede ajustar el instrumento de modo que las imágenes seleccionadas en la fotografía coincidan con sus verdaderas posiciones en el manuscrito. La mayoría de los instrumentos de cámara clara se pueden subir o bajar para cambiar la escala o inclinar para compensar las inclinaciones de las fotografías". La relación de escalas de la fotografía y del mapa generalmente puede ser de hasta 1:3 o 1:4.

Este tipo de instrumento se recomienda particularmente para el paso de detalles de fotografías sencillas si el relieve no es demasiado fuerte y los estratos no muy pequeños y no demasiado complicados. Se no sucede así, será más eficaz hacer una transferencia visual, sin el uso de ningún instrumento.

Técnica

- 1) Sujete la fotografía en la placa de atrás con botones magnéticos.
- 2) Coloque el mapa base debajo del ocular.
- 3) Ajuste la iluminación en el mapa así como en la fotografía a fin de que ambos se obtiene una imagen clara. Para obtener esta iluminación balanceada se puede usar lentes ahumados que se colocan entre el ocular y el mapa o la fotografía.
- 4) El sistema más exacto que se usa para la transferencia de los detalles es de trabajar en triángulos, porque los tres puntos del triángulo de la fotografía siempre caberán en los mismos tres puntos del mapa. No obstante este sistema es dependiente de la disponibilidad de un largo número de puntos de control. Un punto de control es un punto que se puede señalar con precisión en el mapa así como en la fotografía (confluencia de riacuelos, islas, claros, cimas de colinas, caseríos, etc).
El ajustamiento de los puntos de control de la fotografía a los puntos de control del mapa se puede hacer por inclinación de la placa en la cual está colocada la fotografía y/o cambiando la escala de la imagen de la fotografía o del mapa usando uno de los lentes de corrección de escala.
- 5) Cuando un triángulo cabe exactamente, los detalles dentro de esta área pueden dibujarse en el mapa. Un triángulo lindante puede ajustarse en el mapa de la misma manera.
- 6) Cuando no hay bastante puntos de control para el mapeo del área entera en triángulos, se usará una técnica ligeramente diferente.
Se dibuja primeramente las áreas donde existen puntos de control. Los detalles de las áreas sobrantes se transferirán usando cualquier control disponible. Si esto se hace radialmente de las áreas controladas se evitarán errores mayores.

43 Transferencia con pares estereoscópicos

La ventaja principal de este tipo de transferencia sobre el uso de fotografías simples es que permite una fotointerpretación simultánea, con comprobaciones y posibles correccio-

nes del trabajo de fotointerpretación si ya se ha efectuado este.

Los instrumentos más simples y más usuales pertenecen a dos grupos :

- Los restituidores estereoscópicos radiales (de tercer orden), tales como el Kail Plotter o el Hilger and Watts Plotter, cuyo principio es el siguiente : cada punto del terrenocorresponde a la intersección de dos líneas, cada una de las cuales pasa por el centro de cada una de las dos fotografías ("líneas radiales"): las dos líneas se mueven de modo que se cortan en puntos a lo largo del límite entre clases de bosques, y un mecanismo liga su intersección, posiblemente a través de un pantógrafo, a un lápiz trazador que las dibuja en el mapa de referencia o manuscrito. Estos instrumentos no tienen corrección para la inclinación y son difíciles de usar para transferir detalles próximos a la línea de vuelo.

- El Multiscope y el Hilger and Watts Stereosketch constan básicamente de un estereoscopio de espejos combinado con una cámara clara. Las mesas portafotos del primer instrumento (o la mesa del segundo) puede inclinarse para rectificar la imagen fotográfica y tomar en cuenta el desplazamiento debido al relieve. Además las escalas se pueden ajustar cambiando diferentes juegos de lentes o subiendo o bajando la mesa de dibujo (Stereosketch).

Muchos estereorestituidores sofisticados utilizan el principio de fusión de las marcas flotantes (por ejemplo una barra de paralaje), tales como el Zeiss Stereopret o algunos restituidores de tercer orden (Zeiss Stereotope o S.O.H. Stereoflex).

5 Estimación de superficies por fotografías aéreas y mapas

51 Observaciones previas

Como ya se ha mencionado en el párrafo 334, la estimación de las superficies de las diferentes clases de bosque y vegetación no requiere la cartografía de estas superficies; una estimación objetiva se puede llevar a cabo asignando a cada parcela fotográfica de una muestra, por medio de la fotointerpretación, su clase de bosque o vegetación, siempre que el diseño de muestreo sea bueno y se apliquen factores de corrección para tener en cuenta las variaciones posibles en escala y solape de las fotografías.

La precisión de los resultados de superficie será del mismo orden de magnitud que el error total de estas estimaciones (errores de muestreo y de medida) : no intentaremos obtener los resultados de superficies con errores próximos a la hectárea si el error total se espera sea de alrededor de 100 hectáreas.

Los resultados de superficie se darán en el sistema métrico siempre que sea posible. Si se usa el sistema inglés, se darán en ambas unidades inglesas y métricas, como se pide en todos los inventarios efectuados por la FAO.

Sea el que fuere el método usado para la estimación de superficies en los mapas, la precisión de la estimación será más alta en las escalas más grandes. Esto demuestra la importancia de transferir los detalles de las fotografías a mapas con una escala que no sea mucho más pequeña que la de las fotografías.

En los mapas forestales, las manchas con dimensiones más pequeñas que un cierto mínimo no se representan. Esta medida es generalmente necesaria para evitar dificultades en la lectura del mapa, pero puede inducir a estimaciones sesgadas en algunas clases de bosque. El caso más obvio de tal sesgo es cuando se ha hecho una clasificación de bosques de acuerdo con el tamaño individual de las manchas forestales, la superficie de las clases de bosques correspondientes a las manchas más pequeñas se subestimará. Este problema debe tenerse en cuenta particularmente cuando se estiman superficies forestales en mapas de pequeña escala.

Un requisito previo fundamental para la estimación de superficies en los mapas es que éstos deben estar dibujados en un papel con un alto coeficiente de estabilidad dimensional. Esto es particularmente cierto para los mapas dibujados en papel vegetal; en papel vegetal comercial corriente puede dilatarse hasta el 15%. Son fácilmente adquiribles muchos materiales con una base estable (con base poliéster o base estar, siendo la última menos estable), y es altamente recomendable que se usen para cartografía con el objeto de evitar sesgos considerables y desconocidos en la estimación de superficies.

Hay varias maneras de medir las superficies en los mapas. Las indicaciones dadas más abajo se refieren solamente a la planimetría y a métodos basados en técnicas de muestreo, ya que los otros se estiman menos prácticos en la mayoría de los casos (tales como uno que usa fórmulas geométricas y coordenadas o el que está basado en pesadas).

52 Mediciones directas por planimetría sobre mapas

Los planímetros manuales se han usado durante cierto tiempo y ahora existen los planímetros electrónicos más exactos y rápidos, tales como el Stanley Cintel Electronic Planimeter o el Kimoto Electronic Scanning Planimeter. Además de la necesidad del papel dimensionalmente estable, mencionado antes, tienen que tomarse otras precauciones, entre los que se pueden citar los siguientes :

- a) comprobar la constante del instrumento mediante medidas sobre el papel de una superficie conocida;
- b) comprobar que la rueda de medida es paralela al brazo trazador;
- c) evitar cualquier deslizamiento de la rueda de medida durante la operación;
- d) efectuar un número suficiente de medidas con el objeto de reducir el error.

A menos que sea utilizable un planímetro electrónico, es aconsejable usar métodos estadísticos (especialmente el sistema de retículo de puntos) ya que están menos expuestos a errores de medida y permiten un cálculo del error de muestreo.

53 Métodos de estimación basados en técnicas de muestreo

531 Estimación de superficies en mapas

Dentro de un conocimiento exacto de la superficie total (sobre toda la superficie del mapa, por ejemplo), el principio de este método es determinar la proporción de la superficie ocupada por una clase forestal dada. La estimación de esta proporción se obtiene por una de las dos relaciones sistemáticas :

- puntos, a cada uno de los cuales se les aplica el valor 1 si está dentro de la clase forestal ó 0 si está fuera (sistema de retículo de puntos);
- o líneas paralelas (o "trayectos") a cada una de las cuales se les aplica la parte de su longitud dentro de la clase forestal; el sistema de trayectos se usa menos que el sistema del retículo de puntos, ya que tienen que medirse longitudes.

Las superficies de las clases forestales se estiman multiplicando el número de puntos dentro de la clase (sistema de

retículo de puntos), o la suma de las longitudes de las partes de trayecto dentro de la clase, por un factor de estimación de superficie (superficie de la unidad cuadrada del retículo de puntos o unidad de longitud multiplicada por la distancia entre dos trayectos contiguos).

531.1 El error

Varios autores han trabajado en el problema de la estimación del error en las mediciones con el retículo de puntos, y se han desarrollado fórmulas de error. Una aproximación aceptable del error típico viene dado por la fórmula siguiente (según Chevron -1971) :

$$e (\%) = 56.5 \frac{\sqrt{k}}{n^{3/4}}$$

donde :

- e (%) es el error en tanto por ciento de la superficie estimada de una clase de bosque;
- n es el número de puntos encontrado dentro de esta clase de bosque;
- k es un factor dependiente de la forma de la superficie, y que aumenta cuando la superficie se hace más irregular; para las formas más regulares el valor de este coeficiente varía de 5 a 7.

Tomando un valor conservador para k igual a 7 tendremos aproximadamente

$$e(\%) = \frac{150}{n^{3/4}} \text{ correspondiendo a los siguientes valores de n :}$$

e(%)	10	5	2	1	0.5
n	37	93	310	780	1,970

Cada conteo de puntos debe efectuarse cuidadosamente y repetirse preferiblemente por otro operador. Si los dos conteos difieren significativamente, al menos ha de efectuarse otro conteo. Se recomienda el uso de pequeños contadores manuales con el objeto de evitar equivocaciones en la enumeración. El conteo se puede limitar a las partes marginales de la superficie, dividiendo la parte central en rectángulos o cuadrados de superficie conocida. Si se encuentra una ligera discrepancia entre la suma de las superficies de las clases de bosque estimados por conteo de puntos y el valor exacto

conocido de este total, cada superficie individual ha de corregirse por la razón de este valor exacto y el del total estimado.

531.2 Retículos de puntos ; construcción y error

Retículos de puntos se hacen de material transparente en lo cual puntos se espacian sistemáticamente.

Si se conoce la escala del mapa y, conociendo también la distancia entre los puntos, el área representado por un punto puede calcularse.

Este valor, multiplicado por el número total de puntos contados en una área, da la superficie del área. La exactitud del cálculo también puede computarse. La fórmula se basa sobre la distribución binomial :

$$S_1\%{}^2 = \frac{(100 - P) \times 38,400}{P \times N} \quad (1)$$

en la cual

- N = número total de los puntos en toda el área
- P = atributo porcentual de la sub-área en cuestión
- $S_1\%$ = coeficiente de variación de la sub-área
- 38,400 = factor derivado del producto $t^2 \times 100^2$, en lo cual t = factor t para el nivel de probabilidad de 95% (= 1.96)

Contrariamente, el número de puntos necesario para una área total (N), con un coeficiente de variación pre-fijado ($S_1\%$), puede calcularse cambiando la fórmula (1) como sigue :

$$N = \frac{(100 - P) \times 38,400}{P \times S_1\%{}^2} \quad (2)$$

Siempre el atributo porcentual (P) de la subárea (B) debe estimarse.

Ejemplo : Dos áreas (= tipos de bosque) A y B se consideran. Se estima que B cubre aproximadamente el 25% del área total. La exactitud requerida para el área de B es 10 (= $S_1\%$)

Con la fórmula (2) obtenemos :

$$N = \frac{(100 - 25) \times 38,400}{25 \times 10^2} = 1,152$$

Esto significa que dentro del área de B deberemos tener aproximadamente $0.25 \times 1.152 = 298$ puntos.

Presumiendo que usamos un retículo de puntos con una distancia de 1 cm entre los puntos, un punto represente a 4 hectáreas en un mapa a escala 1:20.000. Si el área B ocupa aproximadamente 100cm² en el mapa, entonces el número de puntos contados en B será aproximadamente 100. A fin de llegar a una cantidad de 298 puntos, podemos colocar el retículo en tres posiciones diferentes sobre B. El promedio de las tres cuentas así tiene la exactitud requerida de 10%.

Es posible también construir un retículo nuevo con una densidad de puntos mas grande, de tal manera que el número de puntos requerido puede obtenerse en una sola cuenta.

La distancia entre los puntos puede calcularse como sigue:

$$D = \frac{10,000}{R} \sqrt{\frac{O}{N}}$$

en lo cual

D = distancia entre los puntos, en cm.

R = denominador de la escala del mapa.

O = área total en hectáreas

En nuestro ejemplo, para el área B, se necesita un retículo en lo cual es espaciamiento (D) de los puntos es igual a :

$$\frac{10,000}{20,000} \sqrt{\frac{1,600}{1,152}} = 0.6 \text{ cm}$$

La estimación por conteo de puntos y por planimetría pueden combinarse en ciertos casos. Por ejemplo, la superficie de las unidades inventariadas se puede estimar por planimetría, siendo corregidas las estimaciones por la relación del valor exacto de la superficie total inventariada a la suma de las superficies estimadas de las unidades inventariadas, y la superficie de los estratos dentro de las unidades inventariadas se pueden calcular por conteo de puntos y corregidos de acuerdo con el mismo principio.

532 Estimación de superficie con fotografías

Se usan generalmente diseños de muestreo en que los puntos se reemplazan por "parcelas fotográficas". La delineación de las clases de bosque en las fotografías no es necesario a menos que el número de parcelas por fotografía sea grande. Ejemplos de diseño de muestreo de una o dos etapas ya se han descrito en el párrafo 334.2. Son posibles otros diseños : por ejemplo, uno puede imaginar un diseño de muestreo triple donde las unidades primarias son pasadas paralelas, las uni-

dades secundarias son fotografías dentro de estas pasadas y las unidades terciarias son las parcelas fotográficas en la superficie útil de cada fotografía seleccionada. Diseños de muestreo multietápico pueden realizarse usando diferentes recubrimientos fotográficos; por ejemplo, un recubrimiento con un satélite espacial, más dos recubrimientos aéreos, uno de los más recientes a pequeña escala y el otro a una escala más grande (ver párrafo 622).

54 Estimación continua de superficies

La "estimación continua de superficies" es la realizada en épocas diferentes usando recubrimientos fotográficos sucesivos. Las estimaciones repetidas de las superficies de bosques son de suma importancia en los trópicos, ya que la cubierta forestal está en peligro en muchos sitios y es necesario conocer estos cambios con el objeto de llevar un mejor control y desarrollar la política adecuada sobre el uso de la tierra. La base estadística para tales estudios es el análisis de regresión y algunos de los métodos usados son idénticos a los que se utilizan para el inventario forestal continuo en el campo. Los diferentes recubrimientos pueden ser completos o parciales. Si el primero es completo, la estimación del cambio puede conseguirse por medio de un recubrimiento nuevo parcial, usando una sencilla estimación de regresión (como en un estudio que fue ejecutado en la Costa de Marfil utilizando un recubrimiento completo de 1956 a una escala de 1/50.000 y un recubrimiento parcial de 1966 a una escala de 1/40.000).

Si solamente se dispone de uno de los recubrimientos, el viejo, completo o parcial, y no se prevén errores de fotointerpretación significativos, la estimación de cambios se puede obtener por un análisis de regresión apoyado en una muestra de las parcelas fotográficas previamente interpretadas, que se localizan con precisión sobre el terreno y se visitan para comprobar su fotointerpretación.

Una parte de las parcelas fotográficas interpretadas en el recubrimiento viejo deben interpretarse nuevamente en el recubrimiento subsiguiente, como en el inventario forestal continuo, previa transferencia cuidadosa de estas parcelas de uno al otro recubrimiento; añadiéndose en cada recubrimiento una muestra parcial de nuevas parcelas fotográficas a interpretar.

Es de esperar que con el rápido desarrollo de las técnicas de detección remota y el creciente interés por el mante-

nimiento de la cubierta forestal, estos estudios de control del bosque se desarrollarán considerablemente en un futuro próximo, tanto a niveles locales y nacionales como a niveles regionales y mundial. La teoría de muestreo ofrece una serie de técnicas muy útiles y eficientes si se utilizan cuidadosamente y con una base sólida.

6 Desarrollos recientes en las técnicas de detección remota y cartografía

61 Breve presentación de las técnicas recientes

611 Nuevas formas de detección remota

Los principios de las fotografías aéreas pancromáticas convencionales pueden exponerse como sigue:

Por medio de una película cubierta con una emulsión de sales de plata, las fotografías pancromáticas reproducen las intensidades relativas de las radiaciones electromagnéticas naturales de todas las bandas del espectro visible (las bandas se pueden limitar por un filtro), estando situada la cámara a bordo de un avión. Las innovaciones en la detección remota con respecto a la fotografía aérea pancromática normal se relacionan simultáneamente con una o más de las características mencionadas en esta definición.

611.1 Nuevas plataformas

a) La puesta en órbita de satélites, tripulados o no, empieza a ser ahora una operación corriente. Cuando tales satélites están equipados con sensores remotos (cámaras o exploradores) y con aparatos para almacenar o transmitir las imágenes o señales recogidas (sistemas de televisión, reproducción de señales en cinta magnética), se pueden obtener imágenes fotográficas actuales o televisadas, o registros de datos en cinta magnética o disco, correspondientes a las radiaciones recibidas de las áreas sobrevoladas. Las imágenes obtenidas tienen las ventajas siguientes:

- pueden cubrir una gran superficie en una sola exposición (aproximadamente 3 millones de hectáreas para negativos de 70 x 70 mm a una escala de 1/2.500.000);
- las distorsiones debidas al relieve son despreciables y la foto tiene planimétricamente el valor de un mapa.

Las imágenes adolecen de algunos inconvenientes, especialmente su pobre resolución $1/\lambda$ de terreno que corresponde a una dimensión generalmente mayor de 30 m. La resolución del terreno está limitada primeramente por la altura del vehículo espacial, pero también depende de la naturaleza de la imagen obtenida. Si la fotografía se toma directamente en una película sensible, la resolución del terreno dependerá también de la finura del grano de la emulsión. Cuando la foto es televisada por ejemplo, desde un satélite no tripulado, la resolución del terreno dependerá de la intensidad de exploración del sistema de televisión.

b) Se han efectuado experimentos en Canadá con fotografías de muy grande escala ($1/1.500$ y más) tomadas desde helicópteros o aviones ligeros. Tales recubrimientos se diseñaron para identificar ciertas especies (por ejemplo Picea glauca y Abies balsamea) para evaluar los daños causados por ataques de epidemias e insectos y para estimar las características del potencial de los bosques mediante medidas fotogramétricas y tablas de volúmenes "aéreos". Se han efectuado también experimentos sobre la identificación de especies a partir de fotografías aéreas de gran escala en bosques de la América tropical.

El problema más difícil ha sido desarrollar un sistema preciso de medición de alturas, ya que una medición exacta de la altura de la cámara sobre el terreno es esencial para una estimación apropiada de la escala y, consiguientemente, de datos fotogramétricos suficientemente precisos; los primeros altímetros usados funcionaban basados en el radar que no penetra toda la cubierta arbórea.

611.2 Otras radiaciones electromagnéticas

La tabla siguiente tomada del libro "Remote Sensing, with special reference to Agriculture and Forestry" (U.S. National Academy of Science) indica las longitudes de onda y los intervalos de frecuencia de las diferentes radiaciones electromagnéticas, así como los correspondientes sensores usados para el estudio de los recursos naturales.

Las fotografías pancromáticas emplean la reflexión por los objetos de las radiaciones electromagnéticas del espectro visible, con una gama de longitudes de onda $0,38$ a $0,78\mu$. La verdadera innovación en el campo de la detección remota,

1/ Esto es, el tamaño del objeto más pequeño detectable en la imagen para un contraste especificado.

admitida como no menos espectacular que la del uso de plataformas espaciales, ha sido el uso de intervalos de radiación distintos a los del espectro visible.

El uso de parte del infrarrojo cercano (desde 0.78μ a 0.90μ) juntamente con las radiaciones visibles de 0.5μ (6 0.6μ) a 0.78μ ya ha sido tratado en el párrafo 321.22.

Región espectral	Longitud de onda	Sensores de imágenes usados normalmente
Microondas (radar) Decímetro Centímetro Milímetro	10 - 100 cm 1 - 10 cm 0.1 - 1 cm	Antenas exploradoras
Radiación infra- roja	IR cercano	8 - 1,000 μ
	IR inter medio	3 - 8 μ
	IR cercano	0.78 - 3 μ
Radiación ultra violeta	UV cercano UV medio	0.315 - 0.380 μ 0.280 - 0.315 μ
		Película fotográfica de aproximadamente 1 Exploradores con detectores IR
		Película fotográfica (lentes de cuarzo) Exploradores con sensores fotoeléctricos

El uso del infrarrojo "térmico" (3 - 14 μ) - las radiaciones emitidas en gran cantidad por los cuerpos calientes - se aplica especialmente para la detección de fuegos - latentes y de ataques de enfermedades de insectos que afectan el bosque (de los que resulta una ligera subida de la temperatura de la vegetación)

La radiación del radar (entre 0.5cm y 1 m y especialmente entre 0.86 cm y 3.3 cm) posee la gran ventaja de ser capaz de penetrar las formaciones de nubes y de ser relativamente poco atenuada por la lluvia. Su uso ha resultado muy interesante en las regiones tropicales, donde el recubrimiento aéreo convencional es un procedimiento muy lento a causa de la presencia casi permanente de una capa de nubes bajas.

611.3 Exploradores

El uso de nuevas radiaciones y las solicitudes de retransmisiones automáticas continuas (especialmente desde satélites no tripulados) ha conducido a incrementar el uso de los exploradores. Un explorador sencillo consiste en un aparato óptico (generalmente un espejo giratorio acoplado a un espejo parabólico) y un sensor que convierte en señales eléctricas las variaciones en la intensidad de radiación en una cierta banda del espectro (como una célula fotoeléctrica). Por medio del movimiento de su sistema óptico y del vehículo aéreo, el explorador examina la escena que ha de observarse en pasadas contiguas paralelas. Las señales eléctricas se reciben en un tubo de rayos catódicos poniéndose de manifiesto en una pantalla de televisión o para su impresión en una película sensible. También se pueden transcribir en cinta magnética que se procesa por computador.

611.4 Radiaciones artificiales

Las radiaciones utilizadas en la fotografía convencional son radiaciones naturales reflejadas por los objetos fotografiados y que proceden principalmente del sol, ya directamente o indirectamente por medio de otros objetos que han reemitido estas radiaciones por reflexión o transmisión. Ciertos sistemas de detección remota (aparatos de radar activo) emplean radiaciones emitidas especialmente (artificiales) que son reflejados por los objetos fotografiados. Tales sistemas efectúan detecciones por la noche sin ninguna dificultad.

611.5 Selección de banda

Otro importante elemento en el campo de la detección remota es la recepción separada de las radiaciones recibidas en cada longitud de onda. La ventaja de poder aislar ciertas bandas del espectro es obvia. Por ejemplo, dos objetos que han de diferenciarse pueden reflejar con la misma intensidad la radiación total del espectro visible, mientras que reflejarán con muy diferentes intensidades una banda determinada del espectro visible. En otras palabras, su "firma", o respuesta con respecto a esta banda, será diferente y la distinción entre ellas será clara.

La aplicación del principio de la selección de banda no es del todo nuevo; el filtro amarillo destinado a detener las radiaciones con una longitud de onda por debajo 0.50μ es un ejemplo de selección en que se sube la banda seleccio-

nada del 0.50μ a 0.78μ del espectro visible. La fotografía en color convencional también implica tal selección, ya que en estas emulsiones una capa amarilla recibe las radiaciones de 0.38μ a 0.48μ , una capa magenta (rojo) las radiaciones de 0.50μ a 0.58μ , una capa cyan (azul) los de 0.60μ a 0.78μ , estando superpuestas las tres imágenes (a diferencia de la película pancromática blanco y negro en la que se forma una sola imagen). Un ejemplo interesante de película en color es la película "spectrozonal" usada en U.R.S.S.; sus emulsiones poseen sólo dos capas y se han mostrado muy útiles en el campo forestal.

El registro separado de las imágenes en las diferentes bandas se efectúan esencialmente de dos nuevas maneras :

- por combinación de varias cámaras (hasta 27 en algún caso) o por cámaras con varios objetivos, donde cada cámara (o cada objetivo) corresponde a una combinación específica de emulsión/filtro; las diferentes imágenes simultáneas de la misma escena que se producen, corresponden a cada banda particular del espectro;
- por un sistema equivalente en el que la cámara, o las cámaras, se reemplazan por sensores; por ejemplo, el sistema "explorador lineal multispectral", en el que varios exploradores operan juntos, reproduciendo cada uno la radiación emitida por el objeto en una banda específica del espectro; tiene un aparato óptico sencillo que concentra la radiación total en un prisma que la separa según la longitud de onda; la radiación separada pasa a través de un número de sensores, cada uno de los cuales es sensible a una banda dada del espectro, y las señales resultantes son convertidas, ya en una imagen televisada, ya en una imagen fotográfica (en ambos casos por medio de un tubo de rayos catódicos), o se almacenan otra vez los datos en una base magnética.

612 Nuevos medios para el almacenaje y reproducción de la información

La información recogida hasta ahora ha sido remitida en forma de fotografía en blanco y negro o color en una base opaca o transparente, en forma de positivas o negativas, obtenidas directamente por una simple reacción química efectuada en una película sensible. Durante mucho tiempo el forestal continuará usando este tipo de información base para muchos de sus trabajos.

La mayor innovación en el campo de la reproducción es el uso del tubo de rayos catódicos. Los impulsos eléctricos transmitidos por un sensor son convertidos por el tubo en información visible. Este es el principio de la televisión aplicada al registro de radiaciones que no están limitadas al espectro visible. La imagen obtenida puede ser por esto una imagen en blanco y negro o en color en una pantalla de televisión o puede obtenerse directamente por la impresión de una película en la salida del tubo. De esta manera se obtienen clichés en blanco y negro de las radiaciones del infrarrojo térmico o del radar. Estos mismos clichés se pueden convertir en imágenes en colores codificados normalizados, donde cada tono de gris se representa por un color y un tono en este color, permitiendo esto diferenciaciones a simple vista que serían imposibles en los correspondientes clichés en blanco y negro. Los impulsos eléctricos de la salida del explorador también se pueden almacenar en cintas magnéticas o discos.

613 Nuevos procedimientos para el análisis de la información

Para el análisis de las fotografías aéreas convencionales -fotointerpretación- se emplea el ojo y el cerebro humanos ayudados por aparatos ópticos (equipos de aumento, estereoscopios). A pesar de la gran endebles de la interpretación humana, este tipo de análisis se continuará haciendo tanto en las fotos convencionales como en las fotos en blanco y negro y color correspondientes a las radiaciones no pertenecientes al espectro visible.

Un artificio sencillo que puede mejorar la interpretación humana de los clichés obtenidos es la vision editiva; consiste en la proyección en una pantalla corriente, por medio de filtros de colores particulares y con intensidades variables, de cada una de las transparencias positivas en blanco y negro correspondientes a una longitud de onda dada. El resultado que se obtiene es una imagen en "falso color". El valor de este artificio reside en el hecho de que los diferentes tonos de gris se convierten en un número más grandes de colores y tonos de colores (intensidades de color, matices y tonalidades). Cambiando los filtros se puede obtener la imagen en falso color que mejor destaque las diferencias entre dos objetos, que de otra manera serían indetectables en los clichés en blanco y negro.

El análisis microdensitométrico es una técnica en la cual una mancha de luz explora una transparencia fotográfica y las variaciones en la intensidad luminosa transmitidas a través

de la fotografía se transcribe en un gráfico. El sistema opera por medio de un sensor que convierte las variaciones de la intensidad luminosa en impulsos eléctricos que son amplificados y transmitidos por medio de un brazo trazador al gráfico. Un tipo de copa puede por consiguiente reproducirse como una cierta forma de curva. Se pueden imaginar las posibilidades de este método. Por ejemplo, si el tipo de curva correspondiente a especies dadas se introducen en un computador junto con las fluctuaciones de tolerancia, es posible, con el microdensitómetro unido al computador, contar (y efectuar cálculos) el número de copas correspondientes que se encuentren.

Más generalmente, la introducción en un computador de medios de almacenaje magnéticos de todos los datos relativos a las señales eléctricas producidas en los sensores de los exploradores por la radiación de la escena observada (o de una imagen fotográfica de ella) permite un proceso de datos automático (y objetivo). Si se dan también los datos de la ruta de avión, el computador puede hacer posible, por ejemplo, localizar los puntos calientes observados por el sensor infrarrojo térmico. Son claras las ventajas en muchos casos de tal proceso automático sobre la interpretación humana, especialmente para las radiaciones que caen fuera del espectro visible, en los que los clichés obtenidos tienen poco parecido con las imágenes visuales a los que estamos acostumbrados.

614 Ortofotografía

Se ha desarrollado una técnica nueva para la restitución de fotografías aéreas. Consiste en reproducir fotográficamente y sin distorsión geográfica la porción de terreno común a las dos fotografías de un estereograma. La ortofotografía es por tanto una restitución fotográfica en oposición a la restitución cartográfica convencional que se traduce en mapas topográficos. Todas las ortofotografías de una región determinada pueden por tanto unirse para formar lo que se llama un ortofotoplano que tiene el mismo valor planimétrico que un mapa. Las líneas dibujadas en los estereogramas - tales como límites de tipos de bosque y, por supuesto, las curvas de nivel - se pueden reproducir automáticamente en los ortofotoplanos. La restitución de los límites de los bosques puede también hacerse bajo un estereoscopio a partir del estereograma compuesto de las fotografías de trabajo y la correspondiente ortofotografía.

El interés principal de este método es que permite una cartografía más perfecta y concreta que la cartografía manual. Es también cerca de diez veces más rápida. Su precio resulta

alto; por ejemplo, la restitución por ortofotografía de la parte útil de un negativo de 23 x 23 cm cuesta entre 80 y 140 \$ EE.UU. (1974), dependiendo el precio de la escala y de la cantidad de información adicional que se restituya (por ejemplo, límites de tipos de bosque). Si se añade a esto la restitución de curvas de nivel, el costo oscila aproximadamente entre 160 y 250 \$ EE.UU.

62 Aplicaciones operacionales corrientes para el inventario forestal

Las combinaciones posibles de estas diferentes innovaciones son, por supuesto, extremadamente numerosas y un campo inmenso de aplicaciones está abierto en el sector de la evaluación de los recursos naturales. Las aplicaciones en los estudios selvícolas y de vegetación están actualmente en gran parte en fase de investigación y experimentación. En general, su uso, aun cuando no estén implicadas observaciones espaciales, supone una infraestructura tecnológica y unos recursos financieros que no están al alcance de todas las instituciones o aun de todos los gobiernos. Los párrafos siguientes indican simplemente los procedimientos asequibles y/o los operacionales en el campo de la evaluación de recursos forestales.

621 Uso de la radiación situada fuera del espectro visible

621.1 Uso de la radiación en el campo del infrarrojo térmico

Los sistemas para la detección temprana de los fuegos forestales ya se han mencionado, aunque ellos no son apropiados directamente para el inventario forestal. Se emplea un avión volando a una altura de 7,000 m desplegando un explorador que registra las radiaciones IR de 3 a 6 μ y de 8 a 14 μ . Las señales eléctricas correspondientes a las radiaciones de 3 a 14 μ son transmitidas a un tubo de rayos catódicos y acto continuo a una película que se revela muy rápidamente. La banda de radiación de 3 a 6 μ se usa para indicar los puntos calientes en el momento que son detectados. Un computador que integra los datos de la ruta del avión (velocidad con respecto al terreno, altitud, orientación, deriva) determina la velocidad de la película y hace una señal en su borde correspondiendo a las unidades de distancias recorridas. Si un punto caliente es sobrevuela a lo largo de la línea de vuelo se indica también en el borde de la película, haciendo por esto fácil localizarlo y analizarlo. Se pueden tomar medidas antes de que el fuego se

621.2 Uso de la radiación de radar

Un aparato de radar "activo" (esto es, que registra los destellos reflejados por los objetos del terreno de las radiaciones emitidas por él mismo) se ha usado con éxito completo en unas de las densas zonas forestales tropicales de América Latina (Perú, Nicaragua, sudeste del Panamá y noroeste de Colombia) y ha permitido cartografiar zonas permanentemente cubiertas totalmente por una capa de nubes bajas. Otra operación muy importante de cartografía por radar "activo" se efectuó en la parte noroeste de la Amazonía brasileña.

El principio básico es siempre el mismo : a saber, un explorador (en este caso una antena) cubre el terreno observando en fajas transversales a la dirección del vuelo, y las señales eléctricas se introducen en un tubo de rayos catódicos que continuamente va sensibilizando una película. Un aspecto de estos aparatos que debe conocerse es que la faja fotografiada puede no estar situada verticalmente bajo el avión sino a un lado (radar lateral); esto permite una mejor determinación de la distancia al terreno a partir de medidas cronométricas.

La escala original de las fotos obtenidas en Panamá era de alrededor de 1/200.000. En la región sudeste (la parte meridional de la provincia de Darién) permitió una cartografía planimétrica satisfactoria a una escala 1/250.000 y una cartografía de la vegetación por clases grandes. Los puntos de control usados fueron pequeñas pirámides de metal desembarazadas de toda vegetación, teniendo coordenadas conocidas y de fácil localización en las fotos radáricas.

La escala original de las fotos obtenidas en Perú era de 1/250.000. Las fotos son la propiedad de PETROPERU (Petroleos del Perú) y cubren la parte más grande de la selva peruana. Hemos utilizado (por cortesía de PETROPERU) los mosaicos de estas fotografías para la estratificación y el mapeo del área del proyecto von Humboldt. Los mosaicos permitieron la delimitación de los tipos de terreno (terreno frecuente o temporalmente inundado, terreno plano-ondulado, colinas bajas suaves y accidentadas, colinas altas suaves y accidentadas). A causa de la pequeña escala no fué posible hacer una estratificación detallada de los tipos de bosque, pero se pudo delinear el bosque en terreno frecuente o temporalmente inundado, el bosque de terreno seco, áreas ocupadas por agricultura y el bosque secundario.

622 Uso de plataformas espaciales

622.1 Programa "Earth Resources Technology Satellite"
(ERTS)

Han sido lanzados ya varios miles de satélites con varios propósitos (observación del tiempo, radiodifusión intercontinental, estudios de radiación etc.). En el campo de la evaluación de los recursos naturales, los datos obtenidos de vuelos tales como Gemini y Apolo han abierto el camino para estudios espaciales. Un gran paso hacia adelante fue dado en julio de 1972 con el lanzamiento en los Estados Unidos del primer "Earth Resources Technology Satellite" (ERTS-A).

Las características de vuelo son las siguientes :

- tiempo de vida : 1 año;
- altitud : 920 km en una órbita sincrónica con el sol;
- repite el recubrimiento de la misma zona cada 18 días;
- distancia terrestre entre dos pasos : 160 km;

exploradores que lleva el satélite :

- un sistema de televisión (RBV) con registro de imágenes en tres bandas del espectro visible y del infrarrojo cercano;
- un explorador múltiple (MSS) con registro de imágenes en cuatro bandas del espectro visible y el infrarrojo; las señales eléctricas son codificadas y registradas en cinta.

La escala de la foto original obtenida (70mm) - para cada banda y también para fotos compuestas de color - es de cerca de 1/2.500.000. Cada negativo corresponde a un cuadrado de 180 km, es decir, 33,000 km². La resolución del terreno en los negativos varía entre 60 y 150 m dependiendo del contraste de la escena examinada y del sensor utilizado. El solape longitudinal y lateral es bajo, alrededor del 15%. Estas imágenes son de gran valor para el inventario forestal a gran escala de los trópicos, especialmente si se combinan con otros recubrimientos aéreos como se indica en el párrafo siguiente.

622.2 Diseños multi-etápicas usando fotografías espaciales

Se ha concebido un diseño estadístico, simple en sus principios aunque muy complejo en su formulación matemática, para inventarios en superficies extensas. 1/

1/ Ver "The benefits of multi-stage variable probability sampling using space and aircraft imagery" por Philip G. Langley en "Application of remote sensors in forestry", artículo publicado por el grupo de trabajo en Detección Remota, de la anterior Sección 25 de IUFRO.

Usa un recubrimiento fotográfico espacial al que se superpone un retículo cuadrado.

Un número de cuadrados son seleccionados proporcionalmente a la superficie forestal que contienen, siendo esto último determinado por la interpretación de las fotografías espaciales. Un recubrimiento fotográfico aéreo a pequeña escala ($1/30.000$ a $1/70.000$) se efectúa sobre esos cuadrados seleccionados. Este recubrimiento es, a su vez, dividido por un retículo cuyos cuadrados son seleccionados con la misma base que antes, y estos cuadrados son fotografiados a escala mayor (de $1/5.000$ a $1/25.000$). Finalmente, parcelas del muestreo de campo se seleccionaron dentro de los últimos cuadrados y los resultados del trabajo de campo son aplicados a toda la zona. Este método probablemente se evidenciará preferible cuando un recubrimiento espacial sea fácilmente conseguible, pero está limitado por su naturaleza a operaciones de inventarios nacionales o regionales.