

Percepción Remota

*Autores: Ing. Agr. Axel von Martini,
Ing. Agr. Mario Bragachini,
Ing. Agr. Agustín Bianchini,
Ing. Agr. Eduardo Martellotto,
Ing. Agr. Andrés Méndez.
Proyecto Agricultura de Precisión INTA Manfredi*

Introducción

Cada vez que un **agricultor mira sobre un cultivo** de maíz se puede decir que el o ella están "**percibiendo remotamente**" su estado de crecimiento. Al mirar el color y forma de las hojas uno puede hacer una determinación visual de si el cultivo se encuentra bajo algún tipo de estrés por sequía, deficiencia nutricional o infestación por plagas o enfermedades. El productor utiliza además de la apariencia del cultivo otros conocimientos como la época del año, la historia pluviométrica, e inclusive experiencias previas en la percepción de signos de problemas para determinar el estado del cultivo. **Este proceso de mirar y determinar el estado del cultivo a la distancia es una forma de percepción remota.**

Percepción remota

La percepción remota ha ganado mucho interés como una herramienta potencial de manejo para agricultores de precisión. Imágenes de satélites o fotografías aéreas pueden permitir al productor ver rápidamente los cultivos en su campo y decidir cuales áreas necesitan un manejo posterior, sin dejar la comodidad de su hogar. La parte visual, como veremos mas adelante, es fácil desde que esta al alcance la tecnología para ver objetos desde grandes distancias. Sin embargo, **interpretar lo que vemos y tomar decisiones sobre esas interpretaciones es todavía bastante complicado.** Aunque la percepción remota ha sido usada en aplicaciones agronómicas desde la década de 1930, esta practica sufre todavía un gran desarrollo como una herramienta de manejo para la producción vegetal.

La percepción remota (PR) ha sido definida de varias maneras. **En general, la PR es un grupo de técnicas para recolectar información sobre un objeto o área si tener que estar en contacto físico con el objeto o área.** Las distancias que separan al sensor del objeto o área estudiados pueden variar desde unos pocos metros hasta miles de kilómetros. Los métodos más comunes para recoger información incluyen el uso de sensores colocados sobre aviones o sobre satélites. Un ejemplo familiar de datos percibidos remotamente es el mapa del tiempo que se ve comúnmente en el noticiero de la televisión, mostrando la cobertura de nubes y precipitación a través del país.

Las técnicas de la percepción remota son usadas ampliamente para recolectar información sobre facciones de la superficie terrestre. Los datos percibidos remotamente tienen muchos usos que van desde la vigilancia militar, hasta la planificación del uso de la tierra urbana e industrial, hasta el estudio del suelo agrícola y los cultivos.

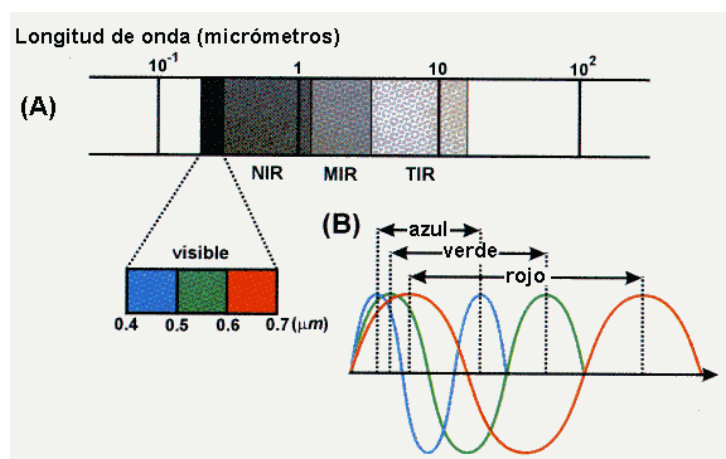
Se utilizan varios tipos diferentes de sensores, tanto para fotografía aérea e imágenes satelitales. La PR puede ser una alternativa interesante a los métodos tradicionales de estudio del campo, por la capacidad de cubrir grandes áreas rápida y repetidamente. **Puede ser usado durante toda la estación de crecimiento, incluso cuando el contacto físico directo con los cultivos es difícil o le causaría daño. La PR resulta a menudo en una información más oportuna de las condiciones del cultivo.** La detección temprana y el manejo anticipado de problemas pueden ayudar a prevenir pérdidas potenciales de cultivos. La PR provee al productor los medios para identificar problemas potenciales antes que estos se vuelvan irreversibles en términos de rendimiento o calidad de la cosecha.

Puntos básicos de la percepción remota

La percepción remota implica la medición de la energía que es reflejada o emitida por objetos, sin entrar en contacto con ellos. Esta energía electromagnética, viaja por el espacio como ondas electromagnéticas. Las ondas se diferencian por su longitud, que es la distancia entre dos crestas sucesivas de una onda.

El espectro electromagnético consiste en todas las longitudes de onda de la energía electromagnética. El espectro continuo se subdivide en algunos tipos familiares de energía electromagnética como los rayos X, rayos ultravioletas (UV), visibles, infrarrojo (IR), microondas, y ondas de radio. Estos distintos tipos de energía electromagnética son categorizados por su posición, o longitudes de onda, en el espectro electromagnético. Los rayos X tienen longitudes de onda muy pequeñas, alrededor de 0.0001 micrómetros, y las ondas de radio pueden tener longitudes de onda grandes, hasta 100 m.

Usualmente solo una pequeña porción, o banda, de todo el espectro es de interés en la percepción remota. Ya que la luz del sol es la fuente más común de energía usada en la percepción remota, las longitudes de onda predominantes en la luz solar son las más importantes. Para las aplicaciones agronómicas, la porción de interés es la que va desde el ultravioleta (UV) hasta el infrarrojo (IR). La mayor parte de la luz solar está en estas bandas y tiene longitudes de onda entre 0.2 y 0.4 micrómetros.



La luz visible, la porción del espectro que puede ser detectada por el ojo humano, también se encuentra entre el UV y el IR. La banda del visible se extiende de 0.4 a 0.7 micrómetros. La luz azul se encuentra cerca de la región de 0.4 μm y la luz roja cerca de los 0.7 μm . Justo sobre la región del rojo se encuentra la banda del

infrarrojo cercano (NIR). No existe una distinción clara entre el NIR y el IR. Esta región del infrarrojo cercano, aunque es indetectable por el ojo humano, puede ser detectada por sensores artificiales y es muy importante en la percepción remota, como se vera mas adelante.

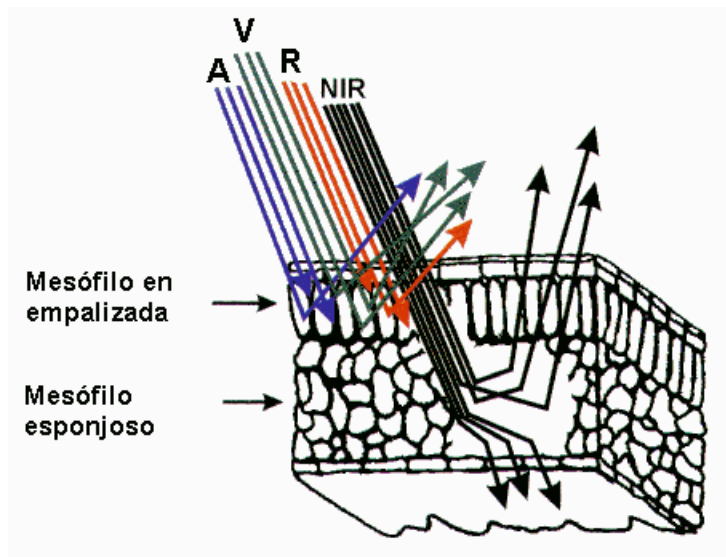
Como interaccionan los objetos con la energía electromagnética

Para esta discusión, se usara él termino *objeto* para referirse a aquellos entes naturales o artificiales que reflejan o emiten energía electromagnética, así como un tractor, cultivos, suelos, calles, arboles, ríos, y lagos. Todos los objetos emiten energía electromagnética (asumiendo que tienen temperaturas mayores a cero absoluto [-273°C]- lo que significa que todo emite radiación). Sin embargo, esta radiación se emite en longitudes de onda que están usualmente fuera de la banda del visible. Por consiguiente no podemos ver la mayoría de la energía con el ojo humano. La mayor parte de lo que vemos es energía reflejada. **Cuando la energía electromagnética, como la del sol, pega en un objeto, hay tres cosas que pueden pasar con ella. Esto puede ser:**

- **reflejada** por el objeto (como un espejo refleja tu imagen)
- **transmitida** a través del objeto (como la luz solar a través de una ventana de vidrio)
- **absorbida** por el objeto (como alguien que toma sol)

En realidad, cuando la luz pega en la mayoría de los objetos, mas de una de estas tres cosas sucede al mismo tiempo. Algunas longitudes de onda pueden ser reflejadas, algunas transmitidas y otras absorbidas. La energía absorbida puede incluso ser convertida en calor y ser emitida del objeto a una longitud de onda diferente. Esto es lo que pasa cuando un objeto se calienta al sol. Se calienta y emite calor, que es energía infrarroja.

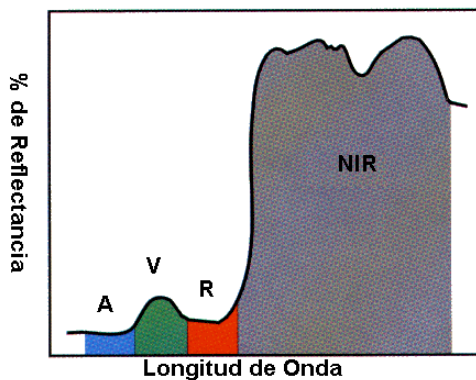
Como afecta un objeto cada longitud de onda que recibe depende de sus características y de los ángulos en que la luz le incide.



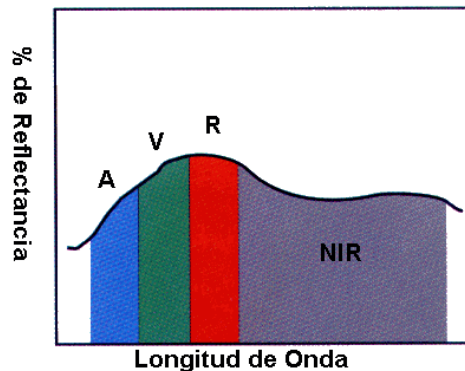
La energía reflejada y emitida de los objetos es lo que se mide en la percepción remota. Por ejemplo, una planta verde se ve de ese color porque la clorofila en sus hojas absorbe la mayor parte de la energía en las longitudes de onda del azul y el rojo, y refleja principalmente las

longitudes de onda verde. La energía reflejada en las longitudes de onda verde es percibida por el ojo humano como el color verde. Parte de la energía lumínica es también transmitida a través de las hojas. Si sostenemos una hoja contra el sol, usualmente se ve algo de luz que pasa.

Cada objeto o grupo de objetos, examinados por percepción remota refleja un único espectro de longitudes de onda. **Las diferencias entre el espectro reflejado es la base para distinguir un objeto de otro.** En el diagnóstico de cultivos agrícolas, se debería determinar un espectro característico para distintos cultivos y en cada etapa de crecimiento saludable. **Plantas en crecimiento saludable reflejan mas luz verde que plantas enfermas marrones o amarillas.** En otras palabras, plantas enfermas producen distintas respuestas espectrales o patrones característicos de radiación reflejada. **Una vez que identificamos las diferencias en las respuestas espectrales entre plantas sanas y enfermas, por ejemplo, podríamos percibir solo algunas longitudes de onda para determinar la salud del cultivo o las condiciones del suelo en donde crece.**



Reflectancia común de la energía solar en plantas de maíz saludables. Note la diferencia relativa entre la energía infrarroja cercana y visible.



Reflectancia hipotética de la luz solar en plantas de maíz estresadas.

Un problema encontrado al tratar de determinar las diferencias entre los espectros reflejados de las plantas, es que, muchos factores además de la planta misma afectan las características de la luz reflejada. Por ejemplo, la altura del sol sobre el horizonte afecta el espectro de objetos percibidos remotamente. La atmósfera absorbe y refleja ciertas longitudes de onda de la luz que pasan desde el sol hacia la tierra. La luz azul es reflejada, o mejor dicho desparramada en todas direcciones, mas que cualquier otra longitud de onda. Por eso el cielo se ve normalmente azul. También la capa de ozono en la atmósfera absorbe la mayoría de los rayos UV de la luz solar. Además del ozono, el agua y el dióxido de carbono en la atmósfera absorben ciertas longitudes de onda de la luz solar.

A pesar de que el vapor de agua es transparente hacia la radiación, las gotículas de agua presentes en las nubes reflejan y dispersan la radiación solar. La cobertura de nubes puede producir un sombreado, que causa una reducción en el nivel de luz que incide sobre un objeto. De hecho, una gran nubosidad puede bloquear completamente la capacidad del satélite de "ver" la superficie terrestre.

La temperatura también puede afectar el espectro de energía reflejada o emitida por los objetos. Como se dijo anteriormente, todos los objetos físicos que tienen

una temperatura superior a cero absoluto emiten radiación electromagnética. Objetos con mayor temperatura emiten la mayor parte de su radiación con menores longitudes de onda, en cambio objetos mas fríos emiten con mayores longitudes de onda. La mayor parte de la energía emitida por objetos debida al calor esta en la banda del infrarrojo (IR). Por eso, esta banda de energía se conoce normalmente como banda termal. Esta es la causa por la que las cámaras infrarrojas y los sensores infrarrojos de temperatura pueden medir el calor emitido por los objetos, y de esta forma estimar su temperatura. Algunos objetos a suficiente temperatura comienzan a emitir energía en el espectro visible. Por ejemplo, un múltiple de escape al "rojo vivo" emitirá energía visible. Es por esto que el múltiple caliente se ve rojo incluso en la oscuridad, donde no hay luz solar que pueda reflejar.

Puesto de manera simple, la percepción remota requiere una fuente de radiación y un sensor para determinar características de interés sobre objetos que afectan, o son afectados por la radiación. Ahora que sabemos que buscar con las técnicas de percepción remota, veamos como se cumple este proceso.

Sistemas de percepción remota

Hay dos opciones básicas usadas para la percepción remota de objetos sobre el terreno- sistemas de percepción activa y sistemas de percepción pasiva.

Sistemas de percepción activa

Los sistemas de percepción activa generan una señal, rebota en un objeto, y miden las características de la señal reflejada. Un ejemplo de este tipo de percepción es el RADAR. Las ondas de radio son emitidas por un transmisor y son recogidas por un receptor después de haber sido reflejadas por un objeto. Las señales reflejadas pueden ser usadas por los sistemas RADAR para determinar la distancia y dirección de los objetos percibidos. También se pueden crear imágenes de los objetos. **Este sistema puede ser usado para monitorear el estado hídrico de cultivos, e inclusive funciona en días nublados.**

Sistemas de percepción pasiva

Corrientemente las imágenes creadas por **los sistemas de percepción pasiva son de mayor valor en las aplicaciones de la percepción remota en la producción agrícola.** Los sistemas pasivos simplemente reciben las señales emitidas naturalmente y reflejadas por los objetos percibidos. Esas señales, generadas por la radiación solar natural, pueden proveer una información muy rica sobre los objetos percibidos.

Sistemas de percepción remota- medidas de la performance

Cuando se discute y compara los sistemas de percepción remota y las imágenes producidas, hay por lo menos cuatro medidas que deben ser consideradas, incluyendo:

- **Resolución espacial**
- **Respuesta espectral**
- **Resolución espectral**

- **Frecuencia de cobertura**

La primera medida, **resolución espacial**, se refiere al **tamaño del objeto más pequeño que puede ser distinguido** en una imagen producida por un sensor remoto. Si las imágenes remotas van a ser usadas para identificar y tratar problemas de cultivo en el campo, el productor debe considerar cuán afinada debe ser una imagen para que le permita discernir que es lo que está pasando en el lote. **¿Es necesario distinguir una planta de la otra, un surco del otro, un lote del otro?**



Ejemplo de la resolución espacial de una misma imagen producida por sensores remotos, con diferentes resoluciones. Las imágenes de una resolución de 2 m son de mucha utilidad para trabajos a nivel de lotes con cierta variabilidad del cultivo. En un futuro muy cercano Argentina dispondrá de imágenes de una buena definición con utilidad práctica para los productores de precisión.

La segunda medida, **respuesta espectral**, se refiere a la habilidad de un sistema de percepción de responder a una medida de radiación dentro de una banda espectral en particular. Un cliente potencial debe determinar si un sistema de percepción remota provee información dentro de una banda espectral que corresponda a una propiedad o característica significativa del cultivo o suelo, (por ejemplo, longitudes de onda de la banda del NIR pueden estar relacionadas al contenido de materia orgánica y humedad del suelo).

La **resolución espectral** se refiere a la habilidad de los sistemas de percepción de distinguir y diferenciar entre radiación electromagnética de distintas longitudes de onda. Esto es básicamente una medida de la habilidad de un sistema de concentrarse en detectar una longitud de onda particular que sea de interés. Por ejemplo, algunos sensores producen las así llamadas imágenes pancromáticas. Estas imágenes son creadas de la radiación percibida dentro de la banda espectral comprendida entre los 0.45 y 0.90 μm . Dentro de esta banda se hallan el azul, el verde, el rojo y el infrarrojo cercano. Estas bandas son de particular interés en la producción vegetal. Cuanto mayor sea la resolución espectral dentro del verde y el infrarrojo cercano, más útil será la información que pueda ser deducida a partir de datos percibidos remotamente.

El cuarto ítem, la frecuencia de cobertura (a veces llamada resolución temporal), es una medida de cuan seguido esta disponible un sistema de percepción remota para recoger información de un punto específico en la tierra. Para la mayoría de los satélites, la frecuencia de cobertura para cualquier sitio particular es igual al ciclo de repetición, o la duración en tiempo que le toma dar la vuelta a la tierra. Sin embargo, algunos satélites tienen la capacidad de dirigir el/los sensores para que un área de interés pueda ser visto varias veces en un único ciclo de repetición.

Características de los sistemas de percepción remota

La percepción remota se lleva a cabo sosteniendo de alguna manera un sensor sobre el o los objetos bajo estudio. Se utilizan diferentes plataformas para sostener los sensores, y estas plataformas varían en base a la altitud por sobre el blanco.

Hoy en día se usan dos plataformas que están equipadas con sistemas de percepción pasiva para recoger datos de PR: sobre aviones y sobre satélites. Los sensores usados sobre aviones pueden ser o cámaras fotográficas o los llamados sensores electro-ópticos. Las cámaras usadas para la percepción remota son similares a las que usamos para fotografiar nuestros momentos más memorables. Usan una lente para proyectar una imagen sobre un papel fotosensible que es después pasado a positivo sobre papel. Como se podrá imaginar, sería muy difícil mandar películas ida y vuelta entre la tierra y los satélites de PR.

¿Por qué incurrir en la dificultad de producir imágenes fotográficas de objetos en la tierra con satélites y caros aviones de gran altitud de vuelo? La respuesta se encuentra en que las técnicas fotográficas proveen imágenes que contienen una gran cantidad de información detallada y de alta resolución. Inclusive las cámaras fotográficas pueden ser usadas no solo para detectar la luz visible pero también algunas porciones del infrarrojo cercano del espectro electromagnético. Si es que el espectro visible es de principal interés, entonces las técnicas fotográficas presentan algunas desventajas como: se pueden usar solo durante el día, las nubes pueden cubrir total o parcialmente los detalles de la superficie y las películas no pueden ser usadas nuevamente. Otros tipos de sensores pueden capturar imágenes e información de una rango más amplio de bandas espectrales.

La mayoría de los sensores remotos ubicados en satélites actualmente, usan sensores electro-ópticos. Estos sensores son detectores electrónicos fotosensibles que crean una señal eléctrica proporcional a la cantidad de energía electromagnética que reciben. Las señales eléctricas son grabadas electrónicamente usando un sistema de computación o electrónico adicional. Estos datos digitales pueden ser reconstruidos en una imagen digital o electrónica. Una ventaja de los datos electrónicos es que puede ser fácilmente transmitidos desde los satélites hasta la tierra usando equipo de radio comunicaciones.

Un ejemplo de un aparato de uso diario que usa sensores electro-ópticos es una vídeo cámara portátil. Las vídeo cámaras graban datos sobre cintas magnéticas que pueden ser usadas para recrear las imágenes. Cuando se mira a la cinta misma nos se ven las imágenes así como se ven

en un negativo de película. Las imágenes son grabadas como una "firma" que debe ser "leída" por los sensores dentro de la reproductora de vídeo.

Algunos tipos de sensores electro-ópticos usan lentes para enfocar la luz de un punto particular del área en vista. El tamaño del punto que se detecte puede variar desde unos pocos metros cuadrados hasta varios cientos de metros cuadrados de área. La señal de salida del sensor está relacionada con las propiedades promedio de reflectancia. El tamaño del área más pequeña que puede ser distinguida por el sensor define la resolución espacial. Tanto el diseño del sensor como su altura sobre la superficie determinan el tamaño de la unidad más pequeña, o la resolución espacial.

En algunos casos se usan espejos giratorios y lentes para permitir a los sensores "ver" distintos puntos en el suelo. Mediante la rotación de un espejo el sensor puede recoger datos de una línea, o examinar a lo largo del suelo. Este "escaneado" es usualmente perpendicular a la dirección de vuelo del avión o satélite. La recolección de datos de pasadas paralelas, es llamado "scanning", y los sensores se denominan "scanners". El área de visión del scanner con el modo de escaneado detenido se llama campo instantáneo de vista (IFOV). El IFOV es una medida de la resolución espacial del scanner y se escribe en unidades de medida (pies o metros) o de área (acres o hectáreas). En ambos casos, el IFOV define el tamaño en tierra de cada pequeño punto (o elemento de imagen) en una imagen producida de datos de un sensor.

Otros sensores electro-ópticos tienen una formación, o línea de sensores, que recogen una línea completa, o pasada, de datos de una sola vez. Estas formaciones de sensores pueden consistir de varios cientos de elementos sensores individuales cada uno generando un dato digital que representa la radiación recibida desde su posición en la pasada, o grilla. Recoger datos con formaciones de sensores es más rápido que el escaneado porque se recoge la información de toda la pasada de una sola vez. Si embargo, tienen como desventaja que se debe calibrar cada elemento sensor por separado porque todos los sensores deben dar el mismo valor para un valor dado de luz incidiendo sobre la formación.

Los datos digitales grabados tanto por los scanners como por las formaciones de sensores se usan comúnmente para crear imágenes del área examinada. Una imagen de una área examinada remotamente puede ser reconstruida armando las sucesivas líneas de datos escaneados de cualquiera de los tipos de sensores. Cada dato digital, o la información generada por cada mini sensor en una formación, representa un elemento de imagen o pixel. En imágenes en blanco y negro (comúnmente llamadas imágenes en escalas de grises), un mayor valor para un pixel significa que se recibió más radiación en ese punto de la imagen. Asignando a los pixels con mayor valor tonos más claros de grises y a los de menor valor tonos más oscuros, la imagen refleja diferencias en la energía electromagnética emitida y reflejada en una base de pixel por pixel.

La performance de los sistemas de percepción remota está claramente relacionada a las características del hardware y a los procedimientos utilizados para recoger datos. La calidad y costo de los datos que son actualmente disponibles han limitado el mercado de bienes y servicios de percepción remota. Las nuevas tecnologías de percepción y

procesamiento prometen una mejoría importante en la calidad de los datos.

Uso de los datos de percepción remota

No es posible medir el contenido de humedad del suelo o el nivel de nutrientes en las hojas de las plantas directamente usando la percepción remota. Pero podemos, sin embargo, deducir esta información de las medidas hechas por percepción remota. Las deducciones de las medidas requieren el uso de herramientas de análisis para encontrar relaciones entre los datos del sensor y los datos medidos en el suelo o las plantas. Una vez que se estableció la relación entre los datos del sensor y los medidos en las plantas o suelo, podemos empezar a hacer deducciones sobre condiciones de una gran área donde las mediciones en tierra no se hicieron, en otras palabras extrapolar. Esto nos lleva al verdadero valor de la percepción remota- la habilidad de adquirir una gran cantidad de información en un corto tiempo con un aporte mínimo de mano de obra.

Antes que se pueda interpretar los datos de la percepción remota, estos deben ser tomados, generalmente por alguien que no es el productor. Por eso, es importante que el productor como cliente se comunique efectivamente con el servicio proveedor de PR para asegurarse que los datos proveerán información útil para el manejo de los cultivos. En muchos casos el cliente querrá imágenes visuales de los lotes examinados remotamente. Las imágenes requieren varios niveles de procesamiento para que sean útiles como herramientas de interpretación. Usualmente, los datos de la percepción remota serán una capa en un Sistema de Información georreferenciada (SIG o GIS) para suplementar los datos tomados en la superficie como la fertilidad del suelo, malezas, e infestación de insectos. (Un GIS se usa para ingresar, almacenar, recuperar, analizar y mostrar datos geográficos) Se necesita un proceso adicional de los datos para asegurar que las locaciones de los puntos examinados se alinean con los puntos correspondientes en las otras capas de información.

A pesar que hay un numero diferente de opciones hoy disponibles, hay pasos en la aplicación de la percepción remota al manejo de cultivos que son comunes a todas las estrategias. De la siguiente lista, los dos primeros pasos los realizan normalmente los proveedores de PR. Los cinco pasos restantes pueden ser realizados por el agricultor de precisión.

- **Recoger datos de percepción remota**
- **Procesar datos e imágenes**
- **Examinar y analizar cuidadosamente los datos estadísticos**
- **Hacer comprobaciones en el terreno de los datos percibidos remotamente**
- **Incorporar los datos de la percepción terrestre y de las comprobaciones en el terreno a un sistema de información georreferenciada.**
- **Identificar relaciones causa efecto entre las variables medidas y la condición del cultivo**
- **Tratar los lotes en base a la información generada**

El uso de la percepción remota comienza con el proceso de recolección de datos. El agricultor de precisión debe seleccionar la compañía de PR que

proporciona los tipos de datos de resolución espacial y características espectrales necesarias para que estos datos le sean útiles. En particular, hemos discutido la importancia de las bandas de infrarrojo cercano y el visible para examinar las condiciones de los cultivos. Los sensores han sido usados para determinar el brillo y la intensidad de verde de la canopia de los cultivos. Se han diseñado Índices de vegetación para determinar características de los cultivos como área foliar, total de materia verde y situaciones de estrés. Un índice de vegetación reduce varias longitudes de onda de las mediciones de los sensores a un único número.

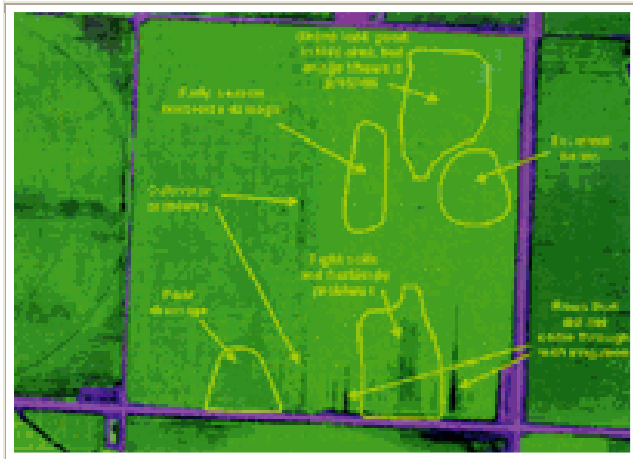


Imagen compuesta por la combinación de longitudes de onda en un índice de salud relativa, en un lote sembrado con maíz (izquierda) y soja (derecha). Note la relativa facilidad para detectar áreas con variabilidad debido al esquema de colores utilizado.

La resolución dentro de las bandas espectrales del infrarrojo cercano y el visible es una medida de la utilidad de los datos de PR. Por ejemplo, a medida que cambian los contenidos de clorofila de las hojas durante el crecimiento, también lo hacen las longitudes de onda de la radiación reflejada. Se han notado cambios abruptos en la reflectancia por sobre las longitudes de onda de $0.68-0.70 \mu\text{m}$ y esa banda ha sido denominada el "límite rojo". A medida que los contenidos de clorofila ascienden las longitudes de onda cambian a valores mayores. Si un sensor puede medir radiación en distintas longitudes de onda cerca del límite rojo, se puede usar la información generada por el sensor para distinguir cultivos vivos de objetos de fondo (como el suelo o residuos de cosecha) y puede proveer un indicador de estrés de los cultivos.

Los datos producidos por la percepción remota no son útiles al productor de forma cruda. Se necesita procesar los datos e imágenes. Esto es cierto, en parte, porque la calidad de los datos de PR no es siempre óptima. Errores en los datos y distorsiones en las imágenes pueden ser causados por fuentes externas o internas. Los sistemas de percepción remota tienen limitaciones relacionadas con su diseño, calibración y reparación. Los sensores deben ser calibrados previo a su uso. Se graba la respuesta de un sensor a un conjunto de radiaciones conocidas y se usa para interpretar la respuesta del sensor a las radiaciones medidas durante su uso. El diseño de algunos sistemas sensores los hace susceptibles a errores. Por ejemplo, las plataformas de sensores de baja altitud (aviones) son especialmente susceptibles a errores geométricos en las imágenes como resultado de un terreno escarpado o desparejo. Otras fuentes de error en la percepción pueden estar relacionadas a condiciones ambientales. Sin importar cual es la fuente de error, se deben realizar las correcciones antes de analizar los datos.

Las distorsiones en las imágenes de la PR pueden ser de naturaleza sistemáticas (predecibles) o al azar (impredecibles). En ambos casos pueden ser estimadas por varias técnicas. Hay dos amplias categorías de técnicas de corrección de imágenes: corrección radiométrica y corrección geométrica. Una imagen creada a través de datos de PR debe ser corregida geométricamente, o rectificada, antes que pueda ser comparada con mapas existentes o capas de información georreferenciadas de un punto en particular. Una imagen se rectifica eliminando los efectos de orientación de la cámara o el sensor y los efectos de distorsión. Las distorsiones geométricas pueden ser causadas por la rotación y curvatura de la tierra, el movimiento de los satélites o aviones, altitud y perspectiva de vista, como también de efectos de la elevación de la superficie.

Diferencias en elevación causan que los objetos parezcan estar posicionados de diferente manera cuando son vistos desde un ángulo que cuando son vistos desde arriba. Esta distorsión es llamada desplazamiento por relieve y está presente en todas las fotografías de áreas con diferencias en la elevación del terreno.

La corrección geométrica puede ser realizada usando puntos de control en el terreno. Estos son puntos de control que son objetos estacionarios o áreas claramente definidas en la superficie terrestre que sirven como puntos de referencia en una imagen de PR.

Los mapas no son los únicos productos de la percepción remota. Las imágenes de PR son frecuentemente acompañadas por información estadística gráfica y descriptiva. Los datos usados para producir imágenes digitales pueden ser analizados usando métodos estadísticos para permitir la comparación cuantitativa de imágenes de distintos lugares o de un mismo lugar en diferentes tiempos. Aunque el análisis visual es una buena forma de identificar características superficiales en un mapa, las diferencias sutiles en sombras o colores que son usadas para representar propiedades percibidas pueden frecuentemente confundir al observador, y conducir a interpretaciones inexactas de los datos en un mapa. La estadística descriptiva puede ser usada en conjunto con los mapas para facilitar el análisis de los datos de la PR y la conversión de estos datos a información útil.

Los histogramas y gráficos de frecuencia de ocurrencia de diferentes categorías o rangos de medidas, son típicamente usados como herramienta para proveer una determinación visual rápida de grandes cantidades de datos medidos. Por ejemplo, se puede usar un histograma de frecuencia de distribución de pixels, comprometidos en una imagen, de distintos colores o bandas espectrales.

El análisis de datos debe ser acompañado por su interpretación antes que se pueda desarrollar información de manejo útil. Para poder interpretar la información de PR correctamente, es necesario verificar la exactitud de los datos percibidos remotamente y validar su uso como un indicador de las condiciones que pueden afectar la producción de los cultivos (en otras palabras, el rendimiento). Algunos llaman a la verificación de los datos de la PR como validación en el terreno. Esto implica la investigación en el terreno de las condiciones en los sitios que van a ser, o han sido percibidos remotamente. Es extremadamente importante que estos dos eventos ocurran en aproximadamente el mismo tiempo. Las condiciones de los cultivos pueden cambiar abruptamente durante la época de crecimiento y los desfases en tiempo entre las observaciones en el sitio

y la percepción remota puede hacer dificultosa la interpretación de los datos, sino imposible.

Una vez que se verificó la calidad de los datos provenientes de la PR, es necesario relacionar estos y los de validación en el terreno que afectan la producción de los cultivos y que puede ser tratados a través de alguna acción en el terreno. Para muchos agricultores de precisión, la validación de los datos de PR requerirá que estos sean ingresados a un sistema de información geográfico. A través del uso de un GIS, es posible examinar la relación entre las capas de datos georreferenciados dentro de un lote. Por supuesto, esto requiere que los datos de la PR estén en un formato que le permitan ser importados a un programa GIS. Algunos proveedores de servicios de PR ofrecen la posibilidad de asociar los datos de PR con proyecciones en mapas y sistemas de coordenadas, seleccionado por el usuario, durante el procesamiento. Se debe realizar la rectificación para asegurar la habilidad del sistema para asociar los puntos correspondientes entre y dentro de las capas de información, especialmente un mapa de base. Este contendrá por lo menos los límites de los lotes y usualmente datos sobre características de la superficie visible y sus límites.

Los datos de reflectancia de los cultivos deberían ser asociados con otros datos georreferenciados como el mosaico de drenaje y zonas con problemas de malezas o insectos. Ver como las condiciones del cultivo se relacionan con otras características del lote pueden ayudar al productor a interpretar los datos de la PR y desarrollar algún tratamiento o estrategia de acción si se identifican problemas. Si se ejecuta correctamente, un programa que usa PR puede proveer de un sistema de alarma temprana de los cambios en la condición del cultivo, que pueden indicar que estén trabajando factores que van a reducir el rendimiento. La alarma temprana, una experta interpretación de los datos y una rápida acción permitirían a la PR hacer grandes contribuciones al manejo de sitio específico de los cultivos.

Los datos de PR son casi siempre recolectados por alguien ajeno al productor. Es importante que el productor comprenda el potencial del uso de los datos de PR como una herramienta de manejo. La recolección, procesamiento, análisis y validación en el terreno son pasos necesarios para que los datos de PR puedan transformarse en información útil en la toma de decisiones en el campo.

Fuentes de datos de percepción remota satelitales

La comercialización de la percepción remota para la agricultura está creciendo. A pesar que una compañía conocida como Earth Satellite Corporation tiene un servicio de reporte de cultivo desde 1984, no se ha aplicado mucho el uso de la PR al mejoramiento de la producción de los cultivos. Hoy en día, con el creciente interés en los conceptos de agricultura de precisión, y la disponibilidad de sistemas de computación rápidos y relativamente baratos y herramientas de análisis como los GIS, hay un interés creciente en la percepción remota. Hoy en día, hay dos fuentes principales de datos de PR satelitales disponibles: LANDSAT y SPOT.

LANDSAT: el primer satélite lanzado por los Estados Unidos para el monitoreo de recursos terrestres fue inicialmente llamado ERTS-1 (Earth Resources Technology Satellite) Luego este satélite junto con 5 más recibieron el nombre LANDSAT (Land Satellite). Los satélites LANDSAT 1-6 fueron lanzados entre 1972 y 1993. Los LANDSAT 1-3 "veían" toda la tierra cada 18 días. Los LANDSATs 4-5 (el 6 no logró llegar a la órbita) fueron acortando el ciclo de repetición a 16 días. Las órbitas de estos satélites son sincronizadas con el sol, lo que quiere decir que cada pasada sobre un punto dado en la tierra ocurría a la misma hora local, una vez por ciclo de repetición. Recuerde que la posición del sol afecta los datos de la PR. Una órbita sincronizada con el sol asegura que el sol está en la misma ubicación en el cielo cada vez que el satélite recoge los datos de un sitio dado. Por supuesto, la posición del sol en el cielo a una hora dada del día también cambia con las estaciones.

Los datos de PR producidos por el sistema LANDSAT provienen de dos tipos de sensores. Un sensor es un Scanner Multiespectral (MSS). El otro sensor es un mapeador temático (TM), así llamado porque fueron designados para crear mapas de diferentes categorías de características superficiales o temas. El lanzamiento de LANDSAT 7 fue propuesto para 1997. El satélite de observación terrestre tendrá una carga útil que incluye Mapeador Temático Reforzado (ETM) y una formación de sensores multiespectral lineal (MLA) avanzada. El ETM va a percibir bandas multiespectrales con una resolución espacial de 98 pies (30 m), una banda de onda termal corta con una resolución espacial de 197 pies (60 m), y una banda pancromática con una resolución espacial de 49 pies (15 m). El sensor MLA tendrá un radiómetro para recoger datos de 16 bandas dentro del visible las longitudes de onda del infrarrojo cercano con una resolución espacial de 33 pies (10 m). Los productos LANDSAT TM y MSS están disponibles por EOSAT Corporation, Lanham, MD.

SPOT: la otra fuente principal de percepción remota satelital, SPOT (Systeme Pour l'Observation de la Terre) es operado por los franceses y ofrece imágenes con una resolución espacial entre 33 y 66 pies (10 a 20 m). El primer vehículo satelital SPOT fue lanzado en 1986. SPOT marcó una divergencia de los scanners usados en los satélites LANDSAT en favor de la disposición lineal de los sensores. Las imágenes SPOT están disponibles por SPOT Image Corporation, Reston, VA.

Hasta hoy, la mayoría de los usuarios de los datos de PR satelital han sido grandes corporaciones o agencias gubernamentales que estaban interesados en recoger datos de áreas muy grandes. Por ejemplo, el Servicio Nacional de Estadística Agropecuaria(NASS) del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) usa imágenes multiespectrales para comprobar los cambios en los cultivos y para ajustar la intensidad de muestreo del suelo para cultivos específicos. Trabajando con las oficinas de la NASS, los datos de la PR pueden ser comprobados en el campo, tipos de cultivos identificados, y se puede estimar el nivel de producción de los cultivos en cada estado. El Servicio de Agricultura Extranjero (FAS) actualmente usa la percepción remota para identificar cultivos, estimar áreas, y estimar la producción de grano en otros países.

La resolución de SPOT, 66 pies (20 m) en los modos multiespectrales y 33 pies (10 m) en el modo pancromático, son actualmente los datos satelitales al alcance del público en general con mejor resolución espacial. Sin embargo, los planes son, para dentro de unos pocos años, lanzar

numerosos satélites que tendrán una resolución espacial mucho mejor (3,3 pies [1 m]). Varios de estos satélites también tendrán una resolución espacial mucho mejor, con bandas de longitud de onda mucho menores (0,02 micrones de ancho para cada banda en vez de 0,2 micrones). La combinación de una mayor resolución espacial y una mayor resolución espectral hará disponible una enorme cantidad de datos para evaluación de recursos y de cultivos. Considere que con una resolución espacial de 3,3 pies (1 m), en una imagen satelital de 115 millas por 115 millas (185 km x 185 km) consistirá de mas de 34 billones de pixels o puntos de datos. Con el fin de reducir los requerimientos de grabado y de memoria algunas compañías solo prenderán los sensores cuando se requiera la información.

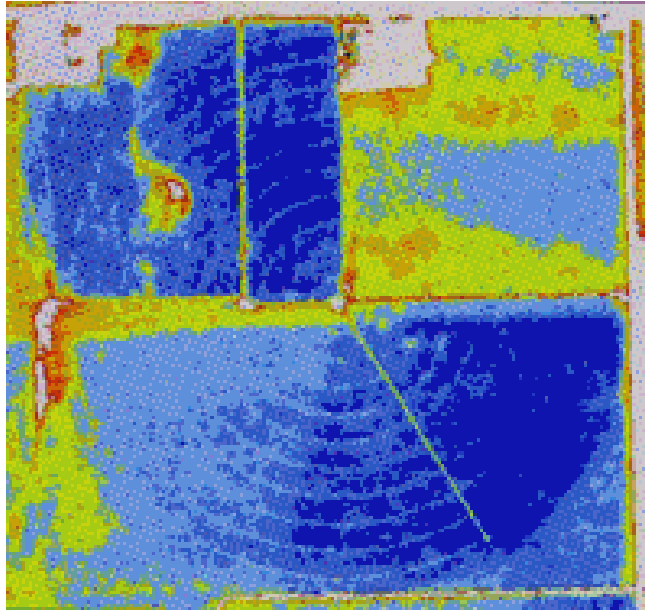
Fuentes de datos de sensores remotos basados en aviones

Están disponibles tanto fotografías aéreas como datos digitales para los productores. La Agencia de Servicios Agrícolas del USDA ha hecho extenso uso de las fotografías aéreas. Las fotografías son usadas para inventariar las superficies de los cultivos como referencia para la administración de los programas agrícolas del gobierno. Las fotos proveen imágenes de los lotes y cultivos cercanos al final de la estación, pero son de poca utilidad para el manejo durante su ciclo.

Una fuente comercial de datos digitales de percepción remota es el RESOURCE21, una empresa comenzada en 1991 para proveer un servicio de información de PR, destinado a productores en partes de Estados Unidos. Los mapas, que tienen una resolución espacial de 33 pies (10 m), incluyen:

- Mapa a color del suelo
- Mapa calibrado de vegetación
- Mapa realzado de vegetación
- Mapa de cambio de vegetación

El Mapa a color del suelo provee información sobre la textura del suelo y los niveles de contenido de materia orgánica que pueden indicar diferencias en el patrón del suelo dentro de los lotes. Las operaciones de siembra, aplicaciones de herbicidas, y muestreo de suelo pueden ser planeadas de acuerdo a la información de las propiedades del mismo. Estos mapas son acompañados por una escala de colores para usar en la interpretación de la imagen, pero los mapas no sirven para hacer comparaciones del mismo lote a través del tiempo o entre distintos lotes. Esto se debe, en parte, al efecto que tiene el contenido de humedad del suelo sobre su reflectancia en el momento de su medición. Cuando cambie el contenido de humedad, los mapas serán diferentes.



Lote de maíz donde se observa variabilidad por mayor pluviometría cercano al centro del pivote.

Los mapas de suelos y los de vegetación están georreferenciados. Se proveen marcas latitudinales y longitudinales para ayudar al productor a localizar sitios de interés dentro de los lotes usando coordenadas de posición. Esto es útil si el productor cuenta con un sistema de posicionamiento como DGPS para guiarlo dentro del lote.

La información contenida en una única imagen de percepción remota puede ser de valor para el productor solo si es relacionada a condiciones en el lote. Si embargo, un componente vital del proceso de percepción remota, es la habilidad de comparar datos entre un vuelo y otro. A través del tiempo, tanto las condiciones de percepción como las condiciones de cultivo cambian haciendo difícil determinar cuál influenció los datos de PR. Para poder comparar imágenes preparadas en distintos momentos, se deben tener en cuenta los factores que afectan la percepción (por ejemplo los efectos atmosféricos y de radiación) para poder estandarizar las imágenes. Para lograr esta estandarización, se deben examinar en cada vuelo objetos que no cambian de reflectancia, como autopistas. Estos objetos estáticos producen la misma reflectancia a través del verano (la porción crítica del crecimiento de la mayoría de los cultivos en hilera).

De esta forma se pueden determinar y tener en cuenta los efectos humedad, polvo y ángulo del sol, usando una escala absoluta, pudiendo comparar datos en el tiempo y el espacio. La escala absoluta usada por RESOURCE21 es llamada índice de vegetación verde (GVI green vegetation index). Se asignan distintos valores a cada uno de los 20 rangos en el GVI. Se produce un mapa de vegetación calibrado representando la vegetación mapeada en un lote en términos de color dentro del GVI para ilustrar el estado del cultivo. Cada pixel, representa un área de 33 pies por 33 pies (10 m x 10 m), será puesto dentro de una de las categorías de colores. El índice está hecho para que 1 represente suelo desnudo y 20 máxima madurez vegetativa.

Se acompaña el mapa de vegetación con un histograma o gráfico de frecuencia de distribución de píxeles dentro de las distintas categorías de colores, del vuelo actual y pasado, para permitir la comparación estadística de espectros de vuelo en vuelo.

En un típico mapa de vegetación calibrado, todos los píxeles en una imagen serán representados por un pequeño número de las 20 categorías dentro de la GVI. Usando una técnica de refuerzo conocida como interpolación, el pequeño número de categorías de color (generalmente alrededor de 3) representadas por píxeles en el mapa de vegetación calibrado puede ser estirado para abarcar todo el espectro de 20 categorías. A los píxeles más oscuros (más verdes) en la imagen original, se les asigna un valor GVI de 20 y los más claros (menos verde) un valor de 1. La imagen resultante, un mapa realzado de vegetación, se produce para potenciar o realzar, pequeñas variaciones en el color de la canopia de los cultivos. Los colores mostrados en el mapa no se corresponden con los colores en el lote. La intención de estos colores es ilustrar variaciones dentro de un lote específico en momento dado. Desde que la distribución de los píxeles dentro del lote cambiarán de vuelo a vuelo, los datos interpolados representados en el mapa realzado de vegetación no pueden ser comparados con mapas similares hechos durante otros vuelos del mismo lote, o con mapas realzados de vegetación de otros lotes. El mapa está simplemente pensado para dirigir o enfocar los esfuerzos de seguimiento de los lotes en aquellas áreas que muestran el mayor cambio en color.

Los mapas de cambio de vegetación son usados para identificar lugares en el lote que han sufrido cambios en la respuesta espectral de los cultivos de vuelo en vuelo. El mapa identifica lugares específicos en el lote en que han ocurrido cambios negativos y positivos en la respuesta espectral vegetativa, a través del uso de un índice normalizado de cambio vegetativo. Este mapa está basado en datos calibrados de dos vuelos y sirve como guía para la comprobación a campo.

Aplicaciones agronómicas de la percepción remota- puntos a considerar

Inclusive los impulsores de la PR en la agricultura de precisión admiten que se debe "ganar su camino". En otras palabras, aquellos que promocionan y venden productos de PR deben demostrar que le proveen al productor una ayuda en la toma de decisiones. La información generada por la percepción remota debe también ser precisa. Debe estar demostrado que la reflectancia medida puede estar correlacionada con propiedades del cultivo y del suelo que afectan al rendimiento. Esto significa que los datos deben ser recolectados manualmente del campo y analizados para permitir la verificación de la calidad de los datos obtenidos por PR y validar los métodos para interpretarlos. Los datos de la PR deben ser procesados correctamente y transformados en un formato tal que asegure una integración a un sistema de información geográfico junto con otras capas de datos de agricultura de precisión, como los mapas de rendimiento. Los datos se deben recolectar en tiempos apropiados y enviados en un tiempo acorde. El calendario de cultivo es una guía importante para la cuál son útiles el conjunto de datos para el manejo de sitio específico de los cultivos dentro de una estación de crecimiento. El agricultor de precisión no puede esperar a que el cultivo

esté cercano a la madurez para recolectar datos que deben ser interpretados y verificados. Sería muy tarde para actuar.

Cuanto más chico sea cada pixel, mayor será la resolución de la imagen resultante. La alta resolución típicamente implica altos costos de equipamiento para percibir, procesar, y generar imágenes. Los requerimientos de resolución de las imágenes de percepción remota para la agricultura de precisión es una fuente de controversia. La mayoría de los datos satelitales disponibles corrientemente están limitados a resoluciones entre 33 y 197 pies (10 a 60 metros). Con bajas resoluciones, las características pequeñas de los cultivos no serán identificables. La radiación electromagnética de un gran área, por ejemplo 98 x 98 pies (30 x 30 metros), será captada por el sensor en un único instante y corresponderá al valor de un pixel en la imagen. Esto es una ventaja cuando se examina áreas de varias millas de diámetro, porque no tendríamos una enorme cantidad de puntos de datos para almacenar, procesar y transformar en imagen. Sin embargo, cuando se examina campos a lotes que pueden tener superficies de unos pocos acres, la baja resolución limita severamente la utilidad de los datos. Se promedia la reflectancia de varias hileras del cultivo con la del suelo entre ellas para dar valor a cada pixel. Se ha propuesto que se necesita una resolución de 66 pies (20 m) para usar datos de PR en modelos de cultivos. Varios modelos de cultivos son usados para modelar en una escala de predio o mayor, pero no a una escala de lote. Si se va a usar la PR como una ayuda en el proceso de manejo sobre una base de sitio específico dentro de lotes individuales, los datos de alta resolución parecen ser indispensables. Es por esto que las imágenes aéreas son posiblemente una mejor opción para el productor hasta que los satélites puedan producir imágenes con mayor resolución.

Los datos provenientes de PR recolectados por sensores ubicados en aviones de baja altitud pueden proveer imágenes de mayor resolución que aquellos sensores ubicados en satélites. También, los sensores en aviones son más fáciles de mantener y tienen un costo operativo menor que los satelitales. Usando aviones, las áreas de interés seleccionadas pueden ser percibidas y analizadas cuando sea conveniente y las condiciones- clima, momento de la estación, temperatura superficial, y humedad- son óptimas. Los satélites, sin embargo, están en órbitas fijas y no pueden tomar una imagen de un lote en cualquier momento. El proceso de percepción está sujeto al paso de los satélites. Algunos satélites pasan por el mismo lugar solo una vez cada 16 días y otros cada 26 días. Salvo que halla varios satélites disponibles para un proveedor de servicios de PR, o satélites con la habilidad de dirigir los sensores hacia un área en particular, se pueden recolectar imágenes solo una vez en el ciclo de repetición del satélite. Muchas son las cosas que le pueden pasar a un cultivo durante un único día durante la estación de crecimiento. Las condiciones de los cultivos pueden cambiar drásticamente en el término de unos pocos días. Por eso, si un satélite pasa por un punto en particular solo una vez cada 16 o 26 días, el hecho que haya pobres condiciones de percepción (como una gran nubosidad) en el momento de paso puede resultar en una pérdida de información crítica. Algunas áreas de Europa tienen suficientes días cubiertos como para dificultar la toma de imágenes en el visible y en infrarrojo cercano. En estas áreas se ha usado la toma de imágenes mediante sensores radar de microondas, para determinar las condiciones de la superficie, porque este sistema puede operar en prácticamente todas las condiciones meteorológicas (las microondas pueden penetrar casi todas las nubes). Otro factor que afecta la utilidad

de los datos de PR es el período de retorno. Este es el tiempo transcurrido entre que el satélite toma la imagen y esta es recibida por el cliente. El factor tiempo puede ser crítico en el éxito cuando se trata de atender deficiencias nutricionales o ataques de plagas en un cultivo en crecimiento. Algunos servicios de PR ofrecen períodos de retorno de dos o tres semanas. Los expertos en la materia sugieren que la información debe estar disponible al productor en un tiempo no mayor a 24- 48 horas desde su recolección.

Consideraciones económicas

Así como muchos otros aspectos de la agricultura de precisión, la adopción de la percepción remota estará afectada en gran medida a consideraciones económicas. A menos que haya alguna evidencia de que la incorporación de la PR a la agricultura de precisión implique una ganancia económica, su adopción masiva es bastante improbable. Las ventajas económicas resultantes de la aplicación de la PR a la agricultura de precisión son difíciles de determinar. Ahora es posible estimar los costos asociados con los productos y servicios de PR disponibles hoy en día. Para imágenes satelitales, el costo varía con el tipo de estas (pancromática contra multiespectral), por el tamaño de la imagen (superficie de cobertura), y por el nivel de procesamiento requerido. Las imágenes pueden ser enviadas dentro de 8 a 15 días hábiles desde el pedido. Sin embargo, las imágenes SPOT pueden ser enviadas electrónicamente. Los datos que son enviados vía Internet pueden llegar al usuario en 48 horas. El período de retorno está afectado por el nivel de procesamiento solicitado por el cliente. Las imágenes que han sido convertidas para compatibilizar con un sistema GIS (convertida a un sistema de coordenadas específico) cuestan más que las imágenes estándar. Los mapas producidos por sensores remotos ubicados en aviones son menores en tamaño y en costo. De hecho, RESOURCE21 presupuesta su servicio sobre una base de unidad de área más que por mapa.

Desarrollo futuro de la percepción remota en aplicaciones agronómicas

Los sensores más modernos para usar en plataformas ubicadas en aviones o satélites son llamados sensores hiperespectrales. A diferencia de los sistemas electro-ópticos del pasado, estos sensores son capaces de generar datos de cientos de longitudes de onda simultáneamente. Con estos sistemas se pueden detectar pequeñas "irregularidades" espectrales que serían ignorados por otros equipos que solo captan bandas espectrales mayores. Se potenciaría mucho el diagnóstico de los cultivos usando sensores multiespectrales, si se desarrollaran técnicas apropiadas para relacionar condiciones de cultivo con datos de sensores remotos. Por años los técnicos y consultores han usado indicadores visuales para diagnosticar deficiencias nutricionales en los cultivos. Comúnmente una planta que sufre deficiencias nutricionales sufrirá un cambio en el color de las hojas. Esto significa que las longitudes de onda del espectro visible cumplen un rol en el diagnóstico visual de las deficiencias nutricionales comunes. Con la nueva generación de tecnología de PR, incluyendo más satélites y sensores con mayor resolución espacial y espectral, sería posible hacer un diagnóstico fino basado en datos de PR del cultivo.

A pesar que los datos de PR por sí solos son de cuestionable valor para el productor, pueden ser usados en combinación con otras herramientas de manejo como los modelos de simulación de cultivos. Mediante los modelos de simulación de cultivos, el productor puede empezar a responder preguntas sobre que pasó en una situación productiva en particular y predecir que pasará para un conjunto de circunstancias dadas, por lo que las decisiones de manejo puedan ser hechas y probadas inclusive antes que se siembre el cultivo. El uso de modelos de simulación le permitirá al productor probar varias estrategias productivas sin ni siquiera ir al campo. Factores como el contenido de humedad del suelo y la temperatura del aire pueden tener un tremendo efecto sobre el rendimiento de los cultivos, inclusive si estos factores inducieran estrés solo por períodos cortos de tiempo. La habilidad de registrar datos de cultivo, suelo y ambiente de forma regular durante el crecimiento de los cultivos puede aportar información crítica cuando un productor comienza a responder preguntas concernientes al rendimiento de los cultivos y a las relaciones causa efecto. Se desarrollarán modelos de simulación precisos cuando haya disponible suficiente información de cultivos e información relacionada con ellos para demostrar su capacidad. La cantidad de datos que pueden ser recolectados mediante la percepción remota sobre los cultivos y condiciones ambientales de forma regular, puede contribuir significativamente al desarrollo de modelos de simulación.

Por ello las Universidades de EEUU están trabajando, algunas de ellas en convenio con la NASA poniendo especial énfasis en la obtención de datos precisos de los diferentes cultivos (soja y maíz principalmente dentro de los extensivos) utilizando sensores remotos multiespectrales, que permiten relacionar condiciones del cultivo muchas de ellas generadas en ensayos de "campo laboratorio") con los datos obtenidos de sensores remotos.

El conocimiento preciso del nivel de correlación de los datos obtenidos de sensores remotos teniendo en cuenta las condiciones de los diferentes cultivos a nivel de sitio de observación, permitirá avanzar en el objetivo del desarrollo de esta tecnología que consiste en disponer de imágenes rápidas y precisas de un cultivo y poder percibir con cierta exactitud su estado de crecimiento correlacionándolo con factores de rendimiento que tengan un buen ajuste con los patrones obtenidos a través de ensayos precisos.

Bibliografía consultada:

- **John E. Kubar. Año 1997. The Precision-Farming-Farming Guide for Agriculturist. Remote Sensing, pág. 51-64. Publisher: John Deere Publishing. Dept. 374-(USA).**
- **Robert J. Wanzel. Diciembre año 1997. Harvest us 97. Vol. 1 no. 7&8, pág. 5-20 Publisher: PrecisionAg Illustrated.**
- **Mark Servilla. Año 1998, volumen 1. Agriculture remote sensing: part two. Bridging the Barriers Agriculture Remote, pág. 18-20. Publisher: Modern Agriculture.**
- **Richard F. Dunn Jr. Febrero año 1998. Split Your Planter, pág. 24, 25. Publisher: PrecisionAg Illustrated.**

- **George May. Junio año 1998. Making Sense of Remote Sensing Terms, pág. 42-46. Publisher: PrecisionAg Illustrated.**