

Teledetección hiperespectral:

NUEVOS OJOS PARA OBSERVAR LOS RECURSOS NATURALES.

Por Marco A. Peña¹ y Pablo Cruz²

El ojo humano es un sensor remoto óptico, es decir, un dispositivo capaz de detectar radiación en las longitudes de onda visible del espectro electromagnético (luz), con el que podemos diferenciar y caracterizar los elementos de la naturaleza. Así por ejemplo, la vegetación sana la vemos verde, pues en el espectro visible sus pigmentos foliares de clorofila reflejan radiación verde en mayor proporción que azul y roja. En cambio, cuando la vegetación enferma o envejece, la vemos amarillenta a causa de la predominancia de sus pigmentos foliares de carotenoides, que reflejan mayor radiación hacia las longitudes de onda del rojo (que combinada con verde origina amarillo). De esta forma, a través de la coloración de los elementos deducimos información valiosa relativa a su composición físico-química.

A diferencia del ojo humano, los sensores remotos óptico-electrónicos son capaces de cuantificar separadamente la radiación reflejada por un elemento en los tres colores primarios del espectro visible, además de detectar radiación en regiones espectrales que el ojo humano es incapaz de percibir (e.g. infrarrojo cercano, infrarrojo de onda corta). Por ello, usando estos instrumentos podemos diferenciar y caracterizar más profusamente un elemento de interés.

Teledetección hiperespectral

La detección y análisis de la radiación solar reflejada por los elementos (teledetección pasiva) ha logrado amplios avances en el ámbito del manejo y monitoreo de los recursos naturales. En lo que a la vegetación respecta, ha permitido encontrar bandas consistentemente sensibles a numerosos parámetros biofísicos y bioquímicos de la planta como estado de salud, estado nutricional, estado de desarrollo y estrés hídrico. Ello ha dado paso a estudiar la condición de la vegetación a través de combinaciones de porciones espec-

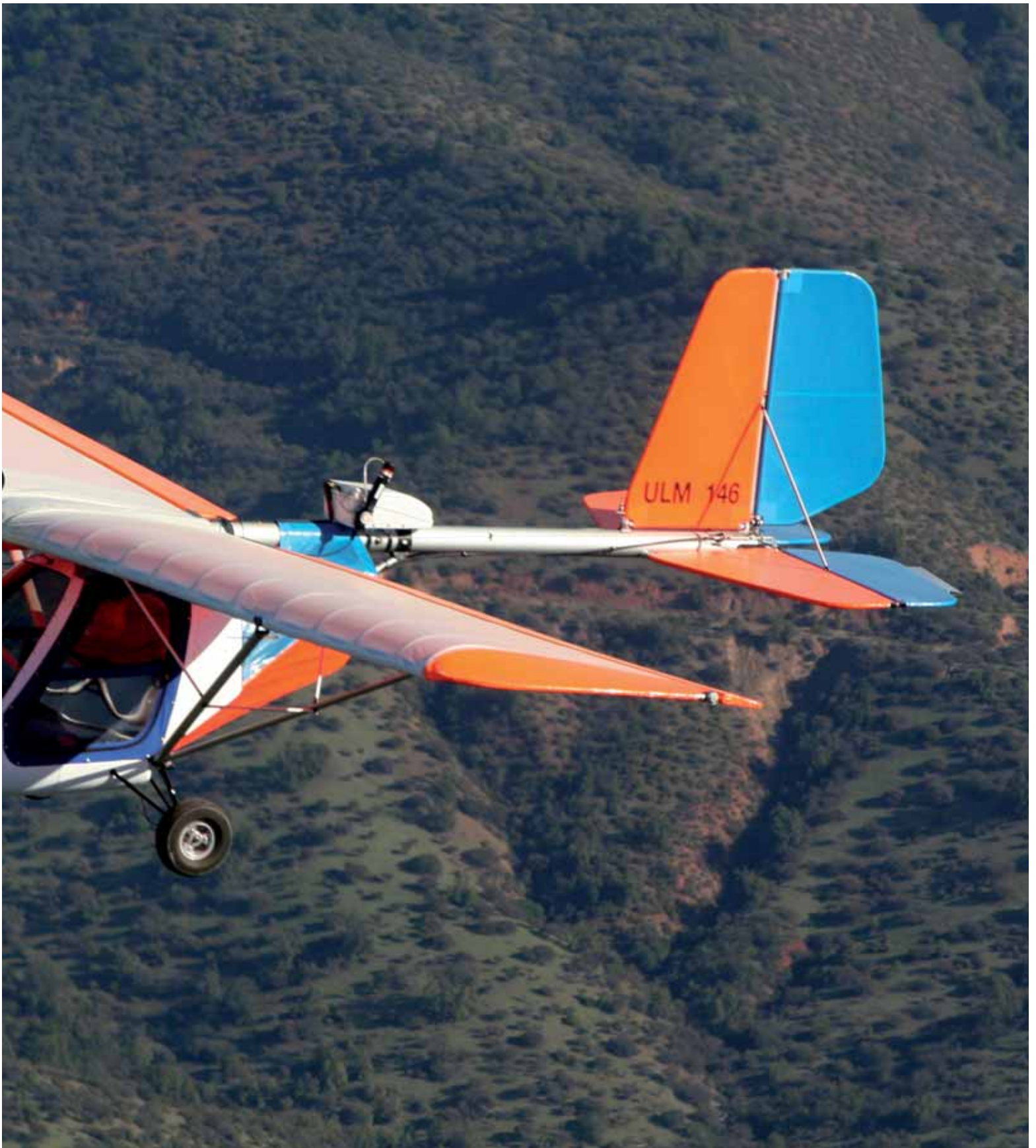


La aeronave ultraliviana puede volar sobre un área a baja altitud dentro del territorio nacional e incurrir en gastos operacionales ostensibles.

¹Especialista en teledetección marco.pena@umayor.cl

²Director pablo.cruzj@mayor.cl

Centro de Estudios de Recursos Naturales OTerra www.OTerra.cl
Escuela de Ingeniería Forestal Universidad Mayor



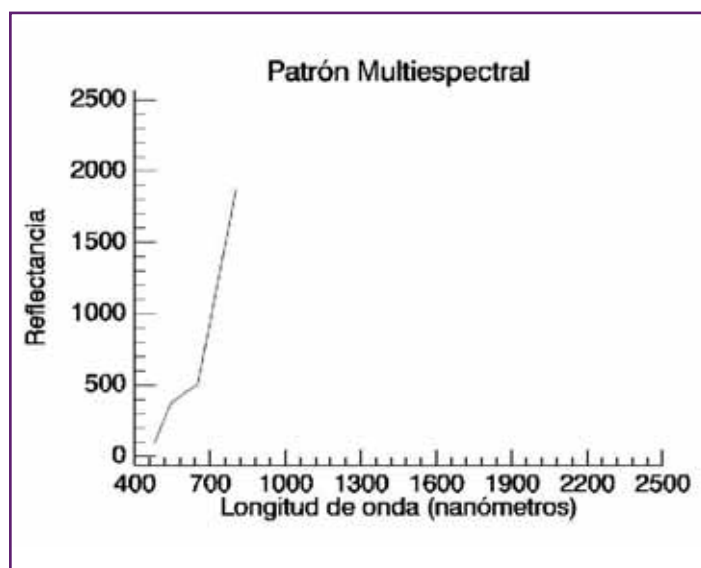
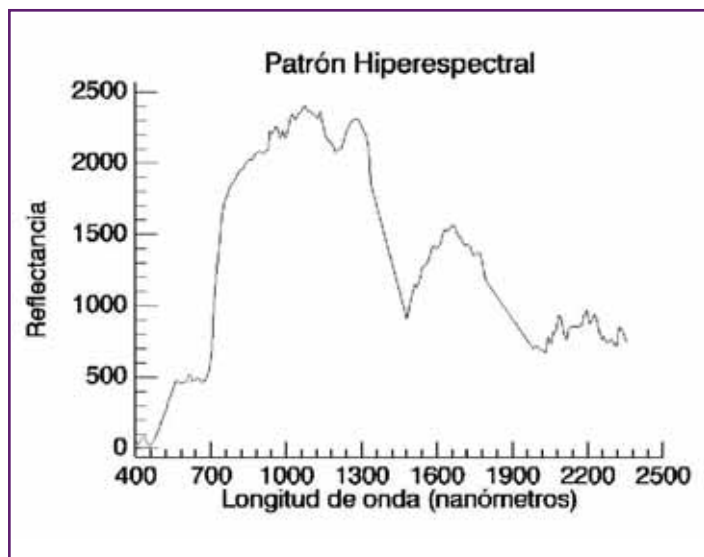
altura y a baja velocidad, despegar y aterrizar en cualquier terreno plano, desplazarse con facilidad por el nsiblemente menores que los de cualquier aeronave convencional.

trales o bandas llamadas “índices espectrales”, y que no son más que la composición algebraica de dos o más bandas que arrojan valores estrechamente correlacionados con la presencia de algún componente del vegetal. Este es el caso del conocido índice de verdor vegetal NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), sensible al contenido de clorofila foliar y a la abundancia de follaje, y ampliamente usado para rastrear el estado de salud y madurez del cultivo y predecir su rendimiento.

La dirección de investigación y desarrollo que actualmente ha tomado la teledetección pasiva es aumentar el número de bandas posibles de registrar, de modo de proveer curvas de comportamiento espectral que permitan rastrear componentes vegetales cuyas señales sutiles no pueden ser detectadas por los típicos instrumentos de capacidad multiespectral, es decir, aquellos que discriminan unas pocas bandas espectrales de gran anchura en las dimensiones espectrales visible e infrarrojo.

Los sensores ópticos multiespectrales, como el que será puesto en órbita por Chile (Sistema Satelital para la Observación de la Tierra), usualmente detectan tres bandas correspondientes a los tres colores primarios del espectro visible y una banda en el infrarrojo cercano, permitiendo rastrear la condición de la vegetación principalmente mediante índices de verdor. Los nuevos sensores ópticos de capacidad hiperespectral (hiper significa “por sobre”, en este caso “por sobre la dimensión multiespectral”) incrementan la capacidad de extraer información de un elemento por cuanto en lugar de cuatro bandas registran cientos de bandas dentro del mismo rango espectral, permitiendo detectar señales de componentes vegetales como nitrógeno, fósforo, carotenoides y antocianinas, todos ellas indetectables mediante instrumentos multiespectrales (ver figura 1).

Figura 1: Comportamiento espectral (patrón) de la vegetación extraído desde una imagen hiperespectral Hyperion y desde una imagen multiespectral Quickbird. Este último abarca una pequeña porción del espectro electromagnético y además muestra un nivel de detalle muy grueso



Otra dirección en que la teledetección pasiva ha logrado notables avances, es en la disminución de costos de los instrumentos y que hoy permite prescindir de imágenes adquiridas por plataformas espaciales. Un satélite posee una ruta y un período de retorno fijo, orbitando la tierra a cientos de kilómetros de su superficie. Ello conlleva varios problemas técnicos y logísticos. Por una parte, no siempre es posible garantizar la adquisición de varias imágenes sobre la misma área, ni mucho menos durante épocas específicas del año. Por otra parte, no es posible garantizar la visibilidad e iluminación de la escena adquirida (los datos pueden ser detectados en días nublados). Además, las imágenes necesariamente deben ser sujetas a la compensación de efectos atmosféricos debido a la radiancia que añaden los aerosoles contenidos en la ancha capa atmosférica que debe cruzar la radiación reflejada desde el objeto hasta el satélite. Finalmente, en el mejor de los casos la el tamaño de píxel de la imagen será de alrededor de cincuenta centímetros de lado, limitando la extracción de información precisa desde elementos de diámetro inferior, debido a que sus señales se mezclan con las de otros elementos contenidos en el píxel. Al reducir los costos de los sensores óptico-electrónicos, ha sido posible bajarlos de los satélites, y montarlos en aeronaves que pueden volar en momentos precisos, durante días iluminados y estables, y a bajas altitudes.

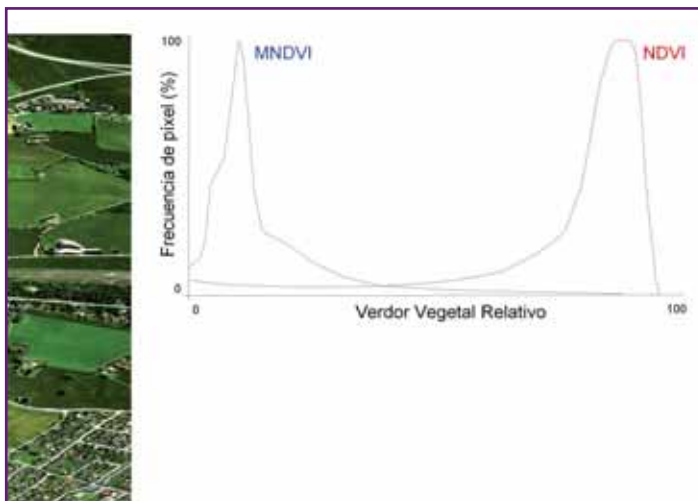
Actuales desafíos

Con las intenciones de dar otro paso en las aplicaciones de estas tecnologías en el sector de los recursos naturales del país, el Centro de Estudio de Recursos Naturales OTerra de la escuela de Ingeniería Forestal de la Universidad Mayor, en sociedad con la empresa de ingeniería ambiental Infraeco, se encuentra implementando un Sistema Prototipo de Percepción Remota Hiperespectral (SPORH). El sistema consiste en la puesta en operaciones de un sensor hiperespectral de 160 bandas de alta resolución espacial montado en dos tipos de plataformas aéreas: un avión convencional; que adquiere imágenes sobre extensas

áreas de territorio y un avión ultraliviano; que adquiere imágenes a escala local de alta resolución espacial (píxeles de algunos cm), y un laboratorio de análisis de imágenes donde se investiga la relación entre los datos provistos por las imágenes obtenidas y diversos fenómenos vinculados a los recursos naturales.

En este contexto, el SPORH permite identificar y caracterizar la condición de la vegetación mediante la detección de componentes específicos de la planta, relacionados con su fisiología, fenología y estructura. Esto le otorga gran potencial para manejar y monitorear los recursos silvoagropecuarios, permitiendo por ejemplo, diagnosticar prematuramente anomalías en el estado de salud vegetación antes de que los síntomas se hagan reconocibles al ojo humano o a sensores remotos ópticos de banda ancha (multiespectrales) (ver figura 2).

Figura 2: El gráfico muestra las curvas de distribución de valores de NDVI y MNDVI extraídos de esa imagen. El primero es un conocido índice de verdor multiespectral y el segundo una versión hiperespectral mejorada del NDVI. La reconocida saturación que afecta al NDVI cuando es calculado sobre áreas con cobertura vegetal verde y continua queda reflejada en el gráfico mediante la abultada concentración de píxeles cercanos al máximo verdor. Esto impide, por ejemplo, establecer diferencias entre cultivos con similar estado de madurez.



El sistema promete potentes aplicaciones en agricultura de precisión como la identificación de cultivos (e.g. tipos de cepas en la producción vitivinícola), la predicción de crecimiento y rendimiento de cultivos, la detección temprana de ataque de patógenos. En bosques en tanto, se estudiarán métodos para localizar florecos, identificar tempranamente invasiones de insectos que puedan provocar muertes masivas de árboles, estimar biomasa, entre otras.

Una importante ventaja comparativa del SPORH respecto de los actuales medios aéreos de captura de imágenes es su versatilidad temporal; que permite la adquisición de imágenes “justo a tiempo” dado que la aeronave ultraliviana puede aterrizar y despegar en cualquier espacio plano equivalente al tamaño de una cancha de football o bien moverse con facilidad hacia un área de interés, debido a su autonomía de vuelo de 3,5 horas y uso de combustible de 97 octanos, sumado a la amplia disponibilidad de aeródromos a lo largo del territorio nacional. Ello además, redundará en un bajo costo de operación.

Cuadro: Resolución espacial y ancho de escena del SPORH a diferentes alturas de vuelo sobre la superficie.

Altura de vuelo (m)	Escena normal		Escena expandida	
	Tamaño de píxel (cm)	Ancho del barrido (swath width) (m)	Tamaño de píxel (cm)	Ancho del barrido (m)
100	1	16	2	32
500	9	144	18	288
1.000	18	288	37	576
2.000	37	592	74	1.184
3.000	55	880	110	1.776
4.000	74	1.184	148	2.368
6.000	111	1.776	222	3.552
8.000	148	2.368	296	4.736



El proyecto SPORH, cuenta con el cofinanciamiento de INNOVA CORFO para su implementación, y estará disponible y operativo para aplicaciones comerciales a fines del segundo semestre del 2009. ■