

SISTEMAS AEROFOTOGRAFICOS DE PEQUEÑO FORMATO PARA LA EVALUACION DE RECURSOS FORESTALES EN AMERICA LATINA

E. PERNIA

Laboratorio de Fotogrametría y Sensores Remotos
Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales
Mérida 5101. VENEZUELA

RESUMEN

Desde hace varias décadas se han utilizado sistemas aerofotográficos de 35 y 70 mm de formato en Norteamérica, Europa y otras regiones, para la adquisición de información sobre recursos forestales de áreas relativamente pequeñas en extensión. Al contrario, en Latinoamérica, donde hay tanta carencia de información sobre estos recursos, los sistemas de pequeño formato son poco usados. En parte, esta situación se debe al desconocimiento que en la región se tiene de su potencial y de la manera de usarlos. El propósito del presente artículo es brindar a profesionales e instituciones forestales información básica y referencias de apoyo sobre las características generales, la conformación de sistemas aerofotográficos de pequeño formato, la planificación y ejecución de misiones, la interpretación y restitución de fotografías de 35 y 70 mm y aplicaciones en el campo forestal.

PALABRAS CLAVE: Sistemas aerofotográficos
Pequeño formato
Evaluación forestal
Monitoreo

INTRODUCCION

Los sistemas aerofotográficos de pequeño formato tienen un lugar dentro de los sistemas de percepción remota disponibles para la evaluación y el monitoreo de los recursos ambientales. Son sistemas dedicados a la adquisición de fotografías aéreas, utilizando cámaras fotográficas de formato de 35 y 70 mm principalmente, y las cuales se instalan en aeronaves ligeras —avionetas, helicópteros o ultralivianos— a través de monturas internas o externas. Más que para competir con los sistemas aerofotogramétricos convencionales, esos sistemas fueron diseñados para llenar un vacío en la obtención de información sobre los recursos naturales. Ese vacío está determinado por la imposibilidad, desde el punto de vista de rentabilidad económica, de ejecutar misiones aerofotográficas con las grandes cámaras métricas convencionales sobre áreas de pequeña extensión. En los programas de evaluación y manejo de los recursos naturales, son numerosas las situaciones donde se requiere estudiar áreas de unos pocos miles de hectáreas con fotografías recientes. En la

Recibido: 5-10-96

Aceptado para su publicación: 12-5-97

mayoría de esos casos no es posible sufragar el alto coste que implica una misión aerofotogramétrica convencional. En muchos países europeos, en Canadá, Estados Unidos y Australia, desde hace varias décadas, se vienen aprovechando las bondades de los sistemas aerofotográficos de pequeño formato para obtener la información de áreas de poca extensión. Pero en Latinoamérica, por varias razones, estos sistemas no son utilizados debidamente. Dentro de esas razones podemos citar: el desconocimiento del potencial que ellos tienen y el desconocimiento de la manera de desarrollarlos y utilizarlos.

El presente artículo tiene como propósito fundamental exponer a los profesionales e instituciones a cargo de la evaluación, manejo y monitoreo de los recursos forestales, información general y referencial sobre las características, la utilización y el potencial de los sistemas aerofotográficos de pequeño formato. Utilizados técnicamente, estos sistemas constituyen una valiosa herramienta para una gran cantidad de aplicaciones, como lo demuestran los numerosos artículos en publicaciones especializadas.

CONFORMACION DE SISTEMAS AEROFOTOGRAFICOS DE PEQUEÑO FORMATO

La conformación de un sistema aerofotográfico de pequeño formato requiere de los siguientes componentes (Pernía *et al.*, 1991): 1) una pequeña aeronave: avioneta, helicóptero o avión ultraliviano; 2) una o varias monturas o soportes para colocar la(s) cámara(s); 3) una o varias cámaras de 35 ó 70 mm y sus accesorios; 4) componentes adicionales: intervalómetro, fotómetro, equipo GPS y/o marcas de tierra, equipo de visualización (visores ópticos, cámara de vídeo, etc.); 5) materiales fotográficos: películas y filtros; y 6) personal: piloto, fotógrafo y ayudante.

La literatura especializada apunta numerosos sistemas de este tipo, la mayoría de ellos no comerciales, desarrollados por instituciones públicas y privadas, que han sido usados con éxito. Puesto que en la mayor parte de los casos estos sistemas se han desarrollado para satisfacer necesidades particulares de cada institución, en lo que se refiere a aeronave, equipo fotográfico, aplicación, etc., se aprecia gran variedad y creatividad en los diseños resultantes. A continuación, se darán los detalles más importantes de los componentes de un sistema aerofotográfico de pequeño formato.

Aeronaves

Las aeronaves ligeras, como las avionetas y los helicópteros pequeños, resultan convenientes, desde el punto de vista económico, para la instalación y operación de un sistema aerofotográfico de pequeño formato. Los denominados aviones ultralivianos o ultraligeros también han sido utilizados, aunque de manera restringida.

Una gran cantidad de modelos de avionetas es adecuada para la instalación de monturas con cámaras de 35 y/o 70 mm. Se prefieren las avionetas de ala alta, las cuales generalmente operan a menor velocidad que las de ala baja. Esas avionetas pueden volar con seguridad con la ventanilla abierta e incluso con la puerta quitada (Kodak, 1985). Ejemplos de éstas son las populares avionetas Cessna de las series 150, 170, 180 y 200. Avionetas de ala baja, del tipo Piper Cherokee Six y Arrow, y Beechcraft Bonanza, son apropiadas, sobre todo, para instalar monturas internas. Aviones de mayor tamaño y potencia involu-



Foto 1.-Cámara Hasselblad de 70 mm instalada en una montura externa colocada en la portezuela del compartimiento portaequipajes de una avioneta Cessna 182
70 mm Hasselblad camera installed on an external mount located at the baggage compartment door of a Cessna 182 aircraft

cran también un mayor coste de operación y encarecen sustancialmente una misión aerofotográfica de pequeño formato.

Para el trabajo aerofotográfico los helicópteros tienen ventajas y desventajas, con respecto a las avionetas. Por una parte, hay mayores posibilidades de aterrizar en el área a fotografiar. Esto es de gran importancia en el caso de zonas alejadas de pistas de aterrizaje. Un helipuerto puede improvisarse en la misma área y transportar, por vía terrestre o acuática, el combustible para el aprovisionamiento, lo cual disminuye el tiempo de trasla-

dos desde y hacia el área de trabajo, y con ello el coste de la misión. Los helicópteros pueden volar a velocidades muy bajas, lo cual reduce la pérdida de nitidez por el denominado "movimiento de la imagen". Pero, por otra parte, el costo de la hora de vuelo de los helicópteros es mucho mayor que el de las avionetas. Además, la mayoría de los helicópteros adolece de fuertes vibraciones, sobre todo en ciertos rangos de velocidad. Por ejemplo, los helicópteros Bell 206 (Ranger) A y B, los más comunes en los países latinoamericanos, a velocidades mayores de 50 nudos presentan mucha vibración. Al disminuir la velocidad, a partir de los 50 nudos, las vibraciones se reducen sustancialmente. A los helicópteros Hughes 300 y 500 y al Aerospatiale Gazelle les afectan menos las vibraciones.

Se han realizado algunas experiencias en diferentes países, con cámaras fotográficas de 35 y 70 mm instaladas en aviones ultraligeros o ultralivianos (Graham, Read, 1986; Northon-Griffiths, 1983; Greham *et al.*, 1984; Grégoire *et al.*, 1988; Vooren, 1985; Walker, 1985; Disperati, 1991). Los aviones ultralivianos tienen características interesantes en relación a su funcionamiento y mantenimiento. Despegan y aterrizan en pistas muy cortas, generalmente menores de 50 m, lo cual los hace muy convenientes cuando las áreas a fotografiar están alejadas de las pistas convencionales. Pueden ser transportados por vía terrestre o fluvial, armarse en una o dos horas, y operar desde una corta pista improvisada o carretera rural. Los motores de los ultralivianos trabajan con combustible estándar para vehículos, de 95 octanos, del cual hay más disponibilidad que del combustible de aviación. Los ultralivianos son considerados generalmente buenos planeadores, lo que junto con la posibilidad de aterrizar en cortos trechos, les proporciona confiabilidad para casos de emergencia. Su desventaja principal es que les afecta más el viento que a las avionetas y helicópteros, por lo que bajo esas condiciones es más difícil mantener la dirección de las líneas del vuelo fotográfico.

Monturas

Una montura es un soporte que se acopla a algún lugar o parte de la aeronave y permite colocar una o varias cámaras fotográficas. Es uno de los elementos más importantes en un sistema aerofotográfico de pequeño formato. La montura debe contar con los mecanismos para: a) el acoplamiento a la aeronave y la fijación del equipo fotográfico; b) orientar verticalmente el eje óptico de la cámara; c) reducir las vibraciones; y d) corregir el derrape de la aeronave.

La mayoría de las monturas para sistemas aerofotográficos de 35 y 70 mm son de tipo portátil y pueden clasificarse en internas y externas. Las monturas internas son estructuras que generalmente se fijan sobre un orificio practicado en el piso de la aeronave, y por lo tanto requieren un trabajo de acondicionamiento. La ventaja de estas monturas es que permiten trabajar con mayor facilidad y seguridad. Las monturas externas son soportes que fijan una o varias cámaras fuera de la aeronave: en la ventanilla del copiloto, en los planos o alas, en la portezuela del compartimento portaequipajes y en los paraleles del tren de aterrizaje de avionetas, y en la parte inferior o lateral del fuselaje y los esquíes de helicópteros (Pernía, Jurgenson, 1987).

Existen muy pocas monturas para sistemas aerofotográficos de pequeño formato vendidas comercialmente. La Universidad de Minnesota desarrolló una montura portátil para instalar una cámara de 35 mm externamente, en la ventanilla izquierda de una avioneta Cessna (Meyer, Grumstrup, 1978). Esta montura ha sido comercializada por Econ Inc,

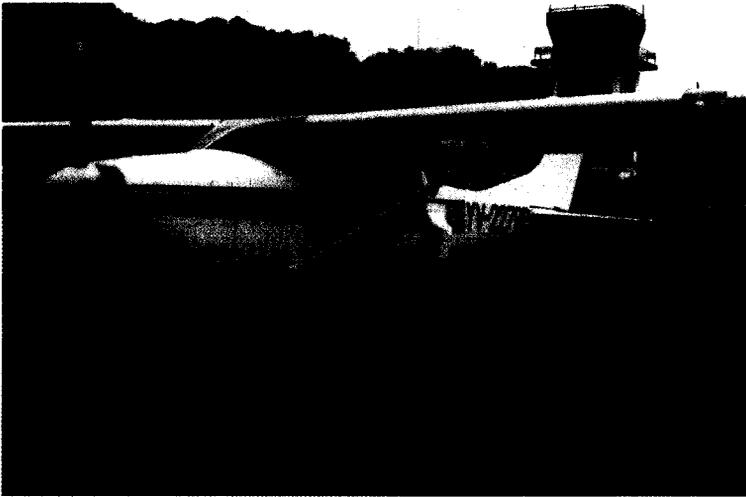


Foto 2.-Avioneta Cessna 182 con la cubierta protectora de la montura y cámara de la fotografía anterior
Cessna 182 aircraft with the protecting cover for the mount and camera shown in previous figure

(2685 Airport Way, Helena, Montana 59601, EE. UU.). En los últimos números de la revista *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* se anuncia la montura interna "Woodcock", la cual es fabricada según las exigencias del cliente. Mayor información sobre esta montura puede obtenerse en Woodcock (1976) y de los fabricantes (Kingwood Forestry Services, Inc y Aerial Survey, Inc, 145 Greenfield Drive, Monticello, Arkansas 71655, Fax: 501-367 8424).

La mayoría de las monturas para estos sistemas ha sido desarrollada por los mismos usuarios, según sus propias necesidades. La literatura especializada aporta gran variedad de modelos, de los cuales se dan algunas referencias a continuación.

Monturas internas para avionetas: la ya citada de Woodcock (1976), Torrerdell *et al.* (1971), Zsilinszky (1972), Spencer (1974), Lord (1980), Benson *et al.* (1984). Monturas externas para acomodar cámaras de 35 mm en la ventanilla de avionetas: Zsilinszky (1972), Meyer, Grumstrup (1978), Willingham (1959), CSIRO (1981); y para cámaras de 70 mm en la ventanilla de avionetas: Jurgenson (1988), Pernía *et al.* (1994). Monturas externas para la portezuela del compartimiento portaequipajes de avionetas: Spencer (1974); Ekin, Deans (1986), Ekin (1987), Pernía *et al.* (1994). Roberts, Griswold (1986) apuntan a una montura externa, para dos cámaras de 35 mm, apoyada en la base de la puerta izquierda (sin modificar la puerta) y en un paral de una avioneta Cessna 172. Monturas construidas en modificaciones de las puertas de avionetas: Spencer (1974), Mennis (1978), Mason, Mathews (1979), Long *et al.* (1986), Ekin (1987), Warner (1989). Monturas para los paraleles de las alas de avionetas: Neustein, Waddell (1972), Willett, Ward (1978).

El uso de monturas internas en helicópteros no es común, debido a que la apertura de un hueco en el piso de este tipo de aeronaves puede afectar notablemente su estructura. Además, el área del piso de los helicópteros está generalmente repleta de componentes de los sistemas de control (Disperati, 1991). Sin embargo, se usan helicópteros ligeros, en combinación con monturas externas, para sistemas aerofotográficos de pequeño formato. Hall, Hiscocks (1990) recogen una consola (pod) para instalar una o dos cámaras de 70 mm

en la parte inferior del fuselaje de un helicóptero Bell 206; Ashely, Rea (1976), Rhody (1977), Hall (1985), Spencér, Hall (1988) presentan sistemas estéreos usando dos cámaras instaladas en un soporte longitudinal (boom), dispuesto transversal o paralelamente al eje del helicóptero. Pernía *et al* (1994) presentan una sencilla montura a colocarse debajo de la puerta derecha trasera de un helicóptero Bell 206 A o B.

En general, los ultralivianos disponen de poco espacio interior para colocar una montura para cámaras de 35 ó 70 mm, pero pueden instalarse monturas externas adheridas a la estructura tubular, ya sea por alguno de los costados o en la parte trasera. Hofstee (1985), Grahan y Read (1986) ofrecen algunas monturas externas para cámaras de 35 mm, para este tipo de aeronave.

Cámaras fotográficas de 35 y 70 mm de formato

Para aplicaciones que requieran alta precisión espacial, existen cámaras métricas de 35 y 70 mm, tales como las cámaras Hasselblad MK 70 y las Rolleiflex 3003 y 6006. Las cámaras de este tipo están construidas con elementos ópticos y mecánicos de excelente calidad, tienen marcas fiduciales o marcas de referencia (marcas "reseau"), y son sometidas a procesos de calibración para determinarles los elementos de orientación interior y las curvas de distorsión del lente (Pernía, Jurgenson, 1987).

En lo que respecta a la evaluación de recursos hay una gran cantidad de aplicaciones que no exigen alta precisión métrica y en las que pueden utilizarse fotografías tomadas con cámaras no métricas, de buena calidad, de 35 y 70 mm. En el mercado existen numerosas cámaras de estos formatos y una gran variedad de lentes, que producen muy buena prestación y calidad de imagen. Entre las de 35 mm se pueden nombrar marcas como Nikon, Olympus, Cannon, Pentax, Leica y Minolta. De 70 mm la marca más conocida es Hasselblad, aunque existen otras de gran calidad como Vinten, Agiflite, Rollei, Hulcher, Brónica y Mamiya (Pernía, Jurgenson, 1987).

Para el trabajo aerofotográfico, las cámaras deben estar dotadas de los siguientes accesorios.

1. Un motor para el arrastre automático de la película. La mayoría de las cámaras electrónicas modernas están dotadas de un pequeño motor incorporado ("autowinder"). muchos modelos de cámaras mecánicas, de las marcas más conocidas, tienen la posibilidad de adaptarles un motor externo, que generalmente es más robusto que el "autowinder".

2. Una bobina o magazine con capacidad para albergar película de 35 mm, de 20 a 45 m de largo, o dos bobinas, al menos, para 70 exposiciones de película de 70 mm. Bobinas de esta capacidad evitan o reducen sustancialmente el cambio de rollos durante el trabajo.

3. Un juego de lentes con diferentes distancias focales. Para las cámaras de 35 mm se recomienda un lente gran angular de 28 ó 35 mm, un lente normal de 50 mm y un lente de 135 mm. Para las cámaras de 70 mm se recomienda un lente gran angular de 50 mm, un lente normal de 80 ó 100 mm y un lente de 250 mm.

Componentes adicionales

Para facilitar el trabajo aerofotográfico es conveniente agregar al sistema los siguientes componentes:



Foto 3.-Fotografía aérea de un sector de bosque natural tropical en la Reserva Forestal de Caparo, Estado Barinas, Venezuela, tomada con una cámara de 70 mm (Escala del negativo: 1:20.000)
Aerial photograph of part of a tropical natural forest in the Caparo Forest Reserve, Barinas State, Venezuela, taken with a 70 mm Hasselblad camera (Scale of negative: 1:20.000)

1. Un intervalómetro para regular el intervalo de tiempo entre exposiciones sucesivas. Las fotografías de una faja de vuelo son tomadas con un recubrimiento generalmente igual o mayor al 60 p. 100, el cual permite la visualización de un modelo estéreo o tridimensional del terreno. Para que las fotografías puedan ser tomadas con el recubrimiento establecido en la planificación del vuelo, la cámara debe ser disparada a intervalos de tiempo regulares. Esta operación puede ser realizada manualmente por el fotógrafo, usando un cronómetro, pero resulta más cómodo disparar la cámara a través de un intervalo. Este instrumento, generalmente de tipo electrónico-digital, permite fijar el intervalo de tiempo necesario, con precisión de una décima de segundo. Además de los enchufes para conectar una o varias cámaras, algunos intervalómetros tienen contadores de exposiciones y una luz indicadora de los disparos. Los intervalómetros pueden adquirirse a través de las casas fotográficas, o pueden ser construidos localmente, en un taller electrónico.

2. Un exposímetro o fotómetro para medir la luz proveniente del área y ajustar la apertura del diafragma. Muchas cámaras modernas tienen incorporados dispositivos automáticos para medir la iluminación y hacer los ajustes correspondientes.

3. Instrumentos GPS y/o marcas de tierra para determinar el punto de inicio, la dirección a seguir y los puntos intermedios y de finalización de cada línea a fotografiar.

La mayoría de las aeronaves ligeras (avionetas y helicópteros) cuenta actualmente con instrumentos de navegación GPS. De no tener la aeronave tal ayuda, el personal a cargo de la misión podría adquirir uno para ese propósito. La exactitud en la determinación de la posición de un punto, obtenida con el sistema GPS depende de varios factores, entre ellos, de la activación de una perturbación introducida intencionalmente, conocida como "disponibilidad selectiva" o SA ("Selective Availability"). Cuando SA no está activada, un receptor GPS es capaz de proporcionar exactitudes de 25 a 40 m. Cuando SA está activada, la exactitud obtenida en la ubicación de un punto es de aproximadamente 100 m en planimetría y de 160 m en altimetría, el 95 p. 100 de las veces. Para una gran cantidad de vuelos aerofotográficos de pequeño formato, esta exactitud es suficiente para definir las líneas de vuelo en el terreno, puesto que el error de los 100 m en planimetría puede ser compensado con el recubrimiento entre las líneas. Sin embargo, pudiera ser necesario operar con una mayor exactitud, por ejemplo, de 10 a 50 m, en cuyo caso se hace necesaria la aplicación del denominado "método diferencial", que hace uso de dos instrumentos GPS. Mediante este método se ubica uno de los receptores en un punto o estación base, de coordenadas conocidas, y el otro ya en la aeronave. Ambos instrumentos deben recibir simultáneamente las señales de los satélites, durante el tiempo de la misión y contar con una comunicación radial entre ellos (Bobbe, 1992).

Algunas compañías comerciales ofrecen sistemas aerofotográficos de pequeño formato integrados al sistema GPS. Dos de ellos son: Accuphoto Aerial Photography System, de Genesy Comm, Inc (314 S. Jay Street, Rome, New York 13440, Fax: 315-339 5528), y Calgis-Mapping Sciences (200 West Bullard Avenue, Suite F-3, Clovis, California 93612, Fax: 209-298 1815).

Las denominadas "marcas de tierra" o marcas para el terreno son fabricadas generalmente con láminas de polietileno, madera o zinc. Su tamaño y su diseño dependerán de la escala y la resolución del sistema (Jurgenson, 1988, 1994). Las marcas de polietileno resultan económicas y muy prácticas para almacenar, transportar y colocar en el terreno. En áreas con cobertura boscosa continua pueden usarse globos resistentes inflados con helio, elevados sobre las copas de los árboles.

4. Equipo de visualización. Para el seguimiento de las líneas de vuelo, sobre todo cuando las líneas a fotografiar están marcadas en el terreno, el piloto, el ayudante o el fotógrafo deben tener una buena visión del área debajo y en la parte delantera de la aeronave. En la mayoría de los helicópteros se consigue esta condición. Las avionetas (Cessna, etc.), no permiten visión debajo de ellas, siendo sumamente difícil guiar el paso de la aeronave por las marcas que definen las líneas de vuelo. El visor de la cámara resulta insuficiente para ese propósito, y es necesario recurrir a un mecanismo alternativo. El medio que actualmente resulta más práctico es la incorporación de una pequeña cámara de vídeo de tipo industrial, con lente gran angular, o en su defecto una cámara familiar, del tipo "handycam", con lente zoom, la cual puede ubicarse en la misma montura de la cámara fotográfica. Un monitor de 8-9 pulgadas permite al personal en vuelo ver el área a fotografiar. Previo al despegue, es necesario calibrar la visión de la cámara de vídeo, de modo que la línea central del campo de visión, que a su vez se muestra como la línea vertical por el centro de la pantalla, corresponda con la línea de vuelo en el terreno. El procedimiento para esta operación es similar al de la calibración de un telescopio de navegación de un sistema aerofotogramétrico, como se explica en el Manual of Aerial Photography, pp. 197-200 (Graham, Read, 1986).



Foto 4.-Bosque natural tropical manejado en la Reserva Forestal de Ticoporo, Estado Barinas, Venezuela, afectado por un incendio (parte inferior), fotografiado con una cámara de 70 mm (Escala del negativo: 1: 15.000)

Tropical natural forest under management in the Ticoporo Forest Reserve, Barinas State, Venezuela, affected by a fire (lower part), photographed with a 70 mm camera (Scale of negative: 1:15.000)

Materiales fotográficos

En fotografía aérea son usados los siguientes tipos de película: pancromática, infrarrojo blanco y negro, color normal e infrarrojo a color.

Las películas pancromáticas fueron las más utilizadas en el pasado en fotografía aérea convencional, por su menor coste y por su mayor capacidad de contrarrestar el efecto de la bruma atmosférica, en comparación con las películas color normal. Existen películas pancromáticas de muy alta resolución, comola Kodak Technical Pan (film 2415), cuyas imágenes pueden ser ampliadas hasta 20 veces. Las fotografías color normal ofrecen mayor facilidad y seguridad en la interpretación, en comparación con las fotografías pancromáticas. Sin embargo, a las películas de color normal las afecta mayormente por la bruma atmosférica.

Las películas infrarrojo blanco y negro e infrarrojo a color resultan más costosas que las pancromáticas y de color normal. Son muy sensibles al calor, antes y después de

expuestas, lo cual exige precauciones especiales para su almacenamiento, transporte, manipulación y procesamiento. Estas condiciones se convierten, en algunos casos, en una fuerte limitación para su uso. En algunos países latinoamericanos no se comercializa este tipo de películas y no existen laboratorios fotográficos que las revelen, por lo que hay que adquirirlas en el exterior, transportarlas y almacenarlas refrigeradas y, una vez expuestas, enviarlas también refrigeradas a un laboratorio para su revelado. Sin embargo, las películas infrarrojo resultan más convenientes que las pancromáticas y color normal para aplicaciones especiales como la separación de coníferas y latifoliadas, detección de vegetación enferma o con "stress" en cultivos agrícolas, plantaciones y bosque naturales, determinación de las condiciones de humedad del suelo, etc. Por otra parte, con estas películas es posible contrarrestar más eficientemente la bruma atmosférica.

Existen en el mercado películas de 70 mm similares a las utilizadas en fotografía aérea convencional (formato 230 mm). Para 35 mm la oferta de este tipo de películas es limitada. Mayor información puede obtenerse de los catálogos de películas para fotografía aérea, por ejemplo, Kodak (1982). También pueden utilizarse películas profesionales, y aun las de uso corriente, de estos formatos.

En fotografía aérea de pequeño formato se usan tanto las películas negativas como las reversibles (diapositivas). La ventaja de las películas negativas es que se pueden obtener de ellas copias ampliadas, a menor coste que con las películas reversibles. Estas ampliaciones sirven para la fotointerpretación directa utilizando estereoscopios normales de espejos y de bolsillo, además de ser muy cómodas para el trabajo de campo. Sin embargo, muchos usuarios prefieren las películas reversibles ya que la imagen obtenida (la diapositiva) es más fiel a la escena fotografiada. Para interpretar estas imágenes se requieren instrumentos más sofisticados que los comunes estereoscopios. De las diapositivas pueden obtenerse copias ampliadas elaborando un "internegativo" o utilizando los procesos "Cibachrome" o "Ektachrome RC-1993".

Las películas infrarrojo a color de las marcas más difundidas en el mercado han sido de tipo reversible. En la década pasada el laboratorio Criterion Photoworks (PO Box 292, 119 East 4th, Minden, Nebraska 68959) desarrolló la película negativa Criterion Infrared Aerial Film de 35 y 70 mm, que produce copias ampliadas de muy buena calidad. Los fabricantes indican que esta película, aunque debe ser almacenada refrigerada, puede resistir alrededor de dos semanas en condiciones de temperatura ambiente, lo cual es muy conveniente para su transporte y manipulación. El mismo laboratorio comercializa los "kits" de productos químicos para el revelado.

Los filtros más utilizados en fotografía aérea son los siguientes: filtro ultravioleta (por ejemplo, UV-Haze o UV-2A) en combinación con películas color normal, filtro amarillo (Wratten n.º 12 o n.º 15), con películas pancromáticas e infrarrojo a color y filtro rojo claro (Wratten n.º 25A) y filtro rojo oscuro (Wratten n.º 89B), con películas infrarrojo blanco y negro. Muchas casas fabricantes de cámaras venden filtros de la misma marca. También existen marcas estándar de muy buena calidad como Tiffen y Hoya.

Personal

El desarrollo de un sistema aerofotográfico de pequeño formato puede ser realizado por ingenieros forestales con conocimientos formativos de fotogrametría y fotointerpretación, y con la ayuda de expertos en aspectos particulares (fotógrafos profesionales, ingenieros mecánicos, pilotos,

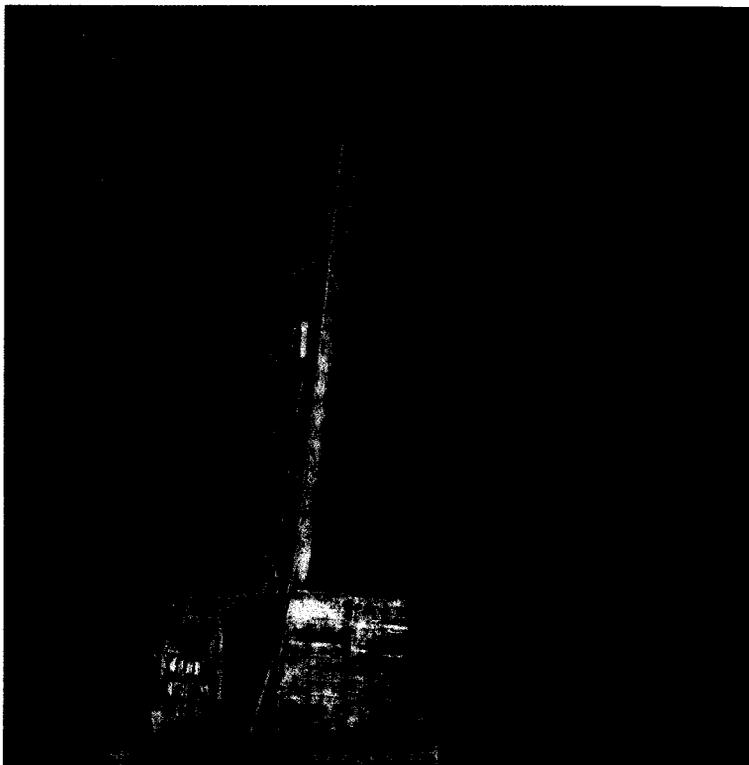


Foto 5.-Fotografía aérea de 70 mm de un sector de plantación industrial de *Pinus caribaea* en el oriente de Venezuela (a la derecha, áreas plantadas; en la franja central, áreas explotadas, y a la izquierda, bosque natural) (Escala del negativo: 1:40.000)

*70 mm aerial photograph of a sector of an industrial *Pinus caribaea* plantation in the eastern part of Venezuela (Right: planted areas, center: exploited areas, and left: natural forest)
(Scale of negative: 1:40.000)*

etc.). Es importante aprovechar la abundante literatura existente sobre el tema. Este desarrollo involucra el diseño general del sistema, la selección de la aeronave y su acondicionamiento (de ser necesario), la selección del equipo fotográfico, el diseño y construcción de algunos elementos como montura, visor, etc., y las pruebas requeridas hasta que el sistema ofrezca eficiencia y seguridad.

La planificación y la ejecución de los vuelos aerofotográficos pueden ser realizadas también por profesionales forestales con formación en fotogrametría y fotointerpretación. Un entrenamiento corto, para uno o varios integrantes del equipo de trabajo, en un centro con experiencia en esta práctica es de gran ayuda. El personal necesario para operar un sistema aerofotográfico de pequeño formato generalmente está compuesto por el piloto de la aeronave, el operador del sistema o fotógrafo y un ayudante.

Es conveniente contar con un piloto con suficiente experiencia práctica (40 h de vuelo), que pueda adaptarse a las condiciones requeridas en una misión aerofotográfica: seguir líneas de vuelo definidas con marcas en el terreno o por coordenadas y direcciones GPS, y mantener el curso con la nave nivelada, a velocidad y altura constantes. El fotógrafo tiene

a su cargo la operación del conjunto cámara fotográfica-intervalómetro, además de corregir la nivelación de la cámara y el derrape. En muchos casos, da las indicaciones al piloto para corregir el inicio y curso de las líneas de vuelo. El ayudante está atento al altímetro, velocímetro y brújula y/o receptor GPS de la aeronave, para ayudar al piloto a mantener los parámetros del vuelo. Además, provisto de los mapas del plan de vuelo, debe identificar los puntos de inicio de las fajas a fotografiar, bien sea a través de marcas en el terreno colocadas o seleccionadas previamente, o a través de coordenadas GPS.

PLANIFICACION Y EJECUCION DE VUELOS AEROFOTOGRAFICOS DE PEQUEÑO FORMATO

Los vuelos aerofotográficos de pequeño formato se planifican de manera similar a los vuelos aerofotogramétricos convencionales. Obviamente, las características particulares del sistema en uso deben ser cuidadosamente consideradas. El éxito de la misión aerofotográfica de pequeño formato dependerá en gran medida de la adecuada planificación. Existe abundante literatura técnica sobre este tema específico (Meyer, Grumstrup, 1978; Disperati, 1991; Gramh, Read, 1986).

La planificación de una misión aerofotográfica de pequeño formato contempla:

1. La elección de la época adecuada para la toma de las fotografías, de acuerdo a las condiciones meteorológicas en el área de trabajo.

2. La definición de las condiciones básicas del material fotográfico requerido, tales como: tipo de película, escala original y de las ampliaciones, tipo de cobertura (cobertura total o muestreo fotográfico) y recubrimiento.

3. La selección de una aeronave apropiada, de acuerdo a las siguientes características: tipo, autonomía, techo, velocidad mínima y de crucero, estabilidad y costes de operación.

4. La determinación de los parámetros del vuelo: escala media, altura de vuelo, recubrimiento longitudinal y transversal, dirección y separación de las líneas de vuelo, área cubierta por cada fotografía y área ganada, velocidad de la aeronave, movimiento relativo de la imagen, intervalo entre exposiciones, número de líneas de vuelo, número de fotografías en cada línea y número total de fotografías, número de rollos y tiempo de cambio de los rollos, tiempo de traslados desde el aeropuerto, base de la aeronave, al área de trabajo y viceversa, tiempo por línea de vuelo y tiempo total de la misión.

5. La determinación del apoyo logístico requerido para llevar adelante la misión: ubicación de un aeropuerto con disponibilidad de combustible, o en su defecto, un medio de aprovisionamiento, personal para la selección de marcas propias del terreno o la colocación de marcas especiales, para la identificación de puntos de inicio y finalización de líneas de vuelo; alojamiento y alimentación para el personal durante el tiempo que dure el trabajo, partes meteorológicas proporcionados por agencias especiales o por personal propio ubicado en el área de trabajo, comunicaciones radiales y transporte terrestre en el área.

La ejecución de una misión aerofotográfica de pequeño formato generalmente contempla los siguientes aspectos:

1. La tramitación de los permisos correspondientes ante las autoridades encargadas del control de los vuelos aerofotográficos. En la mayoría de los países latinoamericanos no existe una normativa legal para este tipo de misiones y, en su defecto, las autoridades tratan de aplicar las normas establecidas para las compañías fotogramétricas convencionales. Puesto que las condiciones de operación son diferentes, toda intención de aplicación de

esas normas casi siempre lleva a abortar la posibilidad de ejecutar los trabajos aerofotográficos de pequeño formato. De cualquier manera, es necesario que el personal directivo de una empresa o institución que deba llevar a cabo una misión de este tipo, exponga ante las autoridades correspondientes sus necesidades y condiciones de operación y obtenga los permisos para realizar el trabajo legalmente.

2. El replanteo de las líneas de vuelo planificadas previamente. En la planificación de la misión aerofotográfica cada línea queda definida por un punto de inicio, la dirección a seguir, un punto de finalización, con o sin puntos intermedios. El replanteo de una línea de vuelo depende de la modalidad y componentes del sistema y puede hacerse de las siguientes maneras:

a) Usando puntos de identificación que pueden ser detalles naturales o artificiales existentes en el terreno o, marcas fabricadas especialmente para ese fin (marcas de tierra).

b) Usando instrumentos GPS para ubicar, a través de coordenadas, los puntos y dirección que definen cada línea de vuelo.

3. Operación de la aeronave durante el vuelo aerofotográfico: durante la toma de una faja de fotografías, la aeronave debe mantener el vuelo recto y nivelado y la altura, la velocidad y la dirección constantes, según fueron planificados previamente. El mantenimiento de los parámetros del vuelo exige vigilancia permanente de los instrumentos de navegación (altímetro, velocímetro, brújula y/o receptor GPS) y la capacidad de realizar las correcciones necesarias. En esta labor es fundamental la colaboración que el fotógrafo y, sobre todo, el ayudante, puedan brindar al piloto.

4. Operación del sistema aerofotográfico: la mayor o menor facilidad en la operación del sistema aerofotográfico dependerá de las características de los componentes del sistema y de la familiaridad que el personal a bordo tenga de él. Actualmente, se dispone de cámaras de 35 mm completamente automáticas para el enfoque y el control de la exposición (tiempo de exposición y apertura del diafragma). Es recomendable que la cámara automática tenga la posibilidad de fijar manualmente el tiempo de exposición, el cual es un parámetro de gran repercusión en la nitidez de las imágenes (movimiento de la imagen). Para fotografía aérea es necesario usar tiempos de exposición relativamente bajos, generalmente de 1/500 a 1/2000 segundos. A pesar del auge y gran oferta de cámaras automáticas, muchos profesionales siguen prefiriendo, para trabajos aerofotográficos, las cámaras de funcionamiento mecánico. Aunque no es absolutamente necesario, es más cómodo y seguro operar la cámara, ya sea mecánica o electrónica, a través del intervalómetro.

La medición de la iluminación reflejada, si se trata de cámaras sin esta función automática, se hace con un fotómetro manual, al menos una vez para cada línea de vuelo. En este caso, los sistemas aerofotográficos basados en monturas internas o externas, deben ofrecer facilidad para hacer las modificaciones del anillo que regula la apertura del diafragma, y de ser necesario, el del tiempo de exposición.

INTERPRETACION Y RESTITUCION DE FOTOGRAFIAS DE PEQUEÑO FORMATO

La mayor contribución que brindan las fotografías tomadas por cámaras no métricas, como las propuestas en el presente artículo, consiste en la preparación de mapas temáticos, apoyándose en mapas básicos existentes, y en la actualización de mapas básicos y temáticos.

Hay procedimientos bastante sencillos y prácticos para la interpretación y la transferencia de la información de las fotografías a los mapas básicos. Por ejemplo, pueden prepararse copias ampliadas, bien sea de los negativos o las diapositivas, a un tamaño de 20-25 cm de lado, para ser interpretadas usando los convencionales estereoscopios de espejos. Instrumentos fotogramétricos aproximados, ampliamente usados en el pasado como el "sketch-master", el zoom transferoscope y el estereotopo, o instrumentos más modernos, son utilizados para transferir la información delineada en las fotografías a los mapas básicos. En muchos casos, se prefiere hacer la interpretación a partir de las diapositivas, para aprovechar su mayor fidelidad. Para ello, un instrumento de proyección es utilizado para proyectar la imagen sobre una superficie donde se coloca el mapa base. En este caso, la interpretación se realiza monoscópicamente, a una con la restitución. Existen en el mercado instrumentos para este proceso (el PROCOM, por ejemplo), aunque con pocos recursos pueden diseñarse localmente aparatos eficientes, que usan proyectores convencionales de 35 y 70 mm. Los reportes del Laboratorio de Percepción Remota de la Universidad de Minnesota (Meyer, Grumstrup, 1978; Meyer, Gerbig, 1974) presentan algunas posibilidades de esta índole.

La alta difusión que han tenido los sistemas de procesamiento digital de imágenes en los últimos diez años, permite proponer algunas alternativas para la interpretación y corrección geométrica de las fotografías de pequeño formato. Un método cuyo uso se está incrementando en Norteamérica consiste en la digitalización de las diapositivas de 35 ó 70 mm, usando un escáner especial para este tipo de imágenes, con una resolución de 4.000 puntos por pulgada, o mayor. Luego, las imágenes son importadas a un sistema de procesamiento digital para la corrección geométrica, preparación o mosaicos digitales georreferenciados e interpretación visual directamente en pantalla. Las capas con la información delineada ("overlays") son impresas posteriormente con un plotter.

APLICACIONES

Los sistemas aerofotográficos de pequeño formato han sido utilizados en gran número de aplicaciones forestales. A continuación, se citan algunos estudios realizados con estos sistemas, que ilustran la variedad de esas aplicaciones:

En identificación de especies vegetales: Myers, Benson (1981) probaron la eficiencia de las fotografías a color, de escala grande, para la identificación de especies del bosque pluvial, y Driscoll, Coleman (1974) usaron fotografías a color de 70 mm para la identificación de especies arbustivas.

En muestreos de vegetación: Meyer *et al.* (1982) utilizaron fotografías de 35 mm en estudios de la vegetación riparia; Meyer *et al.* (1983) evaluaron el uso de fotografías de 35 mm e imágenes de vídeo en inventarios de recursos en países en desarrollo; y Norton, Griffiths (1983) combinaron la observación visual y fotografías de pequeño formato, de escala muy grande, para muestreos de vegetación.

En mediciones e inventario forestal: Aldrich *et al.* (1959) aplicaron fotografías de 70 mm de gran escala a muestreos forestales; Kippen, Sayn-Wittgenstein (1964) realizaron mediciones de árboles sobre fotografías verticales de gran escala; Aldred, Kippen (1967) usaron fotografías de 70 mm para determinar el volumen de parcelas muestrales; Lyons (1967), Rhody (1977) usaron fotografías estéreas de base fija, tomadas desde helicópteros, para inventario forestal; Godoy (1979) aporta un estudio de inventario combinado terrestre

y aerofotográfico, para evaluar plantaciones de pino caribe; MacLeod (1981) presenta una guía para el muestreo por fajas para inventario forestal, usando fotografías de pequeño formato de escala grande; McCarthy *et al.* (1982) evaluaron bosques de abeto usando fotografías de pequeño formato; Meyer *et al.* (1982) aplicaron fotografías infrarrojo de 35 mm de pequeña escala al manejo forestal de grandes áreas; Hall (1985), Kirby (1985) usaron fotografías de pequeño formato en la evaluación de regeneración forestal; y Jurgenson (1994) elaboró un mapa de vegetación y uso actual de un sector de una reserva forestal usando fotografías de 70 mm color normal.

En evaluación de daños a la vegetación por plagas y enfermedades: Ashley *et al.* (1976), McCarthy *et al.* (1982) estudiaron el potencial de las fotografías de pequeño formato para evaluar los daños causados por el gusano del abeto; Williams (1978) usó fotografías estereoscópicas de pequeño formato en la evaluación de daños; Murtha, Melean (1981) trataron de definir el árbol normal estándar, como medio para detectar daños extra-visuales; y Murtha (1983) estudió algunos efectos de la escala en la interpretación de daños en el abeto. En la evaluación de daños por fuegos forestales, Morse, Kulman (1984) estimaron la mortalidad en plantaciones de abeto blanco usando fotografías de pequeño formato y muestreo de campo; y Smith, Woodgate (1985) estimaron los daños causados por el fuego y realizaron un inventario de madera factible de ser salvada, utilizando, entre otros medios, fotografías de pequeño formato.

En estudios de fauna silvestre: Warner, Fry (1990) evaluaron la calidad de la fotogrametría de pequeño formato para inventarios forestales y de fauna silvestre.

CONCLUSIONES

Los sistemas aerofotográficos de pequeño formato son poco usados en América Latina. A pesar de haber sido probados y utilizados satisfactoriamente en Europa, Canadá, Estados Unidos, Australia y otras partes, esta experiencia no ha sido aprovechada en la región. En América Latina hay carencia de información sobre los recursos forestales y ambientales a todos los niveles. Estos sistemas son aptos para proveer información a niveles de gran detalle, detallados y semidetallados. Además, las fotografías aéreas de 35 y 70 mm, tomadas en variados diseños de muestreo fotográfico, son una valiosa y económica herramienta de referencia para estudios temáticos de grandes áreas, realizados con imágenes obtenidas por satélites.

Los sistemas aerofotográficos de pequeño formato, utilizados técnicamente, ofrecen alto potencial de aplicación en variados escenarios de la evaluación y manejo de recursos forestales, de áreas relativamente pequeñas en superficie. Trátese de un refugio de fauna, de un bosque de galería, de un área de manejo forestal o de un asentamiento rural, las fotografías aéreas obtenidas por sistemas de 35 y 70 mm proveen gran cantidad de información, útil en el proceso de evaluación, manejo y monitoreo de los recursos.

Los sistemas aerofotográficos de pequeño formato se utilizan generalmente en áreas menores a las 50.000 ha. Sin embargo, se han realizado experiencias que abarcan más de 300.000 ha (Meyer *et al.*, 1982). La extensión posible de cubrir depende, en la práctica, de la escala del material fotográfico y de las condiciones de trabajo. Es conveniente recalcar que en numerosas situaciones las áreas objeto de evaluación van desde unos cientos de hectáreas hasta las 10.000 ha.

Los sistemas aerofotográficos de pequeño formato son sencillos y fáciles de integrar. Pueden ser desarrollados a nivel local por profesionales forestales creativos, con conocimientos formativos en fotogrametría y fotointerpretación. Tanto en su desarrollo como en su operación, estos sistemas resultan mucho más económicos que los sistemas aerofotogramétricos convencionales, cuando se trata de áreas de poca extensión.

SUMMARY

Small-format aerial photographic systems for the evaluation of forest resources in Latinamerica

For several decades, 35 and 70 mm aerial photographic systems have been used in Northamerica, Europe and other regions, for the acquisition of forest resources information on relatively small extension areas. On the contrary, in Latinamerica, where there is a lack of information about those resources, the small-format systems have received limited use. In part, this situation is due to the scant knowledge that exists in the region about the potential these systems have and the ways of using them. The purpose of this article is to provide personnel and institutions involved in the evaluation and monitoring of forest resources, with basic information and support references about the general characteristics, the integration of small-format aerial photographic systems, the planning and execution of missions of this type, the interpretation and restitution of 35 and 70 mm photographs, and applications in forestry.

KEY WORDS: Aerophotographic systems
Small-format
Forest evaluation
Monitoring

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ALDRED A. H., KIPPEN F. W., 1967. Plot volume from large-scale 70 mm aerial photographs. *Forest Science*, 13, 419-426.
- ALDRICH R. C., BAILEY W. F., HELLER R. C., 1959. Large scale 70 mm color photography techniques and equipment and their application to a forest sampling problem. *Photogrammetric Engineering* 25, 747-754.
- ASHELY M. D., REA J. C., 1976. Camera mounts for small aerial cameras. *The Consultant*, 21, 13-16.
- ASHLEY M. D., REA, J., WRIGHT L., 1976. Spruce budworm damage evaluation using aerial photography. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 42, (10), 1265-1272.
- BENSON M. L., MYERS B. J., GRAIG Y. E., GABRIEL W. C., SWAN A. G., 1984. A camera mount and intervalometer for small format aerial photography. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 50 (11), 1571-1580.
- BOBBE T., 1992. Real-time differential GPS for aerial surveying and remote sensing. *GPS World*, 3 (7), 18-22.
- CSIRO, DIVISION OF LAND RESOURCES MANAGEMENT, 1981. Window mount for aerial photography. *CSIRO Indust. Res. News.*, Jan. 144.
- DISPERATI A. A., 1991. Obtenção e uso de fotografias aéreas de pequeno formato. Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, 290 p.
- DRISCOLL R. S., COLEMANN M. D., 1974. Color for shrubs. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 40, n.º 4, pp. 451-459.
- EKIN W. H., 1987. A new lightweight camera rig. *Photogrammetric Record*, 12 (69), 343-348.
- EKIN W. H., DEANS N. D., 1986. Further developments of an inexpensive retractable vertical camera rig for a light aircraft. *Photogrammetrical Record*, 12 (68), 227-236.
- GODOY J., 1979. Inventario combinado terrestre y aerofotográfico en las plantaciones de pino caribe en Uverito, Ed., Monagas. Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales, Mérida, Venezuela.
- GRAHAN R. W., READ R. E., 1986. *Manual of Aerial Photography*, Focal Press, London, 346 pp.
- GRAHAM R. W., READ R. E., KURE J., 1984. Small format microlight surveys, Preocceedings of the Congress of International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Río de Janeiro: Commettee of the XVth International Congress of Photogrammetry and Remote Sensing, vol. 25, 71-80.

- GREGORE J. M., HUBAX A., ZEYEN R., 1988. Microlight aircraft for radiometric surveying applied to land resources assessment and monitoring in Mali (West Africa). *Photogrammetria*, 43 (1), 37-44.
- HALL R. J., 1985. Use of large-scale aerial photographs in regeneration assessment. *Environ. Can., Can. For. Serv., North. For. Res. Center, Inf. Rep. NOR-X-264*, 31 pp.
- HALL R. J., HISCOCKS P., 1990. A microcomputer-based camera control system. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 56 (4), 443-446.
- HOFSTEE P., 1985. An introduction to small format aerial photography for human settlement analysis. *ITC Journal*, 2, 121-127.
- JURGENSON O., 1988. Diseño de un sistema aerofotográfico de pequeño formato para la evaluación forestal. Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales, Mérida, Venezuela, 140 pp.
- JURGENSON O., 1994. Mapa de vegetación y uso actual del Área Experimental de la Reserva Forestal de Caparo, Estado Barinas. Cuaderno Comodato ULA-MARNR n.º 22, Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales, Mérida, Venezuela, 45 pp.
- KIPPEN F. W., SAYN-WITTGENSTEIN L., 1964. Tree measurements on large-scale, vertical, 70 mm air photographs. *Can. Dept. Forestry Publication*, n.º 1.053, 16 pp.
- KODAK, 1985. Photography from lightplanes and helicopters. Kodak Publication n.º M-5, Eastman Kodak Company, Rochester, New York, 33 pp.
- KIRBY C. L., 1980. A camera and interpretation system for assessment in forest regeneration. *Can. For. Serv. Inf. Rept. NOR-X-221*, 8 pp.
- LONG D. S., TAYLOR J. E., MCCARTHY J., 1986. Cessna aircraft cabin door mount for photographic and videographic cameras. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 52 (11), 1753-1755.
- LORD J., 1980. *Aerial Photography*. Victor Hasselblad Aktiebolag, Suecia, 15 pp.
- LYONS E. H., 1964. Recent developments in 70 mm stereo-photography from helicopters. *Photogrammetric Engineering*, 30, 750-756.
- LYONS E. H., 1967. Forest sampling with 70 mm fixed air-base photography from helicopters. *Photogrammetria*, 22, 213-231.
- MACLEAOD D. A., 1981. A guide to strip sampling for forest inventory using large-scale aerial photography. *Can. For. Ser., Petawana Nat'l. For. Inst., Inf. Rep. P1-X-7*, 23 pp.
- MCCARTHY J., OLSON C. E., WITTER J. A., 1982. Evaluation of spruce-fir forests using small-format photographs. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 48 (5), 771-778.
- MASSON GL. L., MATHEWS M. L., 1979. Camera mount assembly for small format aerial photography. *Southern Journal of Applied Forestry*, 152-154.
- MENNIS B. J., 1978. Aerial photography using miniature cameras. *Papua New Guinea Dept. Lands, Surveys and Envt., Tech. Bull. n.º 1*, 35 pp.
- MEYER M. P., 1975. Application of remote sensing to the assessment of natural pastures in the Dominican Republic. University of Minnesota, College of Forestry and the Agricultural Experiment station, IAFHE RSL Research Report 75-2, St. Paul, Minnesota, 11 pp.
- MEYER M. P., BATSON F., WHITMER D., 1982. Helicopter-borne 35 mm aerial photography applications to range and riparian studies. University of Minnesota, Remote Sensing Laboratory, St. Paul, Minnesota.
- MEYER M. P., GERBIG B. H., 1974. Remote sensing applications to forest and range resource surveys and land use classification on the Malta District (BLM), Montana. University of Minnesota Remote Sensing Laboratory, St. Paul, Minnesota, 36 pp.
- MEYER M. P., GRUMSTRUP P. D., 1978. Operating manual for the Montana 35 mm aerial photographic system. 2nd. Revision. University of Minnesota, Laboratory of Remote Sensing, St. Paul, Minnesota, 62 p.
- MEYER M. P., OPSETH S., MOODY N., BERGSTROM L., 1982. Large area forest land management applications of small color infrared 35 mm aerial photography. University of Minnesota, Remote Sensing Laboratory, St. Paul, Minnesota.
- MEYER M. P., MEISNER D., JOHNSON W., LINDSTROM O., 1983. Small aircraft 35 mm photography and video imagery applications to developing country resource survey. University of Minnesota, Remote Sensing Laboratory, St. Paul, Minnesota.
- MORSE B. W., KULMAN H. M., 1984. Plantation white spruce mortality: estimates based on aerial photography and analysis using life-table format. *Canadian Journal of Forest Research*, 14 (2), 195-200.
- MURTHA P. A., MELEAN J. A., 1981. Extravizual damage detection? Defining the standard normal tree. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 47 (4), 515-522.
- MURTHA P. A., 1983. Some air-photo scale effects on Douglas-fir damage type interpretation. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 49 (3), 327-335.
- MYERS B. J., BENSON M. L., 1981. Rainforest species on large-scale color photos. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 47 (4), 505-514.

- NEUSTEIN S. A., WADDELL J., 1972. Some investigations in the use of 25 mm aerial photography. *Scottish Forestry*, 26, 186-204.
- NORTON-GRIFFITHS M., 1983. Sample survey from light aircraft combining visual observations and very large scale color photography. *ITC Journal*, n.º 1.
- PERNIA J. E., JURGENSON O., 1987. Sistemas aerofotográficos de 35 y 70 mm en aplicaciones forestales. *Revista Forestal Venezolana*, (31) 93-105.
- PERNIA J. E., JURGENSON O., OSORIO R. A., 1994. Sistemas aerofotográficos de pequeño formato en aplicaciones forestales: Experiencia de la Escuela de Ingeniería Forestal. Universidad de Los Andes, *Revista Forestal Venezolana*, (28) 25-42.
- RHODY B., 1977. A new, versatile stereo-camera system for large-scale helicopter photography of forest resources in Central Europe. *Photogrammetria* 32, 183-197.
- ROBERTS A., GRISWOLD L. 1986. Practical photogrammetry from 35 mm aerial photography. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 52 (4), 501-508.
- SMITH R. B., WOODGATE P. W., 1985. Appraisal of fire damage and inventory for timber salvage by remote sensing in mountain ash forests in Victoria. *Australian Forestry*, 48 (4), 252-263.
- SPENCER R. D., 1974. Supplementary aerial photography with 70 mm and 35 mm cameras. *Australian Forestry*, 37 (2), 115-124.
- SPENCER R. D., HALL R. J., 1988. Canadian large-scale aerial photographic systems (LSP). *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 54 (4), 475-482.
- TOTTERDELL C. J., CONDON B. N., RATH C. R., 1971. Dual 70 mm camera systems for remote sensing. *Fld. Stn. Rec. Div. Pl. Ind. CSIRO (Aust.)*, 10, 73-81.
- VOOREN A. P., 1985. An ultralight aircraft for low-cost, large scale stereoscopic aerial photographs. *Biotropica*, 17 (1), 84-88.
- WALKER J. W., 1985. Ultra-light reconnaissance, another tool. *Proceedings ASP-ACSM Convention, American Society of Photogrammetry*, V. 1, 371-380.
- WARNER W. S., 1989. A complete small-format aerial photography system for GIS data entry. *ITC Journal*, 2, 121-129.
- WARNER W. S., FRI G., 1990. Evaluating small-format photogrammetry for forest and wildlife surveys: Euclidean vs. fractal geometry. *Forest Ecology and Management*, 31 (1-2), 101-108.
- WILLIAMS P. G., 1978. Wingtip stereo photography. *Proc. Amer. Soc. Photogrammetry, Symp. Remote Sensing for vegetation damage assessment, Seattle, Washington*, 127-134.
- WILLETT A. M., WARD B. K., 1978. Forest insect and disease surveys by remote sensing. *Remote Sensing Association of Australia*, 4, 7-12.
- WILLINGHAM J. W., 1959. Obtaining vertical aerial photographic coverage with a 35 mm camera. *Journal of Forestry*, 2 (57), 108-110.