

# Teledetección de vanguardia

## para el manejo y monitoreo de los recursos naturales del país

Por: **Marco A. Peña** (MSc), marco.pena@umayor.cl

La observación remota o teledetección es una disciplina científica que deriva información de un elemento mediante la detección y análisis de la energía que radia a través de diferentes longitudes de onda del espectro electromagnético (curva de reflectancia espectral). En las regiones espectrales del visible y el infrarrojo cercano (rango espectral óptico) los elementos de la superficie terrestre (agua, vegetación, hielo, roca, etc.) pueden ser identificados y caracterizados debido a que sus componentes físicos y químicos producen señales distintivas.

La cantidad y calidad de información que puede ser extraída del elemento depende principalmente del número de registros espectrales (bandas) que puede medir el instrumento (sensor remoto) que detecta su energía radiada (en este caso reflejada). El número de bandas define la resolución espectral del sensor remoto. A mayor número de bandas mayor es la cantidad de información que se puede derivar del elemento, pues incrementa la capacidad de detectar señales de componentes específicos a lo largo de su curva de reflectancia espectral.

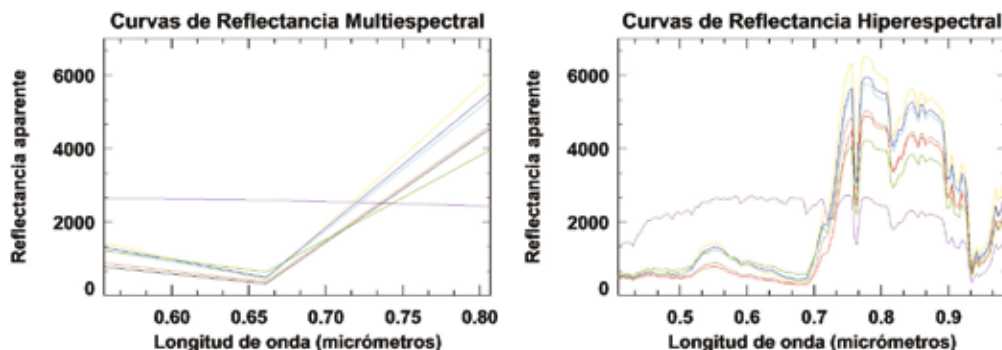
Con el progresivo avance de la espectroscopía y la teledetección, los sensores remotos han incrementado su resolución espectral, de manera que la usual capacidad de detectar radiación en algunas bandas (capacidad multiespectral) ha sido sobrepasada por la capacidad de detectar radiación en cientos de bandas (capacidad hiperespectral) (figura 1). Junto con ello, los sensores remotos han incrementado su capacidad de detectar radiación desde elementos muy pequeños (capacidad hiperespacial), permitiendo adquirir imágenes con píxeles (celdas mínimas de información en una imagen) submétricos o centimétricos, aún sobrevolando un área a miles de kilómetros de altitud (figura 2).

Ambas capacidades han permitido estudiar con una precisión espectral y espacial sin precedentes recursos como bosques, cultivos agrícolas, yacimientos mineros, glaciares y aguas, entre otros, potenciando su manejo y monitoreo. No obstante, los sensores remotos simultáneamente hiperespectrales e hiperespaciales poseen

una tecnología altamente especializada y aún nueva en el mundo, por lo que su aplicación suele asociar un alto costo, más aún considerando que el instrumento debe ser montado a bordo de una aeronave. Ello limita la aplicación de esta tecnología a casos de estudio que justifiquen la inversión económica intrínseca al proceso de adquisición y procesamiento de las imágenes.

A partir del segundo semestre de 2008, el Departamento OTERRA de la Universidad Mayor comenzó la ejecución del proyecto “Implementación de un Sistema Prototipo de Observación Remota Hiperespectral para la Caracterización y Análisis de los Recursos Silvoagropecuarios”, que busca mejorar oportunidades en el mercado de la captura y análisis de datos remotamente detectados a través de la creación de un sistema prototipo con una capacidad tecnológica única en nuestro país. El proyecto contempla la adquisición de imágenes hiperespectrales e hiperespaciales de la superficie terrestre desde una aeronave ultraliviana (figura 4) de alta flexibilidad temporal en la captura de datos y ostensiblemente más económica que una aeronave convencional. Con ello se busca ampliar la disponibilidad de datos remotamente detectados en el mercado nacional, así como mejorar la calidad de la información que hoy día da sustento a las decisiones de manejo y monitoreo de los recursos silvoagropecuarios, con un precio relativamente menor en los productos finales que se ofrecerá a los interesados.

El sensor remoto registra 160 bandas contiguas en las regiones visible e infrarrojo cercano del espectro electromagnético (400 – 1.000 nm), cada una con un ancho de 3,7 nm. Su ancho de barrido de 1.600 píxeles dentro de un campo de visión de 17° permite la adquisición de imágenes de resolución espacial submétrica aún sobrevolando un área a miles de kilómetros de altitud. Adicionalmente, el instrumento consta de los equipos y aparejos necesarios para codificar imágenes de alta calidad geométrica y radiométrica sin la necesidad de post-procesamiento, aumentando así la calidad y potencialidad de sus datos. La aeronave ultraliviana posee una autonomía de vuelo que permite la adquisición de imágenes sobre vastas áreas, un consumo de combustible relativamente bajo, factibilidad de despegue y aterrizaje desde cualquier superficie plana,



**Figura 1:** Comparación entre curvas de reflectancia multiespectrales e hiperespectrales correspondientes a distintos cultivos. Las curvas de la izquierda fueron extraídas de una imagen multiespectral ASTER emulada y las curvas de la derecha fueron extraídas de una hiperespectral Hypspec. El alto nivel de detalle espectral de las curvas hiperespectrales permite identificar señales características de nutrientes como nitrógeno, fósforo, pigmentos foliares como clorofila, antocianina, carotenoides y xantofila, y agua foliar. La mayoría de estas señales no pueden ser identificadas en las curvas de reflectancia multiespectrales, debido a su grueso nivel de detalle espectral.



**Figura 2:** Una imagen hiperespectral con resolución espacial centimétrica permite visualizar con gran nivel de detalle la superficie terrestre. Ello posibilita extraer datos de reflectancia desde objetos muy pequeños, otorgando precisión a las mediciones de interés. En el área forestal y agrícola contar con estas imágenes significa que es posible realizar aplicaciones a nivel foliar.

facilidad de ser transportada por vía terrestre, capacidad de volar a baja altitud y a velocidades que aseguran la adquisición de datos de alta calidad radiométrica, capacidad de barrer áreas en fechas y horas específicas, entre otras.

Los impactos esperados del proyecto dicen relación con posicionar en el mercado imágenes planimétricas y ortogonales de los recursos silvoagropecuarios del país, entre otros, con un costo relativamente bajo y con una mejora sustancial en su calidad espectral y espacial; incorporar áreas agrícolas y forestales que por su tamaño relativamente menor hacen económicamente inviable la aplicación de tecnologías de teledetección, y desarrollar nueva información y conocimiento en nuestro país sobre la utilización de la tecnología hiperespectral e hiperespacial.

### **Aplicaciones silvoagropecuarias del Sistema Prototipo de Observación Remota Hiperespectral (SPORH)**

El SPORH permite derivar información sobre la condición fisiológica, fenológica y estructural de la vegetación mediante la identificación y análisis de las señales distintivas que producen diversos de sus componentes (pigmentos, nitrógeno, agua, etc.) a lo largo de su curva de reflectancia en el rango espectral óptico. Esto le otorga gran potencial para la caracterización biofísica y bioquímica de la planta, permitiendo diagnosticar anomalías en la condición de salud o de crecimiento de una unidad vegetacional, antes de que los síntomas se hagan reconocibles al ojo humano o a sensores remotos ópticos de banda ancha (multiespectrales).

El monitoreo y manejo de bosques y cultivos agrícolas mediante métodos de terreno se ve limitado y encarecido en superficies extensas y de difícil acceso. Estas tareas pueden ser abordadas de forma relativamente rápida y económica usando el SPORH. Tanto bosques como cultivos agrícolas pueden estar compuestos por diversos tipos de vegetación o especies, cada uno con propieda-

des fisiológicas y ritmos fenológicos distintos. Mediante el uso del SPORH es posible discriminar y caracterizar la vegetación de acuerdo a diversos parámetros biofísicos y bioquímicos. Asimismo, tanto bosques como cultivos agrícolas pueden experimentar variabilidad interna en el crecimiento y desarrollo de sus individuos a lo largo del año. El SPORH brinda la capacidad de construir curvas mensuales de vigorosidad vegetal asociadas a los estados de emergencia, madurez y senescencia de la planta.

El SPORH promete gran potencialidad en la agricultura de precisión, definida como el conjunto de técnicas, tecnologías y estrategias de manejo diseñadas para optimizar el crecimiento de la planta, con el fin último de aumentar la rentabilidad del cultivo. En este contexto, el objetivo del SPORH es proveer información espectral y espacial detallada acerca de la condición de un cultivo, de modo de contribuir a mejorar su productividad y rendimiento, disminuyendo los costos asociados con su tratamiento.

**Identificación y delimitación de cultivos:** Conocer la distribución espacial de los distintos tipos de cultivos que componen un área dada es el primer paso para manejar y monitorear los recursos agrícolas. A este respecto, los métodos de interpretación visual aplicados sobre fotografías con altos niveles de detalle espacial han permitido discriminar tipos de cultivo en función de la textura, patrón y tonalidad diferenciada que ellos presentan. Por otro lado, mediante el análisis de series temporales de imágenes multiespectrales adquiridas durante los principales estados fenológicos de los cultivos ha sido posible discriminar tipos de cultivo en función del estado de vigorosidad diferenciado que ellos presentan a lo largo del año. Mientras el primer método tiene un alto costo económico y un alto consumo de tiempo, el segundo requiere de la disponibilidad y procesamiento de muchas imágenes adquiridas durante las fechas de interés.

Continúa en página 47 →

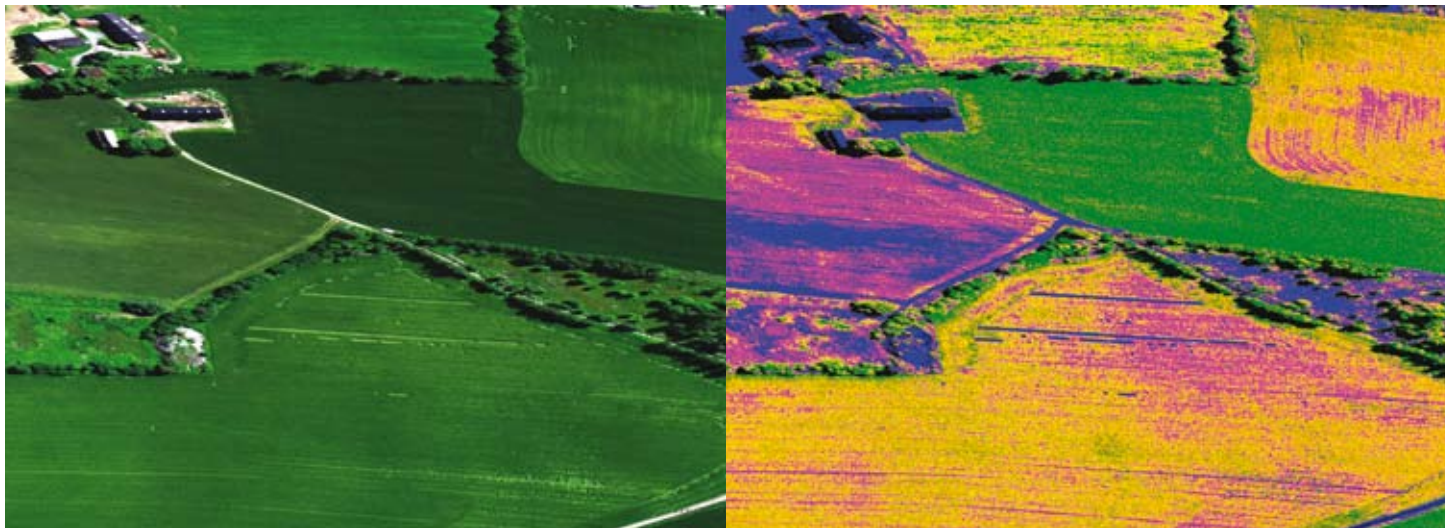


Figura 3: Mediante la combinación de índices hiperespectrales relacionados con la fisiología vegetal es posible diferenciar el estado de salud de los cultivos, favoreciendo la aplicación de tratamientos selectivos de fertilización, irrigación y fumigación. En la imagen de la derecha se observa el resultado de una combinación de índices vegetales de pigmentos, nutrientes y agua que permitió caracterizar el estado de salud de los cultivos que se visualizan en la imagen de la izquierda. El orden de las clases de mayor a menor estado de salud son verde, naranja, amarillo, magenta, azul.

### I+D: Universidad Mayor e Infraeco tras proyecto de cámara hiperespectral

La adquisición, puesta en marcha y operación del Sistema Prototipo de Observación Remota Hiperespectral forma parte de un convenio de investigación y desarrollo entre la Universidad Mayor y la empresa Infraeco, especialista en consultoría en agua y medio ambiente para la gestión productiva y ambiental.

Durante el lanzamiento del proyecto, financiado además por Innova Corfo, el gerente general de Infraeco, Claudio Reyes, destacó la importancia del vínculo entre la universidad y el sector privado. En la ocasión señaló que “la integración del conocimiento teórico y práctico, la suma de capacidades y la búsqueda conjunta de aplicaciones determinan la creación de valor agregado para el desarrollo agrícola, forestal y protección del ambiente en el país”.

Infraeco aportó al proyecto US\$ 100.000, destinados a la adquisición de la cámara hiperespectral. En forma complementaria ha participado en la capacitación de docentes y alumnos que operarán el equipo y trabajará en la supervisión de los trabajos que realice el consorcio.

#### Detalles del sensor hiperespectral

<b>Fabricante</b>	Norsk Elektrooptiks
<b>Módulo</b>	VNIR-1600
<b>Detector</b>	Si CCD 1600*1200
<b>Rango espectral</b>	0.4-1µm (Visible – IRC)
<b>Resolución espacial (píxeles)</b>	1600
<b>Ángulo FOV</b>	17°
<b>Muestreo espectral</b>	3.7nm
<b>N° bandas espectrales</b>	160
<b>Digitalización</b>	12bit
<b>Tasa de transmisión</b>	120fps

# El Portal del Medio Ambiente

Noticias / Reportajes / Columnas / Eventos

## sustentable.cl

Para que su empresa o actividad crezca protegiendo el medio ambiente, manténgase en línea con Sustentable.cl, que le informa y presta servicios necesarios para cumplir con la normativa existente de la forma más rápida y económica del mercado.

**Estudios y Declaraciones de Impacto Ambiental (SEIA)  
Permiso y Auditorías Ambientales / Asesorías en MDL  
Auditorías en Producción Limpia**

Av. Providencia 2640 of. 15A, Providencia.  
Teléfono: 365 93 06  
info@sustentable.cl



De izquierda a derecha, Rodrigo Guzmán, de UltraSport; William Kerby, gerente general de Aretech Geonova; Verónica González, directora de Investigación y Desarrollo, Universidad Mayor, y Claudio Reyes, gerente general Infraeco.



**Figura 4:** El ultraliviano se caracteriza por sobrevolar áreas a bajas altitudes y a baja velocidad, favoreciendo la adquisición de imágenes hiperspectrales e hiperespaciales de la superficie.

El SPORH facilita la identificación de tipos de cultivo porque puede adquirir imágenes de un área agrícola con niveles de detalle espacial centimétricos, agilizando y potenciando la aplicación de técnicas de interpretación visual para discriminar tipos de cultivos. Más importante aún, incluso suponiendo que los tipos de cultivo de un área dada se encuentren en un estado fenológico similar, las curvas de reflectancia espectral que pueden ser extraídas desde ellos son tan detalladas que en numerosas bandas presentan la separabilidad estadística necesaria para discriminarlos de acuerdo a sus propiedades biofísicas y bioquímicas.

**Estimación y predicción de rendimiento del cultivo:** Conocer y predecir el rendimiento del cultivo es clave para tomar acciones prematuras de control que aseguren un apropiado nivel de producción y rentabilidad. Mediante la correlación de índices de verdor vegetal sensibles a la cantidad de follaje, derivados del SPORH, y mediciones en terreno de cantidad de biomasa por unidad de superficie, el rendimiento de un cultivo puede ser modelado empíricamente. Alternativo a ello, es posible confeccionar modelos fisiológicos que asumen que la producción de un cultivo resulta de la fotosíntesis a partir de la cual una fracción de la radiación solar incidente es convertida en biomasa. Para esto es necesario conocer los parámetros de eficiencia de uso de luz solar y de radiación fotosintéticamente activa que incide y que es absorbida por el dosel vegetal, los cuales pueden ser estimados con la ayuda de datos provistos por el SPORH. Por último, el rendimiento del cultivo puede ser estimado mediante modelos de crecimiento que describen la relación de propiedades del cultivo como desarrollo fenológico, fotosíntesis y partición de materia seca, con factores ambientales. Estos modelos requieren de numerosos parámetros de entrada, tales como características del suelo, prácticas de manejo y condiciones climáticas

del cultivo, muchos de los cuales pueden ser estimados mediante la ayuda de datos provistos por el SPORH.

**Monitoreo del estado fenológico y fisiológico del cultivo:** El registro temporal, de forma frecuente y regular, de los principales estados de desarrollo y crecimiento de un cultivo (calendarios de cultivo) permite monitorear su dinámica anual, así como evaluar y predecir su rendimiento anual, facilitando la aplicación de acciones remedia-tivas que permitan asegurar los niveles de producción esperados (ante retrasos o adelantos en la emergencia o madurez del cultivo) y la cosecha en el momento óptimo. Para lograr lo anterior, el SPORH permite construir curvas de vigorosidad anual de los cultivos a partir del cálculo de índices vegetales que dan cuenta de las variaciones temporales de salud y vigor de la planta, permitiendo evaluar su condición en relación con otros años. Por otra parte, los cultivos pueden estar sujetos a diversos agentes estresores que limitan su rendimiento. A este respecto, el uso de índices vegetales derivados del SPORH permite identificar prematuramente los síntomas de estrés nutricional, hídrico, químico o biológico de la planta, facilitando la aplicación de tratamientos selectivos de fertilización, irrigación y fumigación, respectivamente, dentro de un cultivo (figura 3).

En un contexto de desarrollo sustentable, uso armónico del territorio y competitividad en los mercados, la teledetección simultáneamente hiperespectral e hiperespacial puede aportar niveles superiores de derivación de información de los recursos de un país, facultando la toma de decisiones sobre la base de conocimiento con sólida base científica-técnica. El departamento OTERRA, de la Universidad Mayor, junto a sus asociados Aretech Geonova y Ultrasport, busca promover el uso de esta tecnología tanto a privados como a organismos públicos, con el propósito de poner el manejo y monitoreo de los recursos de Chile al nivel de países altamente tecnificados. [E]