

OJOS PARA DECIDIR

TECNOLOGÍAS PARA EL MONITOREO DE CANOPIA





RODRIGO
ORTEGA BLU, PHD

RODRIGO.ORTEGA@USM.CL



MARÍA CAROLINA
ORELLANA C., MS



ÁLVARO ORTEGA
BLU, MS

EL MONITOREO de canopia constituye una valiosa herramienta para conocer algunas de las características de un cultivo, plantación frutal o forestal, a través de la obtención de índices de biomasa aérea (vigor) y pigmentos (clorofila), permitiendo un manejo sitio-específico. Existen diferentes tecnologías para realizar estas mediciones, con variados resultados, dependiendo del tipo de sensor, la plataforma sobre la que se monten y la distancia de la medición, entre otros.

PLATAFORMAS Y SENSORES UTILIZADOS EN AGRICULTURA

Los sensores recolectan datos sin la necesidad de contacto físico con los objetos medidos, por lo que esta técnica se denomina percepción remota o teledetección. Hay distintos tipos de sensores, tales como cámaras fotográficas, escáneres o sistemas de radar que pueden ser montados sobre distintas plataformas, tales como satélites, aviones, torres, drones, vehículos o maquinaria. Cada uno de los sensores tiene ciertas características que pueden ser resumidas en los siguientes atributos:

A. Resolución espacial: Corresponde al mínimo detalle espacial (*pixel*) que registra un sensor y depende de su sistema óptico y de la altitud de la plataforma (satélite, avión, plataforma terrestre, etc.). La resolución espacial requerida depende de la aplicación. Por ejemplo, si se tratara de contar plantas de maíz dentro de un cultivo joven, el uso de cámaras RGB de alta resolución, montadas en dron o plataforma terrestre sería la tecnología recomendada.

B. Resolución temporal: Corresponde a la frecuencia de observación 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 sobre el área de interés. En este sentido, muchas plataformas satelitales adquieren imágenes con alta frecuencia (incluso diaria), mientras que las plataformas aéreas o terrestres permiten la colección con la frecuencia que se desee.

C. Resolución espectral: Es la cantidad de bandas y sus respectivos rangos espectrales (ancho de banda) con que un sensor remoto

capta la energía electromagnética. En la práctica, se ha concluido que para identificar diferencias dentro de un huerto 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 multi espectral es suficiente para este propósito. En general, se habla de multiespectral cuando se describen instrumentos capaces de almacenar datos sólo de un número limitado de bandas (dos a diez), las cuales son de mayor ancho. Los instrumentos hiperespectrales pueden recolectar información de un número mayor de bandas, pudiendo tener desde cientos a miles de bandas de un ancho muy pequeño.

D. Resolución radiométrica: Es la capacidad de un sensor para registrar pequeños cambios de energía. Se mide en cantidad de niveles de grises o de cuentas digitales. A mayor resolución radiométrica, mejor interpretación de la imagen.

TIPOS DE SENSORES

A. Pasivos: miden la reflectancia a la luz solar (sensores montados sobre plataformas de drones, aéreas y satelitales)

B. Activos: emiten luz blanca y miden la reflectancia a dicha luz a distintas longitudes de onda. Permite trabajar de noche y hacer mapas comparables entre diferentes fechas y horarios de medición (Sensor activo terrestre OptRx).

DATOS E ÍNDICES ESTIMADOS

Una imagen está formada por diferentes bandas del

espectro electromagnético. Por ejemplo, una fotografía en colores está formada por tres bandas: rojo (R), verde (G) y azul (B), las cuales al combinarse, en el orden RGB, componen la imagen en colores. A su vez, en el archivo de datos de la imagen, cada banda está formada por píxeles o celdas. El número de píxeles que contiene una imagen está relacionado con su resolución: a mayor resolución de la imagen, mayor es el número de píxeles que contiene.

Dentro de cada banda, cada pixel tiene un valor numérico que varía entre 0 y 255, dependiendo de la reflectancia (energía reflejada) del o de los objetos contenidos en él. Valores altos representan mayor reflectancia y viceversa.

Cada objeto tiene una firma espectral diferente, es decir la cantidad de luz reflejada (o absorbida) por éste varía con la longitud de onda. En el caso de las plantas, su curva espectral es muy característica y muestra, dentro del rango visible (400 a 700 nm), una baja reflectancia en el azul y rojo, y elevada en el verde, motivo por el cual las plantas se ven de dicho color; en el infrarrojo cercano (NIR), que normalmente va entre los 700 y 900 nm, que no es captado por el ojo humano, las plantas presentan una elevada reflectancia (Figura 1), la cual está directamente relacionada con su estructura (biomasa).

Así, a mayor reflectancia en el IR, mayor es la biomasa del cultivo. Este hecho ha permitido el desarrollo de los llamados índices de vegetación, que corresponden a combinaciones

LOS SENSORES Y SUS PLATAFORMAS

Plataforma	Fuente/sensor	Resolución espectral	Cobertura	Resolución espacial (m)	resolución temporal (días)
SATELITAL	LANDSAT 8	11 bandas: Azul, verde, rojo, pancromática, infrarrojo cercano, infrarrojo térmico 1 y 2, coastal aerosol, cirrus, swir 1y 2.	170 Km sentido norte-sur por 183 Km este-oeste	15 - 30	16
	SPOT	5 bandas: Pancromático, Azul, Verde, Roja e Infrarrojo cercano.	120 Km por 120 km o de 60 km por 180 Km	Pancromática y color: 1.5 m, y multiespectral: 6 m	26
	RAPIDEYE	5 bandas: Azul, verde, rojo, límite rojo (Red-edge, la cual es sensible a cambios en la clorofila) y el infrarrojo cercano.	77 Km	5 m	3-4 días, aunque es posible obtener revistas diarias.
	IKONOS	5 bandas: Pancromático, Azul, Verde, Roja e Infrarrojo cercano.	El tamaño de la escena es de 11.3 km por 13.8 km.	Pancromática: 82 cm, y multiespectral: 3.28 m.	3-5 días
	QUICK BIRD	5 bandas: Pancromático, Azul, Verde, Roja e Infrarrojo cercano.	El tamaño de la escena es de 16.8 km por 18 km.	Pancromática: 65 cm y Multiespectral: 2.62 m.	1-3 a 5 días, dependiendo de la latitud.
AEREA	SPECTERRA	4 bandas: Azul, Verde, Roja e Infrarrojo cercano.	Definida por el usuario	0.25 - 1.25 m	Definida por el usuario
DRON	RGB	3 bandas: Azul, verde, Rojo	Definida por el usuario	0.1 - 1.0 m	Definida por el usuario
	Multiespectral	4 bandas: Rojo, verde, Infrarrojo cercano y límite rojo.	Definida por el usuario		Definida por el usuario
	Termal	1 banda infrarroja	Definida por el usuario		Definida por el usuario
TERRESTRE	OPTRX	3 bandas: Rojo, límite rojo e Infrarrojo cercano.	Definida por el usuario	1.5 m a 12 cm dependiendo de la distancia del sensor al objeto a medir	Definida por el usuario
	SISTEMA CROP VIEW	3 bandas: Azul, verde, Rojo	Definida por el usuario	2,5 mm	Definida por el usuario

matemáticas de bandas espectrales, cuya función es realzar 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, entre

los que destacan el NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), NDRE (Normalized Difference Red Edge), GVI (Green Vegetation index) y PCD (Plant Cell Density). Los más conocidos y utilizados son el NDVI y el NDRE para la medición de bioma-

sa y clorofila (N), respectivamente. Sus fórmulas se definen a continuación:

$$NDVI = (NIR - ROJO) / (NIR + ROJO)$$

$$NDRE = (NIR - \text{límite rojo}) / (NIR + \text{límite rojo})$$

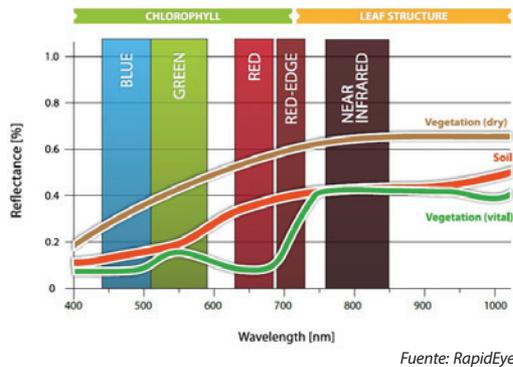
Donde:

NIR: reflectancia en la banda infrarrojo cercano.

ROJO: reflectancia en la banda roja.

Límite rojo: reflectancia en la banda límite rojo

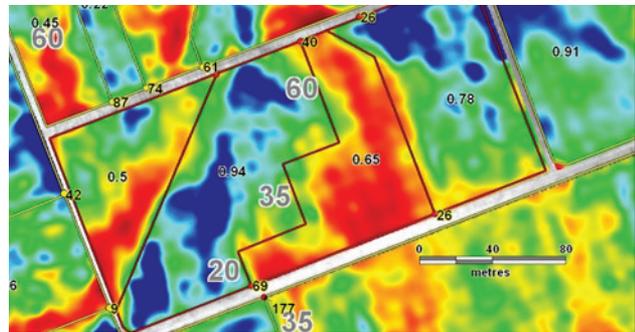
FIGURA 1
RESPUESTA ESPECTRAL DE LA VEGETACIÓN
Y EL SUELO



APLICACIONES DEL MONITOREO DE CANOPIA

A. Cosecha diferencial: El monitoreo de canopia permite generar mapas de índices como NDVI y NDRE, con los cuales es posible determinar zonas de cosecha homogénea. Es decir, cada una de las zonas, que tiene distinta calidad de fruta

FIGURA 2
ZONAS HOMOGÉNEAS PARA COSECHA DIFERENCIAL
DE VID VINÍFERA



se cosecha separadamente. En el caso de la viticultura, las zonas de mayor calidad de uva darán origen a vinos de mejor calidad (Figura 2).

B. Muestreos dirigidos: A partir de un mapa de Índice de vegetación (IV) es

posible determinar sectores de distinto vigor para extraer muestras de suelo y tejidos o bien estudiar los factores limitantes del crecimiento y producción de los cultivos.

C. Catastro: A partir de una imagen de alta reso-

lución y un IV es posible contar árboles y clasificarlos en categorías de vigor con fines de manejo diferencial.

D. Interpretación de análisis de tejido: Los análisis de tejido son interpretados de mejor forma cuando se dispone de alguna medida de biomasa de canopia. Los efectos de dilución-concentración de los nutrientes pueden corregirse a través del uso de índices nutricionales.

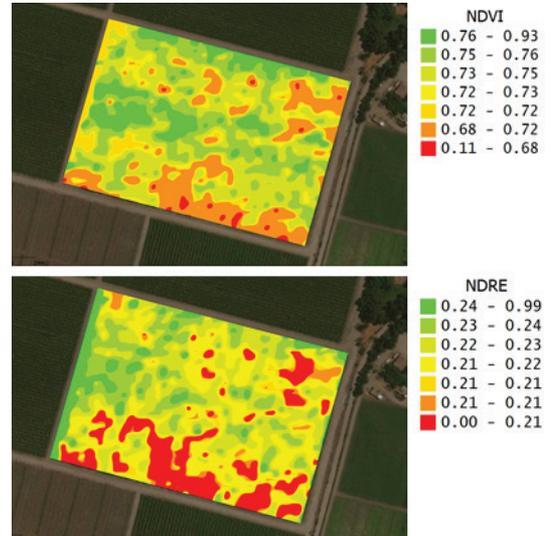
E. Manejos diferenciales: El uso de mapas de índices de vegetación y biomasa permiten realizar manejos variables de poda, fertilización, aplicación de agroquímicos y cualquier otro manejo que se pueda basar en el análisis de la vegetación. En la figura 3 se muestra un mapa de vigor (NDVI) y de clorofila (NDRE), obtenido en un parrón de uva de mesa utilizando el sensor OptRx montado en un tractor. Con este mapa es posible, por ejemplo, determinar las mejores ubicaciones para abrir ventanas en el parrón para lograr una buena coloración de los racimos. Cabe señalar que el montaje de los sensores OptRx en un tractor permite recolectar

datos cada vez que este va al campo. Estos datos quedan disponibles inmediatamente en forma de mapa para la toma de decisiones de manejo.

F. Seguimiento: El uso de IV permite hacer seguimiento de huertos para evaluar los manejos realizados, identificar los sectores con problema y eventualmente calcular índices nutricionales combinando los IV con análisis químico de tejidos, tal como se mencionó anteriormente. Debido a que los IV son numéricos, es posible calcular estadísticos sobre ellos, como promedio, desviación estándar y coeficiente de variación (CV). En cualquier cuarteles deseable tener bajos CV, lo que indicaría homogeneidad del vigor entre las plantas o árboles.

G. Predicción de cosecha: Utilizando IV y un muestreo adecuado en terreno, además de algoritmos especiales es posible estimar los rendimientos de cultivos, frutales y vides con una buena exactitud, 60 a 90 días antes de cosecha. Este tipo de desarrollo es cultivo específico y debe hacerse a partir de una investigación previa que contempla el uso de imágenes y muestreos de terreno.

FIGURA 3
A. MAPAS DE NDVI Y NDRE OBTENIDOS DE UN PARRÓN DE UVA DE MESA CON SENSOR OPTRX EN PLATAFORMA TERRESTRE



VENTAJAS Y DESVENTAJAS

VENTAJAS

- Facilidad y rapidez en la medición. Para medir el vigor de un cultivo de forma manual, se requiere un tiempo considerablemente mayor, que implica un costo adicional de mano de obra y menor precisión.

- Gran cantidad de datos. La recolección de datos, prácticamente continua, obtenida por los sensores permite tener mayor y mejor información para la toma de decisiones que si se realizara de manera manual.

- Posibilidad de aplicación variable de enmiendas, fertilizantes y agroquímicos. La mejor distribución de insumos, determinada por el vigor del cultivo o frutal, permite obtener un adecuado cubrimiento para lograr un buen control de enfermedades y plagas, mejorar los sectores del suelo con deficiencias para mejorar los rendimientos del cultivo.

- Disminución de costos de insumos. Al optimizar las cantidades de insumos aplicados es posible disminuir los costos de algunos de los insumos y mejorar la producción de los sectores más decaídos, logrando aumentar la productividad general del cultivo.

- Cuidado del medio ambiente. Las aplicaciones específicas de agroquímicos, fertilizantes o enmiendas permiten disminuir las probabilidades de aplicaciones excesivas, evitando la contaminación de suelo, agua y ambiente.



1A. Sensor pasivo montado en dron.



1B. Sensor activo montado en plataforma terrestre.

DESVENTAJAS

- Costo del equipamiento (dependiendo del tipo y calidad).
- Desconocimiento técnico para el uso de los equipos.
- Requiere de personal idóneo para el análisis y procesamiento de los datos obtenidos, para la obtención de información útil para la toma de decisiones.

COSTOS

El costo del monitoreo de canopia va a depender de variados factores, tales como: el grado de resolución de la imagen, la plataforma, el tipo de sensor utilizado, la superficie a medir, la ubicación, complejidad del terreno, el tipo de medición y los análisis requeridos, entre otros.

De este modo, para imágenes satelitales los valores van desde los \$500/ha; para plataformas aéreas, alrededor de los \$6.000/ha; en drones, los precios, por cubrir un área entre 1 y 100 ha, van desde 0,5UF, mientras que con superfi-

cias más extensas, el valor puede llegar a 0,25UF/ha; finalmente, para los sensores activos montados en plataformas terrestres, los valores son de 0.7- 1 UF/ha (Fuente: Agroprecisión, Neoag, Agricultura de Precisión, Skyquest, entre otros.).

RENTABILIDAD EN CULTIVOS

El denominado Valor de la Información Sitio-específica (VISE) en beneficio neto se expresa como la diferencia entre el Manejo sitioespecífico y el Manejo uniforme de los cultivos. Por ejemplo, en el caso de cosecha diferencial en uva viní-

fera utilizando imágenes aéreas se encontró un VISE positivo, de un promedio de 195 USD/ha.

$$VISE = \pi MSE - \pi MU$$

CONCLUSIONES

En Chile existen numerosas plataformas y sensores para realizar monitoreo de canopia en cultivos. Los mapas obtenidos de índices de vegetación y biomasa poseen múltiples aplicaciones que, a través del análisis adecuado de los datos y algoritmos apropiados, hacen posible obtener las soluciones agronómicas necesarias para mejorar la productividad y rentabilidad de los cultivos.