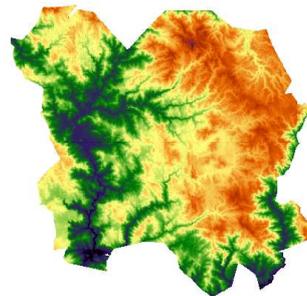
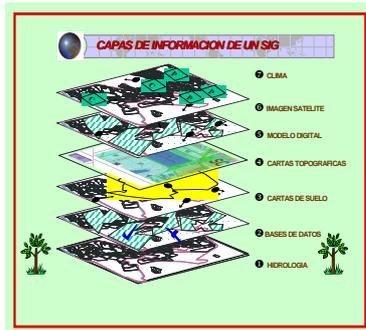




**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
CHIHUAHUA**



FACULTAD DE ZOOTECNIA



PRINCIPIOS Y APLICACIONES DE PERCEPCIÓN REMOTA

**Apuntes de curso para la carrera de Ingeniero en
Ecología**

CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN

- 1.1. Definición de conceptos
- 1.2. Ventajas de la Percepción Remota

II. PRINCIPIOS FISICOS DE LA PERCEPCION REMOTA

- 2.1. Fundamentos de la observación.
- 2.2. Dominio óptico del espectro
 - 2.2.1. Reflectancia de la Vegetación en el Espectro Óptico.
 - 2.2.2. Características del suelo en el espectro óptico.
 - 2.2.3. Características del agua en el espectro óptico.
 - 2.2.4. Plataformas con características multiespectrales

III. TIPOS DE SENSORES|

- 3.1. Tipos de resoluciones
 - 3.1.1. Resolución espacial
 - 3.1.2. Resolución espectral
 - 3.1.3. Resolución radiométrica
 - 3.1.4. Resolución temporal

IV. PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES DE SATÉLITE

- 4.1. Corrección atmosférica
- 4.2. Corrección geométrica
- 4.3. Utilización de subescenas de la imagen
- 4.4. Selección de las bandas.

V. IMÁGENES COMPUESTAS Ó ESPACIOMAPAS

VI. GENERACIÓN DE MAPAS A TRAVÉS DE TÉCNICAS DE CLASIFICACIÓN MULTIESPECTRAL

- 6.1. Mapeo de tipos de cubierta.

6.2. La clasificación no supervisada

6.3 En la clasificación supervisada

VII. TRANSFORMACION DE IMÁGENES

7.1. Cocientes ó índices de vegetación.

7.2. Utilidad del análisis de componentes principales (ACP).

VIII. EVALUACION DE LA PRECISION (Confiabilidad) DE LOS MAPAS

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Definición de conceptos

Sensor Remoto. Conocido también como **teledetección** u **observación de la tierra**, ésta tecnología se introdujo en Estados Unidos a fines de 1952 y más tarde se definió como la colecta de información de un objeto sin estar en contacto con el mismo. Más tarde, con el desarrollo de la tecnología espacial, la **Percepción Remota** se definió como la radiación electromagnética emitida, reflejada y dispersa sobre la superficie de la tierra, medida a través de instrumentos colocados a una distancia definida con respecto al sitio de interés.

Esta emitancia y reflectancia espectral se registra y procesa de manera que puedan desplegarse en forma de imágenes digitales. En su definición más práctica, otros autores definen la **Percepción Remota** como la tecnología relacionada con la cartografía y monitoreo de las características y recursos de la superficie de la tierra a partir de datos obtenidos desde un sistema aéreo espacial.

1.2. Ventajas de la Percepción Remota

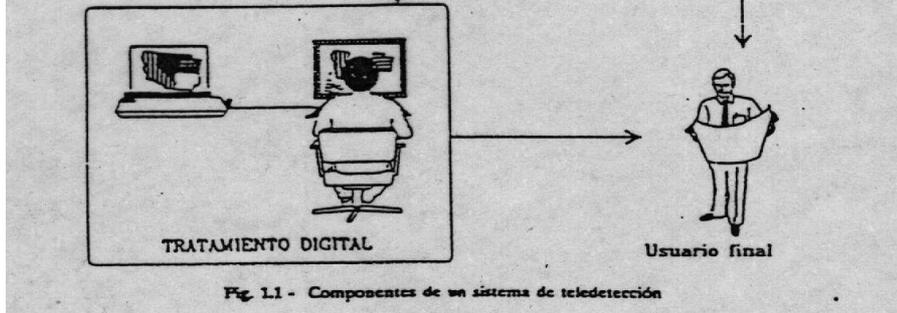
- Análisis en detalle de grandes áreas
- Reducción de costos de operación y tiempo requerido para el proceso de la información
- Cobertura global y periódica de los recursos
- Fácil y rápida la obtención de la información

- Homogeneidad en la toma de datos
- Información en regiones no visibles del espectro

II. PRINCIPIOS FISICOS DE LA PERCEPCION REMOTA

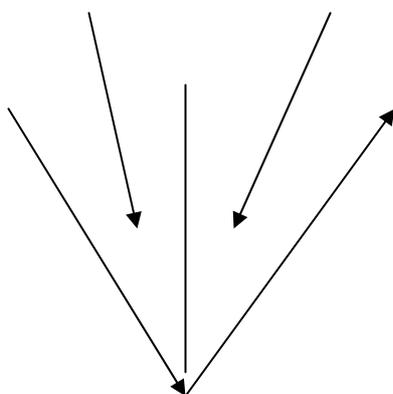
2.1. Fundamentos de la observación.

Los tres elementos principales de la Percepción Remota son; el sensor, el objeto observado y el flujo energético que permite poner a estos componentes en relación. El flujo energético es la energía radiante del sol ó puede ser en algunos casos del mismo sensor. Esta energía es absorbida en diferentes niveles por los diferentes objetos, de tal forma que la energía liberada (no absorbida), es captada por el sensor. Entonces, las tres formas de adquirir la información a partir de un sensor remoto son por **emisión, absorvancia y reflexión (Figuras 1 y 2).**

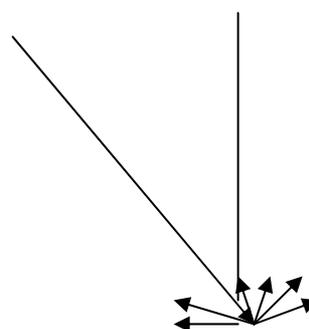


La cantidad de energía que llega al sensor depende del ángulo con que la superficie refleje la energía emitida y la posición del sensor. Esta geometría está relacionada con la fisiografía del terreno y determina dos tipos de superficie; **especulares** cuando refleja la energía con el mismo ángulo incidente y **lambertiana** cuando la energía se refleja uniformemente en todas las direcciones.

Ángulo incidencia Ángulo reflexión



Reflector especular



Reflector lambertiano

El ángulo de elevación solar y el ángulo de observación juegan un papel importante en la respuesta espectral obtenida por el sensor. Significa que es posible que el sensor registre un valor distinto de radianza espectral para un mismo tipo de cubierta, si varían las condiciones de observación ó de iluminación.

En resumen, el comportamiento espectral teórico para una cubierta, puede estar afectada por algunos de los siguientes factores;

- 1._ Ángulo de iluminación solar. Depende de la fecha del año y momento de paso del satélite.
- 2._ Modificación del relieve sobre el ángulo de iluminación (pendiente y exposición),
- 3._ Influencia de la atmósfera,
- 4._ Variación medioambiental y su efecto en el estado fenológico de la vegetación, homogeneidad y asociación con otras cubiertas.
- 5._ Ángulo de observación relacionado con la órbita del satélite y características del sensor.

2.2. Dominio óptico del espectro

Se refiere al grupo de longitudes de ondas directamente dependientes de la energía solar. El sol con una temperatura radiante de 6000 K, produce su máxima emitancia espectral en torno a los .048 Um asociado al color verde apreciado por el ojo humano. El sol presenta rangos de emitancia entre los 0.3 y 2 Um. La energía que recibe la superficie terrestre se descompone en tres términos;

$E_e = E_r + E_a + E_t$ donde;

E_e = Energía emitida

E_r = Energía reflejada

E_a = Energía absorbida

E_t = Energía transmitida

La proporción de la energía emitida que es reflejada, absorbida y transmitida depende de los elementos ó tipos de cubierta contenidas en la superficie terrestre.

2.2.1. Reflectancia de la Vegetación en el Espectro Óptico. El color verde en las plantas es causado por el pigmento clorofila, de manera que las variaciones y formas que presentan, juegan un papel importante en la absorción de la energía solar. Las plantas difieren en su capacidad para reflejar la energía electromagnética de tal forma que la caracterización espectral de las masas vegetales, presentan diversos problemas como consecuencia de los múltiples factores que influyen en la radianza final detectada por el sensor. Estas diferencias pueden deberse a la **estructura de la vegetación, forma, posición y contenido de humedad de la hoja, efectos fisiográficos y ambientales y condiciones de stress de la vegetación.**

Estudios realizados demuestran que las hojas aciculares tienden a mostrar una mayor absorbancia en la longitud del espectro visible con altos valores de reflectancia en el infrarrojo. El contenido de clorofila de las hojas insertadas en la parte superior de las plantas, cambia a través de los diferentes estados de desarrollo y es afectada cuando está expuesta a varias clases de stress natural e impactos antropogénicos.

Diversos estudios reportan el comportamiento espectral de la vegetación y el potencial de las imágenes de Landsat-TM para estimar características de la vegetación, debido a que el follaje de las plantas según el género, la especie, estado fenológico y salud, presentan un patrón de

absorbancia y reflectancia (firma espectral), en las regiones visibles e infrarrojas del espectro. La luz verde (longitud de onda dominante de la energía emitida por el sol) es reflejada por la planta mientras que la luz azul y roja es absorbida por la clorofila.

En general, se presenta una relación inversa entre la cantidad de vegetación y la reflectancia visible (0.4 a 0.7 μm) y mediana infrarroja (1.3 a 2.6 μm), debido a una alta absorción de los pigmentos de las hojas (clorofilas, xantofilas y carotenos) y una fuerte absorción del agua en las hojas. Al contrario, la reflectancia en el infrarrojo cercano (IC) tiene una relación directa con la cantidad de vegetación debido a la escasa o nula absorbancia, es decir, presenta una elevada reflectividad, disminuyendo paulatinamente hacia el infrarrojo medio (IM), debido a la estructura interna de la hoja, principalmente la capa esponjosa del mesófilo, con sus capas de aire internas que ejercen un papel protagonista al difundir y dispersar la mayor parte de la radiación incidente en esta banda del espectro (Figura 3.4).

De acuerdo con estudios realizados, las longitudes de onda roja e infrarroja están relacionadas estrechamente a la biomasa verde, índices de área foliar y cubierta aérea. No obstante, algunos reportes indican que no siempre se presenta esta relación con el aumento de biomasa en el caso de coníferas. Por ejemplo, se ha encontrado una respuesta plana de la banda IR mientras que otros investigadores han encontrado una respuesta inversa. Cuando la cubierta de vegetación es baja o heterogénea, el rasgo más relacionado con la respuesta espectral, es el suelo o brillantez del estrato vegetal bajo, modificado por la cantidad de cubierta que lo está cubriendo.

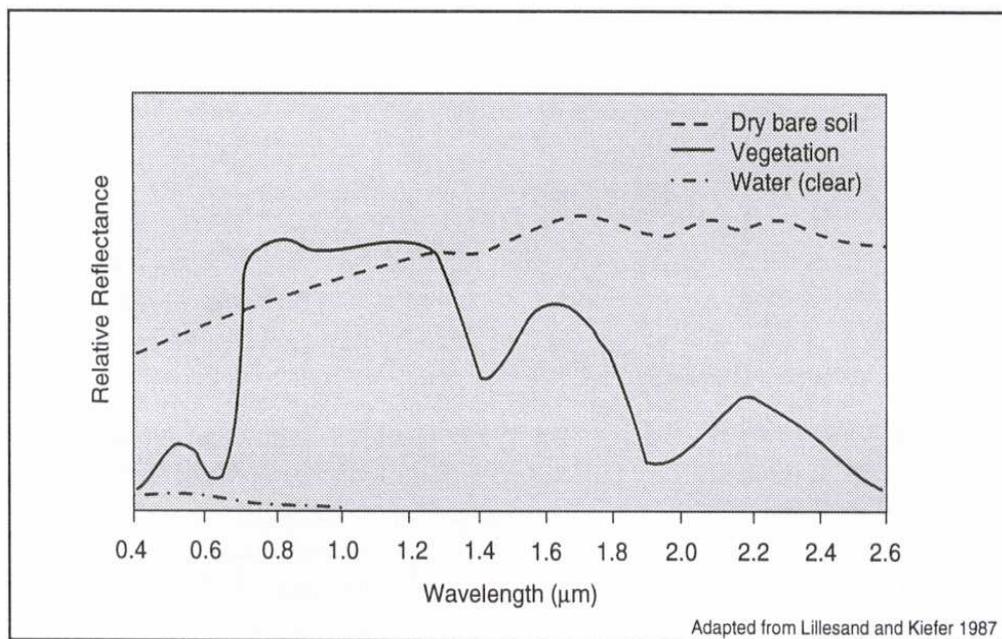


Figure 3-4: Typical Signatures for Bare Soil, Green Vegetation, and Clear Water

También las condiciones de estrés de la cubierta vegetal se manifiestan espectralmente, debido a los cambios morfológicos y fisiológicos de la vegetación que cambian el color del follaje, densidad, orientación y estructura de la cubierta vegetal, provocando un incremento en los niveles de reflectancia de las bandas visibles e infrarroja cercana de Landsat-TM.

2.2.2. Características del suelo en el espectro óptico. El comportamiento espectral del suelo desnudo, es más uniforme que el de la vegetación. Ya que muestra una curva espectral bastante plana y de carácter ascendente. La composición química del suelo es la causa del color dominante. Por ejemplo, los suelos calichosos muestran un color blanco con alta reflectividad en las bandas visibles, mientras que los suelos arcillosos muestran mayor reflectividad en el rojo, debido a los altos contenidos de óxido de hierro.

Dentro de las características físicas, la textura, la estructura y el contenido de humedad están asociadas a la respuesta espectral. Por ejemplo, un suelo arcillosos con un alto contenido de humedad, fuerte estructura y fina textura expresa una baja reflectividad, mientras que un suelo arenoso, debido a su débil estructura y bajo contenido de humedad presenta una alta reflectividad.

2.2.3. Características del agua en el espectro óptico.

Los cuerpos de agua son los elementos que mayor absorción realizan de la energía visible. La mayor reflectividad del agua se presenta en el azul y verde y se reduce hacia el infrarrojo. La profundidad del agua influye en el aporte de la reflectividad, entre más profundo un cuerpo de agua menor reflectividad y viceversa. Cuando el agua posee cantidades importantes de clorofila, la reflectividad tiende a descender del azul al verde, aspectos que permiten inferir en actividades para localizar bancos de algas o localización de áreas para realizar estudios de eutrofización de embalses. En aguas tranquilas, la superficie se comporta de modo especular, con valores de reflectividad muy variados.

2.2.4. Plataformas con características multispectrales. Entre las plataformas satelitales diseñadas para aplicaciones multispectrales, el sensor TM de Landsat colecta datos con un espectro mejorado y con gran capacidad espacial y radiométrica. Algunos investigadores lo describen como un sistema de mapeo, ya que disponen de un espejo rotatorio que escudriña la superficie de la tierra con trayectoria perpendicular al ecuador,

CUADRO 1. CARACTERISTICAS ESPECTRALES DE LAS BANDAS DE LANDSAT-TM 5.

Banda Núm.	Longitud onda (um)	Espectro Banda	Aplicaciones Principales
1	0.45-0.52	Azul	Diseñada para detectar cuerpos de agua y mapeo de litorales. Util para discriminar vegetación y Suelos. Mapeo de tipos forestales.
2	0.52-0.60	Verde	Mide picos de reflectancia para discriminar tipos de vegetación y evaluar vigor.
3	0.63-0.69	Rojo	Absorbe la clorofila y auxilia a diferenciar especies de plantas.
4	0.76-0.90	Cercana-infrarrojo	Uil para determinar vigor, tipos de vegetación y biomasa. Delimita los cuerpos de agua y discrimina tipos de humedad.
5	1.55-1.75	Media-infrarrojo	Indicadora de humedad en la vegetación y suelo. Separa la nieve de las nubes.
6	10.4-12.5	Infrarroja térmica	Se aplica en mapeo termal, discrimina humedad del suelo detecta stress en la vegetación.
7	2.08-2.35	Media infrarroja	Discrimina tipos de rocas y minerales. Es sensitiva para detectar contenido humedad en la vegetación el fuego.

Adaptado de Lillesand y Kiefer (1987).

con una órbita sincrónica con el sol en su viaje de polo a polo. El Cuadro 1 muestra las aplicaciones principales de las bandas espectrales de TM.

La anchura de la banda más pequeña corresponde a la resolución espectral más fina. Las primeras cinco bandas del sensor fueron diseñadas para detectar las propiedades biofísicas de la vegetación. Landsat ofrece salidas versátiles y una muy buena definición de los objetos del espectro en el marco de proyectos relacionados a la silvicultura, agricultura y geología.

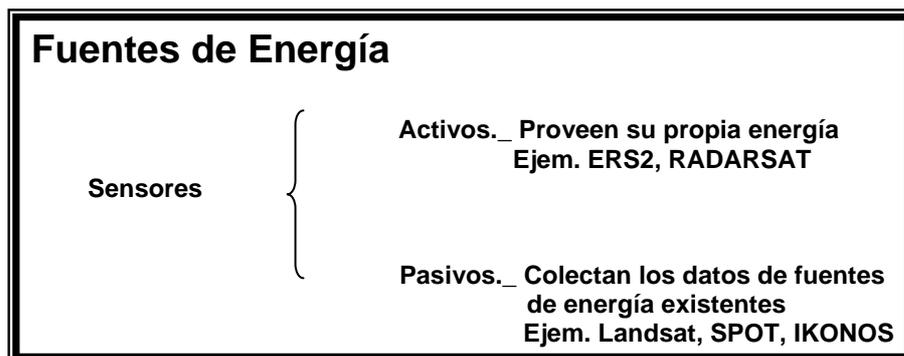
Cuando ciertos rasgos no pueden ser medidos directamente, los investigadores utilizan relaciones fundamentales de la variable bajo investigación y una segunda variable que puede ser medida por el sensor del satélite para desarrollar un modelo predictivo que obtiene la información deseada sobre la base de datos del sensor. Bajo procesos de alteración de las cubiertas vegetales, los datos digitales obtenidos por satélite, están disponibles para la misma área sobre una base repetitiva y pueden ser procesadas en forma rápida y consistente, gracias a las técnicas de análisis por computadora.

3.0. TIPOS DE SENSORES

De acuerdo a la forma en que se colecta la energía reflejada por los diferentes tipos de cubierta ubicados en la superficie terrestre, los sensores se clasifican en **pasivos**, cuando reciben la energía de un foco exterior a ellos (reflectancia) y **activos** cuando son capaces de emitir su propio haz de energía. En el primer tipo, se encuentran la mayoría de los satélites que captan las radiaciones del espectro invisible e infrarrojo, mientras que en el

segundo grupo se ubican los satélites radares que captan la radiación en la zona de las microondas.

Tipos de sensores



3.1. Tipos de resoluciones

La resolución de un sistema sensor se define como la habilidad para registrar y discriminar información de detalle. La separabilidad entre objetos está en íntima relación con la escala de trabajo y con la complejidad del paisaje. Como ejemplo, puede detectarse una carretera o río con anchura inferior al tamaño de un píxel, siempre y cuando exista suficiente contraste radiométrico.

El píxel es el tamaño de la mínima unidad de información incluida en la imagen. Una imagen de satélite está representada por una matriz de píxeles (formato raster) que cubre un territorio de acuerdo con la resolución del sensor y su mecanismo de barrido.

La resolución implica cuatro tipos;

Resolución espacial, resolución espectral, resolución radiométrica y resolución temporal.

3.1.1. Resolución espacial._ Se refiere al objeto más pequeño que puede ser distinguido sobre una imagen. Depende de la altura orbital, velocidad de exploración y número de detectores.

Hoy en día, los satélites disponen de resoluciones muy diversas, que varían desde 5 kms por píxel como el caso de los satélites geoestacionarios como GOES, METEOSAT, pasando por resoluciones de 1km como el caso de AVHRR, 30 m de LANDSAT TM, 10 m de SPOT, 5 m de IRS y hasta resoluciones submétricas como el caso de QUICKBIRD.

3.1.2. Resolución espectral._ Indica el número y anchura de bandas espectrales que puede discriminar el sensor (información multiespectral). Es conveniente considerar dos aspectos;

1), “trabajar” con un sensor que contenga el mayor número de bandas posible, ya que se facilita la caracterización de las diferentes clases y tipos de cubierta que existen en el terreno y, 2) las bandas deberán ser lo más estrechas posibles para coleccionar la información coherente a su rango espectral.

Hoy en día, Landsat TM continúa como uno de los únicos sensores con capacidad multiespectral amplia (7 bandas) y resolución espacial media (30 m píxel). Otros sensores como MODIS, disponen de una resolución espectral muy amplia (> 100bandas) pero con limitaciones en su resolución espacial (250-500 m píxel), al contrario de IKONOS y QUICKBIRD con resoluciones espaciales submétricas (< 1m píxel) pero con limitaciones en

su longitud de onda dado que disponen de tan solo 4 bandas dado que son plataformas de utilidad en estudios catastrales.

Los satélites utilizan solamente las porciones del espectro electromagnético permitido por los efectos de la atmósfera debido a que algunas porciones de ésta no es transparente en algunas longitudes de onda y por lo tanto, éstas pueden no ser detectadas por razones de difusión o de absorción.

La capacidad multiespectral de los sensores proporciona una perspectiva única para la observación y medición de las características biofísicas de la superficie terrestre y sus datos pueden ser colectados bajo diversas resoluciones temporales y espaciales, ofreciendo la oportunidad para el análisis de los diversos fenómenos en escalas globales, regionales y locales a través del tiempo conforme al avance de la resolución espacial.

3.1.3. Resolución radiométrica. Es la capacidad del sensor para detectar variaciones en la radiancia espectral que recibe. En fotografía convencional se expresa como el número de niveles de grises en el film mientras que en las imágenes de satélite se refieren a los niveles digitales (ND's), números digitales (ND's) ó valores de reflectancia gracias a una conversión analógico-digital realizada a bordo del satélite.

En el primer satélite comercial (Landsat MSS) lanzado en 1972, la codificación ofreció un rango de 128 niveles, pero hoy en día, la mayoría de los satélites ofrecen 256 niveles por píxel (1 a 255). Se ha cuestionado lo innecesario de utilizar los 256 ND's dado que el ojo humano tan solo percibe 64 niveles de grises que y no más de 200,000 tonalidades. Algunos autores

incluso, consideran adecuado 16 niveles por color (4096 tonalidades) para garantizar un análisis visual adecuado.

3.1.4. Resolución temporal.- este tipo de resolución se refiere a la frecuencia de cobertura que proporciona el sensor, ó la periodicidad con la que el satélite adquiere imágenes de la misma porción de la superficie terrestre. Los satélites meteorológicos de tipo geoestacionario como METEOSAT proporcionan imágenes cada 30 minutos mientras que los de órbita polar como NOAA las proporcionan cada 12 horas. Los satélites ópticos como Landsat tiene una frecuencia de 16 días mientras que SPOT registra las imágenes cada 26 días.

4.0. PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES DE SATÉLITE

Las técnicas de preparación ó procesamiento de las bandas de las plataformas satelitales, tienen como propósito compensar los errores sistemáticos ocurridos durante el proceso de adquisición de los datos, de tal forma que los niveles de corrección deseada, se ajustan a los objetivos de las aplicaciones. Además, el empleo de técnicas de procesamiento digital de las imágenes, permite obtener información adicional a partir de la imagen cruda. Para las fases de procesamiento, análisis digital, modelación y generación de los sistemas de información, es adecuado aplicar las siguientes técnicas de preprocesamiento:

4.1. Corrección atmosférica. La humedad y los diversos poluentes contenidos en la atmósfera, pueden provocar distorsión en los registros de los niveles de energía electromagnética en términos de intensidad y longitud de onda, lo cual repercute en la calidad de la imagen de satélite. En algunos

casos en las que las imágenes no presentan alteraciones evidentes, se ajustó el histograma de la imagen para mejorar o resaltar los rasgos facilitando así el análisis visual. Como ejemplo, el programa SIG de IDRISI KILIMANJARO, ejecuta esta rutina a través del comando STRETCH (Realce).

4.2. Corrección geométrica. La posición de los rasgos en la imagen cruda, no siempre se relacionan con sus coordenadas en el terreno o en los mapas. Este fenómeno conocido como distorsión geométrica, es debido a factores inherentes tanto a las variaciones en altitud y velocidad del sensor, como a los efectos de la curvatura de la tierra y los desplazamientos por relieve del terreno. No obstante, los errores geométricos pueden ser removidos asociando los datos de la imagen a un sistema de coordenadas de mapas y/o rasgos identificados en el campo. Para rectificar la geometría de una imagen utilizando como ejemplo el sistema de referencia UTM, es necesario identificar N puntos de control terrestre (PCT) a partir de rasgos de intersección de caminos, puentes y otros rasgos no temporales. Los mismos puntos ubicados en la imagen, se asocian a los mismos PCT ubicados con precisión en las cartas topográficas escala 1:50,000, procurando la menor ambigüedad posible.

4.3. Utilización de subescenas de la imagen. Debido al gran tamaño de las imágenes originales, para el análisis espectral de los elementos ó variables de interés debe basarse en subescenas de acuerdo a los objetivos de los estudios. Este proceso permite optimizar el almacenamiento de los

datos y memoria de la computadora, acceso y procesamiento rápido de las rutinas y una mayor atención hacia las áreas de interés. Para la mayoría de los estudios de caso, se observa la utilización de subescenas (ventanas) cortadas de la imagen original, cuyos tamaños varían de acuerdo al tamaño del área de interés.

4.4. Selección de las bandas. El gran volumen de datos que proporcionan las bandas del satélite, provoca un problema en el análisis e interpretación de las mismas, lo cual exige diseñar un camino para el manejo eficiente de la información. A menudo las bandas se encuentran correlacionadas debido a que presentan valores similares de reflectancia entre bandas, creando información redundante, por lo que la reducción de los datos constituye un paso importante para un proceso eficiente de la imagen. De hecho, la selección de las bandas más efectivas para una aplicación específica es un requisito básico para el procesamiento de imágenes. La figura 2 presenta un algoritmo de procesamiento de imágenes de satélite.

V. GENERACIÓN DE IMÁGENES COMPUESTAS Ó ESPACIOMAPAS

Este método de procesamiento ha demostrado su importancia en estudios diversos. Son comunes los reportes de la eficiencia de la composición en falso color (CFC) conformada por las bandas 2, 3 y 4 asignadas a los canales azul, verde y rojo respectivamente, para identificar áreas agrícolas, áreas ribereñas y cuerpos de agua y manantiales. Esta combinación es conocida como clasificación clásica o convencional. Otra combinación en falso color utiliza las bandas 3, 4 y 5 y composiciones en color verdadero (CCV) formadas por las bandas 1, 2 y 3.

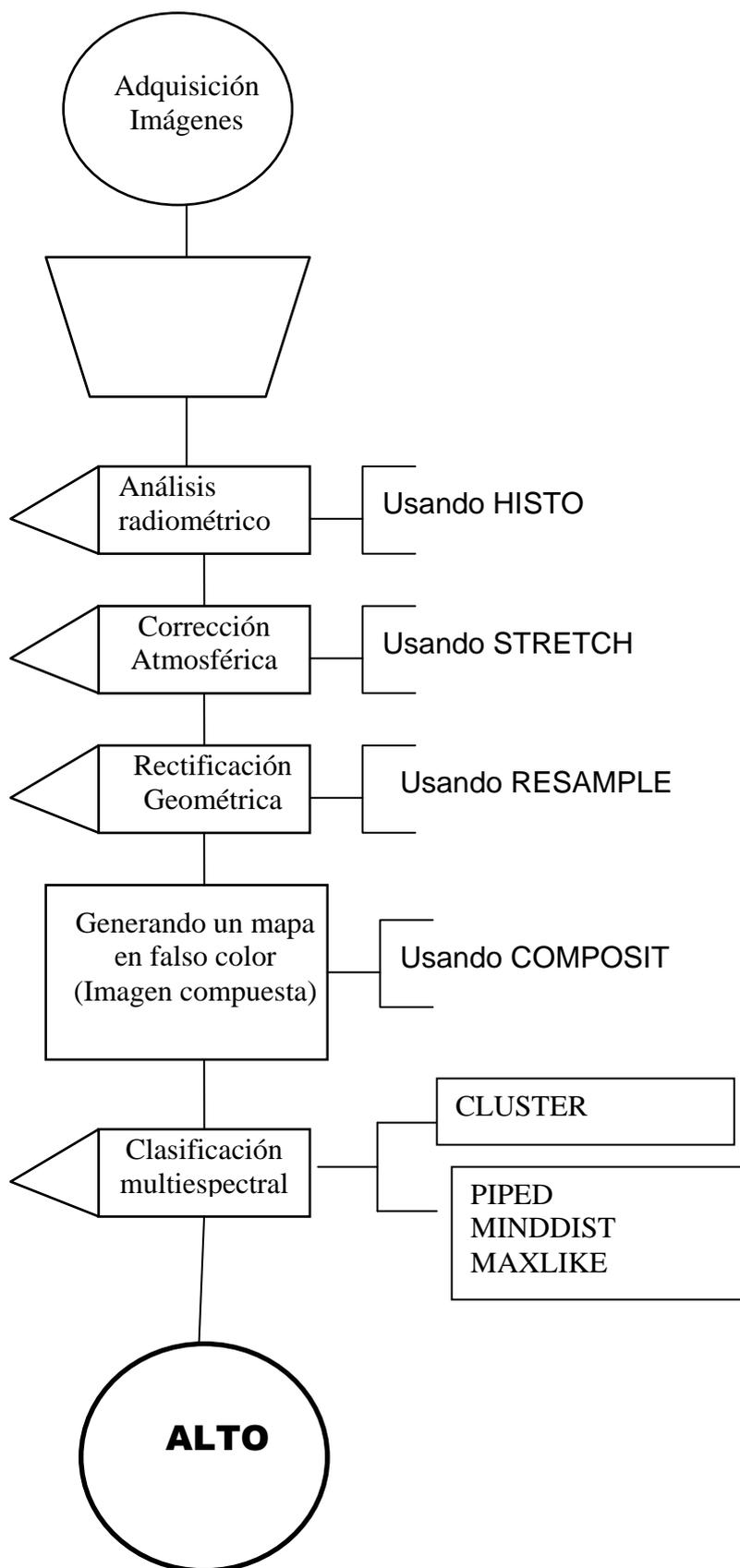


Figura 2. Algoritmo de procesamiento de imágenes de satélite

En estudios de cubierta forestal, se reporta que la composición de las bandas 1, 4, y 5 proporcionó la mejor discriminación visual y la mayor información con la menor duplicación, incluyendo también las combinaciones 2, 4 y 5 y las bandas 3, 4 y 5. Con respecto a esta última combinación, algunos autores reportaron su utilidad en estudios de los tipos de cubierta en un bosque templados en donde se resalta la precisión aceptable de esta combinación para la clasificación de los recursos naturales. En general, se recomienda el uso de una banda para cada una de las longitudes de onda. Algunos autores sugieren que la combinación de la banda 5 con cualquiera de las bandas de Landsat-TM, produce resultados satisfactorios de clasificación.

El Servicio Forestal de Canadá recomienda las bandas 2, 3 y 4 en los canales azul, verde y rojo respectivamente, para diferenciar la vegetación decídua, los cuerpos de agua, caminos, cortas para extracción de madera e identificación de los dos últimos niveles de regeneración de los bosques. Leckie (1990) encontró que el uso de las bandas infrarrojo cercana y infrarroja mediana fueron importantes para distinguir los bosques maduros de los bosques jóvenes, mientras que las bandas visibles y medianas infrarrojas fueron útiles para discriminar áreas abiertas de la vegetación dispersa, moderada y densa en áreas forestales. Para detectar humedales, EOSAT (1987) recomienda la combinación de las bandas 3, 4 y 5 por su extrema sensibilidad a la humedad y a las diferencias existentes entre tipos de vegetación.

VI. GENERACIÓN DE MAPAS A TRAVÉS DE TÉCNICAS DE CLASIFICACIÓN MULTIESPECTRAL

6.1. Mapeo de tipos de cubierta. El número de tipos de cubierta que pueden ser clasificados sobre una imagen de satélite es grande, pero aún no se conoce la cantidad adecuada. Para esto, diversos autores señalan que dependen no solo de los datos, los métodos, la localización del estudio, el propósito de la clasificación y el objetivo del analista, sino también del tipo de vegetación o ecosistema.

De acuerdo a diversos autores, la clasificación de imágenes puede ser del **tipo no supervisado y supervisado**. El objetivo de estos procedimientos es el de categorizar todos los píxeles de una imagen en clases o tipos de cubierta, separadas por medio de una o más bandas individuales, o bien utilizando algoritmos estadísticos multivariados para conformar la clasificación, como el caso de la aplicación de CLUSTER del método no supervisado.

6.2. La clasificación no supervisada utiliza el análisis de **cluster** (análisis de ráncimos) para distinguir diferencias en valores de reflectancia a través del conjunto de bandas, originando una clasificación a partir de patrones de reflectancia, sobre la base de un conjunto de reglas y algoritmos, sin ningún conocimiento previo de las clases de cubierta. En esta clasificación, la medida de distancia define la distancia euclidiana de un punto a cierto cluster (nube de puntos). Si las distancias superan un cierto valor, de manera que el punto no pertenece a alguno de los clusters, el píxel no es clasificado.

6.3 En la clasificación supervisada se trabaja a partir de áreas de entrenamiento, las cuales son sitios de cubierta conocida seleccionadas por

el usuario. El proceso se realiza a través del análisis de patrones de reconocimiento espectral, que involucran a la familia de procedimientos de clasificación que utilizan esta información espectral de pixel por pixel, como una base para la clasificación automatizada de cubiertas de la tierra.

Cada pixel es asignado a la imagen de acuerdo a las categorías de cubierta de la tierra descritas por las áreas de entrenamiento. Según Richards (1986), los criterios más comunes para asignar cada uno de los píxeles de la imagen a una de las clases previamente seleccionadas son; **clasificador de distancias mínimas a las medias**, descrito como la media o promedio del valor espectral para cada banda en cada categoría, en donde la distancia de un nuevo punto a las medias es calculado; **clasificador del paralelepípedo**, que permite señalar al usuario las áreas de dominio para cada clase y finalmente, el **clasificador de máxima probabilidad**, también denominado **clasificador Gaussiano**, que evalúa cuantitativamente la varianza y la covarianza de los patrones de respuesta espectral de los píxeles desconocidos que se están clasificando.

Para cada cluster, las elipses son extendidas alrededor de la media, asumiendo una distribución de probabilidad Gaussiana. Lo anterior significa que una función de probabilidad multidimensional es evaluada para determinar la probabilidad de que cualquier pixel pertenezca a una clase dada, utilizando además de la distancia al centroide, las relativas dispersiones, asignando el pixel a la clase asociada con el más alto valor de probabilidad.

VII. TRANSFORMACION DE IMAGENES

Este proceso mejora la disposición de datos a partir de las combinaciones o tratamientos de las bandas originales para facilitar la discriminación de elementos temáticos dentro de la imagen. Las nuevas bandas creadas provienen de una combinación lineal de las originales. Entre las principales transformaciones están los **cocientes ó índices de vegetación y el análisis de componentes principales.**

7.1. Cocientes ó índices de vegetación. Con el propósito de mejorar la discriminación entre suelos y vegetación y reducir el efecto de la pendiente en la caracterización espectral de distintas cubiertas, este proceso implica realizar una división, píxel a píxel, entre los ND's almacenados en dos ó más bandas de la misma imagen.

Los índices se fundamentan en que la vegetación sana muestra un claro contraste entre las bandas visibles (principalmente la roja) y las comprendidas en el infrarrojo cercano.

En la región visible los pigmentos de la hoja absorben la mayor parte de la luz que reciben, mientras que en el infrarrojo cercano estas sustancias son transparentes. Por esta razón, la vegetación sana ofrece baja reflectividad en la banda roja del espectro y alta en el infrarrojo.

En este principio se basan los índices de vegetación, en combinación de la banda roja y la infrarroja cercana. La figura 3 presenta los diversos índices de vegetación, los cuales son mostrados en el módulo de IDRISI.

7.2. Utilidad del análisis de componentes principales (ACP) en los estudios de vegetación.

Para un mejor conocimiento de la interacción de todos y cada uno de los factores que interactúan en un ecosistema dado, el análisis multivariado se utiliza para analizar al mismo tiempo todos esos factores. En sensores remotos, la utilización de todas las bandas proporciona una reducida discriminación de los objetos en el terreno, en comparación a la selección

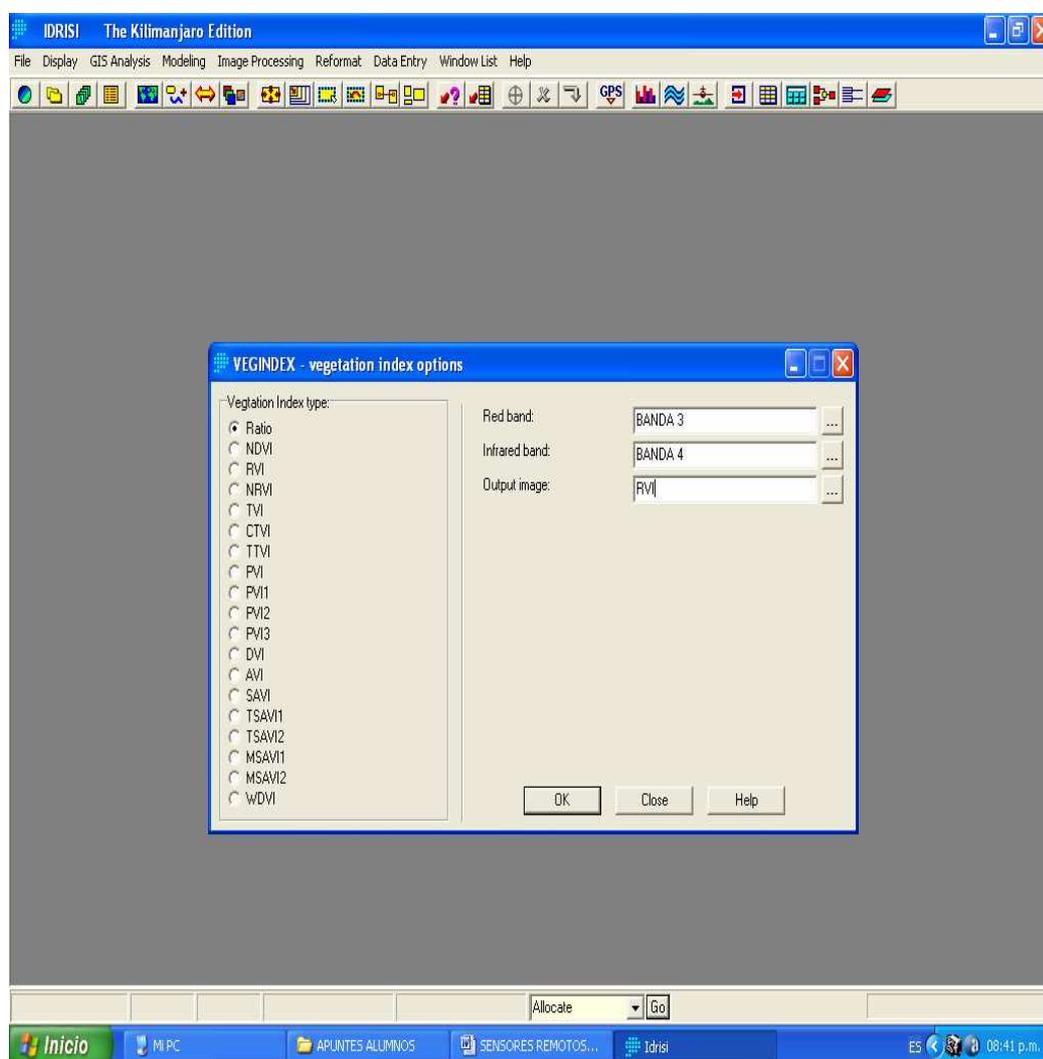


Figura 3. Ruta de acceso a VEGINDEX de IDRISI para generar índices de vegetación.

cuidadosa de tres o cuatro bandas, por ello, en forma general los analistas optan por reducir el número de bandas mientras se mantiene el nivel de discriminación. El ACP permite descorrelacionar los datos de las bandas y obtener componentes en una nueva imagen, produciendo el más grande contraste de los objetos en el terreno. Los ACP permiten sintetizar las bandas originales, creando nuevas bandas que recojen la mayor parte de la información original. De hecho, el ACP transforma el sistema de variables originales en variables ortogonales y de varianza descendente.

La transformación de datos a partir de ACP se reconoce como una técnica efectiva para mejorar las imágenes multiespectrales. Algunos investigadores la utilizan para realzar el análisis visual de composiciones coloreadas, mientras que otros utilizan esta técnica posterior a la clasificación con el propósito de lograr una mejora en la separación de las clases de cubierta vegetal, principalmente cuando algunas clases se encuentran confundidas entre sí.

VIII. EVALUACION DE LA PRECISION (Confiabilidad) DE LOS MAPAS

El conocimiento de la confiabilidad y evaluación de la precisión de los mapas y productos cartográficos, es reconocido como una necesidad para sustentar el uso de la información de estos productos cartográficos. El conocer la confiabilidad de un producto cartográfico permite al usuario del mapa valorar su grado de acuerdo con la realidad o el riesgo que asume, al tomar decisiones sobre la información representada en un mapa.

La confiabilidad de un mapa depende de tres factores fundamentales;
_ experiencia y habilidades del interprete y calidad de los insumos,

- _ captura de datos espectrales (digitalización de los campos de entrenamiento, por ejemplo) y,
- _ representación de los datos en un mapa.

La evaluación de la confiabilidad consiste en comparar el mapa con información considerada más confiable. Generalmente se basa en un muestreo de sitios de verificación cuya clasificación se obtiene a partir de observaciones de campo o del análisis de imágenes más detalladas.

La confrontación entre las clases cartografiadas y las clases determinadas para los sitios de verificación permite evaluar la confiabilidad del mapa y conocer las principales confusiones que presenta. El módulo de ERRMAT de IDRISI permite estimar la confiabilidad de un mapa generado (Figura 4).

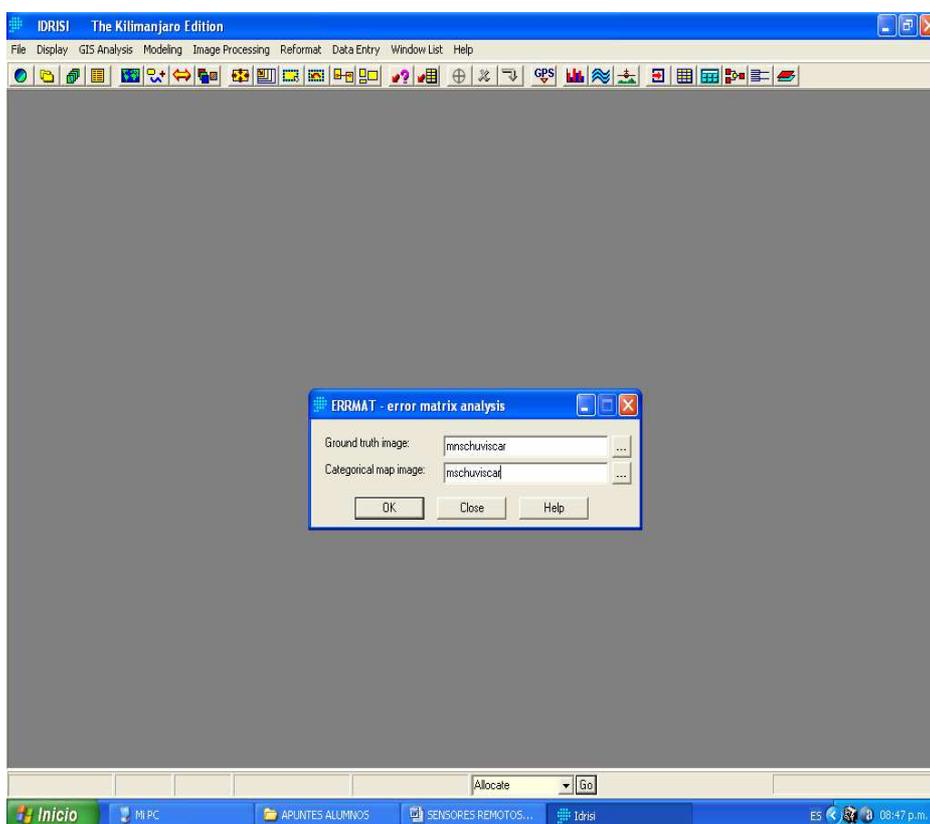


Figura 4. ERRMAT de IDRISI para estimar la confiabilidad de un mapa generado.