



Artículo: COMEII-16002

II CONGRESO NACIONAL DE RIEGO Y DRENAJE COMEII 2016

Chapingo, Edo. de México, del 08 al 10 de septiembre

APLICACIONES DE SENSORES REMOTOS Y TELEDETECCIÓN PARA LA SUPERVISIÓN DE ÁREAS HIDROAGRÍCOLAS

Jorge Flores Velázquez^{1*}; Waldo Ojeda Bustamante¹; Abraham Rojano²

¹Coordinación de Riego y Drenaje. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 62550 Jiutepec, Morelos, México. jorge_flores@tlaloc.imta.mx. (*Autor para correspondencia).

²Universidad Autónoma Chapingo, km 38.5 Carretera México-Texcoco, C.P. 56230

Resumen

Uno de los principales objetivos de la tecnología aérea fue la búsqueda de una nueva visión de los paisajes terrestres. El afán de remontar la limitada perspectiva de la visión humana es evidente desde principios de la aeronáutica, siendo hoy en día un instrumento clave en un gran número de áreas de estudio. Esa observación de la superficie terrestre por medio de sensores remotos, es también llamada teledetección. Estos términos fueron acuñados para designar cualquier medio de observación remota, si bien se comenzó aplicando a la fotografía aérea, principal sensor de aquel momento, en la actualidad se ha diversificado el uso y aplicación. Es en la segunda guerra mundial cuando se produce un notable desarrollo de las técnicas de teledetección, debido a la importancia estratégica de ésta tecnología, posteriormente todas estas innovaciones se aplican a usos civiles. Actualmente la percepción remota, ha pasado de ser basado en satélites ubicados en la atmosfera, al uso de vehículos Aéreos no Tripulados, para trasportar los sensores capaces de "percibir" la superficie terrestre y describir sus características. En este trabajo se presentan las bondades de esta herramienta en aplicaciones remotas de interés hidroagrícola.

Palabras clave adicionales: Drones, índices de vegetación, eficiencia de aplicación, sistemas de riego.



Introducción

La Percepción Remota comenzó, cuando de alguna forma de vida animal diferenció algunas de sus células, volviéndolas fotosensibles. También durante millones de años dicha característica fotosensible evolucionó convirtiéndose en un sofisticado sensor, el ojo humano. Este tuvo un imitador mecánico, la cámara fotográfica, que hizo su aparición hace algo más de un siglo y que ha sido mejorada durante la década de 1930 para ser aplicada a la fotografía aérea.

La Segunda Guerra Mundial dio un gran impulso a la fotografía aérea, así como a otras formas de percepción remota. Sin embargo, el gran salto se produjo en la década de 1960 cuando las plataformas satelitales reemplazaron a las aéreas y los sensores electrónicos multiespectrales, acoplados a computadoras, reemplazaron las cámaras fotográficas.

Interacción entre los objetos y la energía

La teledetección espacial es aquella técnica que permite adquirir imágenes de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas espaciales (satélites), se está suponiendo que entre la tierra y el sensor existe una interacción energética, ya sea por reflexión de la energía solar o de un haz energético artificial, o emisión propia. A su vez, es necesario que ese haz energético recibido por el sensor sea transmitido a la tierra para que la señal pueda interpretarse y almacenarse.

Distintos factores han condicionado este comportamiento que ha llevado a la Percepción Remota a su *etapa verdaderamente comercial*. Uno de tales factores fue la liberación para usos civiles, particularmente luego del fin de la Guerra Fría, de tecnología reservada hasta entonces para uso militar.

Bases de la teledetección

La reflectancia de los cuerpos responde según sus características físicas químicas, lo que se denomina "firma espectral" que es propia para cada elemento y permite distinguirlos. La señal lumínica detectada por nuestros sensores es la energía reflejada, energía electromagnética. Hay bandas del espectro que permiten distinguir mejor a cada elemento de su entorno. La firma espectral es uno de los elementos cuyo análisis conduce a la interpretación de la información de las imágenes.

Una imagen LANDSAT 7 ETM+ está compuesta por 8 bandas espectrales que pueden ser combinadas de distintas formas para obtener variadas composiciones de color u opciones de procesamiento. Entre las principales mejoras técnicas respecto de su antecesor, el satélite Landsat 5, se destaca la adición de una banda espectral (Banda Pancromática) con resolución de 15 metros.



También, cuenta con mejoras en las características geométricas y radiométricas y una mayor resolución espacial de la banda térmica para 60 m. Estos avances tecnológicos permiten calificar al LANDSAT 7 como el satélite más interesante para la generación de imágenes con aplicaciones directas hasta una escala de 1:25.000, principalmente, en áreas rurales o territorios de grandes extensiones.

Estas bandas fueron elegidas especialmente para el monitoreo de vegetación a excepción de la banda 7 que se agregó para aplicaciones geológicas.

- **Banda 1:** (0,45 a 0,52 micrones - azul -) Diseñada para penetración en cuerpos de agua, es útil para el mapeo de costas, para diferenciar entre suelo y vegetación y para clasificar distintos cubrimientos boscosos, por ejemplo, coníferas y latifoliadas. También es útil para diferenciar los diferentes tipos de rocas presentes en la superficie terrestre.
- **Banda 2:** (0,52 a 0,60 micrones - verde -) Especialmente diseñada para evaluar el vigor de la vegetación sana, midiendo su pico de reflectancia (o radiancia) verde. También es útil para diferenciar tipos de rocas y, al igual que la banda 1, para detectar la presencia o no de limonita.
- **Banda 3:** (0,63 a 0,69 micrones - rojo -) Es una banda de absorción de clorofila, muy útil para la clasificación de la cubierta vegetal. También sirve en la diferenciación de las distintas rocas y para detectar limonita.
- **Banda 4:** (0,76 a 0,90 micrones - infrarrojo cercano -) Es útil para determinar el contenido de biomasa, para la delimitación de cuerpos de agua y para la clasificación de las rocas.
- **Banda 5:** (1,55 a 1,75 micrones - infrarrojo medio -) Indicativa del contenido de humedad de la vegetación y del suelo. También sirve para discriminar entre nieve y nubes.
- **Banda 6:** (10,40 a 12,50 micrones - infrarrojo termal -) El infrarrojo termal es útil en el análisis del stress de la vegetación, en la determinación de la humedad del suelo y en el mapeo termal.
- **Banda 7:** (2,08 a 2,35 micrones - infrarrojo medio -) Especialmente seleccionada por su potencial para la discriminación de rocas y para el mapeo hidrotermal. Mide la cantidad de hidróxilos (OH) y la absorción de agua.

Estas siete bandas pueden combinarse de tres o más, produciendo una gama de imágenes de color compuesto que incrementan notablemente sus aplicaciones, especialmente en el campo de los recursos naturales. El mapeador temático (TM) tiene mayor sensibilidad radiométrica que su antecesor, el MSS, y mejor resolución espacial, ya que el tamaño del pixel en todas las bandas excepto la 6, es de 30 metros. Esto permite la clasificación de zonas tan pequeñas como 2,5 o 3 hectáreas. La banda 6, que es una banda termal, tiene un pixel de 120 metros en el terreno.

Interacción de los elementos de la superficie terrestre con la radiación

En la identificación de objetos y procesos en la superficie terrestre, lo que interesa es la reflectividad de estos objetos respecto a las diferentes longitudes de onda. Cada tipo de material, suelo, vegetación, agua, etc. reflejará la radiación incidente de forma diferente lo que permitirá distinguirlo de los demás si se mide la radiación reflejada. A partir de medidas de laboratorio se ha obtenido la reflectividad para las distintas cubiertas en diferentes longitudes de onda.

El gráfico que, para cada longitud de onda, da la reflectividad en tanto por ciento se conoce como *signatura espectral* (Figura 1) y constituye una marca de identidad de los objetos. Resulta así fácil por ejemplo distinguir entre suelo y vegetación, e incluso entre diferentes tipos de suelo o diferentes tipos de vegetación.

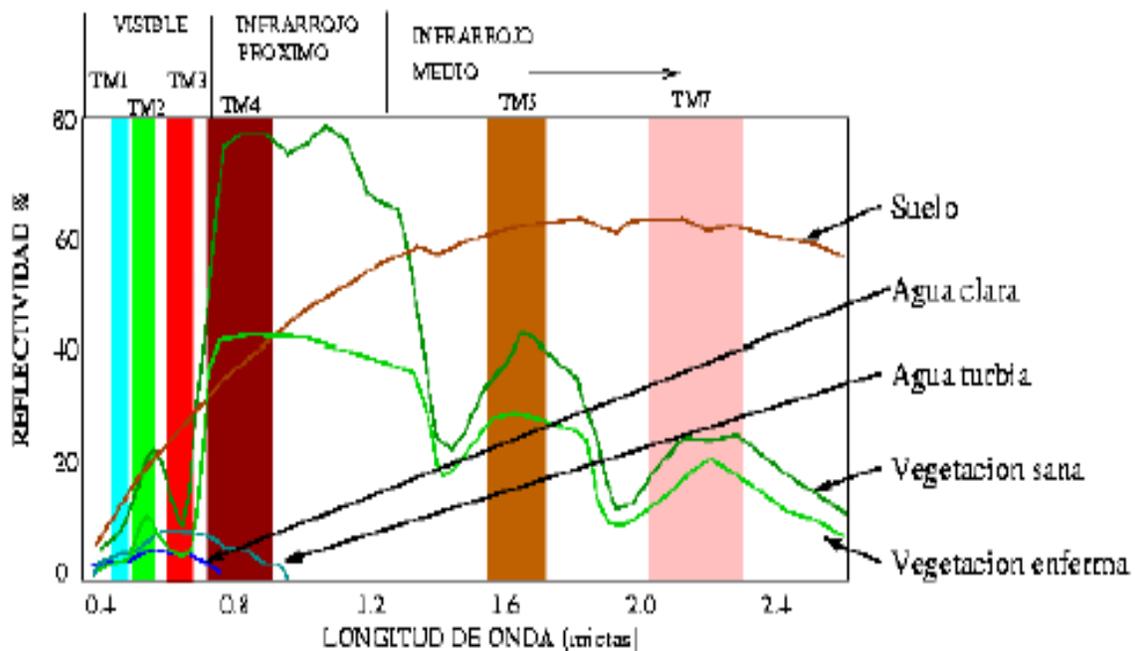


Figura 1. Firmas espectrales para diferentes materiales.

La reflectividad en la **nieve** es alta en todas las longitudes de onda, especialmente en el caso de la nieve fresca. El **agua**, al ser el único elemento superficial capaz de transmitir radiación hacia abajo, tiene una reflectividad muy baja, aunque muy dependiente de la longitud de onda. Absorbe casi toda la radiación que le llega en las bandas del infrarrojo próximo y medio. La reflectividad aumenta algo en el visible especialmente en las bandas del azul y el verde. La turbidez del agua contribuye al aumento de la reflectividad en el verde y en el infrarrojo reflejado.

La **vegetación** tiene una reflectividad baja en el visible, aunque con un pico en el color verde debido a la clorofila. La reflectividad es muy alta en el infrarrojo reflejado o próximo debido a la escasa absorción de energía por parte de las

plantas en esta banda. En el infrarrojo medio hay una disminución especialmente importante en aquellas longitudes de onda en las que el agua de la planta absorbe la energía.

En general en las regiones visibles e infrarrojas reflejado, la reflectividad aumenta cuando el contenido de agua disminuye. Esta curva tan contrastada se debilita en el caso de la vegetación enferma en la que disminuye el infrarrojo y aumenta la reflectividad en el rojo y azul. Se observa también que la reflectividad de una planta depende de su contenido en agua. Cuando el contenido de agua aumenta disminuye la reflectividad ya que aumenta la absorción de radiación por parte del agua contenida en la planta.

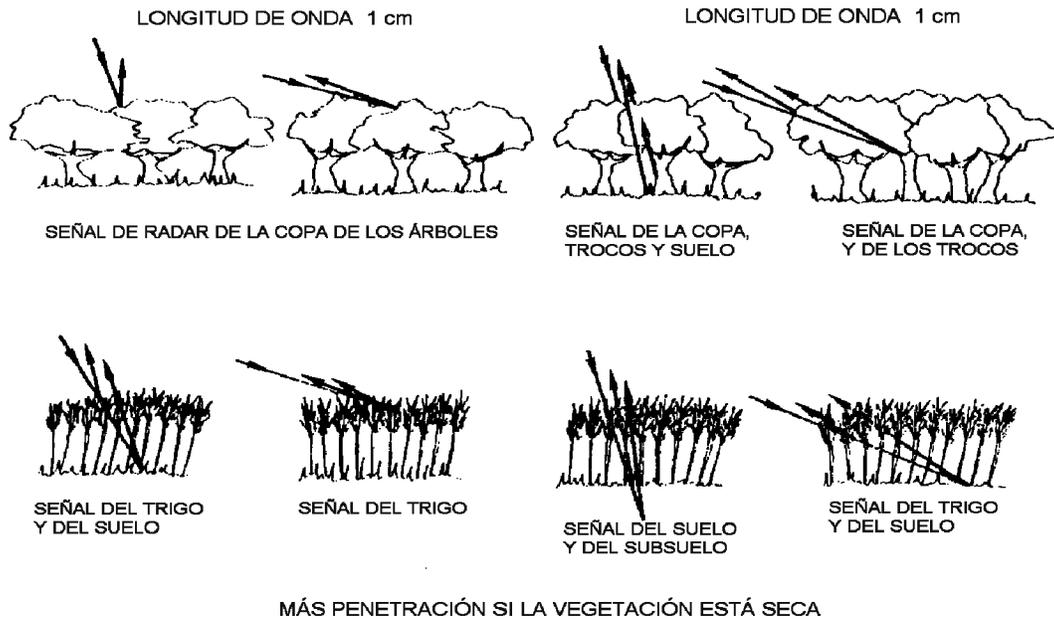


Figura 2. Penetración de las señales de Radar en vegetación (Ulaby et al., 1981).

Una imagen de satélite en la banda de grises, con una tecnología de 8 bits, aportaría características como la que se muestra en la figura 3a, cuando se combinan las bandas 10, 20 y 30, se observa la imagen 3b y si se quiere observar la calidad del cultivo, podemos hacer una imagen en falso color 3c. Se llama falso color por que se cambian las bandas, en este caso donde va la azul se pone la verde, la roja en la verde, y la infrarroja cercana en la banda del rojo.

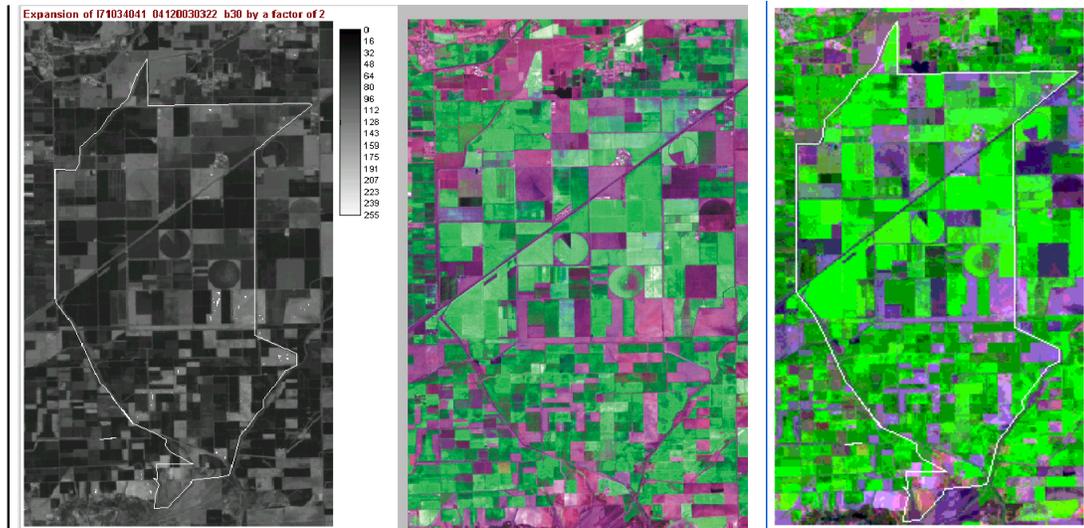


Figura 3. Zona agrícola, Son Méx. A) Banda pancromática, B) banda color, C) Falso color (Flores, 2003).

Finalmente, el **suelo** tiene una reflectividad relativamente baja para todas las bandas, aunque aumentando hacia el infrarrojo. La signatura espectral es más simple que en el caso de la vegetación. Sin embargo, la reflectividad del suelo va a depender mucho de la composición química y mineralógica, la textura y del contenido de humedad. Estos últimos interrelacionados.

Los suelos arcillosos muestran tres zonas de baja reflectividad en el infrarrojo reflejado que corresponden a las longitudes de onda de máxima absorción del agua. Estos aparecen sea cual sea el contenido de agua. Respecto a los suelos arenosos, las zonas de baja reflectividad aparecen más claramente si el contenido de agua aumenta.

Las firmas espectrales

La curva que muestra la intensidad de radiación de la energía reflejada y emitida por un determinado cuerpo en las diferentes longitudes de onda del espectro constituye su firma espectral. La firma espectral es característica de cada cuerpo, aunque puede variar en función de las condiciones a las que está sometida (Figura 4). El conocimiento de la firma espectral de un determinado tipo de cuerpo es la clave para su identificación y clasificación en una imagen (Figura 5).

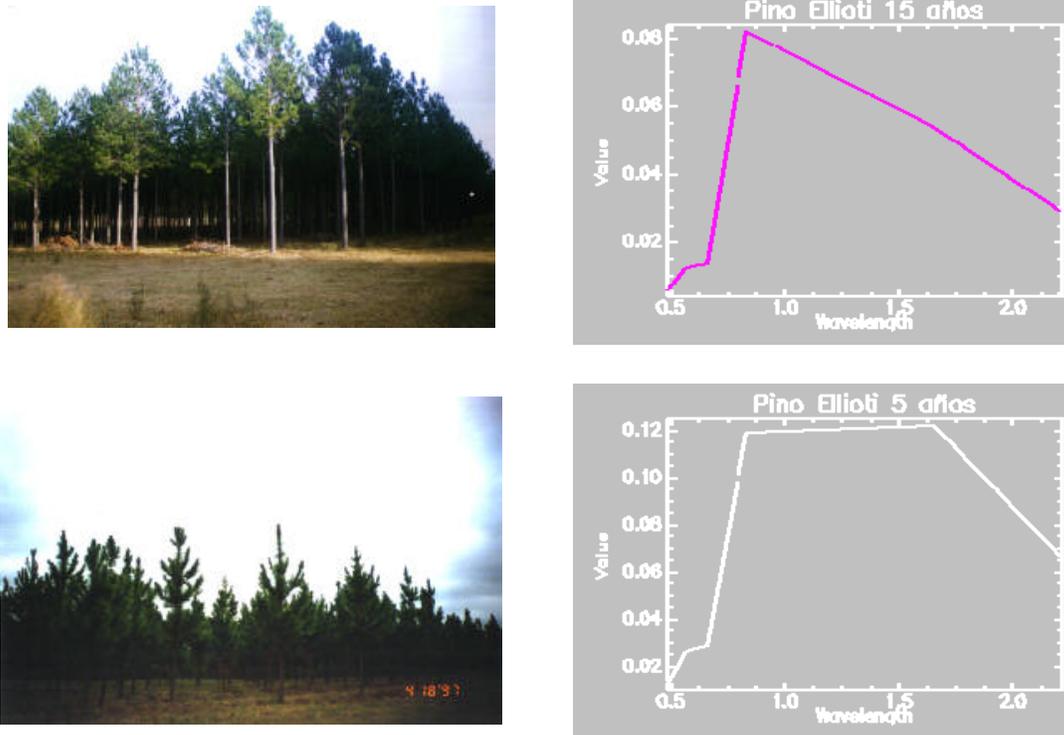


Figura 4. Firmas espectrales típicas de dos poblaciones de pinos a diferentes edades.

La clasificación de una imagen es una operación muy frecuente en la que se emplean técnicas multiespectrales. Mediante la clasificación se agrupan píxeles con valores de reflectancia similares, y se separan los píxeles disímiles. Una imagen se puede clasificar de forma visual (p.e. clasificación de una composición en falso color (Figura 3c) o bien de forma asistida por ordenador.

El proceso de clasificación mediante información multiespectral está basado en la diferenciación de píxeles no sólo teniendo en cuenta sus valores en una determinada longitud de onda, sino considerando la combinación de los valores del píxel en las diferentes bandas empleadas en la clasificación (Figura 5). Así, se pueden distinguir cuerpos o superficies que tienen una misma respuesta espectral en una cierta longitud de onda, pero diferente en otra.

Las técnicas de análisis multiespectral sirven para evaluar distintos tipos de alteraciones fisiológicas de los cultivos y para detectar el estrés de humedad en regiones semiáridas, analizándose conjuntamente con datos meteorológicos auxiliares sobre el terreno y del calendario del crecimiento del cultivo.

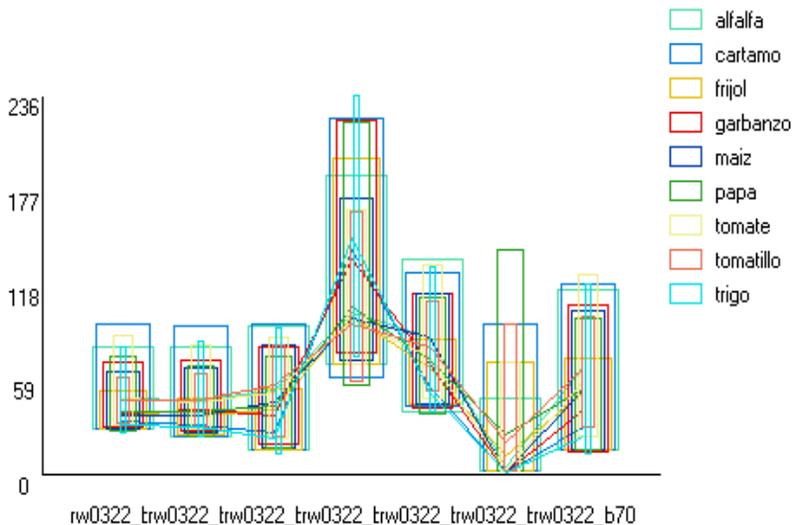


Figura 5. Firmas espectrales para diferentes cultivos

Los órganos vegetativos, hojas en particular, condicionan la respuesta espectral de la vegetación, obteniéndose diferentes respuestas según la región del espectro que se considere. Así, para cada uno de los intervalos espectrales habituales se tiene:

a.- Visible (0'4 - 0'7 μm): La respuesta está ligada a los pigmentos presentes, sobre todo a la clorofila. En este intervalo se presenta una mayor absorción relativa de la radiación que llega a las hojas. Las cantidades reflejada y transmitida son pequeñas. La clorofila presenta dos bandas importantes de absorción en el azul y el rojo. La disminución de clorofila provoca un aumento de la reflexión en la porción roja del espectro, y, por tanto, un cambio en la percepción del color.

b.- Infrarrojo próximo (0'7 - 1'3 μm): Los pigmentos ya no intervienen en el comportamiento espectral. Es la estructura anatómica de las hojas la que controla la reflectancia en este dominio. La cantidad de radiación absorbida es muy pequeña (< 10%) mientras que la reflejada y la transmitida son grandes (45-50%). Al ser diferente la estructura de las hojas según el tipo y desarrollo de la planta, la reflectancia varía. La disposición y forma de las células, espacios intercelulares, organización en capas de las células, etc., son determinantes.

c.- Infrarrojo medio (1'3 - 2'5 μm): Las propiedades ópticas de las hojas se ven afectadas por su contenido de agua, función de su porcentaje de humedad y de su grosor. Hay tres longitudes de onda, 1'45, 1'95 y 2'50 μm , con intensa absorción de la radiación debido al contenido de agua. Entre éstas se producen dos picos de reflectancia a 1'65 y 2'50 μm . Con la disminución del contenido de agua la reflectancia aumenta.

El conocimiento de la fenología de la planta y de la correspondiente firma espectral en cada caso permite detectar: contenido de humedad, enfermedades y plagas, estrés osmótico y otras, de forma anticipada a sus manifestaciones visibles.



Suelo.

Las características intrínsecas del suelo son directamente detectables en suelos desnudos. La reflectancia del suelo aumenta progresivamente desde el visible al infrarrojo medio. Al igual que ocurre con la vegetación y debido a la absorción del agua, se produce una disminución de respuesta a $1.45 \mu\text{m}$. En general, el suelo refleja más que la vegetación en el visible, menos en el infrarrojo próximo y más en el infrarrojo medio.

De un tipo a otro de suelo la forma de las curvas de reflectancia es semejante, pero los valores pueden variar en función de diversos elementos directamente detectables. Tales elementos son: materia orgánica, contenido de caliza, hierro, pedregosidad superficial, color del suelo, rugosidad y humedad.

Agua.

La curva de reflectancia es regularmente decreciente desde el visible hasta el infrarrojo próximo, donde el valor de la reflectancia es muy débil y puede anularse. Si el agua está cargada con partículas en suspensión, la curva presenta la misma forma, pero las reflectancias son más elevadas. Otros factores que influyen en la respuesta espectral del agua son: la temperatura (en el infrarrojo térmico), coloración, pureza, etc.

Resumiendo, las firmas espectrales de la vegetación, de suelos y del agua presentan formas diferentes, de tal forma que, en el análisis de una imagen deberán tenerse en cuenta dichas respuestas para cada longitud de onda (o canal) del sensor.

Fotografía Aérea Multiespectral

Una de las formas más comunes de la percepción remota es la fotografía aérea. Las ventajas básicas que ofrece esta técnica son:

- ❖ Permite tener una vista de los detalles de la superficie en estudio en su contexto espacial a escala menor que la imagen satelital. Esto la transforma en una herramienta muy útil para trabajar en áreas pequeñas.
- ❖ Flexibilidad. Por el hecho de usar plataformas aéreas para embarcar los sensores de imagen, es muy fácil rediseñar el plan de trabajo según las necesidades que vayan surgiendo.
- ❖ La fotografía nos da una visión instantánea de procesos bajo condiciones dinámicas (inundaciones, derrames de petróleo, tráfico, incendios). Si bien este tipo de trabajo se realiza muy bien con imagen satelital, la fotografía aérea permite desplazarse al lugar de interés sin demoras.

De esta forma se dispone de un medio complementario al uso de plataformas satelitales especialmente apto para cubrir aquellos procesos dinámicos con períodos de cambio inferiores a la revisita de los satélites (catástrofes).

El sensor usado en esta técnica es la película fotográfica. Existen diferentes tipos de película pensados para diferentes tipos de problemas.

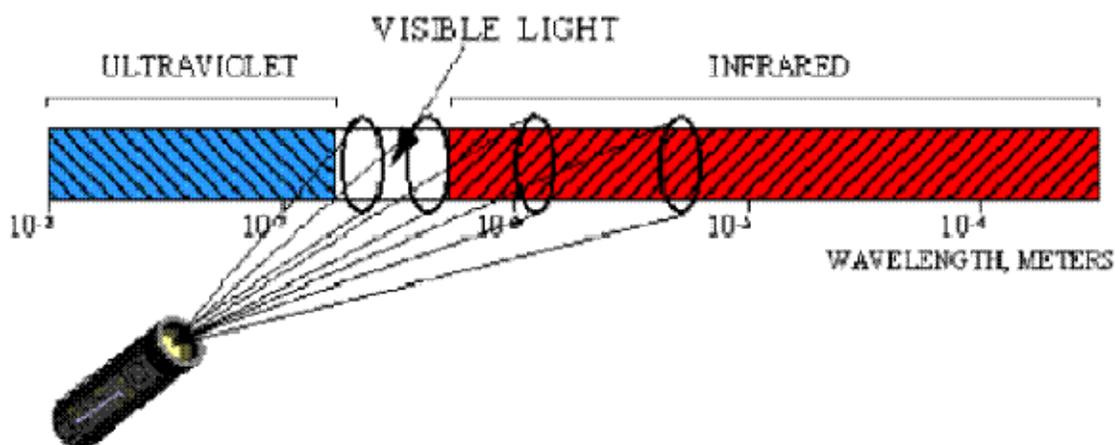


Figura 6. Un scanner multi-espectral es un sensor individual que detecta varias regiones específicas del espectro de manera simultánea.

Materiales y métodos

El procedimiento puede ser realizado por etapas; en una primera fase se tiene la ejecución del vuelo para la adquisición de datos, para luego generar un modelo digital de la superficie con la tecnología Unmanned Aerial Vehicle (UAV). Posteriormente se procede a la identificación de la infraestructura basado en la resolución de objetos geométricos o tamaño de pixel.

El equipo con que se cuenta es de tipo hélice y ala fija (Figura 7 y 8) con sus respectivos aditamentos para el montaje de los sensores. Para el desarrollo de la supervisión se usan dos UAV, uno de despegue y aterrizaje vertical modelo hexacóptero (Figura 7) que en función de la misión puede ser equipado con sensores de rango visible y multi-espectral RGB. El segundo un SPADE 70 de largo alcance e independencia de vuelo (Figura 8) con cámara de video y Modificada NDVI.



Figura 7. A bordo del UAV se instaló una cámara multisectorial TETRACAM mini MCA, dotada con tres Canales RGB.

Con la información generada en cada vuelo, mediante un tratamiento de imágenes usando el programa PIX 4D, se pretende usar técnicas tales como el tamaño medio de pixel y definición de áreas para: A) Detección del estado físico de las obras de infraestructura hidroagícola; B) Supervisión visual de los sistemas de riego y C) Control de las áreas irrigadas con cultivo.

El primer vuelo se realiza con las cámaras visual y multiespectral (Figura 7 B y C), estos sensores aportan información visual de las características funcionales del sistema que puede ser inferido mediante los índices de vegetación. Para largo alcance se usa el SPADE 70 (Figura 8) con independencia de vuelo que supera los 40 minutos, y equipado con la cámara modificada NDVI y un sistema de video.



Figura 8. Drone SPADE 70 con NDVI.

En el contexto la Teledetección Satelital se presenta como una importante herramienta, debido a la posibilidad de observación de fenómenos que pueden ser detectados en forma espectral y que presentan elevadas variaciones multitemporales, como es el caso de la actividad agrícola. La información obtenida de la observación Satelital tiene cuatro ventajas principales que son:

La repetición, la objetividad, la exactitud y la restitución de los datos de tal forma que pueden ser combinados con otros como suelo, mapas de clima, etc., logrando pronósticos precisos.



La respuesta espectral de una parcela de terreno se debe en última instancia al tipo de cubierta que esta contenga. El objetivo último de la teledetección es por tanto determinar cuál es la relación entre objetos y variables de la superficie terrestre y la respuesta espectral para poder obtener aquellas a partir de estas.

Uno de los métodos más utilizados para ello son las transformaciones. Se trata de operaciones de diversa índole que se realizan con las imágenes para obtener una estimación más o menos aproximada de las realidades físicas que produjeron las respuestas espectrales. Todas las transformaciones a que puede estar sujeta una imagen de satélite son casos particulares de álgebra de mapas.

Índices de vegetación

Se han desarrollado diversas técnicas para estudiar cualitativa y cuantitativamente el estado de la vegetación a partir de medidas espectrales obtenidas por satélites. Con el fin de reducir el número de dimensiones propias de las medidas multiespectrales a una sola dimensión, se han definido los Índices de vegetación, estos son combinaciones 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.

Todos los organismos fotosintéticos contienen uno o más pigmentos capaces de absorber la radiación visible que iniciaría las reacciones fotoquímicas y fotosintéticas. Dos bandas del espectro, la azul (430 nm) y la roja (58-68nm) muestran la cantidad de energía absorbida por las plantas; en contraste, la banda del infrarrojo cercano (725-1100nm) (región invisible para el ojo humano) actúa justo de forma inversa. La mayor absorción del rojo y azul, junto con la fuerte reflexión del infrarrojo cercano es la diferencia espectral de la respuesta de toda la vegetación, y ha sido usado durante mucho tiempo como forma de diferenciación de las superficies con y sin vegetación.

La vegetación verde y vigorosa refleja mucho menos en la banda visible roja (banda 1), región de absorción de la clorofila, que en la banda cercana infrarroja (banda 2), región de alta reflectancia del componente celulósico. Cuando la vegetación sufre estrés, los valores de la banda 1 aumentan y los de la banda 2 decrecen. Estas propiedades llevaron a definir varios índices de vegetación basados en operaciones algebraicas entre las bandas 1 y 2. Uno de los algoritmos más conocidos es el del llamado Índice Diferencial de Vegetación Normalizado (NDVI, en inglés) que se define como (Figura 9):

$$\text{NDVI} = (\text{banda 2} - \text{banda 1}) / (\text{banda 2} + \text{banda 1})$$

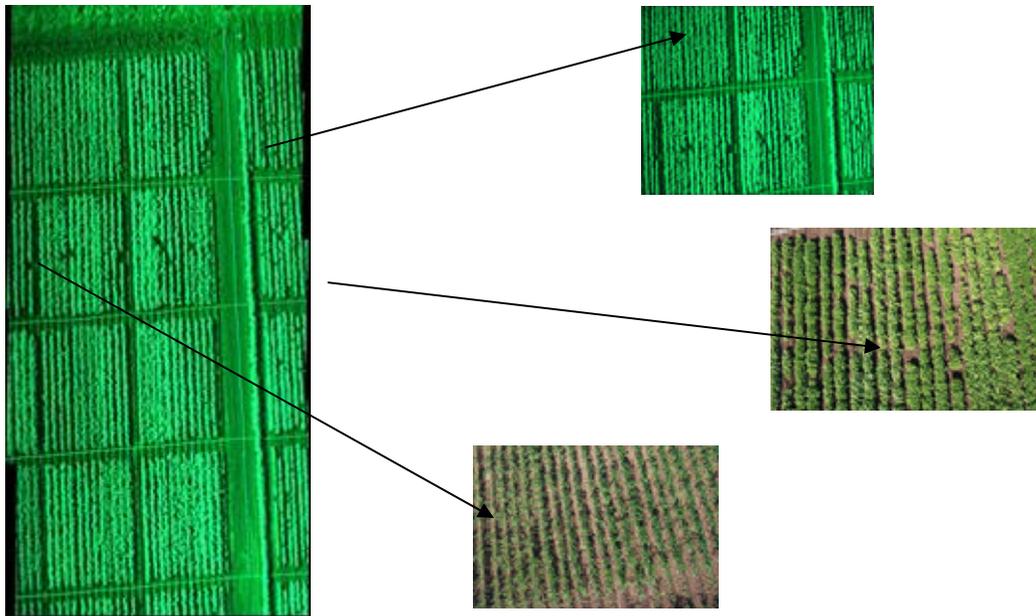


Figura 9. Respuesta espectral de la vegetación.

El intervalo de valores obtenido del NDVI, varía entre (-1) y el (+1). Sólo los valores positivos corresponden a zonas de vegetación. Los valores negativos, generados por una mayor reflectancia en el visible que en el infrarrojo, pertenecen a nubes, nieve, agua, zonas de suelo desnudo y rocas. El valor del NDVI puede variar en función del uso de suelo, estación fenológica, situación hídrica del territorio y ambiente climático de la zona. Estas propiedades hacen que el NDVI se haya constituido en una valiosísima herramienta para la evaluación de cubiertas vegetales, así como para estudiar la clasificación y dinámica vegetal y sus aspectos fenológicos.

Fundamento: obtención de bandas artificiales, a partir de combinaciones entre las originales (transformación) para discriminar aspectos temáticos de interés.

Procedimiento: división, píxel a píxel, entre las bandas correspondientes al rojo (R) e infrarrojo cercano (Irc) de una misma imagen con el propósito de mejorar la discriminación entre suelos y vegetación. La diferencia entre los valores de reflectividad de los rangos visible e infrarrojo alcanzará su máximo valor cuando mayor sea el vigor vegetal.

Resultados: identificación de áreas que incrementaron o disminuyeron su vigor y/o cobertura vegetal.

Desventajas: a) influenciado por el tipo y la proporción de suelo presente y b) no detecta material senescente que cumple una función importante en la protección del suelo.

Los numerosos índices de vegetación existentes pueden agruparse en dos amplias categorías: **los índices basados en los cocientes entre bandas y los**



basados en transformaciones ortogonales similares a las realizadas en análisis de componentes principales.

Además del NDVI, Los principales índices de vegetación son:

Índice de Vegetación ajustado al Suelo (Soil Adjusted Vegetation Index – SAVI)

Fundamento: Idem a NDVI, pero para atenuar la influencia del suelo se introduce un factor de corrección en la fórmula de NDVI, de la cual deriva la correspondiente al SAVI:

Índice infrarrojo de Diferencia Normalizada *Normalized Difference Infrared Index (NDII)*

Fundamento similar a los anteriores y Procedimiento: división, píxel a píxel.

Resultados: Eficaz en la determinación de áreas quemadas y detección post-fuego de cambios en la biomasa vegetal.

Índice de vegetación Transformado [TVI]

Fundamento: Mostrando el vigor de la vegetación, calculado de las bandas espectrales roja e infrarroja cercana los resultados. El 0.5 evita valores negativos. La raíz cuadrada intenta corregir valores que se aproximan a una distribución de Poisson e introduce una distribución Normal. No elimina todos los valores negativos.

Análisis y discusión de resultados

El riego por gravedad tiene como punto crítico la calibración de los parámetros que permiten simular el proceso de avance del agua en la superficie del surco, y de recesión una vez finalizado el riego, esto con el fin de reducir la pérdida de agua que puede ocurrir debido a las características texturales del suelo. Las variables asociadas al movimiento del agua, estarán condicionadas por factores geométricos, como la longitud y ancho del surco, del suelo, como textura, pendiente, etc. En este trabajo, como una primera tarea se pretende hacer el reconocimiento de la parcela, mediante vuelo desde la entrada del riego, hasta su término, con el fin de evaluar las características que involucra el proceso de riego, y evaluar las condiciones de tipo de cultivo, altura de vuelo, cobertura de cultivo, etc., bajo las cuales puede hacerse la prueba de riego.

La zona de vuelo seleccionada se encuentra ubicada en el campo 26 perteneciente a la ciudad de los Mochis. El cultivo donde se realiza la prueba es maíz de 14 días de nacido. En la figura 8, se muestra la localización geográfica de la parcela por volar. Se planeado una misión de 10 puntos como se muestra en la figura 10. Para tal fin se usó el programa libre DJI, mediante el cual se cubre un área de 5 hectáreas en casi 9 minutos. En la misma se figura se muestra la distribución de los puntos. Cabe aclarar que, en este momento, en la figura no se nota cultivo, esto es porque la imagen fue tomada en otra fecha. La altura de vuelo fue de 50 m y se hizo un recorrido de casi 1000 m.



Figura 10. Localización geográfica de la parcela y plan de vuelo.

Como resultado de los vuelos se obtuvieron los mosaicos de la Figura 11. Una vez formado el mosaico, viene el pos proceso, o la interpretación, mediante la generación de mapas temáticos o la extracción de datos de interés, se observa la imagen espectral y visible de la parcela; en ella se observa el recorrido del agua en la regadera y el surco; El objetivo fue realizar los vuelos en varias fases con el fin de observar la curva de avance recesión.

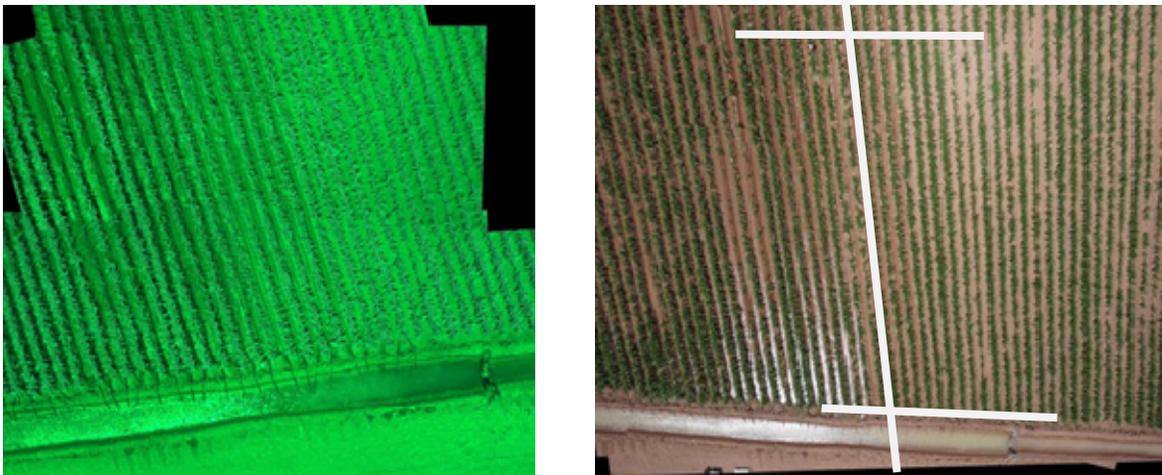


Figura 11. Imagen del avance del agua en los surcos.

La determinación del gasto (Q) para el diseño del riego, depende de los valores de K_s , h_f y n obtenidos en la calibración del riego anterior, para obtener los máximos valores de E_a , E_r y CUC . Las curvas de avance y recesión correspondientes al segundo riego se obtienen con los datos medidos en el campo. Las curvas de avance y recesión de campo, para este caso los valores de K_s y h_f fueron de: K_s 0.43 cm hr^{-1} , h_f 75 cm y n 0.039 , mismos que permiten estimar la curva de avance con los datos de distancia y tiempo obtenidos con las imágenes de las cámaras del dron.



Conclusiones

Se realizó un vuelo en parcela regada en maíz con el fin de establecer la relación distancia tiempo del avance del riego y la recesión del mismo, con fines de planeación del riego.

Los resultados indican que mediante el uso de vehículos aéreos no tripulados es posible realizar la parametrización de los factores involucrados en las ecuaciones que permiten modelar el flujo del agua en el surco con fines de riego.

Es necesario probar diferentes cámaras y/o a diferentes alturas con el fin de obtener la imagen que mejor estime los factores para el diseño

Referencias bibliográficas

Ciampagna & Asociados. GDSIG. Consultado el 08-08-2016 en <http://www.um.es/~geograf/sig/teledet/trans.html>

CHUVIECO, E y SANCHO, J. (1986). Tratamiento visual y digital de las imágenes espaciales. Didáctica Geográfica, vol 14.

CHUVIECO, E. (1996). Fundamentos de Teledetección Espacial. (3ª edición revisada). Ediciones Rialp, S.A. Madrid.

IGAC Principios Básicos de Cartografía Temática 1998

Martínez Casasnovas, J.A., 1995. Cuaderno de Prácticas de SIG y Teledetección: Parte I, Teledetección. Quaderns DMCS N° 7, DMCS - UdL, Lleida.

Sabins, J.R., 1986. Remote sensing. Principles and interpretation. Freeman. New York.

S.E.D.I.S., sistema de emergencia en desastres mediante imágenes de satélite.

SISTEMA PARA GEORREFERENCIACIÓN DE IMÁGENES MMRS Y HRTC REGISTRADAS POR EL SATÉLITE ARGENTINO SAC-C. Consultado el 08-08-2016 en <http://www.fceia.unr.edu.ar/~racca/georefsacc.html>

UNESCO, 1994. Information on meteorological and other environmental satellites. WMO-nº41, 3ª edición. Geneva.