

Al servicio de la viticultura chilena:

Tecnología hiperespectral e hiperespacial

Los nuevos sensores óptico-pictóricos con capacidad hiperespectral e hiperespacial simultánea resuelven una serie de limitantes técnicas, además de ser más económicos en comparación con los costos asociados al tiempo y trabajo que requiere el muestreo en terreno con equipos portátiles.

Marco A. Peña
Especialista en teledetección,
Geógrafo, Magíster en Gestión y
Planificación Ambiental.
Departamento Oterra. Facultad de
Ciencias Silvoagropecuarias de la
Universidad Mayor.
marco.pena@umayor.cl

Los continuos avances en espectroscopía y teledetección hoy permiten la captura de imágenes de la superficie terrestre con un nivel de detalle espacial y espectral sin precedentes. De hecho, durante la última década los sensores ópticos de tipo pictórico han incrementado el nivel de detalle espacial con que observan la superficie terrestre, permitiendo retratar elementos con un diámetro muy inferior a un metro, lo que se conoce como capacidad hiperespacial.

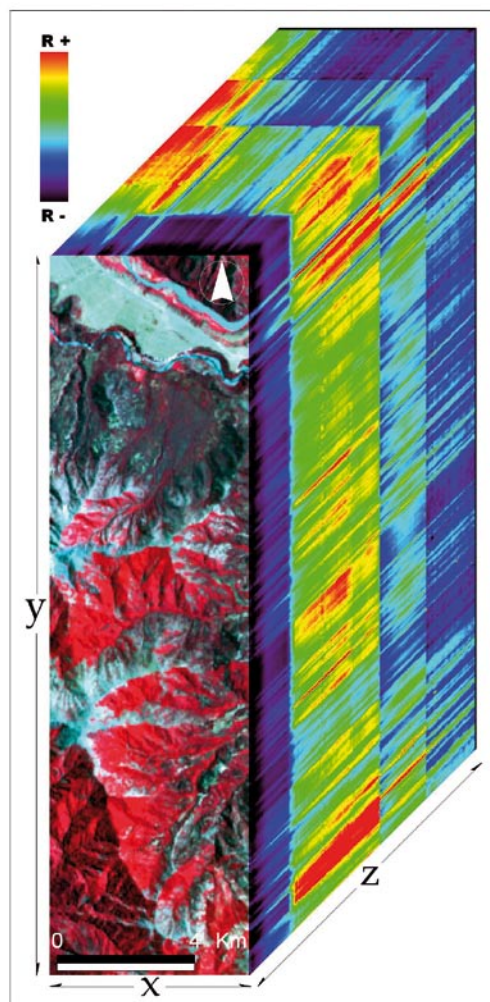
De forma paralela, estos instrumentos han aumentado su precisión para medir la energía radiada por la superficie terrestre, proveyendo de cientos de registros (bandas) estrechos y contiguos a lo largo de las dimensiones visible e infrarroja del espectro electromagnético, habili-

dad conocida como capacidad hiperespectral (Figura 1).

Precisamente en ese rango espectral la vegetación posee un comportamiento característico (patrón espectral) que tradicionalmente ha permitido evaluar su condición a través de sensores ópticos tanto aeroespaciales, como de terreno (portátiles) y laboratorio. Sin embargo, sólo con el advenimiento de ambas capacidades ha podido ser ampliada la aptitud de estos instrumentos para cartografiar y cuantificar atributos de una superficie vegetada.

Dado que muchos de los componentes del vegetal (agua, nutrientes y pigmentos) producen señales distintivas en longitudes de onda muy específicas del espectro electromagnético, su presencia no puede ser detectada mediante los típicos sensores ópticos de resolución multiespectral de banda ancha (usualmente capaces de capturar cuatro bandas con un ancho de alrededor de 1 micrómetro), como aquellos de las misiones Quickbird, Ikonos o SPOT (Figura 2).

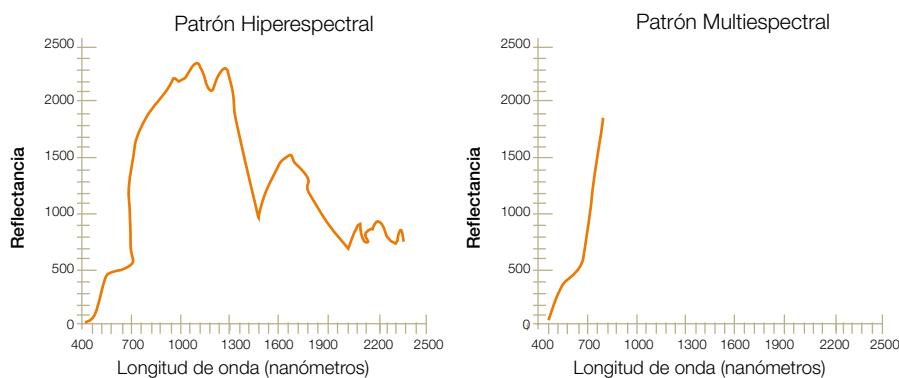
Figura 1 Imagen hiperespectral de un sector de la precordillera de la VI Región



Un cubo hiperespectral muestra la dimensión espacial (ejes X e Y) y espectral (eje Z) de la imagen.

Por otro lado, otros instrumentos de resolución espacial moderada, como los de las misiones Landsat y Aster, adquieren imágenes con un nivel de detalle espacial tan grueso (pixel superior a 15 metros) que el patrón espectral de una planta de

Figura 2 Comparación entre un patrón hiperespectral y uno multiespectral (*)



diámetro inferior al tamaño del pixel se mezcla con el de objetos aledaños, impidiendo reconocer y analizar sus señales distintivas (Figura 3).

Sistema idóneo

Los nuevos sensores óptico-pictóricos con capacidad hiperespectral e hiperespacial simultánea resuelven las limitantes mencionadas, además de ser más económicos en comparación con los costos asociados al tiempo y trabajo que requiere el muestreo en terreno con equipos portátiles.

No obstante, la utilidad de estos instrumentos puede verse limitada al ser montados en plataformas que carecen de la flexibilidad temporal necesaria para barrer una superficie vegetada durante momentos específicos de interés. Este es el caso de las líneas de vuelo de un avión y las rutas orbitales de un satélite, cuya rigidez en la programación de fechas de paso por un área dada no sólo dificulta el rastreo adecuado de fenómenos asociados a estados fenológicos críticos del vegetal, sino que también circunscribe la calidad de las imágenes adquiridas a las condiciones de observación imperantes a la hora de paso de la plataforma (nubosidad, turbulencia atmosférica y posición solar).

Dado que muchos de los componentes del vegetal producen señales distintivas en longitudes de onda muy específicas del espectro electromagnético, su presencia no puede ser detectada mediante los típicos sensores ópticos de resolución multiespectral de banda ancha.

El desafío logístico que supone barrer una superficie “justo a tiempo” puede ser sobrellevado mediante el empleo de una aeronave de tipo ultraliviana, que –por su pequeña envergadura– es capaz de despegar y aterrizar desde cualquier terreno plano, desplazarse rápidamente a las áreas de interés para sobrevolarlas a la hora requerida y operar con costos ostensiblemente menores a los de cualquier avión convencional, debido a su bajo consumo de combustible y costo de mantenimiento (Figura 4).

Lo anterior permite deducir que un sistema idóneo de adquisición de imágenes de recursos vegetacionales debería componerse de un sensor óptico con capacidad hiperespectral e hiperespacial, montado en una plataforma de alta flexibilidad temporal.

En esa línea, el Departamento Oterra (perteneciente a la Escuela de Ingeniería Forestal de la Universidad Mayor), junto a sus asociados Infraeco (grupo Aretech-Geonova) y Ultrasport, se encuentra ejecutando el proyecto “Implementación de un sistema prototipo de observación remota hiperespectral para la caracterización y análisis de los recursos silvoagropecuarios”, que mediante la adquisición de imágenes hiperespectrales e hiperespaciales desde una aeronave ultraliviana busca ampliar la disponibilidad de datos teledetectados en las áreas agrícola y forestal del país, así como mejorar la calidad de la información que hoy día da sustento a la planificación y gestión de los recursos silvoagropecuarios, con un precio relativamente menor en los productos finales que se pondrán en el mercado.

En un contexto de investigación aplicada a la viticultura, el proyecto busca incrementar la eficiencia en la gestión de los viñedos, de modo de maximizar su rendimiento y rentabilidad.

Aplicaciones en viticultura de precisión

La creciente relevancia económica de la industria vitivinícola del país exige una planificación cada vez más eficiente de sus recursos, de manera de poner productos competitivos en los mercados internacionales. Para lograr ese objetivo la aplicación de nuevas tecnologías orientadas a maximizar el rendimiento del viñedo y la calidad del vino se ha hecho cada vez más imprescindible.

En este contexto, la teledetección hiperespectral e hiperespacial ha probado su utilidad para asistir una serie de tareas relacionadas con el manejo y monitoreo del viñedo.

Una de ellas es discriminar y mapear variedades de uva, de modo de conocer con precisión la distri-

bución espacial de las variedades de vid y así contribuir a inventariar y planificar este recurso.

Esta tarea resulta difícil de lograr mediante técnicas de interpretación visual de imágenes o fotografías aéreas, pues –aun disponiendo de productos con muy alto nivel de detalle espacial– vistas desde altura las hileras de las diferentes variedades tienen una apariencia visual similar. Por otra parte, a causa de su gruesa resolución espectral, las imágenes multiespectrales son incapaces de proveer patrones espectrales lo suficientemente separables entre las variedades como para permitir discriminarlas.

Sin embargo, usando imágenes hiperespectrales e hiperespaciales es posible extraer patrones espectrales detallados del dosel de la vid, que incrementan ostensiblemente la posibilidad de diferenciar y mapear con altos niveles de precisión las variedades de interés. La discriminación espectral entre variedades como Cabernet Sauvignon y Sirah, Cabernet Sauvignon y Merlot, Cabernet Sauvignon - Cabernet Franc - Merlot y Sauvignon llevadas a cabo en países como Francia y

Australia ejemplifican esta potencialidad.

Otra aplicación de estas tecnologías se relaciona con estimar y predecir condiciones de estrés en el viñedo, de manera de conocer con precisión la localización y severidad del daño de un agente estresor debido y con ello aplicar tratamientos selectivos dentro de los cuarteles, como fertilización, irrigación y fumigación.

A este respecto, el muestreo de hojas y suelo, así como las inspecciones visuales de síntomas de estrés, consumen mucho tiempo y recursos, y en el mejor de los casos arrojan resultados con márgenes de error que perjudican el manejo y monitoreo eficiente del viñedo. Por otro lado, suele ocurrir que cuando los síntomas de estrés se hacen reconocibles al ojo humano el daño en la planta ya es avanzado, requiriendo acciones remedia- tivas comúnmente más costosas que aquellas preventivas. De forma similar, detectar la condición de estrés vegetal mediante imágenes multiespectrales impide descubrir perturbaciones fisiológicas en estado incipiente, debido básicamente

Figura 4 Una aeronave ultraliviana favorece la adquisición de imágenes en fechas y horas específicas.



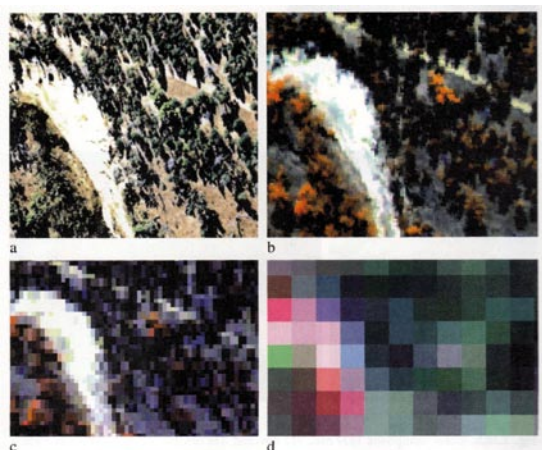
Usando imágenes hiperespectrales e hiperespaciales adquiridas durante ventanas de tiempo precisas es posible confeccionar curvas temporales detalladas sobre numerosas propiedades fisiológicas del viñedo.

a la gruesa resolución espectral de estos productos.

Mediante el uso de imágenes hiperespectrales e hiperespaciales pueden ser medidas señales espectrales sensibles al contenido de numerosos componentes de la vid, como nutrientes (nitrógeno, fósforo y potasio), agua y pigmentos (carotenoide, antocianina y clorofila) (Figura 5), los que se relacionan directamente con parámetros biofísicos y bioquímicos de la planta como abundancia de biomasa, estado nutricional e hídrico, vigorosidad (actividad fotosintética), estado de desarrollo y crecimiento, entre otros. En el ámbito de la viticultura de precisión ello ha significado la construcción de numerosos modelos predictivos e índices empíricos fuertemente vinculados a variaciones de estrés del viñedo.

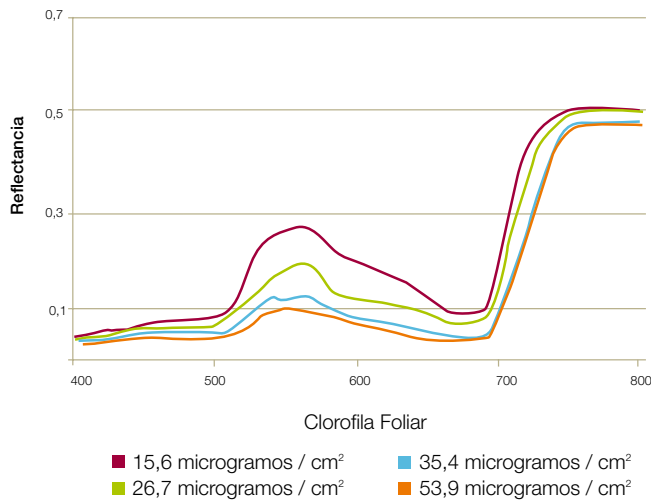
Asimismo, estas tecnologías pueden ser utilizadas para confeccionar curvas temporales de la condición del viñedo. Así como contar con información histórica detallada sobre diversos atributos biofísicos

Figura 3 Representación de una misma área a diferentes resoluciones espaciales



(*) a=0,5 m, b=1m,c = 2,8 m, d = 30m

Figura 5 Patrones espectrales de vides con distintos niveles de clorofila



y bioquímicos del viñedo durante periodos fenológicos críticos o durante sus distintos estados de desarrollo (calendario de cultivo) para evaluar y anticipar problemas de crecimiento y madurez, que faciliten la aplicación de tratamientos selectivos destinados a conseguir los niveles de productividad esperados. No obstante, generar este tipo de información mediante la colección de datos de terreno es costoso, mientras que mediante el uso de imágenes de baja resolución espectral es insuficiente.

Sin embargo, usando imágenes hiperespectrales e hiperespaciales adquiridas durante ventanas de tiempo precisas es posible confeccionar curvas temporales detalladas sobre numerosas propiedades fisiológicas del viñedo. Este tipo de productos permite identificar prematuramente retrasos o adelantos en la madurez del viñedo simplemente comparando curvas interanuales de parámetros, como vigorosidad, actividad fotosintética, abundancia foliar, entre otros aspectos, todos ellos derivados de la

medición sistemática de las señales espectrales asociadas a los componentes de la planta.

Debido a las enormes proyecciones que presentan estas nuevas tecnologías de teledetección, el Departamento Oterra y sus asociados buscan desarrollar éstas y otras aplicaciones de viticultura de precisión durante la primera etapa de investigación del proyecto, esperando obtener resultados satisfactorios que –durante una etapa posterior– puedan ser replicados como servicios a los viñateros y empresarios vitivinícolas del país.

El equipo de investigación de la Universidad Mayor manifiesta su disponibilidad para discutir potenciales aplicaciones de esta tecnología en éste y otros campos de estudio con todos los organismos y empresas interesados. **■**

Referencias bibliográficas

Blackburn GA. 2006. Hyperspectral remote sensing of plant pigments. *Journal of Experimental Botany* 58(4): 855-867.
 Ferreiro-Armán M, Da Costa JP, Homayouni S, Martín-Herrero J. 2006. Hyperspectral image analysis for precision viticulture. En Campillo A, M Kamel eds. *ICIAR 2006*. Berlin, Germany. Springer-Verlag. p. 730-741.
 Lucas R, A Rowlands, O Niemann, R Merton. 2004. Hyperspectral sensors and applications. En Varshney PK, MK Arora eds. *Advanced Image Processing Techniques for Remotely Sensed Hyperspectral Data*. Berlin, Germany. Springer. p. 11-49.
 Zarco-Tejada PJ, Berjón A, López-Lozano R, Millar JR, Martín P, Cachorro V, González MR, de Frutos A. 2005. Assessing vineyard condition with hyperspectral indices: leaf and canopy reflectance simulation in a narrow-structured discontinuous canopy. *Remote Sensing of Environment* 99: 271-287.

UNIVERSIDAD MAYOR
para espíritus emprendedores

Facultad de Ciencias Silvoagropecuarias

PREGRADO

- Carrera de Agronomía
- Carrera de Ingeniería Forestal
- Carrera de Medicina Veterinaria

INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

- **Centro de Estudios de Recursos Naturales OTERRA** (www.oterra.cl)
 Servicios
 - Modelos de Gestión para Bosque Nativo y/o Cultivos Forestales.
 - Evaluación de Servicios Ambientales de los Ecosistemas.
 - Planes de Preservación y Conservación de Biodiversidad.
 - Planes de Restauración Ecológica.
 - Sistemas de Información Geográfica.
 - Percepción Remota, y aplicaciones a partir de Imágenes Multiespectrales e Hiperespectrales.
 - Planes de Ordenamiento Territorial.
- **Centro de Investigaciones Ecotoxicológicas, CIE** (www.ciemayor.cl/)
 Servicios
 - Detección de dioxinas, furanos y bifenilos policlorinados semejantes a dioxinas (DL-PCBs)
 - Bioensayos de toxicidad
 - Calidad bacteriológica en aguas
 - Monitoreos de calidad de aguas
- **Centro de Propagación y Conservación Vegetal, CEPROVEG**
 Servicios
 - Propagación, Selección y Mejora de Especies Productivas Agroforestales

INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

- **Centro de Estudios de Recursos Naturales OTERRA** (www.oterra.cl)
 Servicios
 - Modelos de Gestión para Bosque Nativo y/o Cultivos Forestales.
 - Evaluación de Servicios Ambientales de los Ecosistemas.
 - Planes de Preservación y Conservación de Biodiversidad.
 - Planes de Restauración Ecológica.
 - Sistemas de Información Geográfica.
 - Percepción Remota, y aplicaciones a partir de Imágenes Multiespectrales e Hiperespectrales.
 - Planes de Ordenamiento Territorial.
- **Centro de Investigaciones Ecotoxicológicas, CIE** (www.ciemayor.cl/)
 Servicios
 - Detección de dioxinas, furanos y bifenilos policlorinados semejantes a dioxinas (DL-PCBs)
 - Bioensayos de toxicidad
 - Calidad bacteriológica en aguas
 - Monitoreos de calidad de aguas
- **Centro de Propagación y Conservación Vegetal, CEPROVEG**
 Servicios
 - Propagación, Selección y Mejora de Especies Productivas Agroforestales

POSTGRADO

- Magister en Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable
- Magister en Conservación de la Biodiversidad
- Magister en Administración de Empresas Silvoagropecuarias
- Magister en Gestión de Calidad de Empresas Pecuarias

POSTGRADO

- Diplomados más info en: <http://postgrados.umayor.cl>

POSTGRADO

- Diplomados más info en: <http://postgrados.umayor.cl>

Credenciada o la acreditación por:

Consejo Nacional de Acreditación

Acreditada

Comisión Nacional de Acreditación

www.umayor.cl ☎ 600 328 1000