

Planificación y gestión de los recursos naturales mediante imágenes hiperespectrales

Por Marco A. Peña y Pablo C. Cruz. Centro de Estudios de Recursos Naturales Oterra, Universidad Mayor. marco.pena@umayor.cl. pablo.cruz@umayor.cl

Desde su concepción en 1980, la teledetección hiperespectral de imagen (o espectroscopia de imagen) ha ganado una indiscutible reputación apoyando la gestión y planificación de los recursos naturales y el medio ambiente. Mediante el uso de espectroradiómetros o sensores hiperespectrales, esta disciplina obtiene imágenes de la superficie terrestre que permiten derivar información que mediante otros métodos sería más costoso y laborioso. La capacidad de estos instrumentos de registrar en detalle el comportamiento espectral de elementos de interés (hiperespectro) contenidos en celdas o píxeles submétricos (hiperespacio) ha sido el resultado de los últimos avances en óptica e informática. En la actualidad, la tecnología hiperespectral está disponible en Chile, tanto para usos comerciales como investigativos. Sin embargo, para que ella pueda ser exitosamente aplicada, es necesario conocer sus potencialidades y ventajas en comparación con los sistemas de teledetección óptica convencionales.

En principio, la teledetección hiperespectral es aplicable a los mismos fenómenos o elementos que su predecesora multiespectral. Sin embargo, debido a su alta resolución espectral (número de intervalos de longitud de onda espectral o bandas), una imagen hiperespectral "revela" una mayor cantidad de señales de absorción o reflexión de radiación vinculadas a componentes específicos del elemento observado. Dado que estas señales se manifiestan en bandas muy angostas (< 10 nanómetros), ellas quedan "ocultas" por la holgada anchura de las bandas de imágenes multiespectrales (> 100 nanómetros), impidiendo el rastreo de esos componentes.

Cuando los sensores hiperespectrales desagregan la superficie observada en píxeles muy pequeños, las estrechas bandas que ellos miden quedan sujetas a contaminarse de radiación indeseada (disminución de la razón señal-ruido). Naturalmente, esta distorsión se hace más aguda mientras más distante se encuentra el instrumento de la superficie observada (pues aumenta el ancho de atmósfera que debe recorrer la radiación reflejada desde el elemento al sensor y con ello la adición de radiación esparcida por la atmósfera). Sólo en estos últimos años ha sido posible solucionar este problema y sumar la capacidad hiperespacial a estos instrumentos, permitiendo así adquirir simultáneamente imágenes de alta resolución espectral y espacial. Ello ha abierto una gama de aplicaciones en los recursos naturales sin precedente.

Aplicaciones de la tecnología

Las imágenes hiperespectrales pueden aplicar-

se al estudio de los recursos vegetales, tanto agrícolas como silvícolas. Numerosos componentes del vegetal proveen señales espectrales dentro del rango espectral óptico o solar que pueden ser medidas por sensores hiperespectrales. Esto ha significado que muchas propiedades de la vegetación puedan ser abordadas por primera vez mediante técnicas de teledetección óptica. La conocida capacidad de la teledetección multiespectral para medir contenido o concentración de clorofila y agua en el follaje, así como abundancia de hojas sanas, ha sido sobrepasada con creces por la teledetección hiperespectral mediante la medición de otros pigmentos foliares como antocianinas y carotenoides, y de los macronutrientes nitrógeno, fósforo y potasio. Ello ha permitido profundizar el análisis de numerosas propiedades fisiológicas y estructurales del vegetal, particularmente durante estados de crecimiento críticos. Por otra parte, la teledetección hiperespectral ha permitido avanzar en la clasificación de la vegetación, permitiendo discriminarla en atención a criterios fisonómicos, estructurales y de composición, todos ellos difíciles de aplicar mediante teledetección multiespectral. Lo anterior ha significado una ganancia en la calidad y cantidad de información derivable de los recursos vegetales, potenciando su monitoreo y manejo selectivo (por ejemplo agricultura de precisión, inventarios intraespecíficos).

En cuanto a los recursos acuáticos, la teledetección hiperespectral ha mejorado la estimación remota de parámetros de calidad del agua como turbidez, materia orgánica disuelta y concentración algal, además de posibilitar la medición de contenidos o concentraciones de químicos como fósforo y nitratos. En el rango espectral óptico los microorganismos vegetales contenidos en un cuerpo de agua producen señales distintivas debidas a la presencia de clorofila, en tanto que los sedi-

mentos disueltos en el agua producen señales distintivas debidas a su composición y forma. Si bien estos parámetros han podido ser medidos mediante teledetección multiespectral, la precisión de esas mediciones no es comparable a la alcanzable a través de teledetección hiperespectral, mientras que los nutrientes disueltos en el agua sólo pueden ser adecuadamente detectados por esta última tecnología. Estos avances han permitido obtener información acuciosa sobre fenómenos como eutrofización, intrusión de aguas contaminadas y sedimentación de cuencas.

Futuro de la tecnología

Desde su inicio, vinculado a las acotadas aplicaciones científicas realizadas básicamente por organismos de Estados Unidos (NASA y Universidad de Colorado), hasta el presente, en que los instrumentos comerciales aéreos han comenzado a proliferar, la tecnología hiperespectral ha debido lidiar con la integración de numerosos conocimientos científicos y técnicos. En el futuro, ella deberá probar su capacidad de adquirir datos manejables y costoeficientes para vastas superficies, lo que exigirá nuevos avances en óptica e informática. Para-

**AUDITORÍAS AMBIENTALES,
HIGIENE Y SEGURIDAD.**
HERRAMIENTAS DE GESTIÓN QUE GENERAN
VALOR Y SUSTENTABILIDAD.

AUDITORÍA
Valor & Sustentabilidad

++ better
Valor & Sustentabilidad

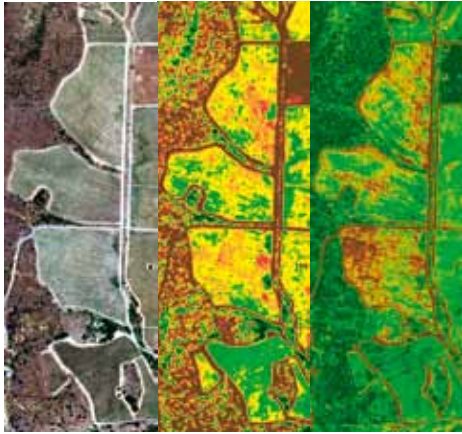
Villaseca 21 Oficina 501, Ñuños, Santiago Fono-Fax: 56-2-361 05 96
info@better.cl www.better.cl

lamente, el requerimiento de profesionales e investigadores debidamente capacitados en el manejo de este tipo de imágenes se hará más perentorio, lo que exigirá la creación de programas de estudios especializados a este respecto (hoy, muy pocas universidades en el mundo enseñan los principios y técnicas de la teledetección hiperespectral). Como suele ocurrir con toda tecnología nueva, en Chile, la teledetección hiperespectral deberá enfrentar la reluctancia e inercia inicial del mundo profesional y científico. Durante ese proceso deberá demostrar su utilidad mediante aplicaciones prácticas y costo-eficientes, así como proponer aplicacio-

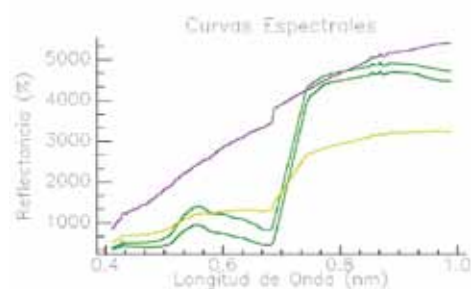
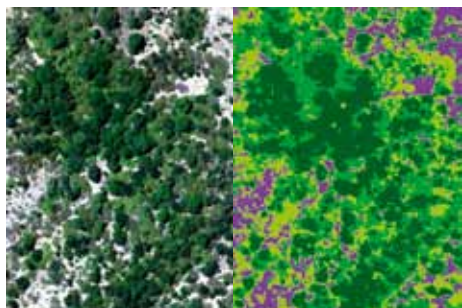
nes novedosas para la realidad nacional. Si bien el avance científico-técnico de nuestro país en materia de teledetección es notoriamente más lento que el de países desarrollados, merece la pena reflexionar desde ya cómo abordaremos los futuros desafíos que esta disciplina deberá enfrentar.

críticos del vegetal pueden proporcionar información precisa sobre su actividad fotosintética. Aplicaciones de este tipo permiten tomar acciones preventivas o de remediación dentro del cultivo; uno de los principales objetivos de la agricultura de precisión.

Estimación de atributos fisiológicos del cultivo.



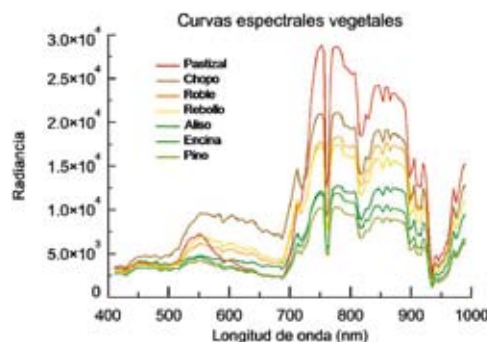
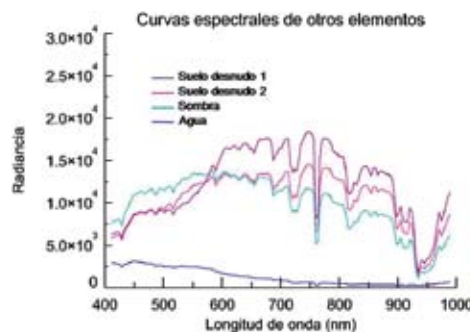
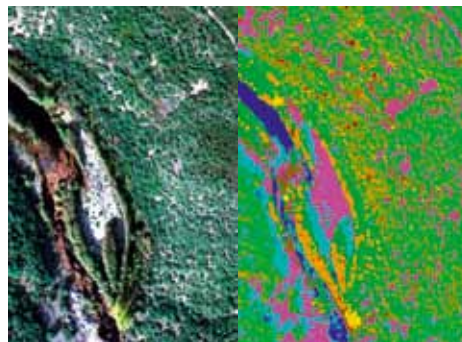
Los atributos bioquímicos del vegetal pueden ser claramente diferenciados al interior de un cultivo agrícola mediante la estimación de índices fisiológicos derivados de imágenes hiperespectrales. Los estados de vigor y nutrición de viñedos localizados en el valle de Colchagua (imagen de la izquierda) fueron medidos *in situ* y laboratorio, para posteriormente relacionarlos con imágenes hiperespectrales adquiridas de forma simultánea al muestreo de campo. A partir de este análisis fueron generados dos imágenes de índices fisiológicos relacionados con diferentes tipos de pigmentos foliares. La mayor intensidad de verde indica la mayor abundancia relativa del pigmento. Este tipo de aplicación permite precisar las condiciones de vigorosidad del vegetal no sólo mediante la medición de pigmentos de clorofila, sino además mediante la medición de otros pigmentos foliares como antocianina y xantófila, que en períodos de crecimiento



tección hiperespectral). Como suele ocurrir con toda tecnología nueva, en Chile, la teledetección hiperespectral deberá enfrentar la reluctancia e inercia inicial del mundo profesional y científico. Durante ese proceso deberá demostrar su utilidad mediante aplicaciones prácticas y costo-eficientes, así como proponer aplicacio-

Clasificación de vegetación nativa.

Los principales tipos fisonómicos de vegetación nativa localizada en la zona central de Chile (imagen de la derecha) fueron identificados usando imágenes hiperespectrales. Los comportamientos espectrales de los tipos fisonómicos de interés fueron extraídos desde estas imágenes (gráfico inferior) para luego usarlos en un algoritmo de clasificación automatizada en que suelo desnudo y cubiertas vegetales herbáceas, arbustiva y arborescente fueron discriminadas con un alto nivel de acierto (imagen de la derecha). Este tipo de aplicación permite rodalizar e inventariar el recurso bosque con escaso traba-



jo de campo, lo que se traduce en un producto eficaz. Las imágenes hiperespectrales permiten extraer curvas espectrales desde tipos de vegetación de interés lo suficientemente detalladas como para diferenciarlas entre sí.

Las principales especies arbóreas ribereñas localizadas en el río Negro, España (imagen de la izquierda) fueron identificadas usando imágenes hiperespectrales. Los comportamientos espectrales de las especies de interés fueron extraídos desde estas imágenes (gráficos inferiores) para luego usarlos en un algoritmo de clasificación automatizada en ellas fueron discriminadas con un nivel de acierto aceptable (imagen de la derecha). Este tipo de aplicación representa un notorio avance en relación con los productos derivables de teledetección multiespectral, que por su gruesa resolución espectral presentan una conocida limitante para la discriminación interna de un elemento de interés (en este caso vegetación). Esta aplicación requiere de un minucioso trabajo de campo, orientado a muestrear la variabilidad de la especie en términos de sus atributos fisiológicos y estructurales, y de las condiciones de sitio imperantes.

Estimación de variables de estado en cuerpos de agua.

El calado del río Negro, España y la concentración algal del humedal Batuco fueron estimados usando imágenes hiperespectrales. La profundidad de la columna de agua y los niveles de concentración algal fueron medidos *in situ* y en laboratorio, para posteriormente relacionarlos con imágenes hiperespectrales adquiridas de forma simultánea al muestreo de campo. A partir de este análisis fueron generadas imágenes de índice de calado (imagen de la izquierda) y concentración algal (imagen de la derecha). En el primer caso, a mayor intensidad de azul mayor calado. En el segundo caso, a mayor intensidad de verde mayor presencia relativa de algas. Este tipo de aplicación permite evaluar recursos hídricos para vastas áreas, disponiendo de un relativamente limitado número de muestras de campo. **e**

