

# Diplomado en Análisis de Información Geoespacial

Análisis de datos tipo raster

**Autores:**

**M. en G. Daniel M. López López**

**M. en G. Aura C. Torres Gómez**

## Introducción

Las imágenes registradas por los sensores de un satélite pueden tener errores en la geometría y en los valores del brillo de los píxeles; éstos se conocen como distorsiones geométricas y radiométricas, respectivamente. Mismos que requieren ser corregidos para obtener un análisis fidedigno de los datos.

### 1. Distorsiones geométricas

Muchos factores contribuyen a las distorsiones geométricas en una imagen de satélite; en general están relacionados con el objeto, el sensor y la plataforma.

Los factores vinculados al objeto consideran la rotación y la curvatura de la Tierra durante el barrido de la imagen. Los factores ligados al sensor están determinados por su geometría de visión, que puede modificar el carácter de los datos de la imagen a través de una combinación de componentes mecánicos, eléctricos y ópticos. Los factores propios de la plataforma se refieren a su posición y orientación en el espacio.

De acuerdo con su naturaleza, las distorsiones geométricas se pueden agrupar en dos categorías: sistemáticas y aleatorias.

Las sistemáticas se comportan de manera predecible, generalmente, es posible describirlas con precisión a través de las matemáticas y pueden ser eliminadas mediante procesos de rectificación; es el caso de las distorsiones causadas por la rotación y curvatura terrestre.

Por su parte, las distorsiones aleatorias son impredecibles y no pueden ser completamente removidas, aunque es posible corregirlas de manera aceptable, como en el caso de aquellas que se originan en la plataforma.

## **Corrección geométrica.**

Las imágenes adquiridas remotamente por satélite o aeroplanos son representaciones de la superficie irregular de la Tierra. Aún las imágenes de áreas planas están distorsionadas, tanto por la curvatura terrestre como por el sensor utilizado. Por lo tanto, las imágenes de teledetección no son mapas ni poseen escala, y muchas de las aplicaciones de la percepción remota requieren que los datos estén referidos a una base geográfica que permita localizar los valores de reflectancia correspondientes a un determinado punto del terreno.

**Registro de imágenes.** Es el proceso que consiste en crear una imagen conforme a otra. Se trata de alinear diferentes imágenes de una misma escena adquiridas en épocas distintas, con ángulos y/o sensores diversos. En percepción remota, el registro de imágenes se utiliza en tareas como la detección de cambios, fusión de imágenes y superposición de imágenes. Este mecanismo no requiere siempre de un sistema de coordenadas de mapa.

**Rectificación.** Mecanismo mediante el cual se remueven las distorsiones geométricas de la imagen. Se espera que la rectificación proporcione a la imagen de salida la proyección y orientación deseada, así como una escala uniforme. Dado que en este caso sólo se remueven los errores sistemáticos, algunos autores prefieren el término georreferenciación.

**Georreferenciación.** Permite asignar coordenadas de mapa a una imagen, la cual puede estar proyectada al plano deseado, pero no referenciada. La georreferenciación convierte los datos de un sistema GRID a otro con una transformación geométrica. En este proceso se modifica el valor digital de los píxeles según el algoritmo de remuestreo; su objetivo es que la imagen resultante o los productos de su proceso se

puedan representar sobre una superficie plana, y así combinarlos con otra información geográfica existente.

La georreferenciación es esencial y precede a otros procesos, tales como:

- Detección de cambios
- Desarrollo de bases de datos de SIG - Modelaje
- Identificación de muestras de entrenamiento en un mapa
- Superposición de vectores a una imagen
- Comparación de imágenes a escala diferente
- Extracción de distancias y áreas exactas
- Mosaico de imágenes

**Ortorrectificación – Orto - georreferenciación.** Es una forma de rectificación que corrige el desplazamiento causado por el relieve, la cual necesita de un modelo digital de elevación.

La georreferenciación de una imagen involucra tres pasos fundamentales:

- a) Localizar puntos de control terrestre (GCP). Consiste en buscar dentro de una imagen los puntos cuyas coordenadas geográficas son conocidas (a partir de un mapa o de una imagen rectificadas), lo cual permite calcular una transformación que obtenga la proyección de los datos en un plano, conforme a un sistema de proyección cartográfico. Estos son los puntos de control (Ground Control Points o GCP, por sus siglas en inglés), cuyo número depende del tamaño y la complejidad del relieve en la imagen.
- b) Calcular las funciones de transformación. La relación entre el sistema de coordenadas de la imagen y el de la realidad se construye mediante una transformación, es decir, una regresión lineal múltiple.

c) El remuestreo. Las transformaciones anteriores permiten calcular la posición geométrica correcta de cada píxel, pero los valores radiométricos en la imagen de salida aún no están resueltos. ¿Cómo llenar la matriz corregida? Lo más práctico es que el píxel de la imagen nueva se sitúe entre varios píxeles de la imagen original. Para ello existen tres métodos de remuestreo que permiten estimar el valor radiométrico a partir de los valores de los píxeles vecinos.

- **Vecino más cercano.** En la imagen original, toma el valor del píxel más cercano a las coordenadas calculadas. Es un método rápido que asegura la existencia del valor del píxel; su desventaja está en que introduce rasgos no lineales, como fracturas en las líneas rectas. Por otra parte, este es el único método aplicable a las imágenes clasificadas, ya que en ese caso no se permite realizar promedios de los valores existentes.
- **Interpolación bilineal.** Se interpola el valor de los cuatro píxeles más cercanos al punto calculado. Ofrece un resultado más suave.
- **Interpolación bicúbica:** Es el método más complejo, pero el que proporciona la imagen más natural. Se sustenta en un ajuste a partir de un polinomio de tercer grado y toma los 16 píxeles más cercanos. Si se planea clasificar la imagen, se recomienda realizar este proceso de rectificación geométrica posteriormente, debido a que el remuestreo puede alterar el contenido real de los datos proporcionados por el sensor.

## Exactitud en la georreferenciación de la imagen

Una vez que se aplican las ecuaciones de transformación, se genera un conjunto de coordenadas estimadas, que tienen su correspondencia con el conjunto de coordenadas observadas (tomadas del mapa o imagen de referencia).

Estos conjuntos de coordenadas deben ser idénticos, si no es así se deberá, entre otros factores, a la precisión en la localización de los puntos de control y la calidad de la fuente. La diferencia en los conjuntos de coordenadas se denomina residual de rectificación, que raramente es igual a cero. El análisis estadístico de este residual genera un indicador de exactitud denominado error mínimo cuadrático. No hay una guía teórica que defina el valor mínimo aceptable de este indicador, pero se recomienda que no exceda un pixel. La exactitud de la rectificación de la imagen puede verse afectada por los siguientes factores:

- La cantidad y confiabilidad de los puntos de control, que a su vez dependen de la calidad de la fuente.
- La precisión en la localización de los puntos de control.
- El orden de transformación empleado.

### **Distorsiones radiométricas**

Las imágenes de la superficie terrestre obtenidas remotamente se toman a gran distancia de la Tierra. Como resultado, hay un gran trayecto que la radiación electromagnética debe recorrer antes de alcanzar el sensor.

Dependiendo de la longitud de onda involucrada y de las condiciones atmosféricas, la energía recibida por el sensor puede ser sustancialmente modificada. Consecuentemente, una gran variedad de distorsiones aleatorias o aparentemente sistemáticas se puede combinar para degradar la calidad de la imagen que finalmente recibimos. Estas distorsiones se pueden dividir en dos grupos.

#### **a) Distorsiones provocadas por el sensor**

- **Píxeles y líneas con ruido.** Un mal funcionamiento del sensor o de la antena receptora puede provocar la pérdida de píxeles o la aparición de algunas líneas en la imagen. Durante una visualización, la imagen presentará una serie de líneas anómalas (negras o blancas) o píxeles aislados de aspecto similar (ver figura 1).

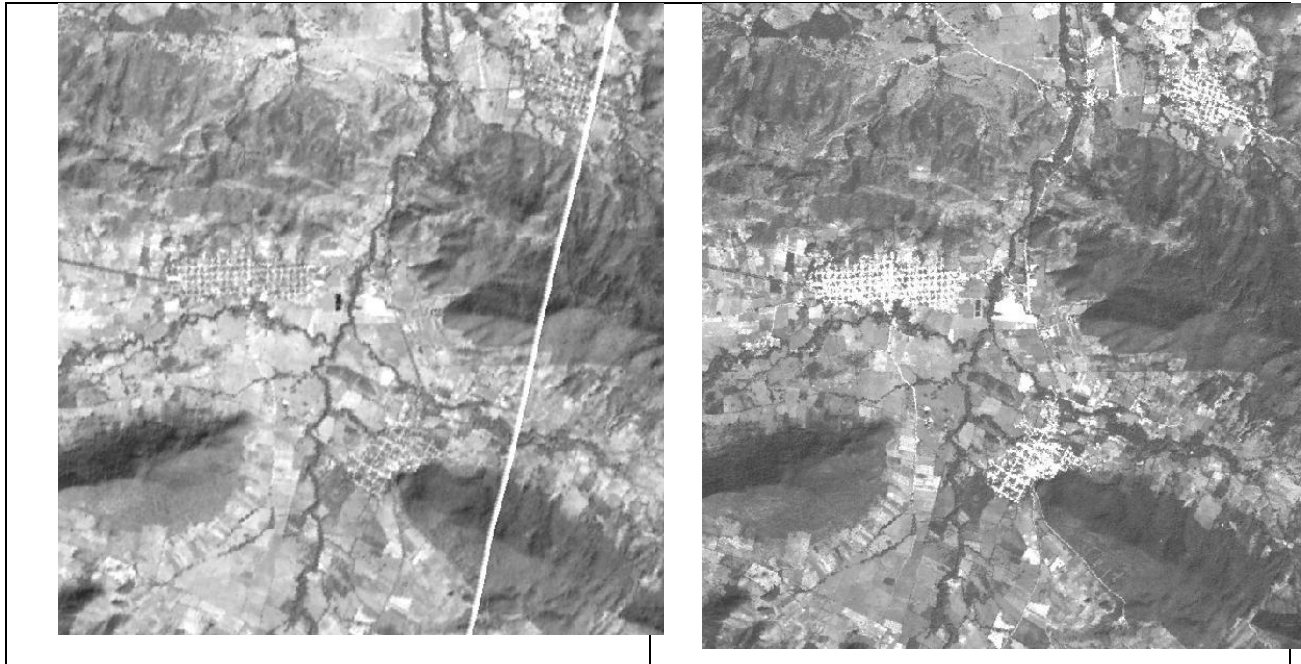


Figura 1. López, D. (2013) Líneas con ruido, imagen SPOT, banda 3. A la derecha, la banda 2 no presenta la anomalía.

- **Efecto de bandeo.** En algunas imágenes obtenidas con equipos de barrido secuencial se observa un bandeo en la imagen, especialmente perceptible en las zonas de baja radiancia. El bandeo por franjas ocurre cuando uno o varios detectores se desajustan para una o múltiples bandas. El patrón horizontal que se observa en las imágenes es generado por los barredores electro-mecánicos, como Landsat MSS y TM, y se repite con valores consistentemente altos o bajos de brillo. La figura 2 ilustra este tipo de error.

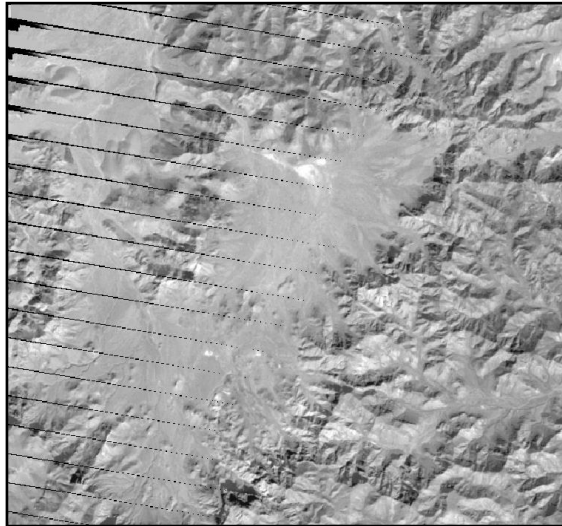


Figura 2. López, D. (2013). Bandeamiento en imagen Landsat-TM, banda 4, imagen p35r42; Baja California Sur, México.

## b) Distorsiones provocadas por la atmósfera

El contenido de aerosoles y vapor de agua en la atmósfera causa un efecto de dispersión que provoca un incremento en la radiancia detectada con un sensor. Lo anterior implica que la atmósfera afecta de dos maneras la radiancia medida en cualquier punto de una escena:

- Atenúa o reduce la iluminación de la superficie terrestre.
- Añade energía extra a la detectada por el sensor.

## 2. Mejoramiento de la imagen

En una imagen digital, los objetos de interés (patrones) no siempre se encuentran con la evidencia deseada, de tal forma que es necesario realizarlos antes de proceder a una transformación. Debido a esto, al conjunto de procesamientos de la imagen se le conoce como realce de patrones o mejoramiento.



El mejoramiento se refiere a cualquier operación que trata selectivamente porciones de la imagen, definida espacial o espectralmente, con el fin de facilitar la interpretación visual o el análisis digital de características específicas y dependerá del problema específico a resolver.

Los métodos para la mejora de una imagen se pueden dividir en dos: **métodos en el dominio de las frecuencias y métodos en el dominio espacial**. Los primeros modifican la transformada de Fourier de la imagen, mientras que los segundos se basan en la manipulación directa sobre los píxeles

Normalmente, el mejoramiento de la imagen involucra técnicas para incrementar la discriminación visual entre las características de una escena. El objetivo es crear imágenes nuevas con los datos originales para aumentar la cantidad de información que puede ser interpretada visualmente a partir de los datos.

### **Mejoramiento del contraste**

Un sistema de sensoramiento remoto, particularmente los sensores ubicados en plataformas satelitales que tienen una cobertura global, registra información en un rango amplio de condiciones, desde radiancias muy bajas (océanos, ángulos de elevación solar bajos, altas latitudes) hasta radiancias muy altas (nieve, arena, ángulos de elevación solar alto, bajas latitudes).

Por lo anterior es deseable tener tantos bits/píxel (buena resolución radiométrica) como sea posible. Sin embargo, cuando se trata de una escena en particular, su rango será mucho menor que el establecido en el diseño; cuando la imagen se convierte a NDs usa sólo una porción del rango de cuantización (generalmente 8 bits/píxel). Por ello se han

diseñado técnicas dirigidas a mejorar la calidad visual de la imagen, las cuales no se recomiendan para realizar el análisis cuantitativo.

El mejoramiento del contraste consiste en un mapeo a partir de los datos originales (ND) a un espacio de despliegue, en el que cada ND de la imagen de entrada se transforma a través de una función de mapeo, a un espacio de despliegue en la imagen salida.

Visualmente el efecto es claro, al observar que no hay una diferencia sustancial entre los tonos más claros y más oscuros. Mediante distintas operaciones matemáticas podemos transformar esos valores de grises en otros con un rango mayor, que se adapten plenamente a la capacidad del dispositivo de visualización.

Algunas transformaciones típicas se muestran en la figura 3. En las figuras 4 y 5 se ilustran una expansión lineal y una ecualización del histograma, respectivamente.

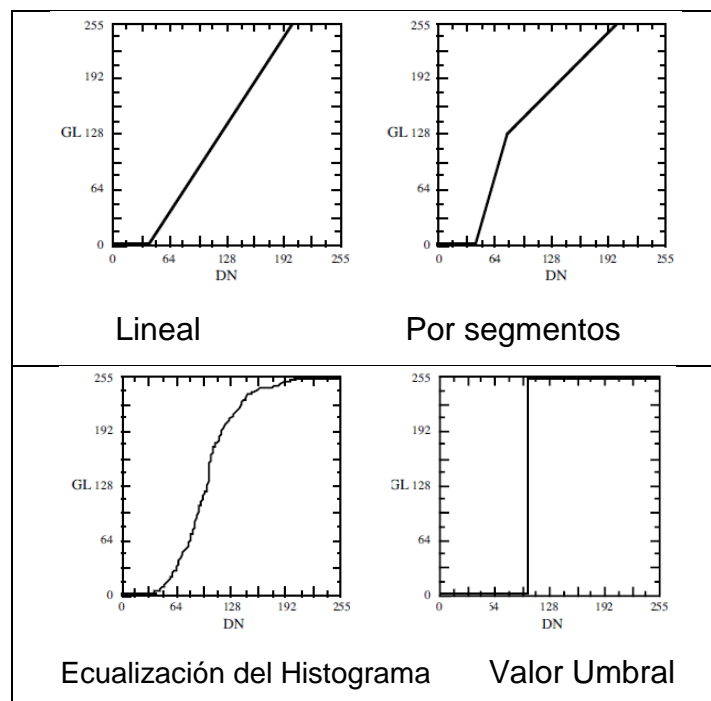


Figura 4. Schowengerdt, R. (2007). Tipos de transformaciones de ND a niveles de gris (GL) para mejorar el contraste. La pendiente local de la transformación representa la ganancia aplicada a cada ND.

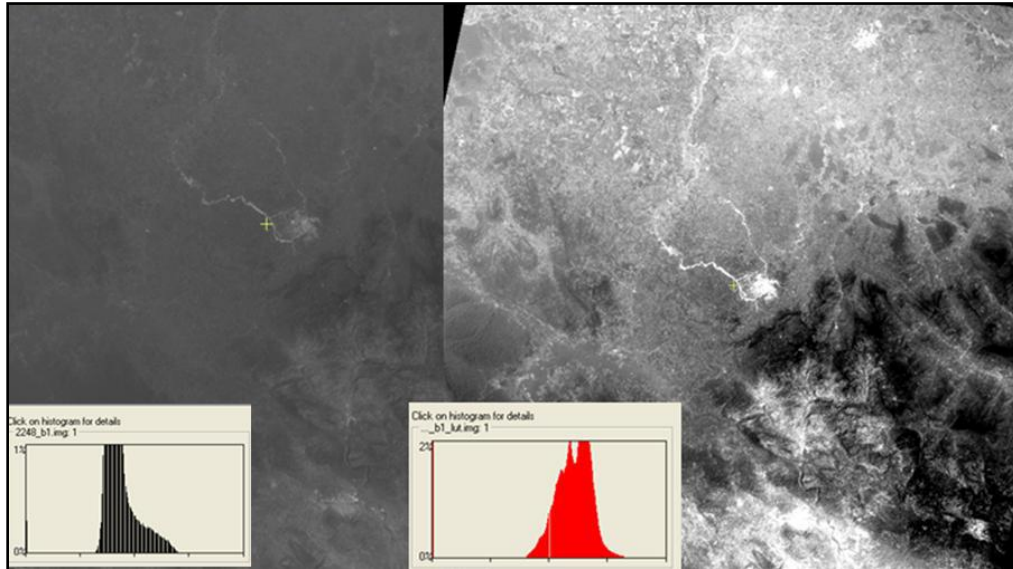


Figura 4. López, D. (2013). Imagen Landsat - TM banda1, original (izquierda) y con expansión lineal (derecha), con su histograma correspondiente.

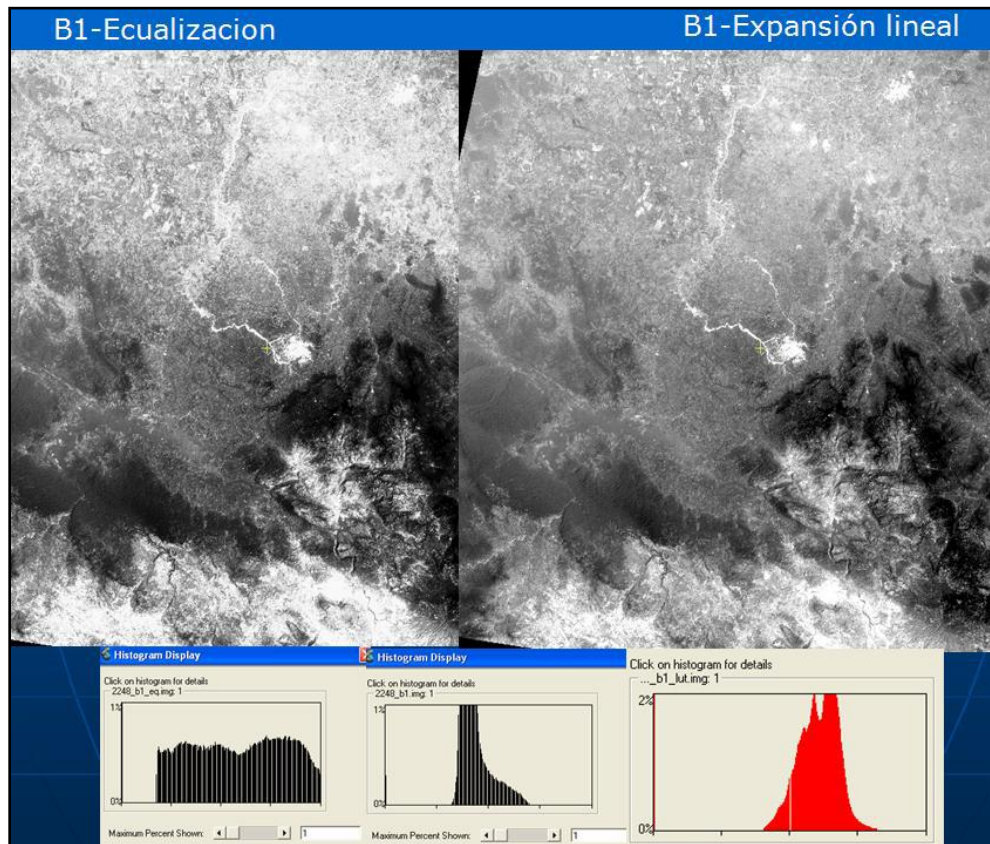


Figura 5. López, D. (2013). Imagen Landsat - TM banda1, expansión lineal vs ecualización, con su histograma correspondiente. El histograma de la imagen original se muestra en el centro.

## Transformaciones espectrales

Esta categoría incluye, entre otros, los siguientes procesos: cociente y sustracción de imágenes, índices espectrales y componentes principales.

- **Cociente de imágenes**

Se trata de las mejoras que resultan de la división de los ND de una banda espectral por otra. Una de las principales ventajas de esta técnica es que la imagen resultante conserva las características espectrales de las imágenes originales, no las variaciones en las condiciones de iluminación. El rango dinámico del cociente de imágenes es

menor que el de las originales, debido a que los valores extremos de radiancia causados por la topografía se eliminan. Por lo tanto, el contraste de reflectancia entre los distintos objetos de la superficie puede mejorar utilizando composiciones a color de diferentes cocientes de la imagen.

Los cocientes multiespectrales de las bandas del visible y del infrarrojo cercano pueden mejorar las diferencias entre el suelo y la vegetación, por ejemplo: los suelos y materiales geológicos exhibirán valores del cociente cercanos a uno, mientras que la vegetación mostrará valores de dos o mayores.

La utilidad de un cociente depende de las condiciones de reflectancia del rasgo particular involucrado en el análisis. Esta técnica es útil para mejorar la discriminación entre suelos y vegetación, y reducir el efecto del relieve (pendiente y orientación) en la caracterización espectral de distintas cubiertas.

- **Índices espectrales**

Son operaciones entre bandas que intentan enfatizar alguna variable de interés: vegetación, agua o minerales. Su diseño se apoya en el comportamiento radiativo de dichas variables con el objetivo de maximizar su separación del resto.

La imagen resultante es de tipo cuantitativo y puede servir como insumo para otros modelos.

- **Índices de vegetación**

De forma genérica, se puede definir un índice de vegetación (IV) como un parámetro calculado a partir de los valores de la reflectividad a distintas longitudes de onda, el cual pretende extraer la información relacionada con la vegetación, minimizando la influencia

de perturbaciones relacionadas con el suelo y las condiciones atmosféricas (Gilabert M.A. et al., 1997).

También es posible decir que, aproximadamente, 90% de la información relativa a la vegetación está contenida en las bandas de rojo e infrarrojo cercano. Por este motivo, la definición de los IV se ha restringido a combinaciones en estas dos bandas: la roja, fuertemente ligada al contenido de clorofila, y la infrarroja, controlada por el índice de área foliar (LAI) y la densidad de la vegetación.

En este caso se parte del siguiente principio general: *cuanto mayor sea el contraste entre los ND de la banda infrarroja y la roja, mayor vigor vegetal presentará la cubierta observada.*

Los índices de vegetación se pueden agrupar en dos clases generales, según la pendiente o la distancia.

Los índices basados en la pendiente son combinaciones aritméticas que se enfocan en el contraste de los patrones de respuesta espectral de las porciones del rojo y del infrarrojo cercano. Los más utilizados son el simple cociente entre bandas (en Landsat: banda 4/banda3) y el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI).

Los índices de vegetación basados en la distancia se derivan esencialmente del índice de vegetación perpendicular (PVI). Su principal objetivo es cancelar el efecto del brillo del suelo cuando la cobertura vegetal es escasa, como en las zonas áridas. En estos índices se usa la distancia perpendicular de cada píxel a la línea de suelo.

Además de los índices de vegetación, se han utilizado otras combinaciones de bandas que resaltan ciertas características del sustrato de suelo. Algunas permiten identificar óxido de hierro (B3/B1), minerales de arcilla (B5/B7), minerales ferruginosos (B5/B4) o

la composición mineral (B5/B7, B5/B4, B3/B1), composición mineral (B5/B7, B3/B1, B4/B3).

- **Índice de vegetación ajustado al Suelo (SAVI) por sus siglas en ingles**

Dentro de la familia de índices de vegetación que caracterizan los doseles de la vegetación existen varios el más común es el índice de vegetación de diferencia normalizado (NDVI) Creado por (Tucker, 1979) o el índice de combinación lineal índice perpendicular de vegetación de (Richarson y Wiegand, 1977), estos índices están relacionados con los parámetros que incluyen el área foliar de la hoja, biomasa, porcentaje de cobertura verde, productividad y actividad fotosintético.

Estos índices tienen sus limitaciones resultado de la influencia de la atmosfera y diferencias en el substrato de suelos, las condiciones de los suelos tiene una influencia dentro del dosel, este índice se emplea principalmente en las regiones donde el brillo de suelo es considerable ayudando con la discriminación de diferentes densidad de vegetación. (Huete, 1988)

El índice está basado en la siguiente formula:

$$SAVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}(1 + L)$$

Donde:

NIR = infrarrojo Cercano

RED = Rojo

L = El SAVI tiene un factor que va depender de la densidad de vegetación existente, para la densidad baja de precipitación es un factor de L= 1, para la densidad intermedia 0.5 y para densidad alta de vegetación el factor L = 0.25.

- **Componentes principales**

En el análisis de datos multiespectrales, la correlación entre bandas es un problema frecuente. La información captada en varias longitudes de onda es similar, debido a que las bandas de imágenes multiespectrales altamente correlacionadas son visual y numéricamente similares. Esta correlación entre bandas surge de una combinación de los siguientes factores:

- **Correlación espectral de los materiales.** Este componente puede ser causado por la reflectancia relativamente baja de la vegetación en el rango del espectro visible, generando firmas espectrales similares.
- **Topografía.** La sombra generada por la topografía es la misma en todas las bandas, sin embargo puede ser un componente importante en las áreas montañosas y en los ángulos solares bajos.
- **Superposición de bandas.** Por lo general, este factor se minimiza en el diseño del sensor y pocas veces se puede evitar completamente.

La transformación en componentes principales es una técnica diseñada para eliminar la redundancia en los datos. Ésta puede aplicarse previamente a una interpretación visual o al tratamiento digital de los datos. El análisis de los componentes principales es un método estadístico que transforma los datos de multibandas intercorrelacionadas en un nuevo grupo de datos no correlacionados, a partir de la combinación lineal de las bandas originales.

Con el análisis de los componentes principales, cada variable se transforma en una combinación lineal de componentes comunes ortogonales (salida de mapas raster) con la disminución de la variación.



La transformación lineal asume que los componentes explicarán la varianza de cada variable. Por lo tanto, cada componente (mapa raster de salida) posee información distinta y no está correlacionado con los otros componentes. La entrada para el análisis de componentes principales consiste en una lista de mapas raster, a partir de la cual se calcula la matriz de covarianza.

La salida de la operación de análisis de componentes principales consta de una matriz con los coeficientes de transformación (calculada a partir de la matriz de covarianza) y del conjunto de mapas raster transformados (también llamados los componentes). Los mapas raster de salida se enumeran según el orden decreciente de la varianza. Esto permite reducir el número de mapas de salida, pues los últimos tienen poca o ninguna variación a la izquierda, es decir, no aportan significado y pueden desecharse. Durante la operación, el número de bandas de salida puede disminuir directamente mediante la especificación de un parámetro.

El análisis de componentes principales se realiza con varios propósitos, entre ellos se encuentran los siguientes:

- **Compresión de datos.** Si se tienen 7 bandas TM, la mayor parte de la varianza se puede explicar con dos o tres de los componentes principales.
- **Preclasificación de los datos.**
- **Localización de blancos de interés.** Es posible ubicar un componente por su relevancia, por ejemplo, el de menor varianza.

### 3. Clasificación de imágenes de satélite

La impresionante capacidad que se ha desarrollado en la últimas cinco décadas para observar la Tierra desde el espacio, con diferentes tipos de sensores, ha generado una gran cantidad de datos satelitales multiespectrales e hiperespectrales.

Aunque estos datos han ampliado nuestra habilidad para estudiar los objetos y fenómenos de la superficie terrestre, los requerimientos de información por parte de los usuarios (cada vez más específicos), y el tiempo necesario para procesar esta plétora de datos han generado un cambio fundamental en este último procedimiento.

Una vez que los patrones de interés han sido realizados convenientemente es posible emprender su reconocimiento a través de una clasificación espectral. Este mecanismo es uno de los más expeditos para extraer información de la imagen y consiste en convertir los datos satelitales en información acerca de los objetos y fenómenos de la superficie terrestre, a partir de los niveles digitales (el valor del píxel) de la imagen.

Clasificar una imagen implica tomar decisiones. En teledetección, estas decisiones pueden consistir en asignar un píxel a la categoría A, siempre en función de algún criterio de clasificación y atendiendo alguna medición sobre el elemento a clasificar (en nuestro caso, la firma espectral).

La clasificación es básicamente un proceso de medida sobre las propiedades morfológicas y estadísticas de los objetos plasmados en la imagen.

Los campos instantáneos de vista (CIV) de la escena responden espectralmente a la irradiación de la energía incidente; CIVs similares tienen respuestas parecidas y los píxeles respectivos tienen por tanto valores cercanos entre sí.

El reconocimiento de patrones o clasificación puede verse como la identificación de píxeles con valores similares dentro de ciertas condiciones estadísticas fijadas de acuerdo con un modelo, que generalmente es de tipo determinista-estocástico.

Por medio de la clasificación es posible marcar en la escena objetos con propiedades espectrales similares, de modo que es factible identificar diferentes tipos de vegetación, zonas urbanas, ríos y lagos o unidades litológicas.

El objetivo de toda clasificación es el reconocimiento de clases o grupos cuyos miembros tienen características en común. El resultado ideal consiste en obtener clases que sean mutuamente excluyentes y exhaustivas.

Al conjunto de valores de un píxel en varias bandas espectrales (firma espectral) podemos verlo, desde el punto de vista de la clasificación, como un patrón, mientras que al conjunto de características o variables bajo las cuales se tomaron esos píxeles se les denomina rasgos.

Por lo anterior, un patrón es un conjunto de medidas en una serie de rasgos, en tanto que la clasificación puede definirse como un esquema para el reconocimiento de patrones, el cual contempla los siguientes pasos:

1. Selección de los rasgos particulares que mejor describen el patrón.
2. Elección de un método adecuado para la comparación de los patrones.
3. Opcionalmente, se sugiere corroborar los resultados; medir el grado de exactitud conseguido con la clasificación.

Podemos diferenciar dos tipos principales de clasificación: supervisada, cuando se conoce mínimamente la zona a partir del cual obtendremos criterios para su clasificación, y no supervisada, cuando no existe conocimiento previo del lugar y se trata de discriminar píxeles en función de la magnitud cuantitativa. Antes de clasificar una imagen se deben tener las siguientes consideraciones:

## Conocimiento general de la imagen a clasificar

Aunque la clasificación de la imagen principalmente es un proceso ejecutado automáticamente por el computador en un ambiente digital, la intervención humana, ya sea antes, durante o después de la clasificación, juega un papel fundamental que determina la calidad de los resultados de la calificación; no obstante esta intervención es marcadamente menor en comparación con la interpretación manual.

Según Jay Gao (2009), aunque la mayor parte de la clasificación de imágenes se realiza de forma automática con herramientas digitales, la intervención humana aún es indispensable, pues el análisis e interpretación reduce notablemente los tiempos.

Primero, debe familiarizarse con la temática o área de investigación. De acuerdo con Villota (1998), el intérprete especialista extrae datos para su campo de estudio a partir de la información que le brindan los productos de los sensores remotos. Esto le exige un adecuado conocimiento de:

- a) La disciplina relacionada con el objeto, elemento o fenómeno analizado (suelos, geología, forestal, geomorfología, etc.)
- b) Las capacidades y limitaciones del sistema de sensores remotos utilizados para la obtención de información de la superficie terrestre.
- c) Las características de los diferentes productos de los sensores remotos y su manejo.
- d) Las técnicas y métodos para interpretar la información espectral, espacial y temporal que suministran los productos de sensores remotos.

En segundo lugar, el analista debe dominar el área geográfica de estudio, incluyendo la distribución fisiográfica y de fondo relacionada con el tema objeto de la investigación. Este conocimiento se puede obtener a través del reconocimiento selectivo, y es posible

acrecentarlo con el estudio de fotografías aéreas o de imágenes satelitales a gran escala.

Otros materiales útiles corresponden a mapas topográficos actualizados y mapas temáticos. Éstos son esenciales para lograr resultados fehacientes en la clasificación y el análisis.

El último requisito que debe cubrir el analista está relacionado con la comprensión adecuada de los datos de percepción remota: su resolución espacial, el número de bandas, el rango de longitudes de onda, época y fecha de adquisición

### **Datos vs Información**

En el análisis digital de imágenes, los términos datos e información no son sinónimos, tienen connotaciones diferentes.

Los datos se refieren a todas las imágenes satelitales a las que el analista tiene acceso o que son objeto de su revisión, constituyen la fuente de entrada más importante para el sistema computacional, representan valores o niveles digitales de los píxeles, generalmente en un dominio multiespectral.

La información, por otra parte, se refiere al resultado derivado del análisis de los datos; como un tipo especial de datos procesados y provee respuestas a preguntas relacionadas con éstos.

Una diferencia muy importante entre los datos satelitales y los resultados de la clasificación es el rango de los valores del píxel y su significado.

En los datos satelitales crudos el rango fluctúa, generalmente entre 0 y 255 (cuantización de 8 bits), el valor del píxel es indicativo de la cantidad de energía reflejada/emitada por un objeto en particular. En contraste, el rango de valores del píxel de la imagen clasificada es mucho más estrecho. En este sentido, el objetivo de la clasificación es convertir esa gran cantidad de datos en información útil. Durante el proceso de conversión, un amplio rango de niveles digitales se reduce a un cierto número de códigos que idealmente corresponde a una clase de cobertura (agua, pastos, bosques, zona urbana).

Por lo tanto, la clasificación de imágenes es esencialmente un proceso de generalización de datos. La forma en que los valores del píxel son agregados depende del clasificador utilizado y de cuantos códigos de información se preservan en los resultados finales de la clasificación. A dichos códigos se les denomina clases de información.

Otro término importante a considerar en el proceso de clasificación es el de clases espectrales. Una clase espectral se define como un grupo de píxeles que se caracteriza por presentar valores digitales similares en el espacio multiespectral. En cuanto a la posibilidad de considerar como un clúster a un grupo de píxeles dependerá de la distancia espectral entre ellos.

Una clase de información puede incluir un amplio rango de variación en su valor espectral, por lo que puede corresponder a un número determinado de clases espectrales. Estas clases estarán determinadas por variaciones ligeras pero significativas en su apariencia, causadas por cambios ambientales del objeto clasificado. En este sentido, el proceso de clasificación de imágenes consiste en unir las diferentes clases espectrales de forma racional para conformar clases de información con un significado específico.

## **Métodos de clasificación**

### **Clasificación no supervisada**

Supone la búsqueda automática de grupos de valores homogéneos. La intervención humana se centra en la interpretación de resultados, más que en la consecución de los mismos. Es esencialmente un análisis de clústers en el cual los píxeles son agrupados en función de la similitud de sus valores espectrales.

Los clasificadores no supervisados utilizan algoritmos como base para la clasificación, no datos de entrenamiento. Estos algoritmos examinan los píxeles desconocidos en una imagen y los agregan dentro de un número de clases basados en grupos naturales presentes en los valores de la imagen. Este método no requiere conocer el área de estudio. Existen muchas opciones para definir los clústers o grupos, uno de los algoritmos más conocidos es ISODATA (Iterative Self-Organizing Data Analysis).

### **Clasificación supervisada**

En este tipo de clasificación, el analista de la imagen supervisa el proceso de la categorización de los píxeles, especificando el algoritmo del computador y los descriptores numéricos de los diferentes tipos de cobertura presentes en una escena. Para hacer esto, se utilizan muestras representativas de clases de coberturas conocidas (áreas de entrenamiento), las cuales permiten compilar una clave de interpretación numérica que describe los atributos espectrales para cada una de las características de interés.

Posteriormente, cada píxel en el conjunto de datos es comparado con cada una de las categorías de la clave de interpretación y membretado con el nombre de la categoría a la cual se parece más.

Hay un gran número de estrategias numéricas que pueden ser empleadas para comparar los píxeles desconocidos y los que conforman las clases de entrenamiento.

### Clasificación mixta

Se proponen también algunos métodos mixtos, ya que el método supervisado puede resultar a veces demasiado subjetivo y el no supervisado puede carecer de significado físico real. Independientemente del método utilizado, se hace necesario efectuar un análisis de las estadísticas, para comprobar que efectivamente se podrá efectuar una discriminación. Hay varios métodos de estudio de los datos, unos analíticos y otros gráficos.

En la figura 6 se muestra un diagrama de flujo que ilustra las diferentes etapas de una clasificación supervisada.



Figura 6. López, D. & Torres, A. (2015). Diagrama de flujo de los pasos involucrados en una clasificación supervisada.



El éxito del proceso de clasificación de imágenes depende en gran medida de la naturaleza y calidad del esquema preestablecido para este propósito. Es una lista dispuesta en una estructura jerárquica (en lo posible) con los tipos de cobertura existentes en un área, los cuales pueden ser razonablemente identificados en imágenes de satélite.

Este esquema debe ser lo más completo posible, de manera que incluya todas las coberturas presentes dentro del área de estudio. El esquema preestablecido dependerá de los objetivos del estudio y de las características de las imágenes (resolución espacial, espectral o temporal).

Cualquiera que sea el esquema preestablecido, las clasificaciones espectrales están basadas en el mismo supuesto: diferentes clases de información de la superficie terrestre tienen respuestas espectrales distintas y, por lo tanto, un valor particular para el píxel de las imágenes de satélite, idealmente diferentes para cada banda espectral.

En la fase de entrenamiento consiste en seleccionar muestras en forma de zonas de píxeles concretos, los cuales asignará el usuario a una clase específica con base en el conocimiento previo de la imagen. A partir de los puntos de las zonas de entrenamiento, se extraerán ciertos parámetros estadísticos. La elección de los parámetros a calcular dependerá del método a utilizar. Por ejemplo: el método del paralelepípedo requiere los valores máximos y mínimos de la clase en cada banda, mientras que el de mínima distancia necesita el cálculo de la media en cada banda. El método de máxima probabilidad, considerado el más complejo, requiere el cálculo de la media en cada banda y la matriz de varianza-covarianza de cada clase.

En este proceso resulta fundamental la correcta selección de las muestras, pues en caso de ser incorrecta afectará las estadísticas y se obtendrán resultados que pueden ser erróneos. Por lo tanto, la validez de los resultados dependerá de dos factores:

- a) El grado de fiabilidad de los posibles supuestos previos.
- b) La representatividad de las muestras tomadas.

Las suposiciones sobre los datos que se consideran ciertas, dependerán también del método de asignación empleado.

La representatividad de las muestras indica que los píxeles tomados contienen las distintas 'variedades' que se dan en el rango de valores de cada clase, y que se toman en las proporciones adecuadas.

Una zona con un tipo de vegetación, coníferas, por ejemplo, tendrá una serie de puntos con valores estadísticamente muy correlacionados (autocorrelación espacial); mientras que los píxeles de las coníferas correspondientes a una zona apartada, seguramente mostrarán cierta separación espectral respecto a los primeros. Lo anterior será consecuencia de la distinta concentración en la zona, el relieve del terreno o el estado de la vegetación.

Por lo tanto, cuando la clase a muestrear presenta una amplia distribución en la imagen, es deseable hacer el muestreo de cada una de las clases para toda la imagen, más que elegir una zona extensa correspondiente a una misma área.

En la fase de asignación se trata de adscribir cada uno de los píxeles de la imagen a una de las clases previamente seleccionadas. Existen distintos algoritmos para este propósito: Paralelepípedo, Mínima Distancia, Distancia de Mahalanobis, Máxima Probabilidad. Este último método es el más complejo y que más cálculos realiza pero también el que da los mejores resultados; tiene en cuenta la variabilidad de las clases.

En pos-clasificación el filtrado es un proceso de generalización temática durante el cual la identidad de rasgos menores se agrupan dentro de la cobertura dominante que los rodea. Es un proceso que se lleva a cabo en el dominio espacial y sirve a varios propósitos, como afinar los resultados de la clasificación y hacerlos más razonables, mejorar su apariencia estética y la efectividad en la comunicación (Gao J, 2009).

El resultado de una clasificación suele generar píxeles sueltos en medio de una zona homogénea, lo que resta unidad geográfica a la imagen y dificulta su interpretación. A esto se le llama efecto sal y pimienta, el cual se elimina al suavizar los resultados, como si se aplicara un filtro pasa-baja (aunque no igual, ya que no se pueden aplicar promedios de píxeles contiguos).

Hay que tener en cuenta que con esta acción podemos perder parte de la exactitud por la que nos esforzamos en el proceso de clasificación, esto en aras de resultados más homogéneos y fáciles de interpretar. Es necesario encontrar el equilibrio entre ambos puntos.

#### **4. Fases de la interpretación de imágenes**

La interpretación de imágenes es una actividad compleja, la cual se realiza sobre imágenes de satélite o fotografías aéreas. Estos productos de los sensores remotos pueden ofrecer o carecer de estereoscopía, es decir, de la no generación o formación de un modelo tridimensional del terreno. Su propósito es obtener la mayor información posible de las imágenes mediante la interpretación visual, con respecto al estudio en particular para el cual se usan.

De acuerdo con Melo y Camacho (2005), estas son las fases que se deben cumplir como parte del proceso de interpretación visual:

- Lectura de la imagen. Incluye la detección, reconocimiento e identificación de los objetos.
- Análisis de la imagen. Consiste en el análisis propiamente dicho de la imagen y contempla la deducción de aspectos no observables.
- Clasificación de la imagen: En esta fase se realizan operaciones de clasificación e idealización de los fenómenos presentes en la imagen.

### **Características pictóricas usadas en la interpretación de imágenes**

Según Chuvieco (2000), una de las ventajas de la interpretación visual sobre la digital es que permite incorporar criterios complejos. Mientras que el tratamiento digital se basa casi exclusivamente en la intensidad radiométrica de cada píxel (en las bandas utilizadas para la interpretación), el análisis visual utiliza otros elementos: textura, estructura, emplazamiento o disposición, muy difíciles de definir en términos digitales, pues se trata de criterios puramente visuales.

También señala que estos criterios permiten discriminar categorías con un comportamiento espectral uniforme, pero con un significado temático muy distinto. Marca como un ejemplo que algunos cultivos de riego ofrecen una respuesta espectral parecida a la de los parques urbanos, ya que ambas cubiertas vegetales están formadas por especies idénticas o similares.

Sin embargo, su significado temático es claramente distinto, y así debe especificarse en la cartografía final. Esta situación vuelve compleja la distinción entre una y otra cubierta vegetal en términos digitales, ya que los valores numéricos de ambas son muy similares.

Al respecto indica que basta con incorporar un criterio visual sencillo para separarlas, como el contexto geográfico (Figura 7).

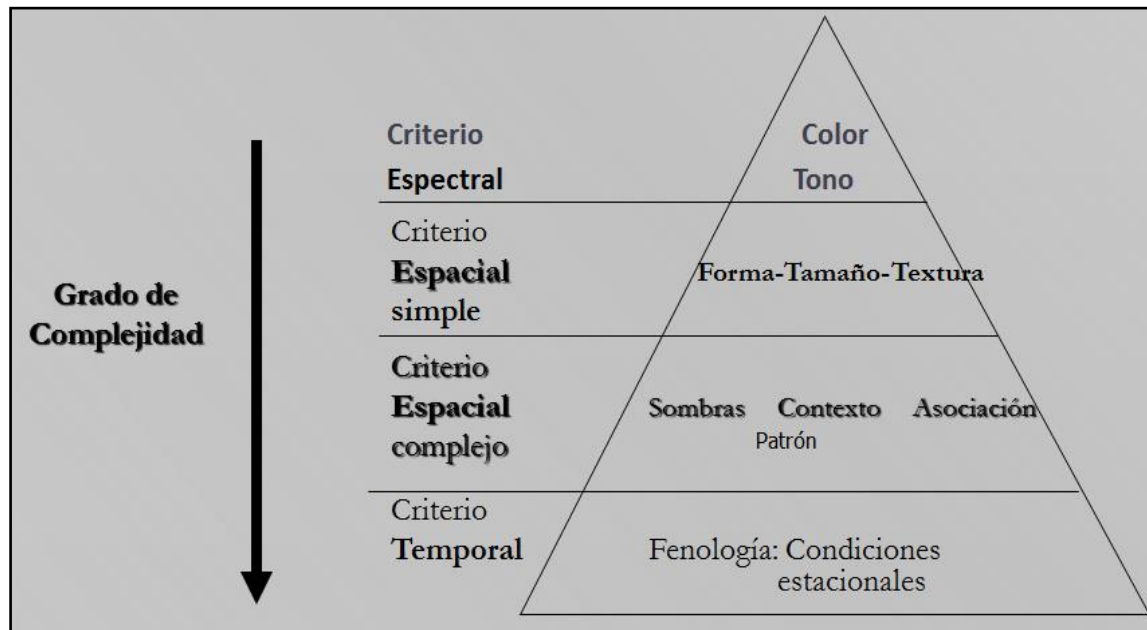


Figura 7. Chuvieco, S. (2000). Organización de los criterios de interpretación visual.

A continuación se presenta una breve descripción de los criterios de interpretación:

**Tono y color:** Se define como la percepción diferencial por parte del ojo de las distintas longitudes de onda del espectro visible. Hace referencia a la intensidad de energía recibida por el sensor para una determinada banda del espectro. Cada píxel de una imagen en escala de grises puede ser uno de los 256 valores distintos de gris, del negro (cero) al blanco (255).  $2^8 = 256$ . El tono se relaciona con el comportamiento espectral de las distintas cubiertas, para la banda particular del espectro (Curvas espectrales). En la figura 8 se ilustra este aspecto.

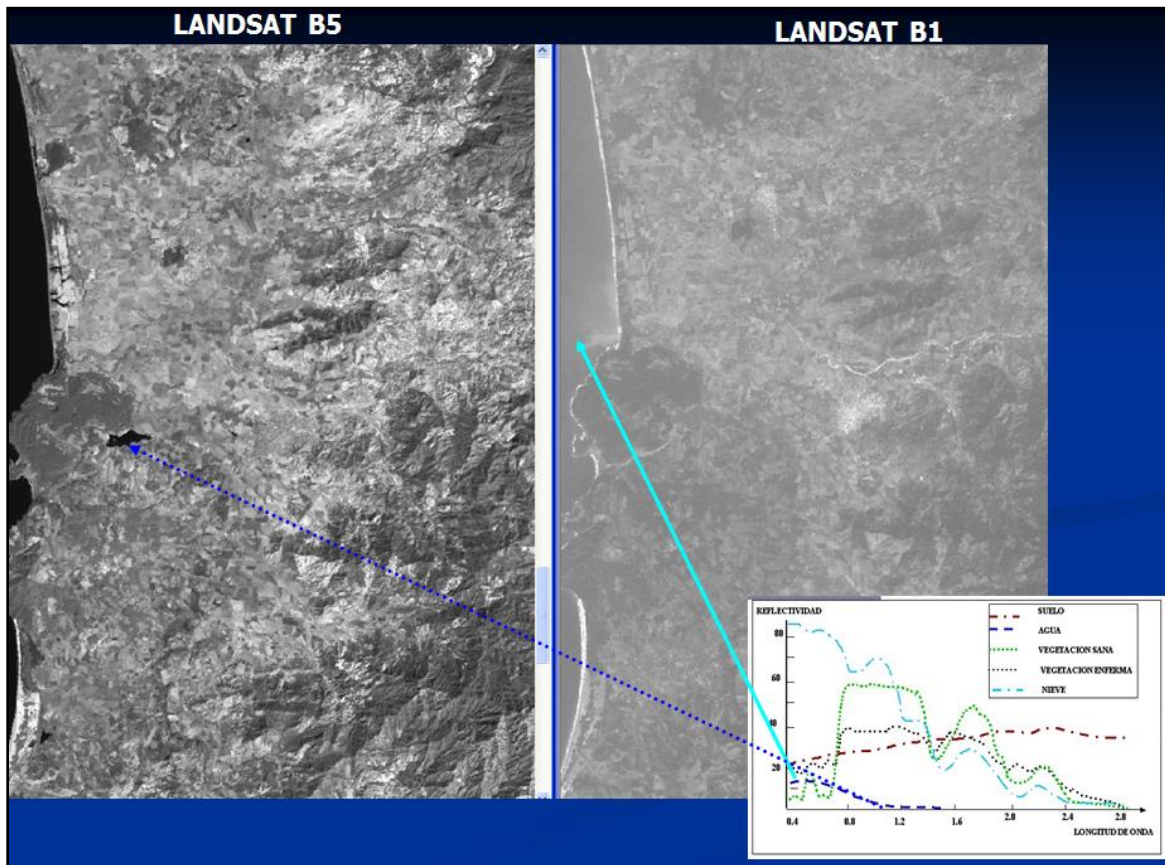


Figura 8. López, D. (2013). Respuesta espectral del agua en la banda 5 y en la banda 1 de satélite Landsat-TM.

Los elementos de interpretación **forma**, **tamaño** y **textura** representan la segunda categoría de los criterios espaciales con un poco más de complejidad que el tono y el color y a su vez integra estos criterios (de tono y color) para un mayor y mejor análisis.

**Textura:** Se refiere a la aparente rugosidad o suavidad de una región de la imagen. Según el I CIAF, 2002 la textura es la frecuencia de cambios y disposición de los tonos dentro de una imagen espacial o fotográfica (en los niveles de gris). Contraste entre los elementos que la componen. De acuerdo con Gao, 2009 la textura se refiere a la frecuencia espacial de la variación en el tono o el valor del píxel en la imagen; donde este elemento se mide sobre la base de un grupo de píxeles. En una imagen la textura resulta de la relación entre el tamaño de los objetos y la resolución del sensor. Esta

relación permite hablar de texturas finas (objetos inferiores a 0.04), medias (objetos entre 0.04 y 0.25) y gruesas (objetos entre 0.25 y 1). En la figura 15 se ilustran estos conceptos.



Figura 9. López, D. (2013). Tipos de textura. Imagen Geoeye. Resolución 2.3m.

**Tamaño:** Es un elemento de interpretación importante para identificar los objetos del terreno y se refiere a las tres dimensiones de un cuerpo (largo – ancho - alto). Según Jay Gao. 2009, el tamaño se refiere a la dimensión física de los objetos del terreno en una imagen, la cual es directamente proporcional a su resolución; en la figura 10 se ilustra este aspecto, en donde se puede apreciar la diferente apariencia de objetos de acuerdo a la resolución de la imagen (vías, estadio, etc.). El analista tener conocimiento de la escala o la resolución de las imágenes analizadas y alto sentido de las proporciones para deducir o reconocer ciertos elementos con base en su tamaño real. Un camino y un sendero pueden ser muy parecidos, así como carreteras y ferrocarriles aun cuando una simple medida puede ser suficiente para la identificación y evitar que

se confundan elementos como: árbol de arbusto, bodegas con casas, o postes de cercados con postes de teléfono, etc.



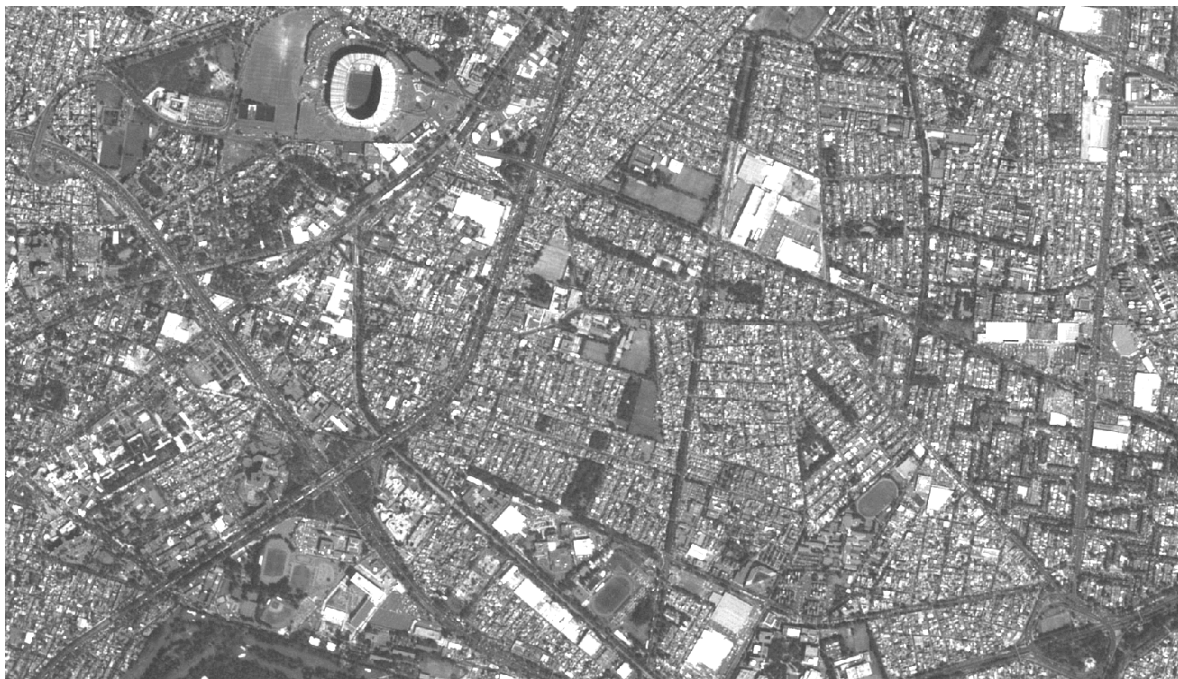
*Figura 10. López, D. (2013). Tamaño de elementos en la imagen en dos resoluciones. Imagen Ikonos, resolución espacial 4m (Izquierda). Imagen Landsat 30m (Derecha). Obsérvese el ancho de las vías, el tamaño de algunas construcciones como el estadio que aparece en la parte superior derecha, en la imagen de Ikonos.*

Los elementos de interpretación sombras, contexto, patrón y asociación, representan la tercera categoría de los criterios espaciales y presentan un mayor grado de complejidad. Esta categoría agrupa y relaciona tanto los primeros elementos observados (tono y color) presentes en una imagen, y los criterios espaciales simples correspondientes a los criterios visuales forma, tamaño y la textura y su correlación con las propiedades espaciales de los objetos colindantes.

Según Chuvieco 2000. La forma, el tamaño y la textura tienen que ver con las propiedades espaciales de los objetos, en sí mismo considerados, mientras la sombra y el contexto (localización) también expresan aspectos espaciales, pero en este caso en relación a los objetos circundantes.



**Forma:** Melo, (2002) define la forma como los rasgos característicos inherentes a los objetos y que permiten la identificación en la imagen. Según Villota, 1998, la forma se refiere al aspecto que presentan los objetos vistos desde arriba, en perspectiva vertical, al cual debe acostumbrarse el Intérprete – analista. p. ej. Permite reconocer elementos individuales como las carreteras, las vías férreas, las autopistas con sus separadores centrales, aeropuertos, las corrientes de agua, etc.



*Figura 11. López, D. (2013). Forma y tamaño de los objetos. Con base en su forma y tamaño, se pueden distinguir en la imagen diferentes objetos, tales como: zonas residenciales, instalaciones deportivas, avenidas principales. Imagen SPOT, resolución 5m.*

## Patrones de distribución espacial

Según Villota, 1998 el patrón espacial se refiere al arreglo espacial de las imágenes de los objetos o elementos del terreno en una secuencia repetida o en un ordenamiento característico dentro del área interpretada. Indica una organización propia de individuos dentro de la imagen. El CIAF, (2002), lo define como el arreglo espacial de un conjunto de objetos o asociaciones similares, así como la repetición sistemática de formas.

El **Patrón** como elemento de interpretación desempeña un papel fundamental en los estudios de las ciencias de la tierra, ya que siempre se ha puesto especial énfasis a éste como un indicio importante de la función, del origen o de aquellos elementos que la determinan (Melo y Camacho, 2005). Es decir que de acuerdo a su Patrón se pueden reconocer muchos elementos naturales y culturales (antrópicos), lo que a su vez permite diferenciarlos de otros.

Algunos ejemplos de Patrones naturales son: los patrones de drenaje (Figura 12), patrones de dunas, de lineamiento y fallamiento de estructuras geológicas, los patrones de tonos muy oscuros y alargados de las quemadas, los patrones de termiteros en sabanas, los de camellones de solifluxión de zonas planas (Figura 13).

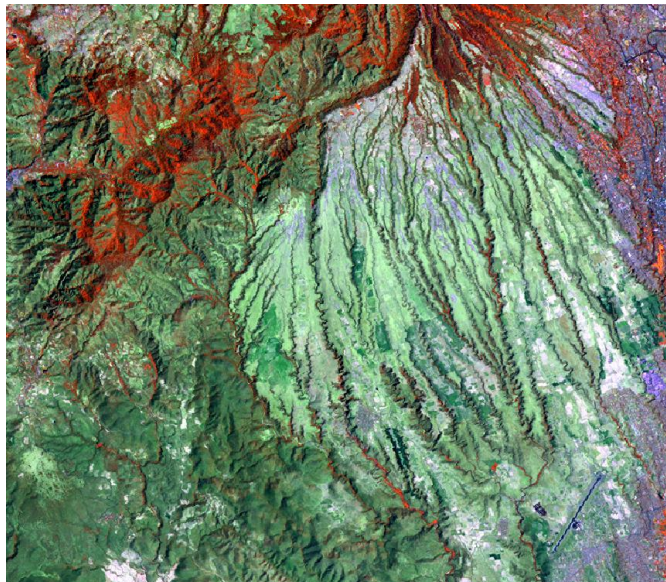


Figura 12. López, D. (2013). Patrones de drenaje. Imagen LANDSAT-TM. CC453. Cuernavaca, México.

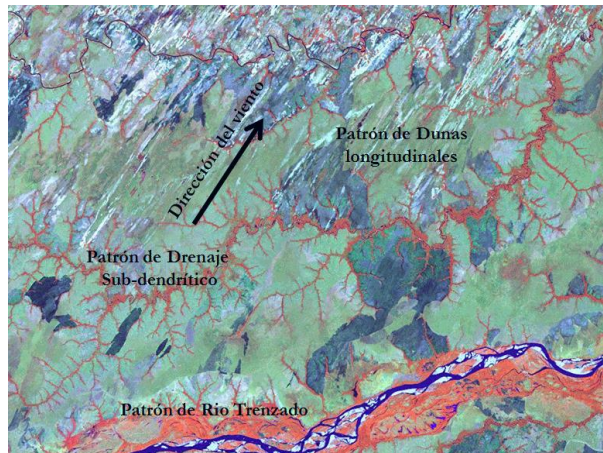


Figura 13. López, D. (2013). Patrones de Red de Drenaje – Dunas, río trenzado. Imagen LANDSAT-TM, CCC 453, Llanos orientales, Colombia.

Algunos ejemplos de patrones culturales o antrópicos son: las tierras agrícolas con sus patrones de parcelas, patrones de bosques en proceso de tala con sus límites rectilíneos, el patrón de calles y avenidas en las áreas urbanas, etc., (Figura 14).

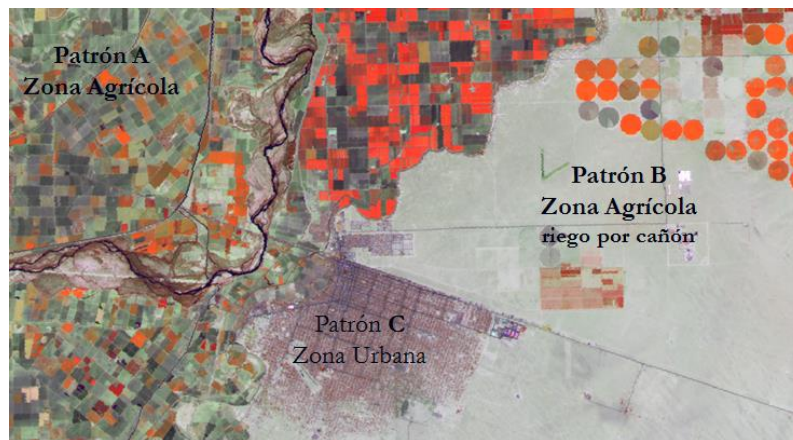


Figura 14. López, D. (2013). Patrones Agrícolas- Urbanos. Imagen LANDSAT-TM, CCC 453.

## Referencias

Las notas fueron realizadas por el M. Daniel López y se realizó una adecuación.

- Chorley, R.J.f. 1972. *Spatial Analysis in Geomorphology*. Methuen.
- Gao, J. (2009). *Digital Analysis of Remotely Sensed Imagery*. New York: McGraw-Hill Companies, Inc.
- Gilabert, M. (1997). *Acerca de los índices de vegetación*. Revista de Teledetección. No. 8.
- López, D. (2010). *Percepción remota y procesamiento digital de imágenes. Análisis digital de imágenes*. Notas de clase – Versión 1.0. México, D.F.: CentroGeo, México.
- Lillesan, T. y Kiefer R. (1994). *Remote sensing and image interpretation*. U.S.A.: John Wiley & Sons, Inc.
- Lira, J. (2002). *Análisis Digital de imágenes y Percepción Remota*. México: Instituto de Geografía. UNAM Geo-Unam. (2, 2)
- Melo, L. y Camacho, M. (2005). *Interpretación Visual de Imágenes de Sensores Remotos y su Aplicación en Levantamientos de Cobertura y Uso*. Bogotá, Colombia: IGAC.
- Saavedra, A. (2010). *Percepción remota y procesamiento digital de imágenes. iv. Análisis e interpretación de imágenes de percepción remota*. Notas de clase – Versión 1.0. México. D. F.: CentroGeo.
- Schowengerdt, T. (2007). *Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing*. U.K.: Third Edition. Elsevier.
- Villota, H. (1998). *Fundamentos de Percepción Remota e Interpretación de Imágenes de Sensores Remotos*. Instituto Geográfico "Agustín Codazzi", Centro de Investigación en Percepción Remota CIAF. Notas de clase. Bogotá.