

# MEDICIÓN DE REFLECTANCIAS ESPECTRALES EN ESPECIES FORESTALES UTILIZANDO UN HELICÓPTERO DE RADIO CONTROL

## Measuring of Spectral Reflectances in Forest Species Using a Radio Controlled Helicopter

Martín Bolaños González<sup>1‡</sup>, Fernando Paz Pellat<sup>1</sup>, Enrique Palacios Vélez<sup>1</sup> y Javier Navarro<sup>2</sup>

### RESUMEN

En este trabajo se describe el desarrollo de una nueva plataforma para la medición de reflectancias espectrales y cobertura vegetal para zonas forestales, las cuales, debido a sus dimensiones (altura y extensión), son muy difíciles de medir usando técnicas convencionales de muestreo, además del costo elevado. Debido a lo anterior, se probó la eficacia de usar como plataforma un helicóptero de radio control (HRC) que se eleva a alturas superiores a las del dosel arbóreo para obtener datos de reflectancia y cobertura vegetal sin inducir un efecto de escala debido a áreas de medición pequeñas, por lo que son representativos del rodal. El uso del HRC como plataforma de medición produjo resultados satisfactorios en 17 sitios de medición ubicados en los estados de México, Hidalgo y en el Distrito Federal; aunque es necesario implementar algunas adaptaciones adicionales para incrementar la estabilidad y seguridad del HRC y equipo de medición, sobre todo en condiciones atmosféricas adversas, como fuertes vientos y presencia de neblina, efectos comunes en zonas forestales de México.

**Palabras clave:** firmas espectrales, cobertura vegetal, mediciones radiométricas.

### SUMMARY

This work describes the development of a new platform for the measurement of spectral reflectances and plant cover in forested areas, which, because of their dimensions (height and extension), are very difficult

to measure using conventional sampling techniques, in addition to the high cost. As a consequence, it was decided to test the effectiveness of using a radio controlled helicopter (RCH) that rises to heights above the forest canopy to obtain data on reflectance and plant cover without inducing a scale effect because of small sampling areas; therefore, the data obtained are representative of the forest. The use of the RCH as a measurement platform produced satisfactory results in seventeen measuring sites in the states of Mexico, Hidalgo and the Federal District; although it is necessary to implement some additional adaptations for improving the stability and safety of the RCH and measuring equipment, especially in adverse atmospheric conditions, such as strong winds and fog, that are common conditions in the forested areas of Mexico.

**Index words:** spectral signatures, vegetal cover, radiometric measurements.

### INTRODUCCIÓN

Para realizar mediciones de radiometría y cobertura vegetal en zonas forestales o de difícil acceso se han usado, principalmente, vehículos aéreos no tripulados (UVA, por sus siglas en inglés), entre los que destacan avionetas y helicópteros de radio control (Eisenbeiss, 2004; Swain, 2007). Uno de los equipos más utilizados para realizar mediciones radiométricas y de cobertura en zonas de vegetación natural es el HRC Yamaha Rmax (Hongoh *et al.*, 2001; Konda *et al.*, 2001; Nordberg *et al.*, 2003); equipado con sistema sensor azimutal y GPS diferencial, por lo que puede realizar vuelos autónomos programados y tiene una capacidad de carga libre de 30 kg (Yamaha, 2004).

Por otra parte, debido a la necesidad de medir y caracterizar la vegetación natural para estimar parámetros biofísicos, ecológicos y productivos (almacenamiento de carbono, volumen maderable) se ha recurrido a la medición de las propiedades espectrales y de cobertura vegetal, principalmente con uso de imágenes de satélite con radiometría de campo en sitios

<sup>1</sup> Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. 56230 Montecillo estado de México.

<sup>‡</sup> Autor responsable (bolanos@colpos.mx)

<sup>2</sup> Servicio especializado de fotografía aérea. Volcán Popocatepetl 1996, local 17. Zapopan, Jalisco.

de calibración de la información espectral contenida en las imágenes de satélite. Aunque el HRC Yamaha Rmax posee las características ideales para utilizarse como plataforma en las mediciones pretendidas, su alto costo: 120 000 dólares para la versión de vuelo manual y 1 000 000 para la versión de vuelo completamente automatizado (Hanlon, 2004)) obligó a buscar una alternativa al alcance de presupuestos limitados para investigación, pero que realizara satisfactoriamente las mediciones correspondientes en estas zonas de difícil acceso, por lo que se desarrolló una plataforma de medición (HRC, con motor de combustión interna) que permitiera realizar estas mediciones en zonas forestales. Tras llevar a cabo pruebas de estabilidad, capacidad de carga y altura de vuelo, se optó por un helicóptero industrial de radio control Bergen<sup>MR</sup> con capacidad de carga libre de 8 kg a nivel del mar, el cual tuvo un costo aproximado del ocho por ciento de la versión manual del Yamaha Rmax.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Sitios de Muestreo

Las mediciones radiométricas se realizaron en diecisiete puntos de muestreo ubicados en siete zonas forestales de los estados de Hidalgo, México y el Distrito Federal. Las áreas seleccionadas correspondieron a plantaciones, reforestaciones y áreas de bosque natural bajo manejo (regeneración) de siete especies forestales. Estos sitios de muestreo reunieron ciertos requisitos de homogeneidad (especie, altura, cobertura, etc.), para medir las principales variables biofísicas que influyen en la respuesta espectral de cada tipo de rodal, de acuerdo

con sus condiciones particulares, principalmente cobertura vegetal, altura y tipo de hoja. Las mediciones de campo se realizaron durante las primeras quincenas de diciembre de 2006 y enero de 2007, en los sitios mencionados en el Cuadro 1.

### Plataforma y Equipo de Medición

Debido a la altura del dosel arbóreo en rodales adultos (20-35 m) la plataforma de medición debe alcanzar alturas superiores a las de las especies a medir, al menos dos veces la altura de los rodales, para poder medir áreas representativas de éstos (el diámetro del área circular de medición es la mitad de la altura), por lo que la altura de vuelo fue de 30 y 60 m. En el HRC se montó un radiómetro Cropscan<sup>MR</sup> modelo MSR16R de dieciséis bandas espectrales, una cámara digital Sony<sup>MR</sup> modelo cybershot DSC V1 y un sistema de geoposicionamiento global (GPS, por sus siglas en inglés) GPSFligh<sup>MR</sup> modelo STXe, con altímetro digital y transmisión de datos en tiempo real vía radio. Las bandas espectrales instaladas en el radiómetro se seleccionaron debido a que entre ellas existe menor correlación; es decir, contienen la máxima información espectral de la mezcla suelo-vegetación, por lo que es posible reconstruir el espectro completo a partir de estas bandas (Disney, 2001).

Mediante esta plataforma se realizaron mediciones espectrales sobre la copa de los árboles a las alturas mencionadas en condiciones completamente controladas con respecto a la posición del equipo (latitud, longitud y altura sobre la superficie). El helicóptero tiene un motor de combustión interna (52 mL) de dos tiempos y dos pistones, con una potencia de 8 HP. El combustible

**Cuadro 1. Sitios de muestreo en los estados de México, Hidalgo y Distrito Federal.**

Sitio	Especie	Puntos	Municipio	Entidad
Presa Tejocotal	<i>Pinus patula</i>	1	Acaxochitlán	Hidalgo
Ejido Nopalillo	<i>Pinus teocote</i>	2	Epazoyucan	Hidalgo
Ejidos La Mojonera y Atopixco	<i>Pinus patula</i>	6	Zacualtipán	Hidalgo
Ejido Nativitas	<i>Pinus montezumae</i> Lamb	2	Texcoco	México
	<i>Pinus devoniana</i> Lindley			
Ejido San Pablo Ixayoc	<i>Pinus montezumae</i> Lamb	2	Texcoco	México
	<i>Cupressus lusitanica</i>			
Chapingo	<i>Cupressus lindleyi</i>	1	Texcoco	México
Colegio de Postgraduados	<i>Pinus leiophylla</i>	1	Texcoco	México
San Miguel Topilejo	<i>Pinus ayacahuite</i>	2	Tlalpan	Distrito Federal

es una mezcla de gasolina con aceite de motor de dos tiempos. Las características del equipo se describen en el Cuadro 2.

Debido a que el peso del equipo utilizado (4.5 kg) era superior a la capacidad de carga del HRC (4.0 kg en el área del Colegio de Postgraduados, a 2220 m de altitud) y que los sitios de medición estaban a altitudes superiores, fue necesario llevar a cabo una serie de adaptaciones para mejorar las condiciones de operación del HRC y seguridad del equipo, para ello, se usaron dos estrategias:

- Se redujo el peso del equipo en aproximadamente 1 kg, sustituyendo la carcasa metálica de protección del datalogger del radiómetro por una de madera, se redujeron las longitudes de los cables de conexión del radiómetro con el datalogger y el teclado de operación.

- Se cambiaron algunas piezas del helicóptero para incrementar su capacidad de carga y maniobrabilidad, destacando el cambio de palas por unas de mayor capacidad de carga (palas planas) que proporcionaron mayor estabilidad. Además se cambiaron los cuatro servomotores por otros de mayor capacidad (Cuadro 3).

Después de estos cambios, el helicóptero pudo levantar el equipo con seguridad y manteniendo una buena capacidad de maniobra en lugares que se encontraban a altitudes de hasta 3100 m.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El desempeño del equipo fue adecuado, salvo en algunos sitios donde se presentaron condiciones extremas como neblina densa (puntos 1, 4 y 5 del Ejido La Mojonera, en el estado de Hidalgo) y fuertes corrientes de viento, lo cual fue muy evidente en zonas de bosque con alta cobertura vegetal y alturas de dosel superiores a 15 m (Presa el Tejocotal y Ejido Nopalillo, Hidalgo), donde se dificultó el control y estabilidad

**Cuadro 2. Características del helicóptero de radio control (HRC).**

Característica	Dimensiones
Longitud	152.40 cm
Altura	50.80 cm
Peso	9.07 kg
Envergadura del rotor principal	80.00 cm
Envergadura del rotor de cola	13.00 cm
Capacidad del tanque de combustible	0.90 kg
Potencia	8 HP

**Cuadro 3. Equipo cambiado al helicóptero de radio control (HRC).**

Equipo	Marca/Modelo
3 servos de rotor	Futaba <sup>MR</sup> 9351
1 servo de timón	Futaba <sup>MR</sup> 9254
Gobernador	Futaba <sup>MR</sup> GV1
Palas planas (alta capacidad de carga)	SAB <sup>MR</sup> (810 mm)

del helicóptero. En estos lugares el helicóptero pudo elevarse sin dificultad en pequeños claros del bosque; sin embargo, al alcanzar alturas superiores a las del dosel, las fuertes corrientes desestabilizaron ligeramente el helicóptero dificultando la medición. Aún bajo tales condiciones fue posible llevar a cabo las mediciones de radiometría y cobertura vegetal, gracias a la pericia y experiencia del operador del helicóptero.

A manera de ejemplo, en la Figura 1 se observa la gráfica de reflectancia, correspondiente al sitio Presa Tejocotal, en la cual se aprecia una firma espectral típica de vegetación, con porcentajes bajos de energía reflejada en las bandas visibles (480 a 700 nm) y un máximo en la banda del infrarrojo cercano (800 a 900 nm). En la Figura 2 se muestra la fotografía a nadir correspondiente a la gráfica de la Figura 1, para el cálculo de cobertura vegetal, en la cual se observa que el área de medición tiene un tamaño suficiente para minimizar los efectos de escala, los cuales son evidentes cuando se miden áreas pequeñas del dosel que resultan poco representativas del mismo, por lo que las mediciones reflejan condiciones locales del área particular medida, por ejemplo áreas con alta cobertura vegetal o áreas sin vegetación (huecos entre árboles), lo cual se acentúa en lugares con vegetación dispersa y heterogénea.

Con la finalidad de mejorar las condiciones de estabilidad, seguridad y desempeño de la plataforma de medición, se realizarán las siguientes modificaciones:

- Instalación de cámara inalámbrica en el helicóptero, con transmisión de video en tiempo real. Esta cámara facilitará la selección de áreas de interés para su medición, es decir, permitirá la medición de áreas representativas del sitio en cuestión. Adicionalmente, se mejorará el desempeño del helicóptero ya que será posible su operación a alturas superiores que en las actuales condiciones.

- Instalación de autoestabilizadores. Este equipo se utilizaría para mayor estabilidad en las mediciones.

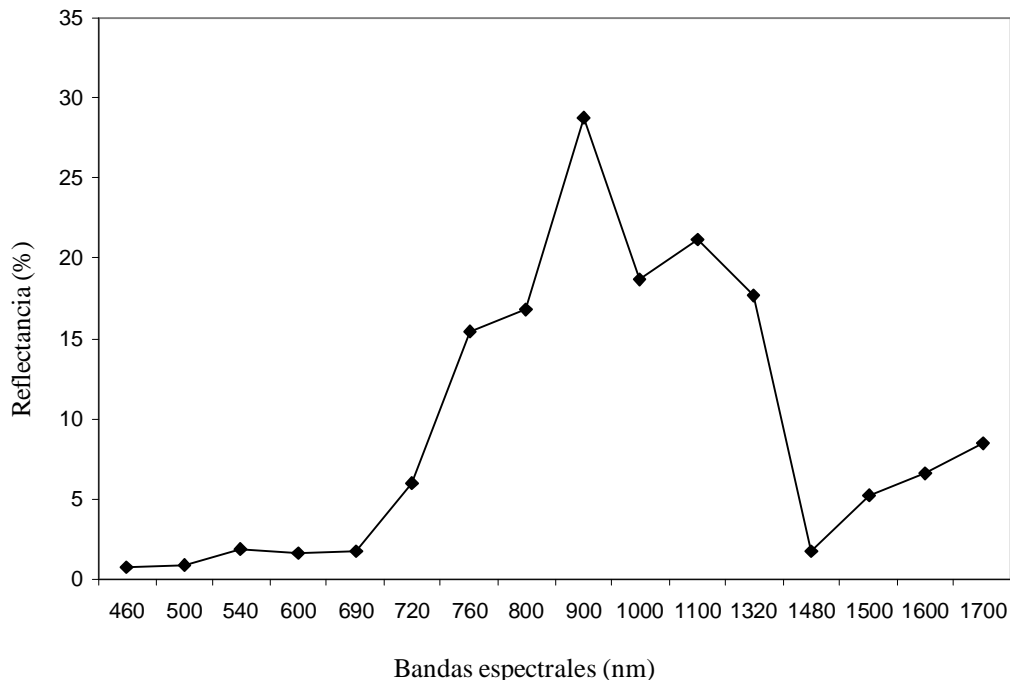


Figura 1. Reflectancia de *Pinus patula*, presa Tejocotal, Hidalgo.

En primer lugar el helicóptero ascendería manualmente hasta la altura en donde se pretenda realizar la medición y, en ese momento se activarían los autoestabilizadores, de tal forma que el HRC quedaría completamente fijo en la posición deseada (vuelo en hover), compensando

automáticamente los cambios en la magnitud y dirección del viento.

c) Transmisión de datos del radiómetro vía radio. Con esta adaptación se pretende disminuir el peso del helicóptero, de tal forma que se incremente su capacidad



Figura 2. Fotografía a nadir tomada desde el helicóptero de radio control (HRC).

de vuelo en sitios de mayor altitud. Actualmente se están realizando las pruebas finales del sistema, para que la transmisión de la información se realice vía radio, en tiempo real, a una base receptora en tierra conectada a una computadora portátil.

### CONCLUSIONES

- El uso del helicóptero de radio control (HRC) como plataforma de medición produjo resultados satisfactorios en los diecisiete sitios de medición, ya que fue posible obtener las firmas espectrales y porcentajes de cobertura vegetal de las especies forestales.
- Como se mencionó anteriormente, es necesario implementar algunas adaptaciones adicionales para incrementar la estabilidad y seguridad del HRC y equipo de medición, sobre todo cuando existen condiciones atmosféricas adversas; sin embargo, de acuerdo a los resultados obtenidos en esta primera etapa, se puede concluir que la plataforma de medición seleccionada es adecuada para realizar mediciones de radiometría y cobertura vegetal en zonas forestales, lo cual implica contar con una importante herramienta en el estudio de estas zonas, que por métodos convencionales resulta muy complicado y caro.

### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se realizó con el apoyo del proyecto CONACYT-CONAFOR “Catalogo de Firmas Espectrales de Especies Forestales Maderables en México”, CONAFOR-2004-CO4-43.

### LITERATURA CITADA

- Disney, M. I. 2001. Improved estimation of surface biophysical parameters through inversion of linear BRDF models. Department of Geography, University College London. London, England.
- Eisenbeiss, H. 2004. A mini unmaned aerial vehicle (UAV): system overview and image acquisition. International workshop on processing and visualization using high resolution imagery. 18-20 November, Pitsanulok, Thailand.
- Hanlon, M. 2004. Yamaha's RMAX-the worlds most advanced non-military UAX. <http://www.gizmag.com/go/2440/>. (Consulta: diciembre 15, 2004).
- Hongoh, D., K. Kajiwara, and Y. Honda. 2001. Developing ground truth measurement system using RC helicopter and BRDF model in forest area. 22nd Asian Conference on Remote Sensing. 5-9 November, Singapore.
- Konda, A., D. Hongoh, H. Ichikawa, H. Yamamoto, K. Kajiwara, and Y. Honda. 2001. The study on vegetation structure index using BRDF property with satellite sensors. 22nd Asian Conference on Remote Sensing. 5-9 November, Singapore.
- Nordberg, K., P. Doherty, G. Farneback, P. Forss'n, G. Granlund, A. Moe, and J. Wiklund. 2003. Vision for a UAV helicopter. computer vision laboratory. Department of electrical engineering, Linköping University. Sweden.
- Swain, K. C., H. P. W. Jayasuriya, and V. H. Salokhe. 2007. Low-altitude remote sensing with unmanned radio-controlled helicopter platforms: A potential substitution to satellite-based systems for precision agriculture adoption under farming conditions in developing countries. *Agricultural Engineering International: The CIGR Ejournal*. Invited Overview No. 12. Vol. IX.
- Yamaha Motor. 2004. Unmanned helicopters, RMAX type II G. [www.yamaha-motor.co.jp/global/business/sky/solution/index.html](http://www.yamaha-motor.co.jp/global/business/sky/solution/index.html). (Consulta: agosto 24, 2004).