

CAPITULO 2

Conocimiento de base

Esta sección está dedicada a introducir los conocimientos básicos necesarios referidos a "remote sensing" que permitirán dar un contexto y mayor entendimiento al presente trabajo.

2.1. Definición de Sensado Remoto

Entre las definiciones dadas a "remote sensing" se menciona y analiza la siguiente:

- Es la ciencia o arte de obtener información sobre un objeto, área o fenómeno a través del análisis de datos obtenidos por un *dispositivo que no tiene un contacto físico* con dicho objeto, área o fenómeno [Jen96][Sch97][www9][www16]

Si se detiene la atención en esta definición se encuentra que:

- a) Existe un objeto, área o fenómeno de interés a investigar
 - Generalmente, los científicos están interesados en estudiar fenómenos naturales y recursos de la superficie terrestre. Por ejemplo: fenómenos meteorológicos, cultivos, discriminación de zonas urbanas y rurales, etc.
- b) Se tiene un dispositivo que está a una distancia del objeto de interés y que permite obtener datos del mismo
 - Los dispositivos a los que se hace referencia se conocen como sensores que permiten capturar la relación espectral y espacial de los objetos y materiales observables a distancia. Existen diferentes tipos de sensores. En particular estamos interesados en aquellos que permiten registrar la radiación electromagnética.
- c) Se realiza un análisis de los datos para obtener información.

- El análisis de los datos obtenidos mediante el sensor involucra tareas de identificación y categorización de dichos datos en clases o tipos para extraer información sobre el objeto bajo investigación.

La definición anteriormente expresada se puede ilustrar con un proceso cotidiano y muy natural.



Figura 2.1 - Ejemplo de proceso de sensorado remoto

Algo físico (luz), es emanado desde la pantalla (fuente de radiación) que pasa a la distancia (por eso se dice que es remoto), hasta encontrar y ser capturado por un sensor que en este caso son los ojos. Luego se envía una señal a un procesador para realizar el análisis (nuestro cerebro). Los sentidos humanos permiten tomar conciencia del mundo exterior percibiendo una variedad de señales ya sea emitidas o reflejadas,

activa o pasivamente desde objetos que transmiten esta información en forma de ondas o pulsos (**Figura 2.1**).

Así se pueden reconocer, por ejemplo, formas, colores y posiciones relativas de los objetos exteriores y clases de materiales, por medio de muestreos de la luz visible que emana desde estos objetos. También nuestro oído puede captar los sonidos del medio, que se desplazan en la atmósfera en forma de ondas. Sin embargo, en la práctica no se piensa usualmente en nuestros sentidos corporales como sensores remotos en la forma en que el término es aplicado para el uso técnico.

La definición más formal de sensorado remoto que se ha expresado al comienzo, involucra técnicas que recolecten conocimiento pertinente a los ambientes por medio de la medición de campos de fuerza, radiación electromagnética, o energía acústica

usando cámaras, láseres, receptores de frecuencia de radio, sistemas de radar, dispositivos termales, sismógrafos, magnetómetros, etc.

El sensado remoto involucra la detección y medición de los fotones de las diferentes energías que emanan de los materiales a distancia, por medio de los cuales se los puede identificar y categorizar en clase o tipo, sustancia y distribución espacial.

2.2. Radiación electromagnética

Normalmente los sensores remotos registran la radiación electromagnética (EMR) que viaja a una velocidad de 3×10^8 metros/seg. desde la fuente, directamente a través del espacio o indirectamente por reflexión, al sensor [Ang97][www6].

La EMR representa un enlace de comunicación de alta velocidad entre el sensor y el fenómeno ubicado remotamente. Es una forma dinámica de energía que se pone de manifiesto por su interacción con la materia.

Los cambios en la cantidad y propiedades de la radiación electromagnética, cuando son detectados, son una valiosa fuente para la interpretación de importantes propiedades de la materia con la cual interactúa.

2.3. Concepto de longitud de onda y frecuencia

La luz es una de las muchas formas de energía electromagnética, otros tipos de onda son las de radio, calor, rayos X, ultravioletas, etc. La energía electromagnética se describe como una onda sinusoidal armónica, que viaja a la velocidad de la luz (ver Ecuación 2.1). Las ondas obedecen a la ecuación general:

$$c = v\lambda \quad (\text{Ec 2.1})$$

Donde,

λ es la **longitud de onda** o "**Wavelength**"

v es la **frecuencia** (Figura 2.2)

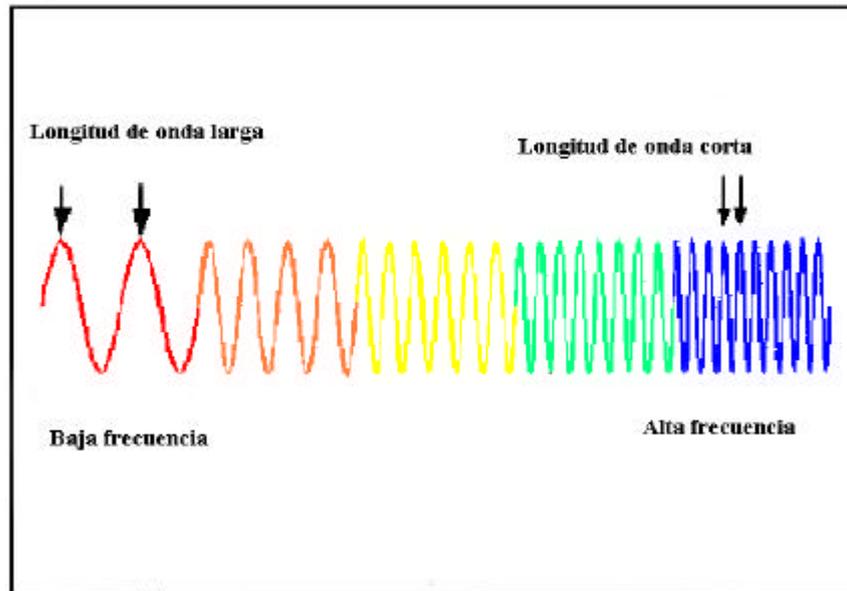


Figura 2.2 – Concepto de frecuencia y de longitud de onda

2.4. Espectro electromagnético

En "remote sensing", es común categorizar las ondas por la ubicación de su longitud de onda en el espectro electromagnético, que se mide en micrómetros (1×10^{-6} metros) [Li194]. No hay una división exacta entre una región espectral nominal y la siguiente; las divisiones del espectro han crecido, principalmente debido a los diferentes métodos de sensado para cada tipo de radiación.

Cada uno de estos tipos de onda comprende un intervalo definido por una magnitud característica que puede ser la longitud de onda o la frecuencia. La sensibilidad espectral del ojo humano se extiende desde 0.4 micrómetros a los 0.7 micrómetros. A continuación se presentan algunas de las regiones o intervalos en que se dividió el espectro y que reciben nombres descriptivos:

Azul: 0.4 a 0.5 μm

Verde: 0.5 a 0.6 μm

Rojo: 0.6 a 0.7 μm

Ultravioleta (UV): la energía se adjunta a la terminación azul de la parte visible del espectro.

Existen tres categorías que se adjuntan a la parte final roja del espectro visible:

- Infrarrojo cercano (Near IR): 0.7 a 1.3 μm
- Infrarrojo medio: 1.3 a 3 μm
- Infrarrojo termal: después de 3 μm

Microonda: va de 1mm a 1 m (ondas mucho más largas que las anteriores)

La mayoría de los sistemas de sensado operan en una o varias de las porciones visibles, en el infrarrojo o microondas del espectro. Sólo la energía del infrarrojo termal está relacionada directamente con la sensación de calor.

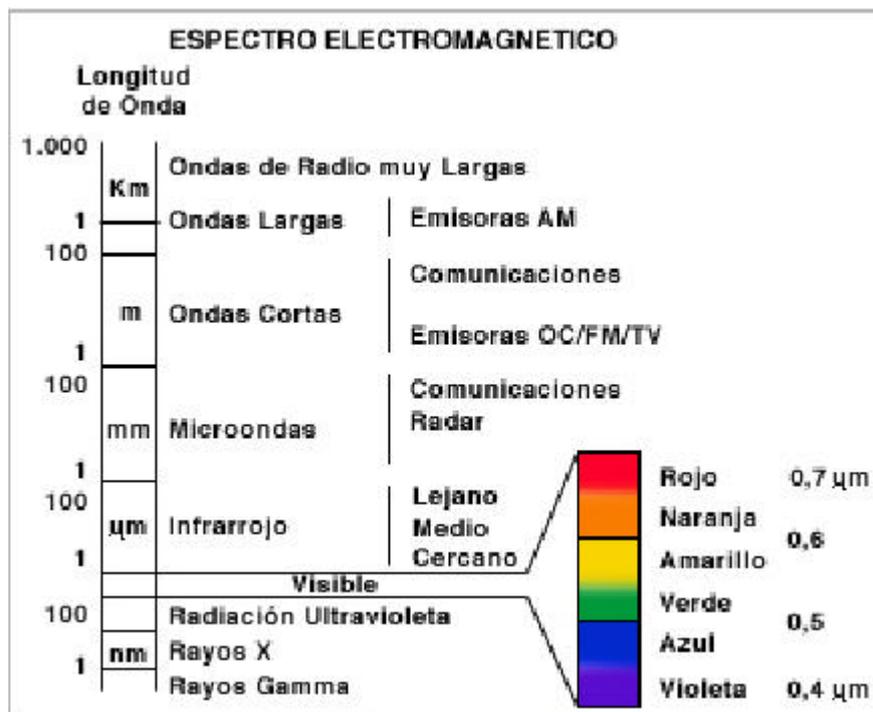


Figura 2.3 - Espectro electromagnético

2.5. Imágenes multiespectrales e hiperspectrales. Ejemplos.

Las imágenes multiespectrales son imágenes corregistradas de la Tierra en algunos colores discretos o bandas espectrales. Dichas bandas del espectro son anchas, y se obtienen en blanco y negro, en longitudes de onda precisas (usualmente entre 0.4 a 12.0 micrómetros). Las cámaras electrónicas pueden recolectar información solamente en blanco y negro, pero pueden obtener muchas imágenes al mismo tiempo en diferentes partes del espectro.

Si observamos la **Figura 2.3**, podemos ver regiones amplias que incluyen las longitudes de onda ultravioleta (0.3 - 0.4 micrómetros), visible (0.4 a 0.7 micrómetros), cercano-infrarrojo (0.7 a 1.3 micrómetros), el medio-infrarrojo (1.3 a 3 micrómetros), y el infrarrojo termal (a partir de 3 micrómetros). Estas son generalmente las bandas obtenidas por un escáner **multiespectral**. Los satélites Landsat introdujeron la tecnología multiespectral en los años 60', y transmiten los valores reflejados para 6 bandas con píxeles de 30 m, y 1 banda termal infrarroja donde los píxeles son de 100 x 100 metros.

Los sensores de imágenes espectrales continuaron mejorando en cuanto a resolución espacial y espectral (ver **Anexo A**). Actualmente, los sistemas **hiperspectrales** proveen de diez a cientos de bandas, lo que hace que estas imágenes sean usadas para una variedad de aplicaciones. Ejemplos de estos sensores son los Casi (desde 10 bandas), AVIRIS (210 bandas), etc. con resolución de muestras de suelo que varían desde 1m a 20m, dependiendo de la altitud de la plataforma desde la que se colectan los datos. El producto o salida de estos sensores es una pila de imágenes de la escena, adquirida en bandas continuas sobre un rango espectral, y se denomina a menudo como cubo de imagen. Estas imágenes son referidas como **hiperspectrales**, debido a su alta resolución espectral y a la gran cantidad de canales, en contraste con las imágenes obtenidas con sensores como el del Landsat TM, SPOT, Daedulas, etc., referidas históricamente como multiespectrales [Ust98][www1]. En las **Figuras 2.4 y 2.5**, se pueden observar las diferencias entre ambos tipos de imágenes.

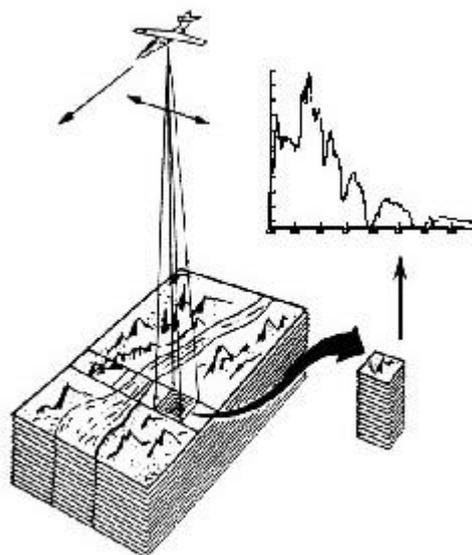


Figura 2.4 – Imagen Hiperespectral

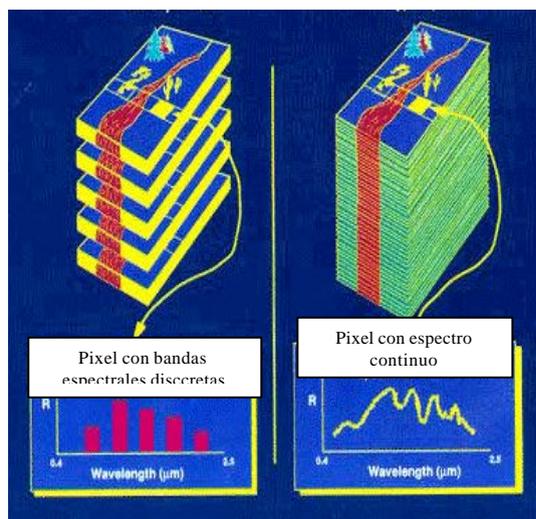


Figura 2.5 - Comparación entre imagen multispectral e hiperespectral [Ust98]

2.6. Reflexión, absorción y transmisión

La fuente principal de excitación de energía usada para iluminar destinos naturales es el sol. Los rayos solares pasan a través de la atmósfera y una fracción de la energía al interactuar con los materiales de la superficie de la Tierra, es absorbida o reflejada, mientras que el resto es transmitida o refractada. Si el cuerpo con el que choca la luz es opaco, una parte de la energía es reflejada y el resto absorbida, si es transparente, una parte será absorbida y el resto atravesará el cuerpo transmitiéndose.

Entonces se pueden mencionar los siguientes tipos de interacción de la energía electromagnética con los materiales: **reflexión, absorción y transmisión o refracción** [Ang97][Fol96]. La cantidad de energía que es reflejada, transmitida o absorbida varía de acuerdo a la longitud de onda y el tipo de material. Esta propiedad de la materia es importante porque permite identificar y separar diferentes clases o sustancias por sus curvas espectrales. Dentro de la porción visible del espectro, estas variaciones resultan en el efecto visual que se conoce como *color*. Por ejemplo, se dice que un objeto es “azul” cuando refleja una alta cantidad de energía en la porción azul del espectro.

Reflexión: es el fenómeno que se produce cuando la luz choca contra la superficie de separación de dos medios de distinta densidad (ya sean gases como la atmósfera, líquidos como el agua o sólidos), la dirección en que sale la luz reflejada está determinada por el tipo de superficie. Si es una superficie brillante o pulida se produce la reflexión regular en que toda la luz sale en una única dirección. Si es mate y la luz sale desperdigada en todas las direcciones se llama reflexión difusa. Y por último, está el caso intermedio, reflexión mixta, en que predomina una dirección sobre las demás. Esto se da en superficies metálicas sin pulir, barnices, papel brillante, etc.

Las características de reflectancia de los rasgos de la superficie terrestre pueden ser cuantificados midiendo la porción de energía incidente que es reflejada. La medición se realiza como una función de la longitud de onda, llamada reflectancia espectral, ρ_{λ} .

$$r_{\lambda} = E_R(\lambda) / E_I(\lambda) \quad (\text{Ec 2.2})$$

donde, $E_R(\lambda)$: es la energía reflejada desde el objeto en la longitud de onda λ

$E_I(\lambda)$: es la energía incidente en el objeto en la longitud de onda λ

r_{λ} se expresa como porcentaje.

En principio, varios tipos de materiales de la superficie pueden ser reconocidos o distinguidos unos de otros por las diferencias en la reflectancia espectral.

Refracción: se produce cuando un rayo de luz es desviado de su trayectoria al atravesar una superficie de separación entre medios de diferentes densidades. Esto se debe a que la velocidad de la luz en cada uno de ellos es diferente.

Transmisión: se puede considerar una doble refracción. Si pensamos en un cristal, la luz sufre una primera refracción al pasar del aire al vidrio, sigue su camino y vuelve a refractarse al pasar del vidrio al aire. Si después de este proceso el rayo de luz no es desviado de su trayectoria se dice que es una transmisión regular como pasa en los vidrios transparentes. Si se difunde en todas direcciones tenemos la transmisión difusa como ocurre con los vidrios translúcidos. Y si predomina una dirección sobre las demás tenemos la mixta como ocurre en los vidrios orgánicos o en los cristales de superficie labrada.

Absorción: es un proceso muy ligado al color. El ojo humano sólo es sensible a las radiaciones de un pequeño intervalo del espectro electromagnético. Las componentes reflejadas son las que determinan el color que percibimos, el resto son absorbidas. Si refleja todas es blanco y si absorbe todas es negro.

Estrictamente, las medidas espectrales involucran interacciones entre las radiaciones de iluminación y las estructuras atómicas o moleculares de cualquier material.

2.7. Sensado remoto y aplicaciones que involucran vegetación

La recolección de información precisa en el tiempo, sobre cultivos u otro tipo de recurso de la superficie terrestre es siempre importante. Sin embargo, suele resultar cara, consume mucho tiempo y a menudo es imposible, si se realiza utilizando técnicas “in situ”. Otra alternativa es realizar las mediciones, en base al análisis de las mediciones espectrales de sensado remoto.

La mayor parte de la investigación desarrollada en esta área involucra el análisis de los datos obtenidos con satélites (Landsat MSS y TM, SPOT HRV, etc.) y técnicas de procesamiento de imagen digital. El objetivo ha sido reducir las múltiples bandas de datos a un sólo número por pixel, que prediga o evalúe las características como biomas, productividad, índice de área con hojas (LAI: Leaf Area Index), y/o porcentaje de suelo cubierto con vegetación. Para ello se viene trabajando con varios algoritmos para extraer tal información a partir de los datos sensados remotamente, que se conocen como Índices de Vegetación [Lil94][Jen96][Pra98][www2]. Los índices de vegetación se basan en el tipo de interacción de los vegetales con la energía solar, la cual se explica a continuación.

La vegetación verde y sana se caracteriza por tener una curva de reflectancia espectral donde aparecen picos y valles. Los valles en la porción visible del espectro se deben a los pigmentos en las hojas de las plantas. Por ejemplo, la clorofila absorbe en gran medida la energía en las bandas de longitud de onda centradas alrededor de los 0.45 y los 0.67 micrómetros (azul y rojo visibles). Estos colores son absorbidos mientras que la parte visible concentrada en el verde es en parte reflejada (por eso la mayoría de la vegetación se caracteriza por el color de las hojas verdes). Si una planta está sujeta a alguna forma de “estrés”^{*} que interrumpe su normal desarrollo, es posible que decremente o cese su producción de clorofila. Esto provoca una menor absorción de la clorofila en las bandas azul y roja, y normalmente la reflectancia en

^{*} Proceso que afecta el normal desarrollo de una planta. Puede producirse por la presencia de alguna plaga, deficiencia de agua, enfermedad, etc.

la banda roja aumenta de tal manera que la planta se torna amarilla (combinación del rojo y verde).

Los picos se deben a la alta reflectancia entre los 0.7 y 1.3 micrómetros (infrarrojo cercano o Near IR) producidos por la interacción con las células mesofílicas* de las hojas. La intensidad de esta reflectancia es comúnmente mayor que la de los materiales inorgánicos, de forma tal que la vegetación se describe como brillante en el infrarrojo cercano. Estas variaciones espectrales facilitan la detección, identificación y monitoreo precisos de la vegetación sobre la superficie terrestre.

Uno de los primeros índices de vegetación exitosos basados en radio de bandas fue desarrollado por Rouse, y computa la diferencia normalizada de los valores de brillo de la banda MSS7 y la MSS5. Se lo conoce como índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI). Deering agregó 0.5 al NDVI y le tomó la raíz cuadrada, produciendo el índice de vegetación transformado o TVI. Algoritmos similares usan MSS6 y MSS5:

$$NDVI6 = (MSS6-MSS5) / (MSS6+MSS5) \quad \text{(Ec 2.3 a)}$$

$$NDVI7 = (MSS7-MSS5) / (MSS7+MSS5) \quad \text{(Ec 2.3 b)}$$

$$TVI6 = SQRT(NDVI6 + 0.5) \quad \text{(Ec 2.3 c)}$$

$$TVI7 = SQRT(NDVI7 + 0.5) \quad \text{(Ec 2.3 d)}$$

Dado que muchos dispositivos de sensado remoto operan en las regiones del verde, rojo, y en el infrarrojo cercano del espectro, actúan como discriminadores de las variaciones en la radiación que mide tanto los efectos de la absorción como los de la reflectancia asociada con la vegetación.

Una de las aplicaciones más exitosas de las imágenes espaciales-espectrales es su habilidad para monitorear el estado de la producción de agricultura en el mundo. Esto incluye la capacidad de identificar y diferenciar entre los distintos tipos de cultivos (soja, cereales, arroz, etc.). Bajo circunstancias adecuadas, el “estrés” de los

* Células que conforman los tejidos presentes entre la capa superior e inferior de la epidermis de la hoja, generalmente son las responsables de la fotosíntesis de la mayoría de las plantas.

cultivos (generalmente la deficiencia de la humedad) puede ser detectado y a veces tratada efectivamente antes que los propios trabajadores del campo se den cuenta del problema.

A la información espectral suele ser necesario agregar otros parámetros auxiliares como el tamaño y forma de los tipos de cultivos, superficie de las hojas individuales, la altura de la planta y el espaciado u otra geometría de las filas de plantaciones de los cultivos (arreglo normal de las legumbres, huertas de frutas, etc.). La etapa de crecimiento (grado de maduración) es otro factor, ya que durante su desarrollo la planta pasa por distintos estados en su tamaño, forma y color.

Todos estos factores combinados traen de pequeñas a grandes diferencias en señales espectrales para los distintos cultivos. Generalmente, las señales para diferentes cultivos en una región particular deben ser determinadas por muestras representativas en tiempos específicos.

2.8. Importancia de las medidas de textura

Una característica importante de una imagen es su textura. Los rasgos de textura son muy usados para la segmentación de regiones [Har92][Jen96][Ped91][Wu198]. A pesar de esto, no existe un acuerdo universal y único sobre la definición de la textura de una imagen. Se puede decir que es una medida de la regularidad, suavidad, y aspereza de la imagen. Las técnicas de descripción de textura pueden ser agrupadas en 3 grandes clases: estadística, espectral y estructural.

Los descriptores estadísticos se basan en los histogramas de una región, sus extensiones y sus momentos; miden el contraste, la granularidad, y aspereza. Las técnicas espectrales están basadas en la función de autocorrelación de la región o en el poder de distribución en el dominio de la transformada de Fourier, para detectar la periodicidad de la textura. Finalmente, las técnicas estructuradas describen la textura usando primitivas de patrones acompañadas por reglas de localización. Sea f_k , $k= 1, \dots, N$, los niveles de intensidad de la imagen. Los primeros cuatro momentos están dados por:

1. Media:

$$\mathbf{m} = \sum_{k=1}^N f_k p(f_k) \quad (\text{Ec 2.4})$$

2. Varianza:

$$\mathbf{s}^2 = \sum_{k=1}^N (f_k - \mathbf{m})^2 p(f_k) \quad (\text{Ec 2.5})$$

3. Simetría (“Skewness”):

$$\mathbf{m}_3 = \frac{1}{\mathbf{s}^3} \sum_{k=1}^N (f_k - \mathbf{m})^3 p(f_k) \quad (\text{Ec 2.6})$$

4. Curtosis:

$$\mathbf{m}_4 = \frac{1}{4} \sum_{k=1}^N (f_k - \mathbf{m})^4 p(f_k) - 3 \quad (\text{Ec 2.7})$$

Supongamos que el histograma se calcula en una región de la imagen, la media μ da una estimación del nivel de intensidad promedio en esta región y la varianza σ^2 es una medida de la dispersión de la intensidad de la región. La desigualdad (“skewness”) del histograma es una medida de la simetría del mismo que muestra el porcentaje de los píxeles de la región que favorecen las intensidades de ambos lados de la media. La curtosis es una medida de la cola del histograma, aquellos histogramas con colas largas corresponden a regiones con picos. La sustracción en la ecuación de la curtosis asegura que una distribución de Gauss esté normalizada a cero. La medida de rango de datos se refiere al rango de los valores entre el mínimo y el máximo dentro de una ventana. La gran ventaja de estos descriptores es su simplicidad computacional.

2.9. Conclusiones del capítulo

Los materiales de la superficie terrestre interactúan con la radiación electromagnética, reflejando, absorbiendo o transmitiendo la energía incidente.

Los sensores ya sea que estén ubicados en satélites o en aviones, registran la energía reflejada en las diferentes bandas o longitudes de onda. Se genera así una imagen por cada banda sensada. Estas imágenes conforman lo que conocemos como imagen multiespectral. Cuando las bandas son tomadas en forma continua, son angostas, y abarcan un intervalo amplio del espectro se dice que la imagen es hiperespectral. Las imágenes hiperespectrales se destacan también por su resolución, encontrando pixeles de 1m x 1m.

Para el análisis de imágenes donde se presenta vegetación, se utilizan una serie de índices conocidos como índices de vegetación que permiten detectar el grado de estrés que poseen las plantas, entre otras cosas. ◆