

# Uso de percepción remota o teledetección para el manejo sitio-específico de viñedos

Andrés Esser C.  
aesser@puc.cl  
Rodrigo Ortega B.  
raortega@puc.cl  
Centro de Agricultura de Precisión  
Departamento de Ciencias Vegetales

**D**urante el último tiempo, ha surgido un gran interés en el tema de la percepción remota o teledetección, particularmente en viñedos. Por tratarse de un tema relativamente nuevo en el país, existen muchas expectativas en torno al potencial de estas tecnologías para mejorar el manejo vitícola. Sin embargo, en general, existe poco conocimiento respecto a la utilidad real de los sensores remotos y particularmente las imágenes recolectadas por ellos. En el presente artículo se presentan las bases de la teledetección y se discute el potencial del uso de imágenes en la viticultura nacional.

## Desarrollo de la percepción remota en viticultura

Al contrario de lo que se piensa, las aplicaciones de la percepción remota en viticultura datan de hace más de dos décadas. Las primeras experiencias se remontan al año 1978 en Alemania.

Más tarde, a comienzos de la década de los 80's, la NASA, en conjunto con algunas universidades de EEUU, desarrolló algoritmos para predecir el rendimiento en base a imágenes aéreas e identificar zonas infestadas con virus en los viñedos.

La década de los 90 comienza con una gran cantidad de investigación en este ámbito. En 1993, científicos

de la NASA desarrollan el proyecto "GRAPES" (Grapevine Remote Sensing Analysis of Phylloxera Early Stress). A través de imágenes aéreas infrarrojas tomadas sobre los viñedos Californianos, los viticultores obtuvieron información del comportamiento de la filoxera en sus viñedos.

Luego de este proyecto, la NASA desarrolló otro llamado CRUSH (Canopy Remote Sensing for Uniform Segmented Harvest). Utilizando imágenes con una resolución de 2 m tomadas en 1997, se determinaron zonas de vigor bajo, medio y alto, las cuales fueron vinificadas en forma separada, obteniéndose distintas calidades de vino.

## Bases de la percepción remota o teledetección de viñedos

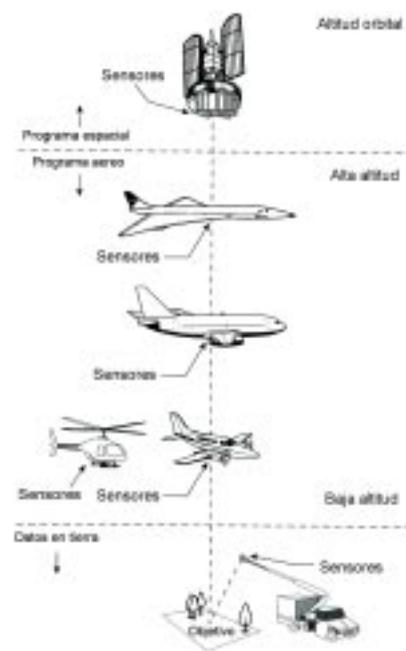
La percepción remota o teledetección, es una técnica de obtención de información acerca de objetos a través del análisis de datos recolectados por instrumentos especiales que no están en contacto físico con los objetos investigados, en este caso las vides dentro de un viñedo.

Los instrumentos especiales, llamados sensores, pueden ser cámaras fotográficas, escaners o sistemas de radar, que están montados, a una cierta distancia sobre el suelo, en torres, aviones o satélites (Figura 1).

La percepción remota implica la medición de la energía electromagnética que es reflejada y emitida por objetos (naturales o sintéticos), sin entrar en contacto con ellos. La energía electromagnética es un tipo de energía que proviene de la oscilación de

cargas eléctricas, y naturalmente es producida por el sol, existiendo fuentes artificiales que la emiten como por ejemplo la televisión, la radio o el microondas. Para las aplicaciones agrícolas, la porción de interés es la que va desde el ultravioleta (UV) hasta el infrarrojo (IR). La mayor parte de la luz solar se encuentra entre estas bandas.

La radiación electromagnética (REM) esta compuesta por distintos tipos de ondas electromagnéticas, las que difieren entre si por la longitud de onda, frecuencia y energía. Al conjunto de todas las ondas electromagnéticas se le denomina espectro electromagnético (Figura 2).



**Figura 1.** Diversos sensores y plataformas utilizados en percepción remota.

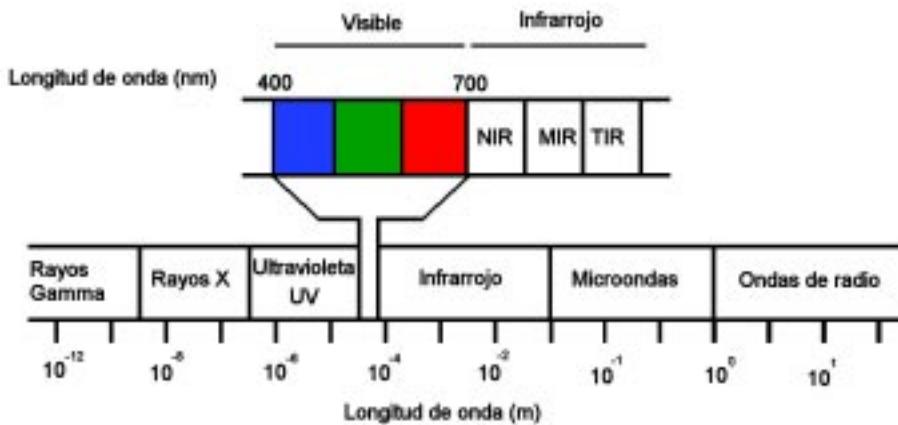


Figura 2. Espectro electromagnético.

### Espectro electromagnético de interés utilizado en percepción remota

**Ultravioleta (UV):** Se encuentra entre los Rayos X y el Visible, con una longitud de onda entre 0,01 a 0,4  $\mu\text{m}$ . El sol es la fuente natural de rayos UV, pero éstos no llegan a la tierra en longitudes de onda menores a 0,3  $\mu\text{m}$ , pues la atmósfera, a través de su capa de ozono, lo impide. Por eso, sólo el intervalo del UV cercano es usado en teledetección.

**Espectro visible:** Es la región más usada en percepción remota. El rango de longitud de onda que comprende es desde 0,4  $\mu\text{m}$  a 0,7  $\mu\text{m}$ . Las zonas del espectro visible que son

de interés para la percepción remota son tres segmentos: azul (0,4-0,5  $\mu\text{m}$ ), verde (0,5-0,6  $\mu\text{m}$ ) y rojo (0,6-0,7  $\mu\text{m}$ ).

**Banda infrarrojo (IR):** El rango de longitud de onda que abarca es desde el rojo de la luz visible, 0,7  $\mu\text{m}$ , a 1000  $\mu\text{m}$  de la banda microondas.

**Banda microondas:** se encuentra entre el infrarrojo y la banda de radio, que corresponden a las longitudes de onda de mayor magnitud utilizadas en percepción remota.

### Índices de vegetación utilizados en percepción remota

Antes de presentar los distintos índices utilizados en percepción remota, es necesario realizar una explicación general sobre el análisis de imágenes. Como se ha expuesto anteriormente, cada imagen está formada por diferentes bandas. Por ejemplo, una fotografía normal está formada por tres bandas: Azul, Verde y Rojo, las cuales al combinarse componen la imagen generando los distintos tonos. A su vez, cada banda está formada por píxeles o celdas. El número de píxeles que contiene una imagen está relacionada con su resolución: a mayor resolución de la imagen, mayor es el número de píxeles que contiene. Dentro de una banda dada cada píxel tiene un valor numérico que varía entre 0 y 255, dependiendo de la reflectancia del o los objetos contenidos en él. Valores altos representan mayor

reflectancia y viceversa.

En la figura 3 se observa una imagen aérea la cual está compuesta por tres bandas (roja, verde y azul). Cada una de estas bandas (que en el fondo es una imagen), contiene cientos de píxeles, cada uno con un valor en particular, dependiendo de su reflectancia. De este modo, los píxeles que se ven más rojos (mayor reflectancia) presentan un valor cercano a los 255.

Una vez realizada esta aclaración, es posible explicar los distintos índices de vegetación utilizados en percepción remota.

Durante las últimas décadas, se han desarrollado diversas técnicas para estudiar cualitativa- y cuantitativamente el estado de la vegetación a partir de medidas espectrales obtenidas por sensores remotos montados en satélites o aviones. Con el fin de concentrar la información almacenada en las imágenes multi- o hiperespectrales, de manera de poder tomar decisiones a partir de éstas, se han desarrollado los llamados “Índices de Vegetación”. Estos índices corresponden a combinaciones matemáticas de bandas espectrales, cuya función es realzar la contribución de la vegetación, en función de la respuesta espectral de una superficie, y atenuar la de otros factores como suelo, iluminación, atmósfera, etc.

En la actualidad existen numerosos índices de uso potencial en viticultura, entre éstos podemos mencionar el NDVI (Normalized Difference Vegetation Index o Índice Normalizado de Vegetación), GVI (Green Vegetation Index o Índice Verde de Vegetación), PCR (Plant Cell Ratio), PVR (Photosynthetic Vigour Ratio), PPR (Plant Pigment Ratio) y el DVI (Índice de Diferencia de Vegetación), entre otros. Sin embargo, se profundizará en los dos primeros debido a su mayor potencial de uso en viticultura.

### NDVI : Índice normalizado de Vegetación

Este índice, desarrollado en la década de los 70's, considera la cantidad de energía roja que es absorbida por la clorofila y la cantidad de energía del infrarrojo cercano que es reflejada por la estructura celular de la hoja.

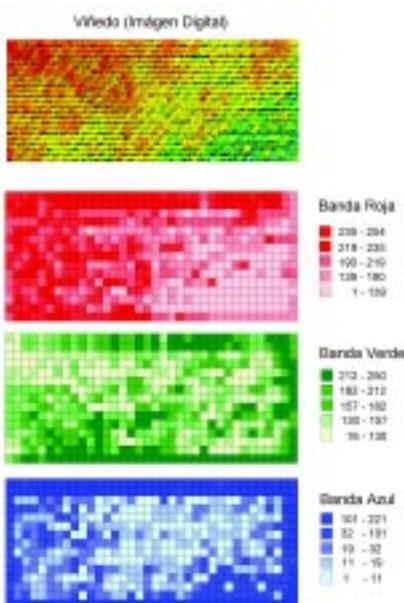
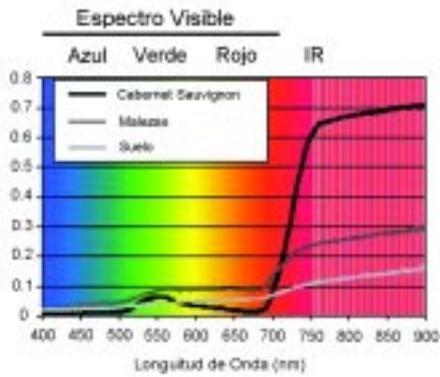


Figura 3. Imagen digital y su descomposición en bandas y píxeles.



**Figura 4.** Firma espectral de la variedad Cabernet Sauvignon contrastada con la reflectancia del suelo y malezas. Las diferencias se hacen evidentes en la zona del infrarrojo.

Este índice se define de acuerdo a la siguiente relación:

$$NDVI = \frac{NIR - ROJO}{NIR + ROJO}$$

Donde: el NIR y el Rojo son las respectivas reflectancias en las bandas del infrarrojo cercano y el rojo, respectivamente. El cálculo de esta relación entrega valores entre -1 y +1, que correlacionan directamente con la biomasa o vigor del viñedo. Con una alta biomasa o vigor, el valor de NDVI se acerca a la unidad, mientras que en suelo desnudo los valores se acercan a cero. Valores negativos generalmente corresponden a nieve, nubes, agua, etc. Áreas de alto vigor (densidad vegetal) poseen una mayor reflectancia en el infrarrojo cercano y una menor reflectancia en el rojo, debido a esto poseen un mayor índice NDVI.

El contraste entre las hojas y el suelo es mucho mayor en el infrarrojo cercano (Figura 4). Esta característi-

ca (diferencias entre el espectro reflejado) permite cuantificar la biomasa de un viñedo. Además, la reflectancia en el infrarrojo cercano es mucho más sensible a cambios en la salud de la planta. Generalmente la influencia de enfermedades, plagas, nutrición, humedad disponible o cualquier otro tipo de estrés afecta la biomasa de la vid y/o la respuesta espectral de las hojas.

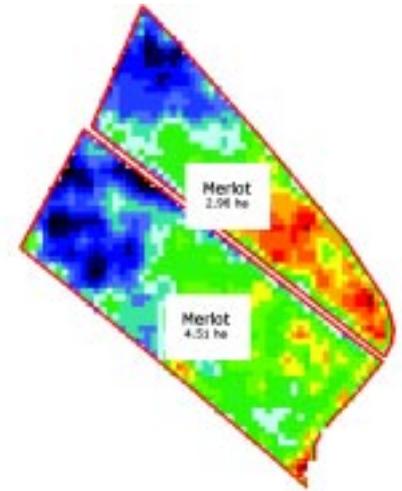
El principal problema de este índice es la influencia que ejercería el suelo sobre la reflectancia en el rojo y el infrarrojo y que puede enmascarar la de la vegetación.

En la figura 5 se muestra una imagen NDVI correspondiente a dos cuarteles de la variedad Merlot en un viñedo de la VII región tomadas cercano a pinta. Las zonas rojas representan áreas de mayor biomasa mientras que las azules indican áreas de menor vigor.

### GVI: Índice Verde de Vegetación

Este índice desarrollado recientemente, está compuesto por una serie de algoritmos que corrigen los problemas que presenta el índice NDVI. La principal ventaja del GVI por sobre el NDVI disponible en Chile, es que las imágenes GVI están debidamente calibradas, para eliminar la influencia de la humedad del suelo o la atmósfera. Esto permite la obtención de valores de GVI absolutos con los cuales es posible comparar imágenes tomadas en distintas fechas o sobre viñedos ubicados en distintas localidades.

Esta situación es ejemplificada en la figura 6. En ella se observan una dos imágenes GVI, tomadas en distin-



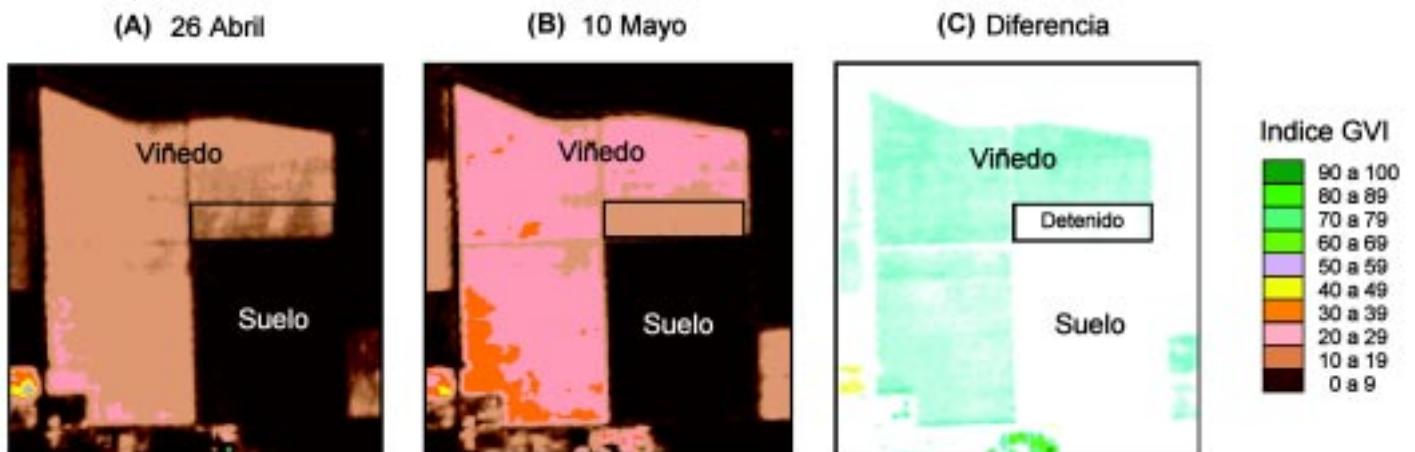
**Figura 5.** Imagen NDVI correspondientes a dos cuarteles de la variedad Merlot. De acuerdo a este índice las zonas rojas corresponden a sectores de alto vigor. Las zonas azules en cambio, indican sectores de menor biomasa.

Fuente: Agrosat Chile

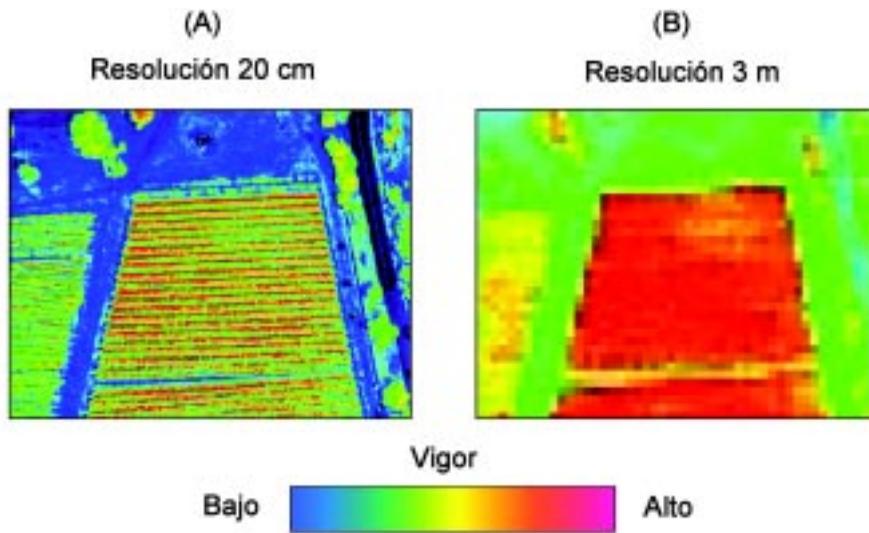
tas fechas durante la etapa de crecimiento, de un mismo viñedo. Por medio de estas imágenes calibradas es posible determinar cuáles son las zonas dentro del viñedo que no están creciendo a la misma tasa que el resto. Por ejemplo, si comparamos la primera imagen tomada el 26 de Abril (a) con la última imagen, adquirida el 10 de Mayo (c), se aprecia una zona en la imagen de diferencia (c) que presenta problemas de crecimiento.

### Propiedades de las imágenes

Cada imagen, ya sea aérea o satelital, posee una serie de características que son importantes a la hora de decidir cuál utilizar. Los puntos



**Figura 6.** Cambio en el GVI en imágenes tomadas en distintas fechas. En la imagen C (diferencia entre las imágenes A y B) es posible observar una zona del viñedo que no está creciendo.



**Figura 7.** Imagen comparando dos resoluciones espaciales distintas. Desde el punto de vista del manejo de la vid, la imagen B es suficiente.

más importantes a considerar son:

**Resolución espacial.** Corresponde al mínimo detalle espacial (pixel) que registra un sensor y depende del sistema óptico del mismo y de la altitud de la plataforma (satélite o avión). Diversos estudios desarrollados en viticultura han demostrado que si bien una imagen con una resolución submétrica incluye mucha información (incluso se puede diferenciar claramente cada hilera) no siempre ésta es mejor que una imagen de menor resolución. Muchas veces un exceso de detalle en la imagen puede dificultar la interpretación de la imagen. Por ejemplo, en la figura 7 se compara una imagen de 1 hectárea de Cabernet Sauvignon en dos resoluciones distintas: (a) 20 cm y (b) 3 m. Mientras en la imagen de 20 cm de resolución se distinguen claramente las hileras,

no se aprecia bien la zona de bajo vigor en el viñedo (sector superior derecho) fácilmente identificable en la imagen de menor resolución. Otro factor a considerar es el costo: en general, imágenes de mayor resolución (menor tamaño de píxel) tienen un costo superior a las de menor resolución (mayor tamaño de píxel).

**Resolución temporal.** Corresponde a la frecuencia de observaciones del sensor sobre un objeto o área determinada. No depende del sensor, sino de la plataforma. Dicho de otra forma, es la periodicidad con que el sensor adquiere imágenes de la misma porción de la superficie terrestre.

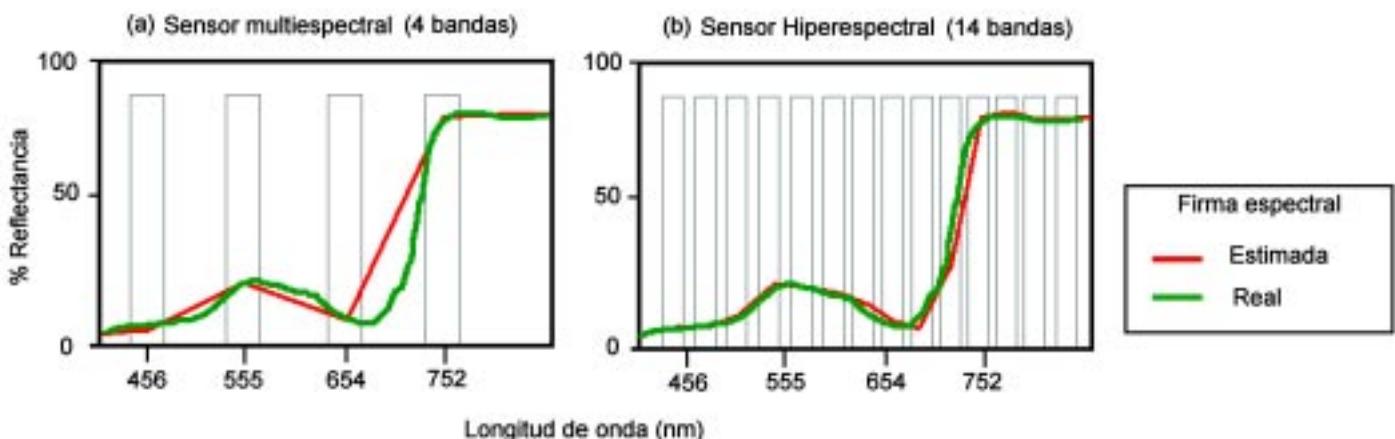
En un comienzo, debido al reducido número de satélites que orbitaban la tierra, la frecuencia en que éstos podían volver a registrar un punto de-

terminado era cercana a los 15 días. En la actualidad, existe una gran cantidad de satélites dedicados a la percepción remota que incluso tienen la capacidad de redirigir su órbita y volver al mismo sitio en un par de días.

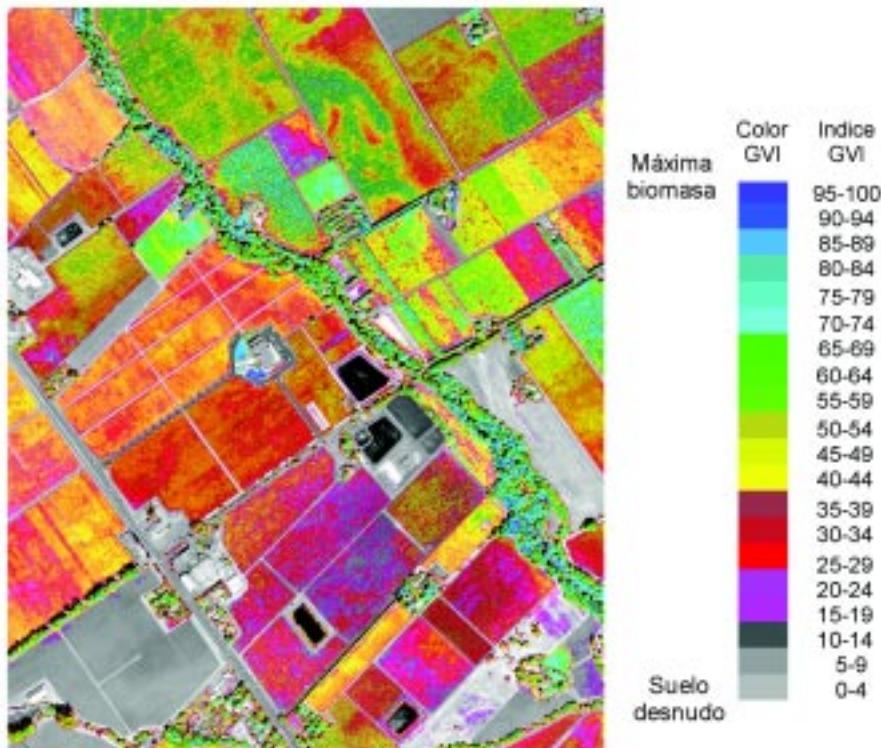
**Resolución Espectral.** Es la cantidad de bandas y sus respectivos rangos espectrales con que un sensor remoto capta la energía electromagnética. En la figura 8 se describe la firma espectral de un objeto medida por dos hipotéticos sensores capaces de discriminar entre (a) 4 bandas y (b) 14 bandas. Usando el sensor hiperespectral (14 bandas) la forma de la firma espectral del objeto en estudio es lograda con mayor detalle, en comparación con la obtenida con el sensor multispectral de 4 bandas. Sin embargo, en la práctica, se ha concluido que para identificar distintos niveles de vigor dentro de un viñedo sólo basta lograr una buena discriminación entre las plantas y el suelo. Esto se logra con las bandas verde, roja e infrarroja, o sea, un sensor multispectral es suficiente para este propósito.

En general, se habla de “multiespectral” cuando se describen instrumentos capaces de almacenar información sólo de un número limitado de bandas (2 a 10). Los instrumentos “hiperespectrales” pueden recolectar información de un número mayor de bandas.

**Resolución Radiométrica.** Es la capacidad de un sensor para registrar pequeños cambios de energía. Se



**Figura 8.** Comparación entre la firma espectral de la vid real y estimada usando un (a) sensor multispectral e (b) hiperespectral. La estimación es mejor al utilizar un sensor hiperespectral.



**Figura 9.** Imagen Satelital QuickBird de viñedos en California EEUU, en la cual es posible observar distintos viñedos y cuarteles. Las diferencias de color se deben principalmente a zonas de distinto vigor y/o cuarteles de distintas variedades.

mide en cantidad de niveles de grises o de cuentas digitales. A mayor resolución radiométrica, mejor interpretación de la imagen.

### Fuente de datos

A continuación se describen las fuentes de datos más utilizadas en percepción remota:

#### Fuentes de datos aéreas (aviones)

En nuestro país son dos las empresas que ofrecen servicios de percepción remota aérea aplicada a la viticultura. En general los vuelos son realizados a unos 3.000 m de altura y pueden cubrir un área de 20-30 hectáreas. Sin embargo, es posible unir distintas imágenes de una misma área y formar mosaico de imágenes para cubrir una mayor superficie. Esto también es válido para las imágenes satelitales.

#### Fuentes de datos satelitales

En la actualidad existen diversas fuentes de datos satelitales. Las principales son descritas a continuación:

**LANDSAT:** Este es un grupo de satélites, específicamente seis, de los cuales se encuentran operativos el LANDSAT-5 y el LANDSAT-7 (este último lanzado en 1999). Es una fuente muy utilizada en percepción remota. Cada imagen tomada de este satélite posee una cobertura de 185 km<sup>2</sup> y una resolución temporal de 16 a 18 días. Este grupo de satélites ofrece una resolución espacial entre los 15 y 80 m.

**SPOT:** (Système Pour l'Observation de la Terre) Son cuatro satélites operados por Francia. El primero de ellos fue lanzado en el año 1986 y el último en 1996. Ofrecen una resolución espacial mayor al LANDSAT, aproximadamente de 10 a 20 m. La cobertura de estos satélites es de 60 km<sup>2</sup> y vuelven a pasar por el mismo punto cada 26 días.

**Ikonos:** Lanzado en Octubre de 1999, este satélite colecta información de cualquier zona en promedio dos veces al día, cubriendo áreas de 20.000 km<sup>2</sup> en una misma pasada y produciendo como resultado imágenes de un metro de resolución cada tres

días y de 2 m de resolución todos los días.

**Quick bird:** Este satélite de última generación entrega una resolución espacial de hasta 0.6 metros, es decir, es posible incluso distinguir cada planta dentro de un viñedo (Figura 9).

Por su parte, el Centro de Agricultura de Precisión de la PUC (CA-PUC) ha evaluado el uso de imágenes satelitales en viticultura con mucho éxito.

### Satélite vs avión

Una de las interrogantes que surgen sobre el uso de sensores remotos en viticultura es: ¿Qué fuente de datos utilizar al momento de adquirir una imagen?. Las respuestas son principalmente dos: satelital o avión. A continuación se exponen las ventajas de cada sistema en términos de:

#### Resolución de las imágenes:

Si bien la imagen aérea (avión) posee en promedio una mayor resolución espacial debido a que el vuelo se realiza a menor altura, actualmente existen satélites capaces de lograr resoluciones submétricas.

#### Flexibilidad:

Hasta hace algún tiempo, éste fue un punto en contra de las imágenes satelitales ya que la oferta de satélites era baja y el tiempo en que el satélite pasaba por un mismo punto era de alrededor de 2 semanas. En la actualidad la gran cantidad de satélites que existen y la posibilidad de redirigir su órbita, permiten disminuir el tiempo de 14 a dos días en algunos casos.

#### Cobertura:

En este punto, las imágenes satelitales tienen la ventaja de abarcar una mayor superficie en cada frame (área de cobertura de la imagen satelital), lo que es útil para viñas que poseen una gran superficie o para aquellas en que sus viñedos o productores se encuentran disgregados en una área extensa.

En general, una imagen de 10 m de resolución puede abarcar aproximadamente 36.000 km<sup>2</sup> (360.000 ha) y una de mayor resolución, es decir de 60 cm, hasta 250 km<sup>2</sup> (unas 25.000

ha). La cobertura alcanzada por un sensor montado en un avión es significativamente menor y dependerá de la altura de vuelo.

**Operación:** La adquisición de imágenes satelitales es un proceso rápido, en la actualidad es posible adquirir una imagen satelital 48 horas después de haber sido tomada la imagen. Esta imagen (NDVI o GVI) llega desde el proveedor hasta el computador del usuario en formato digital y georeferenciada (comúnmente llamado GeoTif) lo que permite ser visualizado en un Sistema de información Geográfica (SIG).

Para las imágenes aéreas, tomadas desde aviones, el proceso es similar salvo que la imagen que se entrega es la correspondiente al índice vege-

tacional NDVI y el tiempo de procesamiento es más largo (7 días aproximadamente después de la fecha del vuelo).

**Costo:** El costo de una imagen dependerá principalmente de la resolución y la cobertura. Por ejemplo, el costo por hectárea de una imagen satelital puede ser incluso menor al de una imagen aérea ya que la cobertura de ésta es mucho mayor.

### Aplicaciones de la percepción remota en viticultura

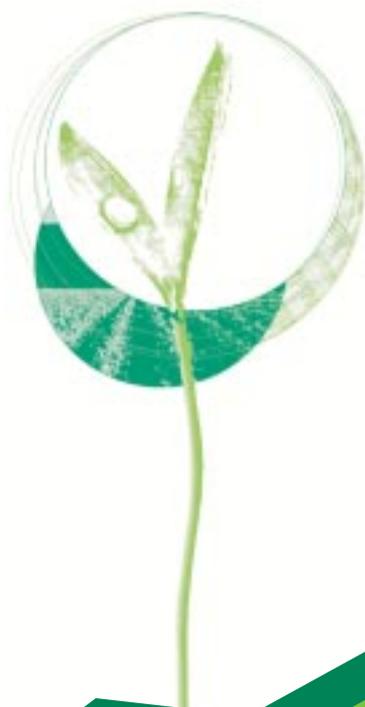
Las aplicaciones de la percepción remota son múltiples, por ejemplo se pueden mencionar:

- Identificación de zonas de distinto vigor dentro del viñedo para la aplica-

ción de manejos diferenciales, como cosechas por zonas

- Monitoreo del desarrollo fenológico de la vid
- Detección de plagas y enfermedades
- Identificación de variedades

Sin embargo, es importante recalcar que el uso de imágenes, ya sea aéreas o satelitales, es sólo una herramienta más para el proceso de toma de decisiones en la producción vitícola, ya que los índices (NDVI, GVI y otros) entregan sólo información sobre la distribución espacial del vigor o biomasa dentro de viñedo y las inferencias que se realicen a partir de éstas (como por ejemplo bloques de cosecha) deben ser calibradas con datos obtenidos en terreno. **FAF**



## VIII Congreso de Economistas Agrarios 2003

Pensando en la agricultura del 2010  
Desafío, Ajustes y Política

27, 28 y 29 de Octubre  
Centro de Extensión  
Pontificia Universidad Católica de Chile

**AEA** Asociación de Economistas Agrarios A.G.



Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal - PUC

Organizan  
Asociación de Economistas Agrarios A.G.  
Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal - PUC

Para mayores informaciones  
Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal - PUC  
Teléfonos: 686 4122 - 686 4180  
e-mail: loliva@puc.cl  
www.cea2003.cl

# www.cea2003.cl