Campus Guanajuato | División de Ingenierías

NOTAS DEL CURSO DE FOTOINTERPRETACIÓN
INGENIERO EN GEOMÁTICA

Aprobación del Consejo Divisional de Ingenierías del Campus Guanajuato en su sesión G-CDING2017-O04 del 27 de octubre de 2017 con número de acuerdo G-CDING2017-O04-05.

DR. VÍCTOR GUILLERMO FLORES RODRÍGUEZ

Octubre, 2017

PREFACIO

El procesamiento digital de imágenes es un campo de investigación accesible. El constante progreso en esta área no ha sido por sí mismo, sino en conjunto con otras áreas con las cuales está relacionada como las matemáticas, la computación y el conocimiento cada vez mayor de ciertos órganos del cuerpo humano que intervienen en la percepción y en la manipulación de las imágenes. Aunado a esto, la inquietud del hombre por imitar y usar ciertas características del ser humano como apoyo en la solución de problemas. El avance del Procesamiento Digital de Imágenes se ve reflejado en la medicina, la astronomía, geología, microscopía, etc. Información meteorológica, transmisión y despliegue agilizado de imágenes por Internet tienen sustento gracias a estos avances.

Lo que se presenta a continuación es una recopilación teórica y posible guía que sirve como introducción al estudio del procesamiento análisis visual de la imagen. Esta recopilación contiene conceptos básicos de dicha área y está dirigida a los alumnos que cursan la asignatura de Fotointerpretación correspondiente a la sexta inscripción de la carrera de Ingeniero en Geomática de la División de Ingenierías del Campus Guanajuato.

El objetivo de estas notas de curso es proporcionar un conocimiento básico teórico de las técnicas de fotointerpretación digital.

CONTENIDO

Introducción al procesamiento de imágenes digitales 1
El Proceso de Percepción Remota 2
Análisis de Datos 2
Procesamiento análogo de la imagen 3
Historia de la Teledetección 4
Sistema de Teledetección 10
El Espectro Electromagnético 11
Preparación de las Imágenes Digitales 14
La Imagen Digital 14
Elementos de una Imagen Digital 16
Imágenes de Satélite 17
Formatos de imagen digital 21
Imágenes de mapa de bits 21
Imágenes vectoriales 22
Tipos de compresión 24
Tipos de archivo 26
Representación del color 31
Colores primarios 34
El color en gráficos digitales 36
Proceso de Fotointerpretación 45
La Escala en el Proceso de Fotointerpretación 49
Las Características de la Foto y el Terreno 53
Características de elementos para la fotointerpretación 57
El Proceso de Interpretación de las Imágenes 59
Ortofotos digitales 67
Combinaciones con las bandas del sensor Landsat 70
Combinación en color natural: RGB 321 bandas (3, 2, 1) 70
Combinación en falso color: RGB 432 bandas (4, 3, 2) 71
Combinación en falso color: RGB 453 bandas (4, 5, 3) 73

Combinación en falso color: RGB 742 bandas (7, 4, 2) 73
Combinación en falso color: RGB 341 bandas (3, 4, 1) 74
Otras combinaciones en falso color RGB 75
Combinaciones en falso color RGB operando entre bandas 75
Combinación de bandas para Landsat 8 76
El uso de Drones en Fotointerpretación 79
Aplicaciones de los Drones en Ingeniería 82
Bibliografía consultada 86

INTRODUCCIÓN AL PROCESAMIENTO DE IMÁGENES DIGITALES

El procesamiento digital no se originó con los sensores remotos y no está restringido a este tipo de datos. Por ejemplo, en el campo médico han sido desarrolladas numerosas técnicas de procesamiento de imágenes, como los rayos "X" y sofisticados dispositivos de barrido del cuerpo humano.

Para la percepción remota los pasos iniciales se dieron en el programa satelital de los años 60 que transmitió imágenes a estaciones ubicadas en la tierra. La baja calidad de dichas imágenes requirió el desarrollo de técnicas de procesamiento para hacer las imágenes más útiles.

Otro intento fue realizado con el programa Landsat que inició en 1972 y que proporcionó el primer conjunto de imágenes en formato digital. Actualmente, la gran mayoría de imágenes son gravadas en formato digital y después procesadas en computador para producir imágenes que servirán de fuente de datos y como información en los diversos campos de interpretación para los cuales su empleo es fundamental.

Hace una década el procesamiento digital de imágenes alcanzaba costos muy elevados y la infraestructura para realizarlo era sofisticada. Los conocimientos técnicos también tenían que ser elevados. Hoy las imágenes pueden ser procesadas con unos computadores y software de escritorio, que no son tan costosos y con usuarios de perfil no tan estricto.

El principal objetivo del procesamiento digital de imágenes es permitir manipular y analizar los datos de imágenes producidas por sensores remotos, de tal forma que sea "revelada" información que no pueda ser reconocida inmediatamente en la forma original.

El Proceso de Percepción Remota

Para entender la relación del procesamiento de imágenes digitales con los datos de percepción remota, deben tenerse claras las fases envueltas en el proceso de teledetección. Estos pasos se ilustran en la figura 1.

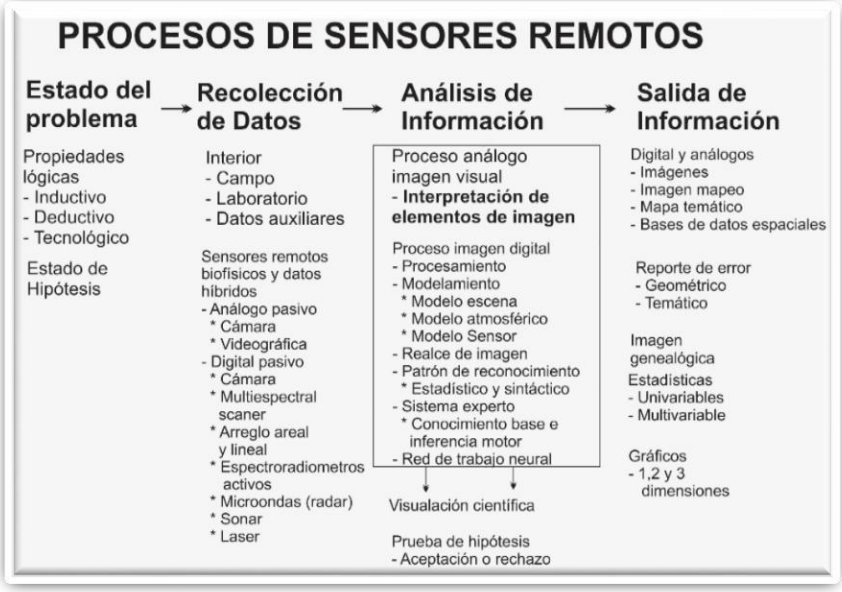

Figura 1. El proceso de la percepción remota Fuente: (Jensen, 2007),

Análisis de Datos

Los datos de sensores remotos son analizados usando varias técnicas y métodos de procesamiento. Estos incluyen las técnicas de procesamiento visual (o análogo) aplicadas a datos en copia dura como fotografías o impresiones y la aplicación de algoritmos de procesamiento a los datos digitales.

Uno de los propósitos de aplicar ambas técnicas (análoga y digital) a los datos, es permitir al analista que vea los datos de diversas formas. Este proceso que a menudo se denomina “visualización científica”, puede ser comparado con un individuo que encuentra un objeto, pero no está seguro de su origen y su

propósito. Para conocerlo realiza análisis visual y hasta detallado de sus componentes y de cómo ellos se relacionan unos con otros. Si se realiza todo este análisis, el individuo llegará a familiarizarse con el objeto que encontró.

Este es el propósito principal del procesamiento de imágenes. Permitir al investigador examinar los datos desde todos los posibles ángulos, para colocar las imágenes en contexto con su medio circundante y facilitar las relaciones de elementos individuales de la escena a ser descubiertos (Jensen, 2007).

La visualización científica es este proceso de explorar los datos visualmente para lograr un conocimiento íntimo de ellos.

Procesamiento análogo de la imagen

La Tabla 1 muestra los elementos más comúnmente usados para el análisis visual e interpretación de imágenes. El uso de esos elementos depende del área a ser estudiada y del conocimiento que el analista tenga de dicha área.

Por ejemplo, si un analista tiene poco o ningún conocimiento de un área puede usar la forma de los objetos para distinguir la infraestructura hecha por el hombre y los objetos naturales. La textura también será importante para aquellos objetos que presentan el mismo tono (por ejemplo, el agua y los árboles de dosel pueden tener el mismo valor de brillo, pero su textura es muy diferente.

Tabla 1. Elementos de interpretación de imágenes

Elementos primarios	Tono blanco y negro
	Color
	Estereoscopía
Arreglo espacial del tono y color	Tamaño
	Forma
	Textura
	Patrón
Basado en el análisis de elementos primarios	Altura
	Sombra
Elementos contextuales	Sitio

Fuente: (Dent, 1999)

La asociación es también una herramienta de análisis poderosa, cuando se complementa con el conocimiento general del sitio. Por ejemplo, las formas redondeadas pueden asociarse con un estadio o un circo, las lineales con vías, drenajes, redes de servicios, etc.

Otras tareas realizadas con el procesamiento de imágenes análogas incluyen las técnicas de fotogrametría, permitiendo mediciones precisas de la altura, ancho, localización, etc. de un objeto.

Historia de la Teledetección

En 1859, bajo el seudónimo de Nadar, Gaspard Felix Tournachon utilizó un globo para realizar las primeras fotografías aéreas sobre el bosque de Boulogne y el Arco del Triunfo.

Intuyó que era posible la aplicación de la fotografía aérea a los levantamientos topográficos y catastrales.

De forma paralela, James Wallace Black registró una de las primeras fotografías aéreas sobre el distrito de negocios de Boston desde un globo, a una altitud aproximada de 365 metros.

En 1903 Orville Wright se convirtió en la primera persona en volar sobre una aeronave, el Flyer, más pesada que el aire. Otros especialistas consideran a Alberto Santos Dumont el protagonista de esta hazaña, ya que voló, en septiembre de 1906, a bordo del 14-bis sin ayudas externas.

Poco más tarde, en 1909, Wilburg Wright adquirió la primera fotografía captada desde un avión, iniciando un largo y fructífero periodo de campañas y misiones fotográficas, que se prolongan hasta la actualidad, con fines militares y civiles y aplicaciones temáticas muy variadas.

En 1915, J.T.C. Moore-Brabazon desarrolló la primera cámara aérea de la historia, diseñada específicamente para ser accionada desde un avión.

Durante la I Guerra Mundial se registró un gran número de misiones fotográficas de reconocimiento.

Enseguida se comprendió la gran importancia estratégica de esta nueva información geográfica para los ejércitos contendientes. Los aviones de reconocimiento se convirtieron en objetivos prioritarios.

En el periodo de entreguerras las nuevas emulsiones favorecieron nuevas aplicaciones.

La II Guerra Mundial fomentó definitivamente el empleo sistemático de la fotografía aérea gracias a los avances de la técnica fotográfica (óptica de las cámaras de reconocimiento y de las emulsiones utilizadas), de la aviación (plataformas más estables) y a la continua demanda de información geográfica. Los fotointérpretes fueron entrenados para realizar tareas complejas de identificación directa de los objetos o mediante deducción. En esta época se comenzaron a utilizar las primeras películas en infrarrojo, desarrolladas por Kodak. Asimismo, se introdujeron nuevos sensores como el radar y se utilizaron, habitualmente, los pares estereoscópicos.

En 1957, la desaparecida URSS lanzó el primer satélite artificial, el Sputnik, en el contexto de lo que se ha denominado "carrera espacial". Se trata de un hito histórico de gran importancia para la Teledetección, ya que esta misión y esta plataforma inauguran una nueva época para la observación de la Tierra. Ha sido seguida de numerosas misiones civiles y militares. Se dice que, en los últimos 50 años, la cartografía ha avanzado más que a lo largo de toda su historia, cumpliendo la intuición de Sócrates de que era necesario elevarse más allá de la atmósfera para conocer mejor nuestro planeta y disponer de un punto de vista más global.

En 1960, la NASA puso en órbita el primer satélite de observación de la Tierra, TIROS-1, pionero de la investigación meteorológica desde el espacio. Ésta es una de las aplicaciones claramente operativas desde la década de los años 70. Desde 1979, los satélites de esta familia pasaron a denominarse NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), como la agencia meteorológica responsable de sus operaciones. Una de las principales ventajas de este satélite, de órbita polar, es su buena resolución temporal. Proporciona una imagen cada 6 horas, en nuestras latitudes, gracias a la sincronización de dos satélites.

En la década de los años 60, junto a los satélites artificiales, las misiones tripuladas aportaron más de 35,000 imágenes tomadas por los astronautas, conscientes del interés científico de las mismas. Las primeras fueron tomadas por Alan B. Shepard durante una de las misiones de la plataforma Mercury, en 1961. Entre 1965 y 1966, se desarrolló el programa Gemini. Sus investigaciones geológicas y oceanográficas permitieron obtener 2,400 fotografías desde el espacio.

Los astronautas fueron adquiriendo un creciente entrenamiento en Ciencias de la Tierra, Meteorología y Oceanografía. Desarrollaron una sensibilidad especial para captar megaformas, gracias a la visión global, junto a numerosos fenómenos naturales y humanos de interés, anticipando, en ocasiones, la aparición de desastres.

Más tarde, las misiones Apollo ensayaron nuevos experimentos científicos. Desde Apollo-6 se obtuvieron 750 fotografías de alta resolución espacial, estereoscópicas, en color. En Apollo-9 se embarcaron cuatro cámaras Hasselblad con filtros multiespectrales y películas en blanco y negro sensibles a distintas longitudes de onda y en infrarrojo color.

Los éxitos acumulados por la NASA, hicieron concebir nuevos proyectos focalizados en la cartografía y evaluación de recursos naturales. El 23 de julio de 1972 se puso en órbita el primer satélite de la serie ERTS (Earth Resources Technollogy Satellite), rebautizada LANDSAT, a partir de 1975. Esta familia de satélites ha sido la más fructífera en aplicaciones civiles de la teledetección. Los estudios han crecido de forma exponencial y han incidido en temáticas muy diversas.

En 1981, el lanzamiento del transbordador espacial Space Shuttle supuso un nuevo hito en la carrera espacial. A lo largo de las veinte misiones que se

sucedieron entre 1981 y 1994 se obtuvieron 45,000 fotografías espaciales, de dominio público. Entre todas, merece la pena destacar las fotografías estereoscópicas obtenidas desde esta plataforma tripulada por las cámaras métricas RMK (Zeiss) y de gran formato (Itek) con objeto de probar sus aptitudes para generar cartografía topográfica básica de escalas medias, a bajo coste, en los países menos desarrollados.

En 1986, Francia, en colaboración con Bélgica y Suecia, lanza el satélite SPOT (Système Pour l'Observation de la Terre). Este satélite, de órbita heliosíncrona, tiene una repetitividad de 26 días. Se han lanzado otros cuatro satélites de la misma familia en 1990, 1993, 1998 y 2002. El sensor HRV (Haute Résolution Visible) dispone de una tecnología de exploración por empuje. Incorpora la posibilidad de captar escenas verticales y oblicuas en dos órbitas sucesivas, gracias a lo cual es posible disponer de imágenes estereoscópicas.

En 1991, la Agencia Espacial Europea (ESA), lanzó su primer satélite de teledetección, el ERS-1 (European Remote Sensing Satellite). En 1995, se lanzó el segundo satélite de esta serie, el ERS-2. Su objetivo era complementar a los sensores ópticos embarcados en Landsat y SPOT. Aunque sus aplicaciones han sido muy variadas, se orientaban al estudio de los océanos y de la criosfera. Junto a los sensores activos de tipo radar, se han embarcado otros dispositivos de barrido térmico, altímetros y medidores de ozono.

En septiembre de 1999, se lanza el satélite IKONOS-2, con 1 m de resolución espacial. De esta manera, Space Imaging, ahora integrada en la empresa Geoeye, inaugura el mercado de los satélites comerciales de teledetección, ocupando un segmento comercial (el de las observaciones de alta resolución espacial) hasta entonces reservado a la fotografía aérea. En octubre de 2001, la empresa Digital Globe lanza el satélite QuickBird, con dos cámaras de alta

resolución espacial, 61 cm. en modo pancromático y de 2.5 m, en modo multiespectral.

En diciembre de 1999, la NASA lanza el satélite TERRA. Unos años más tarde, en mayo de 2002, se pone en órbita el satélite AQUA. Ambas plataformas forman parte del ambicioso programa EOS (Earth Observing System), un sistema de observación global de la Tierra que organiza los satélites participantes en torno a una constelación. Los sensores embarcados (ASTER, MODIS, CERES, MISR, MOPPIT, entre otros) se complementan para generar variables de gran interés ambiental y estudiar procesos globales (U.S. Geological Survey, 2007).

El 29 de julio de 2009, Deimos Imaging (DMI) lanza, con éxito, el primer satélite de observación de la Tierra, DEIMOS-1, explotado por una empresa española privada. Se trata de una plataforma de órbita heliosíncrona, a 680 km. de altitud. Dispone de 6 cámaras que captan información en las regiones espectrales del verde, rojo e infrarrojo próximo, con una resolución espacial de entre 20 y 22 m. Se espera que cubra múltiples aplicaciones desde los estudios de agricultura y ocupación del suelo hasta la gestión de recursos naturales y prevención de desastres.

La ESA (Agencia Espacial Europea) lanza, con éxito, el 2 de noviembre de 2009, el satélite SMOS. Para España es relevante esta misión porque el responsable científico de la misma es un investigador del CSIC. Además, el único instrumento de la carga útil (MIRAS) ha sido completamente fabricado por la industria española y el procesado de los datos se realizará desde la estación de Villafranca del Castillo. Su objetivo es medir la humedad del suelo y la salinidad de los océanos, (U.S. Geological Survey, 2007) .

SISTEMA DE TELEDETECCIÓN

La percepción remota se refiere a técnicas utilizadas para colectar información acerca de un objeto y sus alrededores desde una distancia que no estén físicamente en contacto con ellos, (Chuvieco Salinero, 2008). Normalmente, esto se convierte en alguna forma de imágenes, que posteriormente son procesadas e interpretadas para producir datos útiles para su aplicación en agricultura, arqueología, ingeniería forestal, geografía, geología, planeación de riesgos y otros campos. La información acerca del objeto es obtenida por un sistema de sensores localizado en un satélite o una aeronave, que reciben radiación electromagnética, la cual puede ser emitida por el objeto o haber interactuado con el objeto. Aquí se considera el último caso, en donde la fuente de radiación no es el objeto. El proceso de percepción remota involucra los siguientes pasos:

- Una fuente de energía, la cual ilumina o proporciona energía electromagnética al blanco de interés. La percepción remota pasiva de la superficie de la Tierra utiliza la radiación del Sol. La Tierra es también un emisor de radiación, proveyendo información acerca de su superficie.
- Como la energía viaja desde el Sol hasta un blanco sobre la superficie de la Tierra, ésta interactúa con la atmósfera cuando la atraviesa. Esta interacción puede ocurrir nuevamente mientras la radiación viaja del blanco al sensor.
- Una vez que la radiación alcance al blanco, interactúa con éste, dependiendo de las características del blanco y de la radiación.
- Una vez que la energía haya sido dispersada (o emitida) por el blanco, un sensor remoto recogerá y registrará la radiación electromagnética.
- La energía registrada por el sensor será transmitida en forma electrónica a una estación de recepción y de proceso donde los datos se procesan en una imagen.

- La imagen procesada se interpreta para extraer la información sobre el blanco.
- La información que hemos obtenido sobre el blanco se utiliza para entenderlo mejor, revelar nueva información, o ayudar a solucionar un problema determinado relacionado con éste.

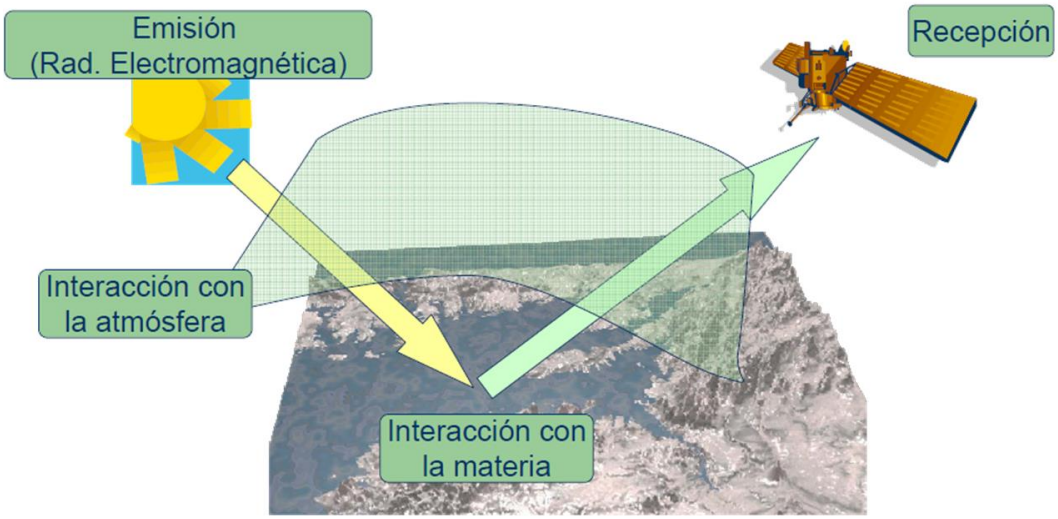

Figura 2. Componentes de un Sistema de Teledetección

El Espectro Electromagnético

El flujo radiante detectado por los sensores remotos es descrito como una condición de una región o regiones del espectro electromagnético. El espectro electromagnético entero se extiende desde los rayos cósmicos a longitudes de onda corta y las radiofrecuencias bajas y longitudes de onda larga, aunque algunos sensores han realizado trabajos para longitudes de onda más cortas.

El espectro visible es observado cuando la luz blanca es dispersada por la refracción en un arco iris. Todos los tipos de cobertura terrestre (tipos de roca, cuerpos de agua, tipos de vegetación, cascos urbanos etc.) absorben una parte

de la radiación electromagnética, dándole una firma distinguible de otra a lo largo del espectro. Se puede analizar los datos de las imágenes provenientes de sensores remotos y crear hipótesis bastante precisas acerca de una cobertura gracias a su firma espectral (Mayalarp & Et., 2010).

La figura 3 muestra las principales regiones del espectro electromagnético empleadas en percepción remota. Las regiones correspondientes al infrarrojo cercano y medio son muchas veces referidas como la región del infrarrojo de onda corta (SWIR-Short Wave Infrared Region). Esta se distingue de la región termal o de la región del infrarrojo lejano que también es conocida como la región del infrarrojo de onda larga (LWIR-Long Wave Infrared Region). Estas dos regiones se distinguen en que el SWIR se caracteriza por radiación reflejada mientras que el LWIR se caracteriza por emisión de radiación.

Rangos del Espectro Electromagnético.

Espectro visible (Vis 0.4–0.7 m). Se denomina de esta forma por tratarse de la única radiación electromagnética que puede percibir nuestros ojos, coincidiendo con las longitudes de onda en donde es máxima la radiación solar.

Dentro de esta región se distinguen tres bandas elementales que se denominan Azul (0.4–0.5 m), Verde (0.5–0.6 m) y Rojo (0.6–0.7 m), debido a los colores primarios que los ojos perciben a esas longitudes de onda.

Infrarrojo cercano (IRC, 0.7–1.3 m). También conocido como infrarrojo próximo, reflejado o fotográfico, puesto que parte de él puede detectarse a partir de películas dotadas de emulsiones especiales.

Esta región resulta de especial importancia por su capacidad para discriminar masas vegetales y concentraciones de humedad.

Infrarrojo medio (1.3–8 m). En esta región se entremezclan los procesos de reflexión de la luz solar y de emisión de la superficie terrestre.

La primera banda se sitúa entre 1.3 y 2.5 m, y se denomina infrarrojo de onda corta (Short Wave Infrared, SWIR), que es idónea para estimar el contenido de humedad en la vegetación o los suelos.

La segunda, comprendida principalmente en torno a los 3.7 m, se conoce como Infrarrojo Medio (IRM), siendo determinante para la detección de focos de alta temperatura (incendios o volcanes activos).

Infrarrojo lejano o térmico (IRT, 8–14 m). Incluye la porción emisiva del espectro terrestre, en donde se detecta el calor proveniente de la mayor parte de las cubiertas terrestres.

Microondas (M, por encima de 1 mm). Es de gran interés por ser un tipo de radiación bastante transparente a la cubierta nubosa.

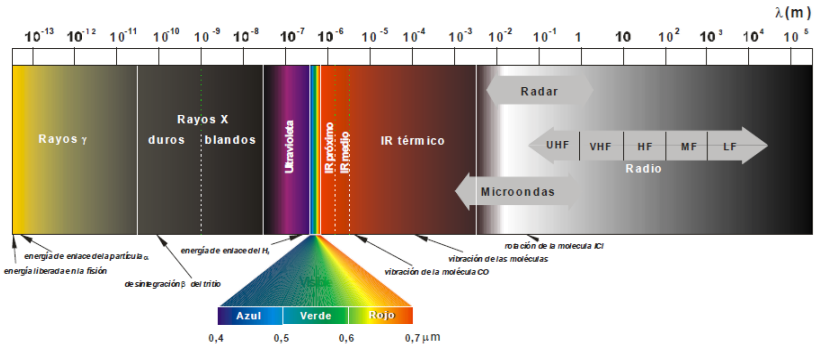

Figura 3. Espectro Electromagnético Fuente: (Jensen, 1996)

Absorción Espectral. La absorción espectral está basada en la composición molecular de los elementos de la superficie y depende de las longitudes de

onda, la composición química y la composición cristalina del material (Bejarano, 2013).

La absorción atmosférica tiene una particular importancia en percepción remota especialmente en lo relativo a sensores pasivos, que utilizan la radiación electromagnética proveniente del sol, ya que la atmósfera se comporta como un filtro selectivo de tal forma que algunas regiones del espectro eliminan cualquier posibilidad de observación remota. La absorción atmosférica es mostrada en la Figura 4.

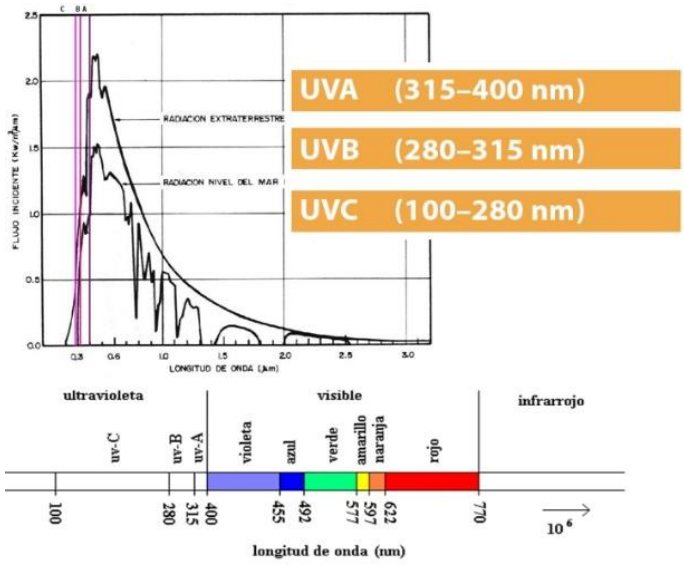

Figura 4. Espectro de susceptibilidad atmosférica Fuente: (Jensen, 1996)

PREPARACIÓN DE LAS IMÁGENES DIGITALES

La Imagen Digital

La calidad de una imagen digital depende de muchos factores, algunos de los cuales son puramente subjetivos. Pero hay dos de ellos muy importantes, y que se pueden medir. Son la cantidad de detalle y el nivel de contraste de ese detalle, que determina la definición con que lo percibimos. Ambos factores están estrechamente relacionados y puede decirse que son las dos caras de una

misma moneda. Una imagen con más detalles y más contraste será preferida por cualquier observador a la misma imagen, pero reproducida con menos detalles y con menor contraste.

Una imagen digital es una imagen (función) f (x, y) que ha sido discretizada tanto en coordenadas espaciales como en luminosidad. Una imagen digital puede ser considerada como una matriz cuyos índices de renglón y columna identifican un punto (un lugar en el espacio bidimensional) en la imagen y el correspondiente valor de elemento de matriz identifica el nivel de gris en aquel punto, (figura 5). Los elementos de estos arreglos digitales son llamados *elementos de imagen* o *pixel*.

Figura 5. Representación gráfica de un pixel Fuente: (Jensen, 1996)

En el tratamiento de imágenes se pueden distinguir tres etapas principales:

1) Adquisición de la imagen.
2) Procesamiento de la imagen.
3) Presentación al observador.

La adquisición de la imagen está a cargo de algún transductor o conjunto de transductores que mediante la manipulación de la luz o de alguna otra forma de

radiación que es emitida o reflejada por los cuerpos, se logra formar una representación del objeto dando lugar a la imagen. Ejemplos: el ojo humano, sensores de una cámara fotográfica, sensores de un satélite orbital, vídeo, tomógrafos (DMAP, 2006).

Es importante saber que, durante la etapa de adquisición, los transductores agregan ruido a la imagen. Además del ruido, los transductores poseen una resolución limitada, lo cual repercute en la apreciación de dicha imagen. El procesamiento digital de la imagen consiste en eliminar la mayor cantidad de ruido que se le agrega durante la adquisición, así como también mejorar las características de dicha imagen como: definición de contornos, color, brillo, etc., valiéndose de procedimientos y herramientas matemáticas. En esta etapa se encuentran también técnicas de codificación para el almacenamiento o bien para la transmisión.

La presentación al observador consiste en el método empleado para exponer la imagen la cual puede ser impresa o por medios electrónicos como la televisión, el monitor de una computadora, o algún otro medio. Para la presentación de la imagen se deben considerar ciertos aspectos de percepción humana, así como las velocidades de despliegue del dispositivo utilizado.

Elementos de una Imagen Digital

Supóngase primero que se tiene una fuente de radiación de tipo ondulatoria (electromagnética o acústica) o de tipo corpuscular (neutrones, electrones o positrones). La figura 6 muestra a la fuente separada del sistema físico que se desea estudiar; sin embargo, para materiales radioactivos, ésta se encuentra embebida o dentro del objeto de interés.

En arreglos experimentales donde se emplean rayos X o haces de neutrones, la radiación puede atravesar la escena bajo estudio; estas situaciones serían casos particulares del esquema mostrado en la figura 6. La siguiente discusión se aplica a cualquiera de estos arreglos o a cualquier fuente de radiación.

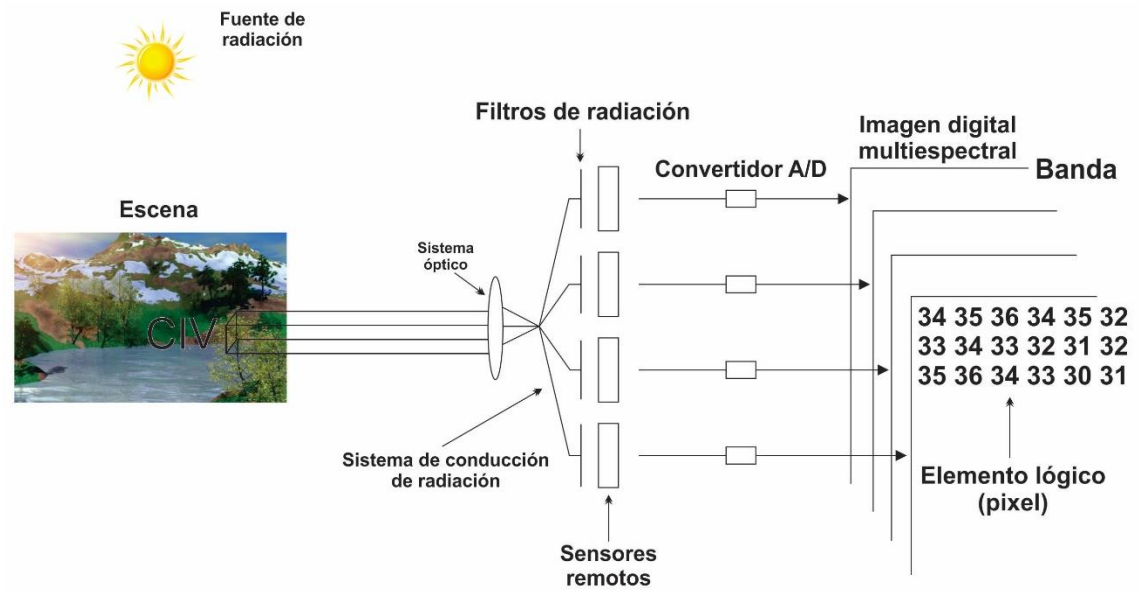

Figura 6. Generación de una imagen digital multiespectral a partir de una escena Fuente: (Jensen, 1996)

La radiación emitida por la fuente se hace interaccionar con un elemento físico de la escena llamado *campo instantáneo de vista* (*CIV*). La manera particular en que se realiza la mecánica de esta interacción depende de la geometría y detalles técnicos del arreglo experimental empleado; no obstante, el presente enfoque es suficientemente general y la identificación de los elementos de la imagen no depende de estos detalles particulares.

Imágenes de Satélite

Una imagen satelital es una matriz digital de puntos (igual a una fotografía digital) capturada por un sensor montado a bordo de un satélite que órbita alrededor de

la Tierra. A medida que el satélite avanza en su órbita, “barre” la superficie con un conjunto de detectores que registran la energía reflejada, (Dent, 1999).

La teledetección espacial hace uso de las imágenes de satélite como un insumo de datos para extraer información del medio geofísico y geográfico. El número de bandas, las regiones del espectro electromagnético en las cuales éstas se encuentran localizadas, la resolución espacial y el tamaño de la imagen, producidas por los diferentes satélites es variado.

Las imágenes de satélite, se encuentran en formato raster, el cual consiste en una matriz de miles de píxeles, en donde cada píxel tiene un valor digital o de reflectancia; ejemplificando, si la resolución de la imagen es de 30 metros, cada píxel muestra un área en la superficie terrestre de 30x30 metros (900 m^2), con esto, la firma espectral o reflectancia de todos los objetos existentes en una superficie de 900 m^2 será promediada para darle su valor digital al píxel. La información contenida en cada píxel está en formato digital, normalmente de 8 bit (28 = 256) en una imagen en blanco y negro, en donde el 0 corresponde al color negro, 255 al color blanco y se encuentran 254 distintos tonos de gris intermedios, (Jensen, 2007).

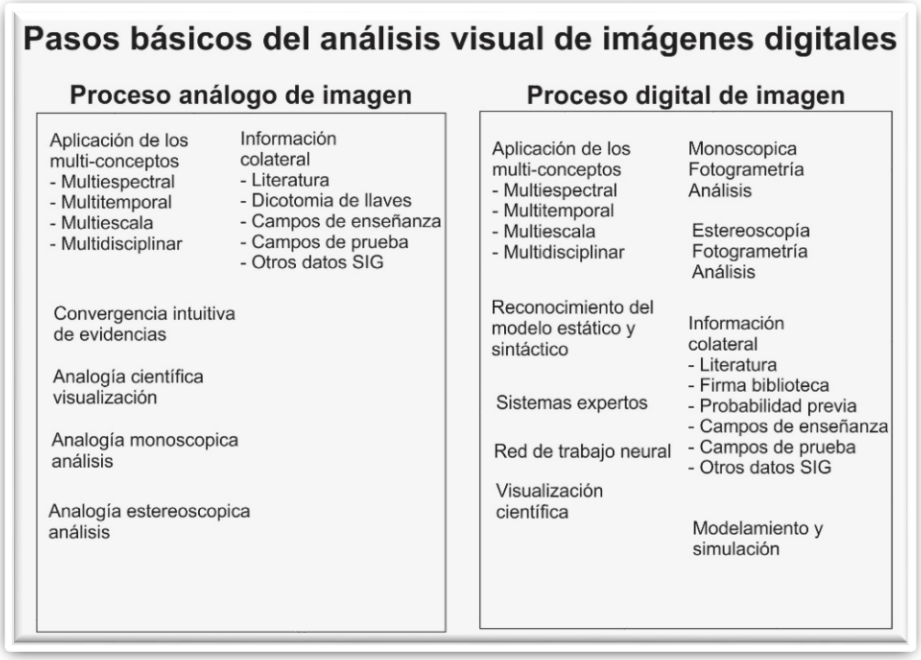

Figura 7. Pasos básicos del análisis visual y digital de imágenes Fuente: (Jensen, 2007)

Imágenes Pancromáticas: Se captan mediante un sensor digital que mide la reflectancia de energía en una amplia parte del espectro electromagnético (con frecuencia, tales porciones del espectro reciben el nombre de bandas). Para los sensores pancromáticos más modernos, esta única banda suele abarcar la parte visible y de infrarrojo cercano del espectro. Los datos pancromáticos se representan por medio de imágenes en blanco y negro.

En imágenes a color se tienen tres bandas (azul, verde y roja, con 8 bits por canal, 24 bits o 224 = 16 777 216 colores), cada una muestra la reflectancia de un objeto en determinadas áreas del espectro electromagnético; de la misma forma, los satélites colectan información en bandas espectrales que van principalmente del visible al infrarrojo.

Imágenes Multiespectrales: Se captan mediante un sensor digital que mide la reflectancia en muchas bandas. Por ejemplo, un conjunto de detectores puede

medir energía roja reflejada dentro de la parte visible del espectro mientras que otro conjunto mide la energía del infrarrojo cercano. Es posible incluso que dos series de detectores midan la energía en dos partes diferentes de la misma longitud de onda. Estos distintos valores de reflectancia se combinan para crear imágenes de color, (figura 8).

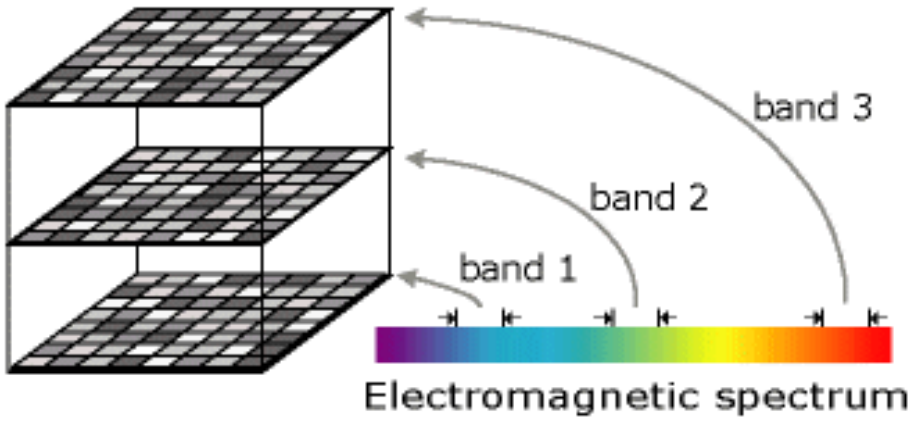

Figura 8. Imagen multiespectral Fuente: (Jensen, 1996)

Resolución espacial. Se refiere al objeto más pequeño que puede ser distinguido sobre la imagen de satélite. El objeto, es la mínima separación a la cual los objetos aparecen distintos y separados en la fotografía. Se mide en unidades de longitud (metros sobre el terreno), y depende de la longitud focal de la cámara y de su altura sobre la superficie. Esa distancia, corresponde al tamaño de la mínima unidad de información incluida en la imagen, que se denomina píxel; esta es la medida más generalizada de la resolución espacial. La resolución espacial está en estrecha relación con la escala de trabajo y con la fiabilidad finalmente obtenida en la interpretación, (Chuvieco Salinero, 2008).

Resolución espectral. La resolución espectral, indica el número y anchura de las bandas espectrales que puede discriminar el sensor. Entre los sensores espaciales, la menor resolución espectral corresponde al radar y a los sistemas fotográficos; por el contrario, los sensores ópticos - electrónicos ofrecen un

amplio rango de bandas. La elección del número, anchura y localización de las bandas que incluye el sensor está estrechamente relacionada con los objetivos de su diseño, (Chuvieco Salinero, 2008).

Resolución radiométrica. Se refiere a la capacidad para detectar variaciones en la radianza espectral que recibe. En el caso de los sistemas óptico-electrónicos, la imagen habitualmente se presenta en formato digital, gracias a una conversión analógico-digital realizada a bordo del satélite. El número de valores que incluye ese rango, es decir, el número máximo de niveles digitales de la imagen, suele identificarse con la resolución radiométrica del sensor. Actualmente, la mayor parte de los sistemas ofrecen 256 niveles por píxel, es decir, de 0 a 255, (Chuvieco Salinero, 2008).

Formatos de imagen digital

Por la forma de manejar los datos en un archivo de imagen, se puede hablar de dos modos principales para manipular la información que integra una imagen digital. Estos modos son las imágenes de mapa de bits y las imágenes vectoriales. Dado que cada uno se adapta mejor a un tipo de imagen, antes de conocer los diferentes formatos, debe conocerse el funcionamiento tanto de imágenes vectoriales como de imágenes de mapa de bits.

Imágenes de mapa de bits

Las imágenes de mapa de bits (bitmaps o imágenes raster) están formadas por una rejilla de celdas. A cada una de estas celdas, que se denominan píxeles, se le asigna un valor de color y luminancia propios. Por esto, cuando vemos todo el conjunto de celdas, tenemos la ilusión de una imagen de tono continuo, (INEGI, s.f.).

El píxel es una unidad de información, no una unidad de medida, ya que no se corresponde con un tamaño concreto. Un píxel puede ser muy pequeño (0.1 mm) o muy grande (1000 m).

Cuando se crea una imagen de mapa de bits se genera una rejilla específica de píxeles. Por ello, al modificar su tamaño, se transforma a su vez, la distribución y coloración de los píxeles, por lo que los objetos, dentro de la imagen, suelen deformarse.

Lo anterior es debido a que los objetos pierden o ganan algunos de los píxeles que los definen. Gracias a esta característica, que siempre hay que tener en cuenta, las imágenes de mapa de bits se crean con un tamaño determinado y pierden calidad si se modifican sus dimensiones, (IDRISI México, 2006).

Hay que mencionar que estos gráficos son los más comunes en las publicaciones digitales. Debido a que pueden generarse a partir de documentos impresos digitalizados, conseguirse a través de galerías tanto en línea como en CD-ROM, a partir de una cámara digital, etc.

Imágenes vectoriales

Los llamados gráficos orientados a objetos son las imágenes vectoriales. Su tamaño es mucho más reducido, en comparación con los mapas de bits, porque el modo como organizan la información de una imagen es más simple que en aquellos. Dicha simplicidad radica en generar los objetos que conforman una imagen a través de trazos geométricos determinados por cálculos y fórmulas matemáticas. De manera tal que los gráficos vectoriales se visualizan a partir de las coordenadas de una línea guardadas como referencia, mismas que forman los objetos a partir de la definición matemática de los puntos y líneas rectas o curvas, (ESRI, 2004).

Mientras que en un mapa de bits los objetos se definen píxel por píxel, por lo que no pueden manipularse individualmente, caso contrario sucede con las imágenes vectoriales, con ellas cada objeto, dentro de una imagen, puede modificarse sin que se alteren los demás. En un gráfico de vectores se delimitan por la posición de los puntos inicial y final así como por la trayectoria de la línea que los une. Como la información se guarda matemáticamente, esto hace posible que las imágenes vectoriales sean independientes de la resolución del monitor, ya que, al contrario de los mapas de bits, no dependen de los píxeles. Por lo tanto, tienen la mínima o máxima resolución que permita el formato en que se almacenen. Asimismo, al aumentar o reducir la resolución de un gráfico vectorial, tampoco se pierde definición en la imagen, porque la computadora solo tiene que redefinir las coordenadas y vectores que la imagen contenga pera redimensionar los objetos.

En un gráfico vectorial cada vector tiene una línea de contorno, con un color y un grosor determinados y, a su vez, también cuenta con un color de relleno. Por ello, las características de contorno y relleno se pueden manipular en cualquier momento. Las imágenes vectoriales son almacenadas como una lista que describe matemáticamente la posición de los puntos y de las características de sus vectores, así como también las propiedades de los objetos, (Dent, 1999).

Por último, los elementos constituyentes del vector, en las imágenes de este tipo, son las curvas de Bézier. Llamadas así a causa de Pierre Bézier que las desarrolló por encargo de la empresa Renault, para simplificar el diseño de sus carrocerías. Una curva Bézier se define por cuatro puntos: los puntos inicial y final de la curva (nodos o puntos de anclaje) y dos puntos de control (manecillas o manejadores), estos últimos, como su nombre lo indica, sirven para definir la forma de la curva y no aparecerán en la imagen final. Así, para modificar la curva sólo se tiene que mover alguno de los nodos y definir con la manecilla el grado de la curvatura que tendrá la línea. Estas curvas son fáciles de manejar además

de estilizadas y versátiles, ya que adoptan tanto curvaturas muy suaves (casi líneas rectas) como muy fuertes (curvas complejas). Además, pueden adaptarse a infinitud de formas. El diseño de iconos y logotipos es uno de los usos más frecuentes que se les dan, pero, también son muy útiles en el diseño y manipulación de fuentes de texto, (Keates, 1995).

Tipos de compresión

Se han desarrollado diferentes técnicas de compresión debido a que los archivos de imagen pueden ocupar mucho espacio, provocando que muchas veces sean imposibles de manejar con máquinas comunes. Estas técnicas tratan de reducir, mediante algoritmos matemáticos, el volumen del archivo para así disminuir los recursos que consuma y abreviar el tiempo transferencia. Estos complejos algoritmos matemáticos reducen de diversos modos los 0 y 1 que conforman una imagen digital. Asimismo, como con los formatos de imagen, las técnicas de compresión son de dominio público o pertenecen a la empresa que las desarrolló. Su división más común es la compresión sin pérdida y la compresión con pérdida; lo cual radica en que tanta información de la imagen se pierde al ser comprimida. Por último, hay que agregar que algunos de los formatos pueden utilizar varias de las diferentes técnicas para comprimir, (Vázquez Maure & Martín López, 1996).

Comprensión sin pérdida. Esta técnica condensa las cadenas de código sin despreciar nada de la información que forma la imagen, por lo que ésta se regenera intacta al ser descomprimida. Sin embargo, es menor la capacidad de compresión que provee este tipo de técnicas; dado que su fin es permitir una impresión de calidad, además de una exacta visualización de la imagen.

RLE (Run Length Encoded). Este esquema de compresión es el más sencillo y está basado en sustituir una determinada secuencia de bits por un código. Este

método analiza la imagen y determina los píxeles que son del mismo color. Al guardar la imagen, basta con registrar el valor del color y la posición de cada uno de los pixeles que lo utilizan. Con imágenes que se compongan por muchas o grandes zonas del mismo color se obtiene una excelente compresión sin perder calidad. Si la imagen contiene gran cantidad de colores, sucede lo contrario, y al comprimir con este método pueden obtenerse incluso archivos de mayor tamaño que los originales. Se usa principalmente con archivos de imágenes de barrido.

LZW (Lemple-Zif-Welch). Este método es muy similar al anterior, pero son más, y de los más comunes, los formatos que lo utilizan. Entre estos formatos están tif, pdf y gif, aunque, también es usado por los archivos que utilizan el lenguaje PostScript. Asimismo, también es muy efectivo con imágenes que contengan áreas de color de gran tamaño e imágenes sencillas, pero no con imágenes tipo fotográficas que contengan una extensa gama de colores.

ZIP. Este método está diseñado para todo tipo de archivos y cuenta con una gran extensión en su uso. Por lo mismo una gran mayoría de las computadoras puede leerlo. Los tipos de archivo que lo utilizan son pdf y tif.

Comprensión con pérdida. La compresión con pérdida hace que los algoritmos usados, para reducir las cadenas del código, desechen información redundante de la imagen. Así, los archivos comprimidos con este método pierden parte de los datos de la imagen. Algunos formatos, como el jpg, compensan esta pérdida con técnicas que suavizan los bordes y áreas que tienen un color similar, haciendo que la falta de información sea invisible a simple vista. Este método permite un alto grado de compresión con pérdidas en la imagen que, muchas veces, sólo es visible si se realiza un fuerte acercamiento (zoom). El grupo JPEG (Joint Photographic Experts Group) incluye este método de compresión en los archivos jpg y éste es, por mucho, el formato más difundido en el diseño para

Internet. También otros archivos, como los pdf y los archivos basados en el lenguaje PostScrip (eps y ps), emplean este método de compresión.

Sistemas de compresión emergentes. Estos sistemas de compresión están diseñados para generar imágenes con múltiples resoluciones a partir de un único archivo fuente que, evidentemente, está limitado por la resolución real de la imagen archivada. Estos sistemas proporcionan una gran flexibilidad cuando se manipulan imágenes en la computadora, pero están muy ceñidos a círculos profesionales y muy especializados.

Tipos de archivo

Windows ha sido el sistema operativo más usado desde su aparición y, por lo mismo, ha determinado algunos de los formatos de imagen digital más difundidos, (DMAP, 2006). Los dos formatos que soporta el Paint de Windows son bmp y pcx, aunque cabe resaltar que la utilización del primero ha sido mucho más notoria. Sin embargo, como en el mundo de la informática las cosas nunca son para siempre, esta circunstancia a favor del formato bmp, anteriormente citada, ha ido perdiendo fuerza con el mayor uso de Internet y la necesidad de formatos menos robustos. Estos nuevos requerimientos de la publicación en línea provocaron que se desarrollaran formatos pequeños que mantuvieran una aceptable calidad al ser presentados en pantalla. Los formatos más adecuados a estos parámetros prontamente se han ido extendiendo, sobre todo porque cada día es más común el uso de los navegadores, tanto para tareas académicas y comerciales como para consultas en general. Debe mencionarse que el uso de diferentes sistemas operativos, ha propiciado que muchos de los

formatos de imagen sean normalizados, esto es, que si uno crea un archivo en Windows puede ser leído por otro sistema operativo[1].

PCX. Este formato fue desarrollado por Zsoft para integrarlo a su programa Paintbrush. Por lo mismo la utilización de pcx está vinculada con la introducción de este programa. Su difusión no ha sido muy grande. Aunque si fue de los primeros formatos de imagen digital en la década de los ochenta, pero hoy en día es raro utilizarlo en proyectos de publicación o conservación electrónica de acervos.

BMP. El formato bmp (Bit Map) es el formato de las imágenes de mapa de bits de Windows. Su uso fue muy extendido, pero los archivos son muy grandes dado la escasa compresión que alcanzan. Sus características se muestran en la tabla 2:

Tabla 2. Características del formato BMP

Formato	Profundidad de Color	Modos Color	Canales Alfa	Compresión
BMP (.bmp)	1 bit: blanco y negro 4-8 bits: Escala de grises 8 bits: Color Indexado 24 bits: color RGB	RGB Color Indexado Escala de Grises Mapa de Bits	No	Si: RLE en en 4 y 8 bits

PSD. Este es el formato de Adobe Photoshop y, por lo mismo, es el único que admite todas las funciones que este programa contiene. Sin embargo, su uso se centra en la manipulación de la imagen y no tanto para ser empleado en publicaciones digitales. Presenta grandes ventajas para la edición, ya que al guardar con este formato podemos mantener las capas (en estas podemos

[1] Los formatos están enunciados de acuerdo con la terminación que tendría el archivo. Por ejemplo: **.bmp o **.png, donde los asteriscos antes del punto representan el nombre del archivo y las letras después del mismo el tipo de archivo.

manipular los diferentes elementos de una imagen por separado) que hayamos utilizado en la manipulación de la imagen.

EPS. Este formato llamado PostScript Encapsulado (Encapsulate PostScrip) es admitido prácticamente por todos los programas de edición y tratamiento de imágenes. Puede integrar tanto gráficos vectoriales como de mapa de bits. Para poder imprimir este tipo de archivos se tiene que utilizar una impresora PostScript. Tiene dos versiones avanzadas: el DCS con el que podemos guardar separaciones de color en imágenes CMYK de 32 bits y el DCS 2.0 que permite exportar imágenes que contienen canales de tinta plana.

TIF. El formato TIF (Tag Image File Format) se utiliza para imágenes de mapa de bits y es admitido prácticamente por todas las aplicaciones de autoedición y tratamiento de imágenes. Este formato fue desarrollado por Aldus Corporation. Lo reconocen casi todos los programas. Además, es compatible con PC y Mac. Su uso es de los más extendidos en la industria gráfica por la calidad de imagen y de impresión que presenta. Sus características se muestran en la tabla 3:

Tabla 3. Características del formato TIF

Formato	Profundidad de Color	Modos Color	Canales Alfa	Compresión
TIF (.tif)	32 bits	Mapa de bits Color Indexado Escala de Grises RGB	Si	Si: (LZW)

GIF. El formato GIF corresponde a las siglas de Graphics Interchange Format propiedad de eCompuServe. El formato GIF es preferible para las imágenes de tonos no continuos o cuando hay grandes áreas de un mismo color ya que utiliza una paleta de color indexado que puede tener un máximo de 256 colores. Una de sus mayores ventajas es que podemos elegir uno o varios colores de la paleta para que sean transparentes y podamos ver los elementos que se encuentren

por debajo de estos. También es uno de los pocos formatos de imagen con el que podemos mostrar animaciones porque hace que distintos frames se ejecuten secuencialmente. Además, es un formato de compresión diseñado para disminuir el tiempo de transferencia de datos por las líneas telefónicas. Sus características se muestran en la tabla 4:

Tabla 4. Características del formato GIF

Formato	Profundidad de Color	Modos Color	Canales Alfa	Compresión
GIF (.gif)	8 bits (256 colores)	Mapa de bits Color Indexado RGB	No	Si: (LZW)

JPG o JPEG: Este formato toma su nombre de Joint Photographic Experts Group, asociación que lo desarrollo. Se utiliza usualmente para almacenar fotografías y otras imágenes de tono continuo. Gracias a que utiliza un sistema de compresión que de forma eficiente reduce el tamaño de los archivos. En contraste con GIF, JPEG guarda toda la información referente al color con millones de colores (RGB) sin obtener archivos excesivamente grandes. Además, los navegadores actuales reconocen y muestran con fidelidad este formato. Sus características se muestran en la tabla 5:

Tabla 5. Características del formato JPG

Formato	Profundidad de Color	Modos Color	Canales Alfa	Compresión
JPEG (.jpg; .jpe)	24 bits	Escala de Grises RGB CMYK	No	Si: con pérdidas

PNG: PNG son las siglas del grupo que lo desarrollo Portable Networks Graphics pensando en un formato ideal para su distribución en Internet. PNG posee ventajas respecto a los otros formatos más comunes en este medio: JPG y GIF. Ya que fue desarrollado especialmente para su distribución en red posee gran

parte de las ventajas de un GIF y de un JPG. Por ejemplo, permite altos niveles de comprensión, además, permite utilizar la técnica de la indexación para crear colores transparentes, semitransparencias o transparencias degradadas. Finalmente, no está limitado a una paleta de 256 colores, sino que puede utilizar millones de colores. Su única limitación es que no podemos crear ficheros animados. Sus características se muestran en la tabla 6:

Tabla 6. Características del formato PNG

Formato	Profundidad de Color	Modos Color	Canales Alfa	Compresión
PNG (.png)	24 bits	RGB Color Indexado Escala de Grises Mapa de Bits	Si	Si: sin pérdidas

PDF. El formato PDF no es propiamente un archivo utilizado en el diseño de imágenes. Pero ha sido una de las soluciones para publicar, en Internet, documentos nada robustos que integren tanto imágenes como texto. Le proporciona al autor la seguridad de que el documento siempre será visualizado como él lo diseño. Es necesario para su visualización tener el programa Acrobat Reader de Adobe, mismo que puede ser utilizado por diferentes sistemas operativos. Este formato está basado en el lenguaje PostScrip, lo que le permite incluir gráficos tanto vectoriales como bitmaps. La utilización del PDF ha tomado gran fuerza entre las publicaciones digitales, porque, además de mantener el formato de la página e incluir diferentes tipos de gráficos, se pueden hacer ligas dentro del mismo archivo y a páginas en línea.

El formato PICT es el más utilizado en la plataforma Macintosh. Se le usa como un formato de archivo para las transferencias de archivos entre aplicaciones. PICT especialmente es efectivo para comprimir imágenes que contienen grandes áreas de color sólido. La compresión que realiza el formato PICT no es

buena para los canales alpha que normalmente contienen grandes superficies de blanco y negro.

Progressive JPG. Los archivos ProJEG son JPEG que están diseñados para su uso en línea, por lo que se visualizan por etapas en los navegadores. La imagen se visualiza toda y, mientras se carga, va mejorando su definición. De esta manera no tenemos que esperar la carga completa de la imagen para poder ver su contenido. Sin embargo, todavía son pocos los navegadores que reconocen este formato, afectando que su uso se extienda.

Representación del color

El mundo es de colores; donde hay luz, hay color. Al descomponer la luz encontramos que está compuesta por siete colores (existen otros más, pero no son detectados por el ojo humano), tal como se muestra en la figura 9.

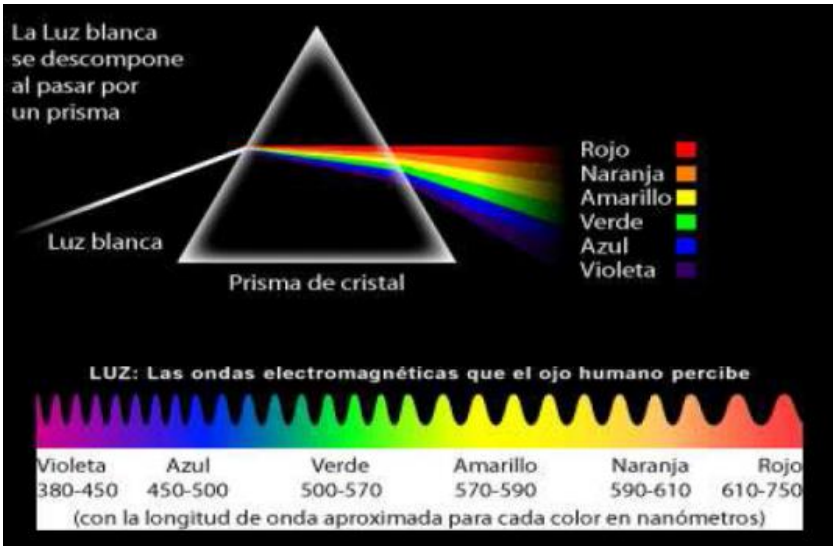

Figura 9. Descomposición de la luz blanca. Fuente: (U.S. Geological Survey, 2007)

El color es un atributo que percibimos de los objetos cuando hay luz. La luz está constituida por ondas electromagnéticas que se propagan a unos 300,000 Km/s.

Las ondas forman, según su longitud de onda, distintos tipos de luz, como infrarroja (IR), visible, ultravioleta (UV) y blanca. Las ondas visibles son percibidas por el ojo humano y su longitud de onda está comprendida entre los 380 y 770 nanómetros[2], (figura 10).

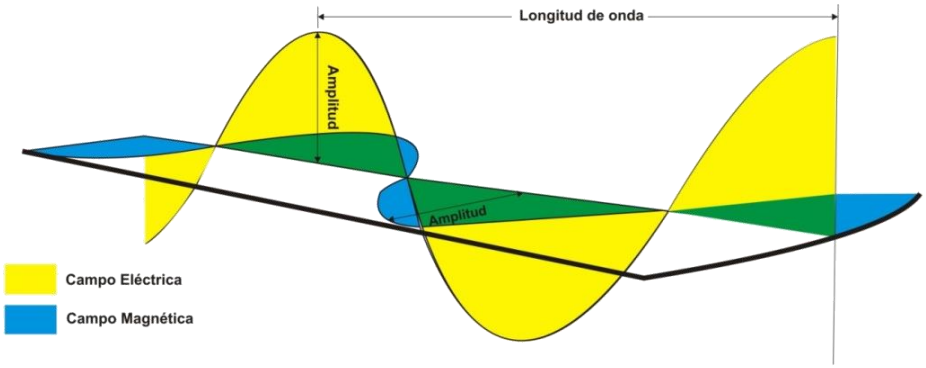

Figura 10. Onda electromagnética. Fuente: (Jensen, 2007)

Todos los cuerpos están constituidos por sustancias que absorben y reflejan las ondas electromagnéticas, es decir, absorben y reflejan colores. Un cuerpo opaco (no transparente) absorbe gran parte de la luz que lo ilumina y refleja una parte pequeña. Cuando este cuerpo absorbe todos los colores contenidos en la luz blanca, el objeto aparece negro, (figura 11).

[2] Nanómetro: Medida de longitud que equivale a la milmillonésima (10^{-9}) parte del metro. Símbolo nm.

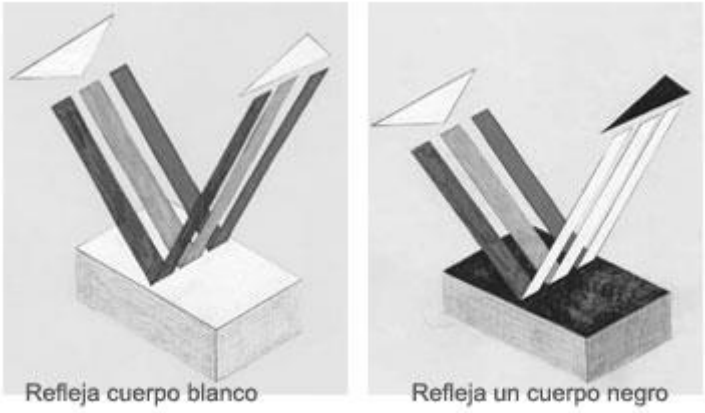

Figura 11. Absorción y Reflexión de la Luz; (a) Refleja un cuerpo blanco; (b) Refleja un cuerpo negro. Fuente: (DMAP, 2006)

Cuando refleja todos los colores del espectro, el objeto aparece blanco. Los colores absorbidos desaparecen en el interior del objeto y los reflejados llegan al ojo humano. Los colores que visualizamos son, por tanto, aquellos que los propios objetos no absorben, sino que los propagan.

Por ejemplo, el tomate nos parece de color rojo, porque el ojo sólo recibe la luz roja reflejada por la hortaliza, absorbe el verde y el azul y refleja solamente el rojo. Un plátano amarillo absorbe el color azul y refleja los colores rojo y verde, los cuales sumados permiten visualizar el color amarillo.

Cuando un cuerpo se ve blanco es porque recibe todos los colores básicos del espectro (rojo, verde y azul) los devuelve reflejados, generándose así la mezcla de los tres colores, el blanco.

Si el objeto se ve negro es porque absorbe todas las radiaciones electromagnéticas (todos los colores) y no refleja ninguno.

Colores primarios

Los colores primarios son aquellos que por la mezcla producirán todos los demás colores. En realidad, existen dos sistemas de colores primarios: colores luz y colores pigmento, (FotoNostra, 2017).

Colores Luz (síntesis aditiva): Los colores producidos por luces (en el monitor, televisión, cine, etc.) tienen como colores primarios, al rojo, el verde y el azul (RGB) cuya fusión, crean y componen la luz blanca. Por eso, a esta mezcla se la denomina, síntesis aditiva, y las mezclas parciales de estas luces dan origen a la mayoría de los colores del espectro visible, (FotoNostra, 2017).

Para representar un color en el sistema RGB se le asigna un valor entre 0 y 255 (notación decimal) o entre 00 y FF (notación hexadecimal) para cada uno de los componentes rojo, verde y azul que lo conforman. El color rojo puro, por ejemplo, se especificará como (255,0,0) en notación RGB decimal y #FF0000 en notación RGB hexadecimal, (figura 12).

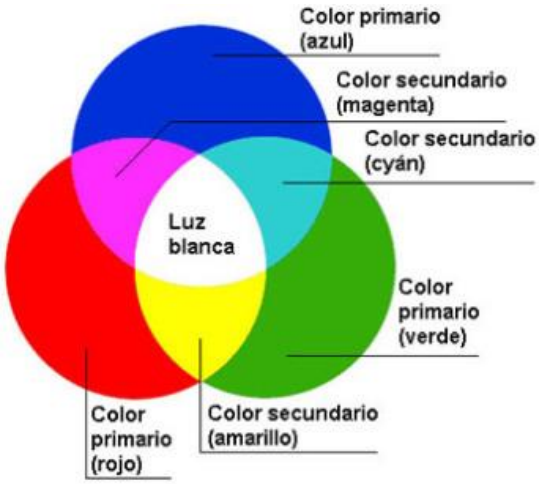

Figura 12. Colores Luz. Fuente: (DMAP, 2006)

Colores Pigmento (síntesis sustractiva). El color magenta, el cyan y el amarillo son los colores básicos de las tintas que se usan en la mayoría de los sistemas de impresión. La mezcla de los tres colores primarios pigmento en teoría debería producir el negro, el color más oscuro y de menor cantidad de luz, por lo cual esta mezcla es conocida como síntesis sustractiva, (figura 13).

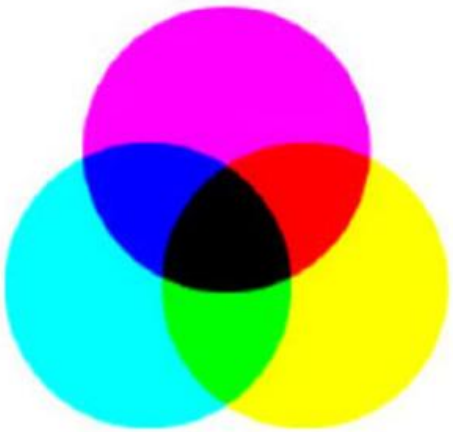

Figura 13. Colores Pigmento. Fuente: (DMAP, 2006)

En la práctica el color así obtenido no es lo bastante intenso, motivo por el cual se le agrega el negro pigmento, conformándose el espacio de color CMYK.
El blanco y negro son llamados *colores acromáticos* (sin color). El negro es la ausencia de luz y de color.

Se puede distinguir dos tipos de luz en función del color, la luz acromática y la cromática.

Acromática. Sin color, y su único atributo es la intensidad o cantidad de luz.

Cromática. Con color, y se caracteriza mediante tres parámetros:

- Radiancia. Cantidad total de energía que sale de la fuente luminosa.

- Luminancia. Cantidad de energía que percibe un observador, procedente de la fuente luminosa. Por ejemplo: la fuente infrarroja tiene alta radiancia y muy baja luminancia.
- Brillo. Es la luminosidad de un color. Se explicará con mayor detalle en las propiedades del color.

El uso del color en el procesamiento de imágenes y la visión artificial es fundamental principalmente por dos factores:

1) El color es un descriptor poderoso que simplifica la identificación de objetos y su extracción de una escena.
2) Los seres humanos podemos distinguir cientos de colores, sombras e intensidades, y es de gran importancia para el análisis de imágenes que hacemos en nuestro cerebro.

El color en gráficos digitales

Los modelos de color se utilizan para describir los colores que vemos y con los que trabajamos en los gráficos digitales. Cada modelo de color, como por ejemplo RGB, CMYK o HSB, representa un método diferente de descripción y clasificación de los colores. Los modelos de color utilizan valores numéricos para representar el espectro visible de color. Un espacio de color es una variante de un modelo de color que tiene una gama (rango) específica de colores. Por ejemplo, en el modelo de color RGB, hay un número de espacios de color: Adobe® RGB, sRGB y Apple® RGB. Aunque estos espacios definen el color en los mismos tres ejes (R, G y B), sus gamas son diferentes, (ARQHYS Arquitectura, 2017).

Cuando se trabaja con los colores de un gráfico, en realidad se están ajustando los valores numéricos del archivo. Es fácil pensar en un color como un número,

pero estos valores numéricos no son colores absolutos: solo tienen un significado de color dentro del espacio de color del dispositivo que lo está produciendo.

Como cada dispositivo tiene su propio espacio de color, solo puede reproducir los colores de su gama. Cuando una imagen pasa de un dispositivo a otro, los colores de la imagen pueden cambiar porque cada dispositivo interpreta los valores RGB o CMYK según su propio espacio de color. Por ejemplo, es imposible que todos los colores que se ven en un monitor sean idénticos a los impresos en una impresora de escritorio. Una impresora funciona en un espacio de color CMYK, mientras que un monitor lo hace en un espacio de color RGB. Sus gamas son diferentes. Algunos colores producidos por tintas no se pueden mostrar en un monitor, así como algunos colores que se muestran en un monitor no se pueden reproducir mediante el uso de tintas en papel (ARQHYS Arquitectura, 2017).

Aunque es imposible que todos los colores de los diferentes dispositivos coincidan exactamente, puede utilizar la gestión de color para garantizar que la mayoría de los colores sean iguales o parecidos para que parezcan coherentes.

Modelo de color RGB

Un amplio porcentaje del espectro visible se puede representar combinando luz roja, verde y azul (RGB) en proporciones e intensidades diferentes. En el lugar en el que se superponen los colores, se crean el cian, el magenta y el amarillo.

Los colores RGB se denominan colores aditivos porque el blanco se crea mezclando rojo, verde y azul, es decir, toda la luz se refleja y es captada por el ojo. Los colores aditivos se usan en iluminación, televisión y monitores de

ordenadores. Su monitor, por ejemplo, crea color mediante la emisión de luz a través de fósforos de color rojo, verde y azul, (figura 14).

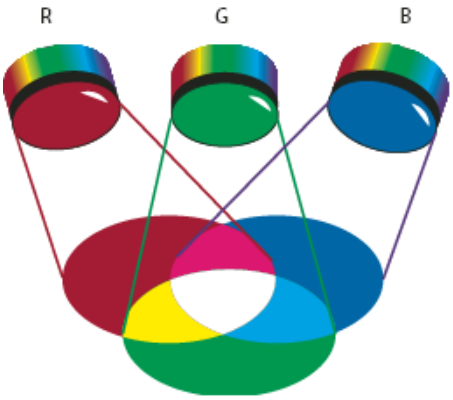

Figura 14. Modelo de color RGB. Fuente: (DMAP, 2006)

Colores aditivos (RGB): R=Rojo; G=Verde; B=Azul

Puede trabajar con valores de color utilizando el modo de color RGB, basado en el modelo de color RGB. En este modo cada componente puede utilizar un valor comprendido entre 0 (negro) y 255 (blanco). Por ejemplo, un color rojo fuerte podría tener un valor R de 246, un valor G de 20 y un valor B de 50. Cuando los valores de los tres componentes son idénticos, se obtiene un matiz de gris. Si el valor de todos los componentes es de 255, el resultado será blanco puro, y negro puro si todos los componentes tienen un valor 0.

Existe un modo de color RGB modificado, denominado RGB compatible con Web, que incluye solo aquellos colores RGB que son apropiados para su uso en Internet.

Modelo de color CMYK

Mientras que el modelo RGB depende de una fuente de luz para crear color, el modelo CMYK se basa en la capacidad de absorber luz de la tinta impresa en

papel. Cuando la luz blanca incide en tintas translúcidas, se absorbe una parte del espectro. El color que no es absorbido se refleja y es captado por el ojo (FotoNostra, 2017).

Al combinar pigmentos puros de cian (C), magenta (M) y amarillo (Y) se produce el negro, puesto que se absorben, o se eliminan, todos los colores. Por eso se denominan colores sustractivos. La tinta negra (K) se añade para mejorar la densidad de la sombra. La letra K se ha venido utilizando porque el negro es el color clave ("Key" en inglés) para registrar otros colores, y porque la letra B (que podría haberse usado para representar el color negro ("Black" en inglés) representa al azul ("Blue" en inglés). La combinación de estas tintas para reproducir colores se denomina cuatricromía, (figura 15).

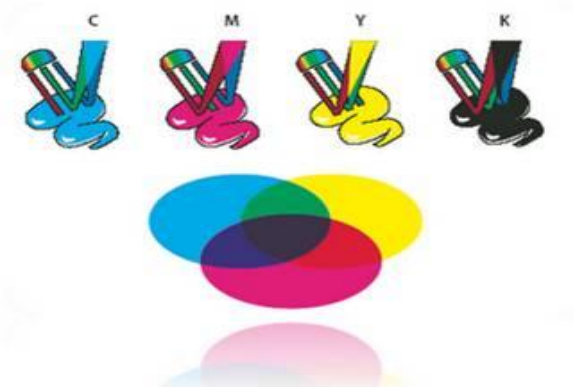

Figura 15. Modelo de color CMYK. Fuente: (DMAP, 2006)

Colores sustractivos (CMYK): C=Cian; M=Magenta; Y=Amarillo; K=Negro.

Puede trabajar con valores de color utilizando el modo de color CMYK, basado en el modelo de color CMYK. En este modo, cada tinta de la cuatricromía puede utilizar un valor comprendido entre 0 y 100%. Los colores más claros tienen un porcentaje pequeño de tinta, mientras que los más oscuros tienen porcentajes mayores. Por ejemplo, un rojo fuerte podría tener un 2% de cian, un 93% de

magenta, un 90% de amarillo y un 0 % de negro. En los objetos CMYK, los porcentajes de tinta bajos producen colores más cercanos al blanco y los porcentajes altos producen colores más cercanos al negro.

Modelo de color HSB

El modelo HSB se basa en la percepción humana del color y describe tres características fundamentales del color, (FotoNostra, 2017):

Tono: Color reflejado o transmitido a través de un objeto. Se mide como una posición en la rueda de colores estándar y se expresa en grados entre 0˚ y 360˚. Normalmente, el tono se identifica por el nombre del color, como rojo, naranja o verde.

Saturación: A veces denominada cromatismo, es la fuerza o pureza del color. La saturación representa la cantidad de gris que existe en proporción al tono y se expresa como un porcentaje comprendido entre el 0% (gris) y el 100% (saturación completa). En la rueda de colores estándar, la saturación aumenta a medida que nos aproximamos al borde de la misma.

Brillo: Luminosidad u oscuridad relativa del color y normalmente se expresa como un porcentaje comprendido entre 0% (negro) y 100% (blanco), [figura 16].

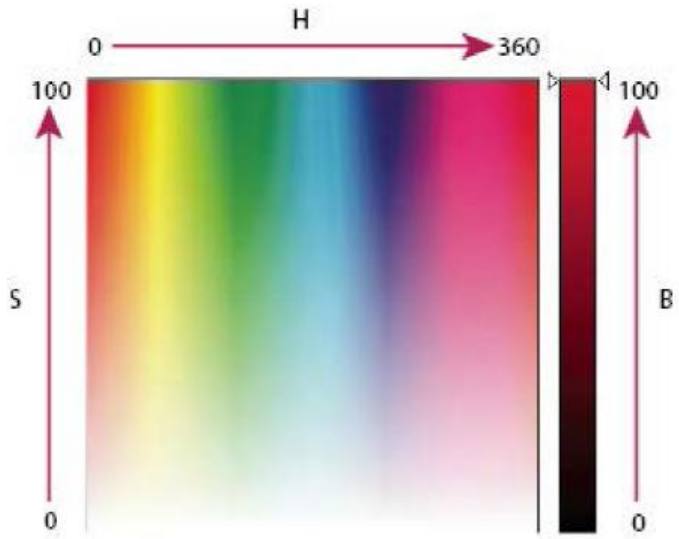

Figura 16. Modelo de color HSB. Fuente: (Dent, 1999)

Modelo de color HSB: H=Tono; S=Saturación; B=Brillo.

Modelo de color Lab

El modelo de color CIE Lab se basa en la percepción humana del color. Se trata de uno de los diferentes modelos de color que ha producido la CIE (Commission Internationale d'Eclairage, Comisión internacional de iluminación), una organización dedicada a la creación de estándares para todos los aspectos de la luz, (ARQHYS Arquitectura, 2017).

Los valores numéricos de Lab describen todos los colores que ve una persona con una capacidad de visión normal. Como Lab describe la apariencia del color en lugar de la cantidad de colorante necesaria para que un dispositivo (como un monitor, una impresora de escritorio o una cámara digital) produzca el color, Lab se considera un modelo de color independiente de dispositivo. Los sistemas de gestión de color utilizan Lab como referencia de color para transformar un color de forma predecible de un espacio de color a otro.

Escala de grises

La escala de grises utiliza matices de negro para representar objetos. Los objetos en escala de grises tienen un valor de brillo comprendido entre el 0% (blanco) y el 100% (negro). Las imágenes producidas con escáner de blanco y negro o de escala de grises se visualizan normalmente en escala de grises, (Chuvieco Salinero, 2008).

La escala de grises también permite convertir ilustraciones en color en ilustraciones en blanco y negro de alta calidad.

Los niveles de gris (matices) de los objetos convertidos representan la luminosidad de los originales.

Al convertir objetos de escala de grises a RGB, se asigna a los valores de color de cada objeto los valores de gris de los objetos originales. También se pueden convertir objetos de escala de grises en objetos CMYK, (tabla 7).

Tabla 7. Escala de tonos

Escala de tonos:	
BIT	Niveles de grises
1	2
8	256
24	16.7 millones

Gamas y espacios de color

Un espacio de color es un rango de colores en el espectro visible. Un espacio de color puede ser también una variante de un modelo de color. Adobe RGB, Apple RGB y sRGB son ejemplos de diferentes espacios de color basados en el mismo modelo de color, (figura 17).

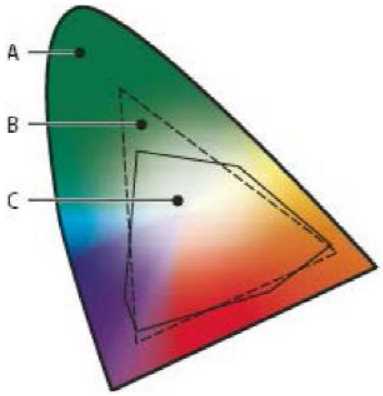

Figura 17. Gamas de diferentes espacios de color: A=Gama visual; B=Espacio de color RGB; C= Espacio de color CMYK. Fuente: (DMAP, 2006)

El rango de color incluido en un espacio de color se denomina gama. Los distintos dispositivos (monitor de ordenador, escáner, impresora de escritorio, imprenta, cámara digital) del flujo de trabajo funcionan con diferentes espacios de color y cada uno de ellos tiene gamas diferentes. Algunos colores de la gama del monitor no se encuentran en la gama de la impresora de inyección de tinta y viceversa. Cuando no se puede producir un color en un dispositivo, se considera fuera del espacio de color de ese dispositivo concreto. En otras palabras, el color está fuera de gama.

Falso color y pseudocolor.

Falso color: Transforma una imagen de color en otra imagen a color. En el procesado de imágenes de satélite, se generan a menudo imágenes en falsos colores porque incrementan la percepción de determinados detalles de la superficie. Por ejemplo, el pasto verde le pasa a color rojo. Una imagen en falso color es una representación artificial de una imagen multiespectral[3], (Figura 18).

[3] Conjunto de imágenes, con las mismas propiedades geométricas, y cada una de las cuales en un diferente rango de longitudes de onda del espectro electromagnético.

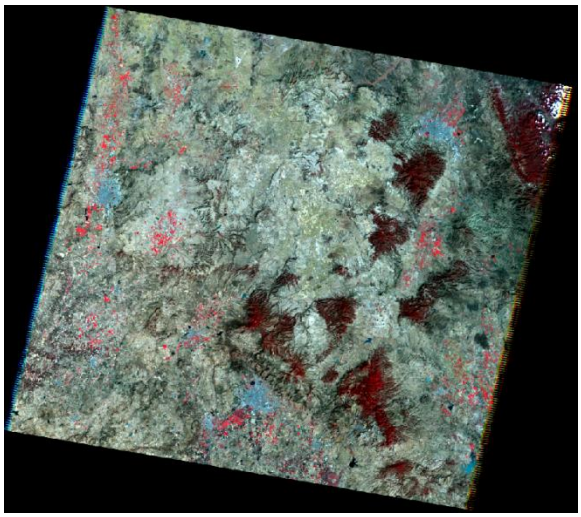

Figura 18. Imagen Landsat en falso color, combinación 432 (imagen multiespectral obtenida de http://glovis.usgs.gov y procesada en Ardas Imagine 2014)

Pseudocolor: Esta técnica utiliza imágenes con tonos de grises y realiza una transformación para generar una imagen en color, la cual es más agradable de visualizar. Para esto se ha sustituido la escala de grises por una tabla o paleta de colores, (Figura 19).

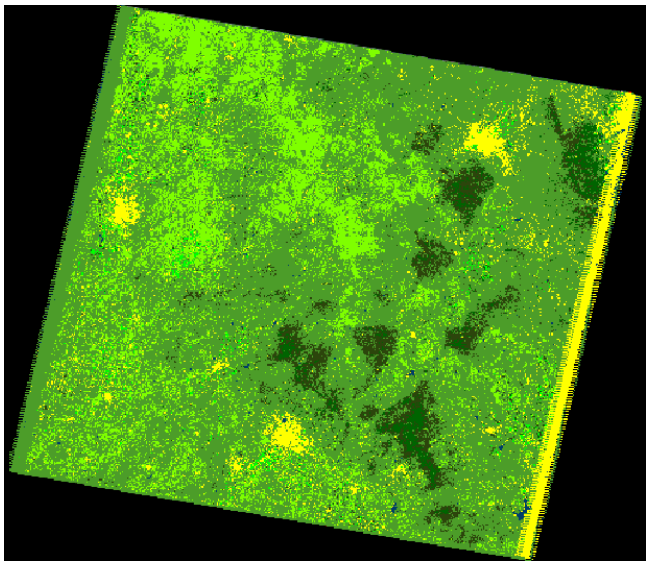

Figura 19. Imagen Landsat en Pseudocolor (imagen multiespectral obtenida de http://glovis.usgs.gov y procesada en Ardas Imagine 2014)

PROCESO DE FOTOINTERPRETACIÓN

La fotointerpretación es el conjunto de principios y técnicas tendientes a identificar y deducir características de los fenómenos registrados en las fotografías aéreas (Bejarano, 2013).

La fotolectura hace partes de estas técnicas y consiste en el reconocimiento de los objetos consignados en las imágenes.

En cambio el concepto de fotointerpretación es una actividad que en geografía, no solo implica la identificación de los elementos que conforman el espacio si no que, además involucra otras actividades tales como el establecimiento de unidades, la búsqueda de relaciones y explicación a través de análisis de casualidad para lo cual el geógrafo debe recurrir a otras fuentes de información de carácter bibliográfico y cartográfico que complementado con las visitas al terreno, conforman el proceso de fotointerpretación.

Requisitos del fotointerprete: En las fotografías aéreas se hallan consignados todos los elementos que conforman el espacio fotografiado y cada especialista encontrara en ellas la información que requiere para sus investigaciones.

Tanto en geografía como en otra disciplina, el óptimo aprovechamiento del material aerofotogramétrico no solo depende de la experiencia que tenga el fotointerprete en su manejo sino también de los conocimientos que posea del tema de investigación, los que combinados con las técnicas que el avance científico actual pone en su disposición, le permite desarrollar con mayor eficacia los trabajos relacionados con su campo de acción. Es decir, que, para llevar a cabo una excelente labor de investigación con el apoyo de las fotografías aéreas, no basta conocer sus características y tener destreza en su utilización,

sino que además es indispensable poseer una sólida formación relacionada con el tema objeto de estudio, (Jensen, 2007).

A este conocimiento previo de la materia de investigación se denomina nivel de referencia el cual es diferente para cada individuo.

El nivel más elemental consiste en la capacidad de las personas, sin ninguna preparación especificada, para identificar los objetos en las imágenes captadas desde el aire. El segundo nivel se refiere a los conocimientos precisos que tiene cada profesional en el área de formación que le permite obtener toda una gama de datos de las fotografías aéreas para sus estudios y que un sujeto que carece de esta formación no está en condiciones de lograr.

La calidad y la cantidad de información que se puede alcanzar de las imágenes esta en estrecha relación con el conocimiento previo que tenga la persona del objeto de estudios y de la habilidad para la utilización de esta herramienta de trabajo. El primer requisito es inherente a la formación profesional del fotointerprete. El segundo se puede lograr mediante el estudio de las técnicas básicas de fotointerpretación.

Elementos de reconocimiento y análisis: En la utilización de fotografías aéreas verticales con el propósito de obtener información y efectuar análisis de los fenómenos que conforman un espacio, es necesario conocer los elementos de reconocimiento los que combinamos con el nivel de referencia científico constituyen el marco de referencia básica del proceso de fotointerpretación.

Los elementos de reconocimiento y análisis son ciertas características propias de los objetos que son registrados en las películas pancromáticas fotografías en blanco y negro que desempeñan un papel decisivo en las etapas de identificación y examen de los aspectos que componen el área del estudio.

Se destacan en primer lugar, los que corresponden el terreno fotografiado, pero existen otros que también son de importancia y que pertenecen al tipo de material y equipo empleado en la toma de fotografías.

Reconocer e identificar. El fotointérprete debe obtener de la imagen toda la información disponible. Un buen trabajo de fotointerpretación debería reconocer cada tipo de fenómeno superficial e identificarlo en forma precisa, lo cual no siempre es posible, pues requeriría una gran experiencia y una labor demasiado larga, (Morales, 2016).

Se recomienda realizar una interpretación especializada en uno o dos aspectos (agrícola, industrial, urbanístico, etc.).

- ✓ Reconocimiento de áreas homogéneas. Se buscan tramas o texturas afines.
- ✓ Reconocer los accidentes naturales y artificiales más destacados.
- ✓ Reconocer líneas de circulación.
- ✓ Reconocer áreas de transición, por ejemplo, los campos en siembra o en cosecha.
- ✓ Deducir algunos indicadores especializados, mediante elementos que son reconocibles en la fotografía. Por ejemplo, indicadores socioeconómicos, tipo de construcción, superficie, ubicación, etc.
- ✓ Reconocer las relaciones que hay entre un fenómeno y otro. Por ejemplo, las líneas de ferrocarril que penetran en un área industrial.
- ✓ Registrar el reconocimiento en forma estadística o cartográfica.

Analizar. Estudio detallado de los fenómenos observados. Es indispensable tener presente la información adicional. Por ejemplo, si se hace un estudio industrial, además de las fotografías, existe un censo industrial.

Como parte componente del análisis se tiene:

- ✓ Análisis comparativo.
- ✓ Relaciones.
- ✓ Análisis dinámico (flujos y transformaciones).
- ✓ Registro del análisis (tiende a ser estadístico).

Deducir. Requiere condiciones fundamentales.

- ✓ Experiencia en fotointerpretación.
- ✓ Conocimiento del marco de referencia científico requerido.
- ✓ Imaginación y creatividad.

Se trata de obtener información que no aparece en la imagen registrada pero que es posible suponer según indicadores específicos.

Clasificar. La clasificación es una etapa en que el fotointérprete debe mostrar su capacidad científica más que técnica. Debe comprender los fenómenos agrupados según sus caracteres básicos de tal modo de inducir conclusiones válidas.

Finalmente debe mostrar su capacidad de ser objetivo para que lo que exprese sea la más fiel interpretación de la realidad.

- ✓ La clasificación debe contener un número de categorías suficiente para expresar la variedad del fenómeno.
- ✓ La clasificación debe ser lo más simple posible para facilitar la sistematización y comprensión de la realidad.

Idealizar. Consiste en la elaboración de un esquema abstracto, simplificado, que exprese las características del área fotointerpretada.

La idealización no corresponde exactamente a la realidad por cuanto se confecciona un esquema imaginado para comprender mejor la foto.

La Escala en el Proceso de Fotointerpretación

La escala en la fotografía aérea

Las fotografías aéreas son imágenes reducidas del terreno, por lo tanto, los objetos que en ella aparecen se encuentran disminuidos una cierta proporción que está determinada por la escala, (Bejarano, 2013).

Se define a la escala de una fotografía como la relación que existe entre una distancia medida en la foto (d) y su correspondiente longitud sobre el terreno (D), y se representa como una relación del tipo 1:X. Esto significa que 1 cm medido en la foto equivale a X cm en el terreno.

La escala también puede ser definida como el cociente entre la distancia focal de la cámara (f) y la altura de vuelo sobre el terreno (h) por lo tanto si la altura es muy grande la escala será pequeña y viceversa. Para establecer la escala de una foto se compara entonces la distancia expresada en centímetros entre 2 puntos de la fotografía y la distancia real en el terreno entre esos dos puntos, también expresada en centímetros. La mencionada distancia real puede determinarse de dos formas:

A) Midiéndola sobre un mapa topográfico.
B) Midiéndola directamente en el terreno.

Para establecer la escala se realiza una regla de tres simple o directamente se divide la distancia real por la distancia medida en la foto.

Ejemplo: Cálculo de la escala relacionando la distancia entre 2 puntos en la fotografía aérea y la distancia entre los puntos sobre un mapa topográfico.

d=distancia medida en la foto = 13.5 cm.
D=distancia medida (o calculada) en el terreno = 2525 m = 252500 cm

13.5cm (en la foto) ⟶ 252500 cm (en el terreno)

1cm (en la foto) ⟶ $x = \frac{252500}{13.5} = 18703.7 \text{ cm}$

Es decir que la escala de la foto es aproximadamente 1:18700 ya que se puede despreciar los decimales (dependiendo de la precisión requerida en el cálculo).

La escala en una imagen satelital

Los conceptos de escala y resolución espacial están estrechamente relacionados con el grado de detalle con que se puede visualizar en una dada imagen. Sin embargo, difieren en ciertos aspectos que conviene puntualizar.

Los siguientes son ejemplos de escalas y las correspondientes distancias terrenas para tres distancias medidas sobre un mapa o imagen, (tabla 8).

Tabla 8. Ejemplos de escalas

Escala	1 mm sobre la imagen	5 cm sobre la imagen
1:10000	10 m	500 m
1:40000	40 m	2000 m
1:500000	500 m	25000 m

El método de cálculo difiere según la referencia sea una imagen o mapa o bien una medida sobre el terreno.

Para calcular la escala desconocida de una imagen satelital es necesario comparar la distancia entre dos puntos sobre una referencia conocida y los mismos dos puntos sobre el mapa o imagen de escala desconocida. La referencia puede ser otra imagen o mapa de escala conocida o una distancia medida sobre el terreno. El método de cálculo difiere según la referencia sea una imagen o mapa o bien una medida sobre el terreno. En el primer caso la fórmula a aplicar es:

Ecuación 1 $$\boldsymbol{ED} = \left(\frac{\boldsymbol{DD}}{\boldsymbol{DR}}\right)\boldsymbol{ER}$$

Donde ED: escala desconocida a calcular; DR: distancia entre dos puntos medida sobre la imagen o mapa de referencia; DD: distancia entre los mismos dos puntos medida sobre la imagen o mapa de escala desconocida.

Un mapa topográfico a escala 1:100000 se usará para determinar la escala de una imagen satelital. Se seleccionan dos puntos que pueden ubicarse fácilmente sobre la imagen y el mapa. La distancia entre ellos en el mapa topográfico es de 8.3 mm y en la imagen es de 40.0 mm. La escala de la imagen será:

$$Ed = \left(\frac{40.0}{8.3}\right)\left(\frac{1}{100000}\right) = \frac{1}{20750}$$

En el caso de que la referencia sea una medida sobre el terreno la fórmula a emplear será:

Ecuación 2 $$\boldsymbol{ED} = \frac{\boldsymbol{MD}}{\boldsymbol{RD}}$$

Donde ED: escala desconocida a calcular; RD: distancia entre dos puntos medida sobre el terreno; MD distancia entre los mismos dos puntos medidos sobre el mapa o imagen.

Nota: Las unidades de RD y MD deben ser las mismas.

Ejemplo: si la distancia medida sobre la imagen satelital es de 40.0 mm y la distancia sobre el terreno son 415 m (415000 mm) la escala desconocida será:

$$ED = \frac{40.0}{415000} = \frac{1}{10735}$$

Escala vs Resolución Espacial. La resolución espacial de una imagen es una indicación del tamaño del pixel expresada en términos de dimensiones sobre el terreno. Usualmente se presenta por un valor único correspondiente a la longitud de un lado del cuadrado correspondiente a dicho pixel. Así, una resolución espacial de 30 m significa que el pixel representa un área de 30 m x 30 m sobre el terreno. Si el pixel fuera rectangular debería ser representado por su largo y ancho, por ejemplo 56 m x 79 m. La resolución espacial es una indicación del potencial de detalle que ofrece una imagen. Si una imagen de satélite de 1 m de resolución se imprime a una escala de 1/500000 se perdería el potencial de detalle que ofrece dicha imagen. La inversa también es cierta: si se imprime una imagen de baja resolución espacial, por ejemplo 500 m, a una escala muy fina sólo veríamos los pixeles individuales. Cuando efectuamos "zoom" repetido sobre una imagen digital (es decir, cuando vamos "afinando" la escala) llega un momento en que comienzan a visualizarse los pixeles, y a partir de ese punto, aunque sigamos afinando la escala no se aumentará su nivel de detalle llegando a dificultarse su interpretación, (Chuvieco Salinero, 2008).

Las Características de la Foto y el Terreno

Sitio y situación geográfica. Hay quienes consideran que el trabajo del fotointerprete comienza con la localización del objeto de su investigación para luego proceder a describir y delimitar sus formas. Esta actividad conduce a realizar el análisis de su disposición, su repetición su similitud y su singularidad, (Jensen, 2007).

Localizar un fenómeno, significa describir su sitio y situación. El concepto de sitio implica precisar el lugar exacto de su emplazamiento dentro de un medio local y, situación comprende el establecimiento de las relaciones que éste mantiene con otros objetos, bien sea cerca o alejados de él dentro de un espacio dado cuya extensión está en función de su forma e importancia.

El reconocimiento de los sistemas de organización de un espacio se apoya en el análisis del sitio y la situación. Estos se pueden realizar con el apoyo de un mapa de escala pequeña, si se trata de una ciudad o una región.

En geografía urbana el sitio constituye el emplazamiento o soporte físico donde se ha construido una ciudad el cual condiciona el paisaje urbano y su desarrollo espacial. La situación la constituyen en el entorno más lejano en el cual se organiza por medio de intercambio de bienes y servicios y vías o sistemas de comunicación.

En geografía rural la situación de un lugar puede indicar el tipo de clima, vegetación, suelos e incluso la actividad económica de la región. Por ejemplo, en una línea de costa de Caribe, se puede hallar un clima seco a semi-humedo, manglares e industrias pesqueras.

En zonas montañosas se puede identificar cultivos de papa, café y demás productos de la religión.

Forma y tamaño. La forma y el tamaño de los objetos son propiedades que permiten deducir el uso que se les da y las relaciones entre ellos, por ejemplo, la presencia de galpones, chimeneas, etc. Hace presumir que se trata de una fábrica, (Jensen, 2007).

El tamaño y la forma de una construcción indica si esta corresponde a un estadio, un hospital, un edifico de apartamentos, un club, etc.

De otro lado el tamaño de los objetos ayuda a establecer la diferencia entre las principales vías de comunicación de las secundarias; los ríos navegables de los que no lo son; los árboles de los arbustos; zonas de latifundio de las pequeñas propiedades.

Las formas del relieve permiten ubicar las áreas de los mejores suelos tales como terrazas, aluviales, abanicos aluviales, altiplanos.

En la identificación de las funciones en proceso tener presente que la acción del hombre en un espacio se manifiesta a través de formas geométricas con limites muy bien definidos poblados, carreteras parcelas, tala de bosques, etc. Mientras que las formas de los fenómenos naturales, sin intervención humana, tiene límites indefinidos un tipo de bosque, ríos, lagos, bahías, formas de relieve.

Patrón de distribución. Este elemento de reconocimiento se refiere al reparto espacial de un objeto o conjunto de objetos. La disposición de los fenómenos naturales es diferente a la que presentan aquellos en cuya distribución ha intervenido de la acción humana. En efecto, la organización de un bosque natural es bien distinta a la que se observa en un cultivo. En primer caso, la organización

de los árboles no se da de manera uniforme, mientras que, en el segundo, el hombre realiza sus cultivos con ciertos órdenes y limites bien definidos, (Jensen, 2007).

En el sector urbano, la disposición de los elementos puede identificar su esencia y propiedades: un barrio de invasión muestra una distribución y rasgos bien diferentes a una urbanización planeada y ejecutada por el gobierno o cualquier otra compañía que constituye las urbanizaciones con características arquitectónicas similares y espacios libres.

Tonos de gris: Las imágenes de los objetos en fotografías pancromáticas se forman a partir de una variación de intensidad de color gris como consecuencia de los diferentes grados de luminosidad que recibe la película en el momento de exposición. Esta alteración de la graduación del color tiene origen en la propiedad que tienen los cuerpos de la superficie terrestre para absorber o reflejar la energía proveniente del sol. Los tonos de gris son de gran ayuda en fotointerpretación porque tienen estrecha relación con las condiciones del drenaje del suelo, (Jensen, 2007).

Los minerales tienen la particularidad de reflejar más la luz solar y por esta razón son registrados con mayor intensidad que la del agua y la vegetación, los cuales absorben la mayor parte de aquella.

Los terrenos secos tienen una flexibilidad muy alta aparecen en una tonalidad clara, mientras que la humedad en estos, vuelven el tono gris más oscuro.

El movimiento de las aguas hace que estas aparezcan con tonos claros lo que permiten identificar los rápidos y cascadas.

El material rocoso desnudo se caracteriza por su alta reflexividad, aunque la roca tenga un color oscuro.

La vegetación se traduce, de manera general, por tonos oscuros que resultan de la absorción de una parte de la energía.
La vegetación y la mayor humedad del terreno contribuyen a oscurecer la tonalidad. Por otro lado, una superficie acuática con material en suspenso (minerales) aparece en gris más claro que otra cuyas aguas son claras y su tonalidad se presenta oscura.

Un campo recién arado se observa de color gris más claro y uniforme que un bosque o un cultivo.

El tono es un elemento de gran ayuda para establecer la variedad de especies de árboles en una zona y en diferenciación de los cultivos de una parcela. Por ejemplo, un pastizal muestra manchas dentro de su tonalidad, mientras que el cultivo es más uniforme.

Es necesario tener presente que, en ocasiones, un río se observa con diferentes tonos de gris en dos fotografías sucesivas como resultado del ángulo de la cámara con relación a la superficie acuática que actúa como un espejo en el momento de la toma de la fotografía.

Textura. En las fotografías aéreas es frecuente hallar zonas con identidad tonalidad de gris correspondiente a una agrupación de elementos pequeños que forman un agregado de textura gruesa, lisa y áspera. No obstante, que tales zonas tienen la misma intensidad, puede tratarse de fenómenos bien distintos por lo cual deberá ser examinados por su textura o sea por su apariencia o diferencia interna de sus componentes de cuyo análisis permite deducir si se trata de árboles, cultivos o pastos, porque la estructura interna de un bosque

natural es bien diferente a la trama fina que presenta un trigal o un pastizal, (Jensen, 2007).

Resolución. La resolución se refiere al tamaño mínimo de los objetos que se registra en las imágenes fotográficas de lo cual depende la nitidez con que se presentan los detalles de los fenómenos y que inciden en el trabajo de fotointerpretación, (Jensen, 2007).

La resolución depende de factores tales como la calidad de la lente de la cámara, tipo de emulsión, papel empleado y la escala de la fotografía.

Sombras. Las sombras que proyectan los objetos permiten su reconocimiento incluso medir su altura. Las sombras son zonas de menor intensidad luminosa, que en ocasiones dificultan la fotointerpretación, (Jensen, 2007).

Características de elementos para la fotointerpretación

Algunas características de elementos básicos considerados para la interpretación de fotogramas son las siguientes, (Bejarano, 2013):

Agua. Las masas de agua por lo general contrastan en tonalidad en relación al terreno de los alrededores. Las aguas claras y quietas aparecen oscuras; sin embargo, las aguas agitadas aparecerán más claras, debido que existe siempre un punto en cada ola que refleja la luz hacia la cámara.

Los litorales costeros de grandes masas de agua permiten identificar detalles de la forma de la costa (ensenadas, bahías, penínsulas, etc.), y el rompiente podrá visualizarse como un borde blanco.

Los lagos y lagunas pueden distinguirse claramente debido al gran contraste de tonalidad que presentan. Si son artificiales, se puede identificar la línea recta o curva regular del borde.

Los ríos se pueden identificar fácilmente por su ancho irregular y el contraste de tonalidad.

Bosques. En las fotografías áreas los bosques son visualizados como grandes masas de color oscuro con una tonalidad no uniforme.

Pantanos. Las áreas pantanosas y ciénagas se presentan en tonalidad pareja y con una aparente textura de suavidad.

Caminos. Los caminos y carreteras se encuentran entre los elementos artificiales más comunes y fáciles de identificar. Se presentan como líneas o franjas continuas con una tonalidad y textura pareja.

Ferrocarriles. Su apariencia es similar a la de los caminos en los fotogramas a escala pequeña y media. Se reconocen por las intersecciones angulares con caminos conocidos, por los pasos superiores e inferiores sin curvas de conexión. Además, los túneles son más frecuentes a lo largo de ferrocarriles que de caminos. En algunos casos los rieles reflejan gran cantidad de luz que es impresionado en la fotografía.

Túneles. Se reconocen porque terminan abruptamente y se reanuda el camino o vía férrea.

Puentes. Pueden ser fácilmente identificados por su relación transversal con respecto a los cursos de agua u otros accidentes que cruzan.

Aeropuertos. Se caracterizan por sus pistas, las cuales se visualizan como franjas anchas y rectas de tonalidad y textura contrastando con sus alrededores. Es posible distinguir hangares e incluso aviones en tierra.

Líneas telefónicas. Sólo es posible visualizarlas cuando las condiciones son totalmente favorables y por las sombras cortas y a intervalos regulares que proyectan los postes. Lo mismo ocurre con los tendidos y líneas eléctricas.

Zonas de cultivo. Se identifican por la forma regular además de su tonalidad y textura pareja y constante de toda el área. Si se cuenta con información de terreno es posible identificar el tipo de cultivo mediante la comparación de los patrones característicos.

El Proceso de Interpretación de las Imágenes

El proceso de fotointerpretación tiene etapas sucesivas y complementarias entre sí, las cuales deberán ser desarrolladas de manera sistemática teniendo en cuenta los fundamentos expuestos anteriormente y con una definición muy clara de los objetivos procediendo de lo particular a lo general (Chuvieco Salinero, 2008).

En primer lugar, es necesario determinar el objeto de estudio, puesto que este indicará los elementos de análisis y las pautas que se deben seguir en la fotointerpretación. Se puede pensar en varias ramas de la geografía algunas de ellas de carácter parcial como geomorfología o hidrología en las que el tema central de investigación lo constituyen las geoformas o el agua, respectivamente. Sin embargo, el objeto de estudio también puede referirse al medio ambiente natural y humanizado en cuyo caso es indispensable identificar los elementos naturales que los estructuran y las actividades que los grupos humanos desarrollan en él.

En segundo término, es necesario precisar el nivel de investigación que puede ser a escala regional o local. En cualquier caso, el área de estudio se localiza dentro de un contexto más amplio con lo cual guarda estrecha relación. Por ejemplo, al estudiar un barrio, este tiene que ser analizado en función de las relaciones que mantienen dentro de la ciudad.

Conviene recordar que cada fenómeno tiene una dimensión, espacial y cada, actividad desarrollada en él, es una manifestación de la ordenación del mismo en términos de relación y funcionalidad.

Reparación y recopilación de material. Una vez definido el sujeto del estudio y los objetivos que se pretenden lograr, se procede a la consecución del material aerofotográfico, mapas y demás información relacionada con el tema y área de investigación. Se constituye los modelos estereoscopios, se indagan sobre la fecha de toma de las fotografías, la escala, las propiedades generales de estas. Se localizan en el mapa topográfico con el fin de llevar a cabo el análisis del sitio y situación del fenómeno o área de fotointerpretación.

Cuando se trata de un estudio de la asociación del hombre con el medio, se recopila información no solo del medio natural sino también aquella relacionada con los grupos humanos y sus actividades tales como características demográficas, agricultura, ganadería, deforestación, vivienda, comercio, industria, comunicaciones, etc. la cual es de gran ayuda en el análisis de la interacción de la sociedad con su entorno.

Un buen trabajo de fotointerpretación se complementa con datos de otras fuentes lo que permite comprender las relaciones de casualidad del fenómeno que es objeto de examen, (IDRISI México, 2006).

Por último, con la información reunida y el examen preliminar de las imágenes se establece un marco conceptual de referencia que permita un criterio de evolución del terreno objeto de estudio. Es decir, se trata de construir una visión global de los elementos y características generales del área que se va a fotointerpretar, por ejemplo, si el trabajo se refiere a una zona montañosa se debe tener una idea acerca del tipo de fenómenos que serán identificados en las imágenes correspondientes a dicha zona.

Lectura de fotografías aéreas: Conocidas las propiedades de las fotografías aéreas de las cuales se dispone para la fotointerpretación y las características generales del área de estudio, se inicia el proceso de reconocimiento de los fenómenos que lo conforman. Se identifica uno o dos elementos a la vez, vivienda y comercio, relieve e hidrografía, vegetación y cultivos (INEGI, s.f.).

En esta etapa, los fundamentos de fotointerpretación y la experiencia del investigador, son especiales para un buen resultado final del trabajo.

La identificación de los fenómenos que constituyen el terreno puede hacerse de acuerdo con las siguientes pautas, aunque no necesariamente en su orden.

Reconocimiento de procesos: Los procesos que actúan en un espacio, según su naturaleza, pueden ser físicos, económicos o sociales. Una parécela con cultivo de papa, es mantenida como tal gracias a la interacción de varios procesos de tipo tecnológico, agrícola y social. Sin embrago, este sistema puede ser alterado por una acción humana o por un fenómeno natural. Es decir, que una modificación en cualquiera de ellos puede cambiar todo el sistema causando un impacto sobre la vida humana y sobre el funcionamiento del espacio.

Con el propósito de mejorar las condiciones de vida de la sociedad es necesario identificar los procesos que actúan en un espacio, evaluar su funcionamiento y

ver si se puede ejercer control en algunos de ellos para aumentar su eficiencia o evitar su deterioro.

La apertura de una nueva vía, por ejemplo, es un proceso que afecta de manera substancial las actividades y la ocupación de un área.

Identificación de líneas de flujo. El reconocimiento de las conexiones que estructuran un espacio como vías terrenales, carreteras, caminos, conductos de agua y otros sistemas de circulación son los elementos que aclaran y definen las relaciones espaciales de intercambio de bienes y servicios.

Las líneas de flujo y su área de influencia a través de un mapa de isobatas, ayudan a establecer las necesidades del área en materia de transporte y el acceso de la población a los servicios básicos.

Identificación de accidentes destacados. Se trata de reconocer accidentes tanto naturales como aquellas obras ejecutadas por el hombre que, por su tamaño, se destacan dentro del conjunto de fenómenos que conforman un espacio tales como grandes zonas boscosas, altas montañas, represas, edificaciones de gran tamaño, las cuales son fáciles de identificar con las fotografías aéreas.

Reconocimiento de indicadores especiales. Se trata de identificar los aspectos específicos del terreno en las fotografías aéreas que puedan servir para comprender y evaluar los procesos que actúan en el orden espacial.

El tamaño y la distribución de los elementos de una finca ayudan a deducir sus funciones, el grado de tecnificación y su nivel de producción.

En el área urbana la presencia de áreas de recreación, jardines en las casas, el tamaño y calidad de la vivienda permiten inferir las condiciones de vida de la población.

Identificación de las áreas homogéneas. Esta etapa consiste en el reconocimiento de áreas con las características similares de textura, intensidad en las tonalidades de gris. Patrón de distribución, habitad, técnicas de cultivo, geoformas.

La presencia de propiedades agrarias se destaca por el tamaño de las parcelas. Esta circunstancia permite deducir el grado de presión demográfica sobre la tierra en oposición a zonas casi vacías con posibilidades de una mejor ocupación.

Los terrenos de fuertes pendientes conforman un conjunto de áreas homogéneas frente a otros de tierras planas con aptitudes para la mecanización.

Otras áreas homogéneas las constituyen las zonas boscosas y las cultivadas, las cuales son fáciles de identificar por su textura, límites, patrón de distribución y tonalidad gris.

En el sector urbano las áreas homogéneas se delimitan teniendo en cuenta las características de tamaño y calidad de las construcciones, además de otros electos de juicio que aporta la geografía urbana.

Establecimientos de unidades significativas. La noción de unidad implica la agrupación de fenómenos con características comunes en conjuntos constituidos por una combinación de factores físicos y culturales.

Las primeras grandes unidades que se pueden determinar corresponden al sector urbano y rural. Los límites que las separan son fáciles de trazar mediante

el reconocimiento de las áreas donde determinan el espacio cultivado frente al urbanizado.

Dentro de estas agrupaciones se puede a su vez hacer otras diferenciaciones internas de los electos que las conforman. En el sector rural, es posible determinar el área cultivada y el medio no transformado por el hombre: entre el tamaño de las explotaciones y los sistemas de cultivo: entre las zonas de altas densidades de poblaciones y aquellas débilmente habitadas.

En cualquier caso, se debe buscar una explicación para tales diferenciaciones considerando al medio natural como algo relativo que ofrece posibilidades según el grado de tecnología y los recursos de sus habitantes. Puesto que ese medio, es una unidad relativa compuesta de factores más o menos dependientes que se oponen a otras unidades vecinas.

En el sector urbano se trazan líneas separando las zonas de vivienda de las áreas de uso comercial: vivienda de clase alta y media observando el tamaño, la calidad, servicios públicos y otros indicadores socioeconómicos según el objeto de estudio.

Análisis y clasificación de unidades: Esta fase de la fotointerpretación comprende un estudio más detallado de los electos que forman cada unidad, su naturaleza y la función que cumple dentro de esta.

Una vez realizado el análisis de los componentes de cada conjunto, estos se comparan entre sí, se examinan sus similitudes y diferencias. Con la información obtenida de las imágenes de otras fuentes se hace una clasificación de diferentes unidades según sus características físicas o culturales de manera que conduzcan a conclusiones validas sobre organización espacial.

Búsqueda de relaciones: La búsqueda de relaciones consiste en deducir información relacionada con la interacción de los diversos fenómenos físicos, económicos y sociales que estructuran un espacio. Esta tarea se lleva a cabo con base al conocimiento a priori del tema de investigación. Se identifican los problemas geográficos que aquejan al área de estudio y se obtienen conclusiones sobre los vínculos y funciones de cada conjunto.

Es evidente que para una definición completa de los problemas es necesario en variadas ocasiones consultar otros documentos y estadísticas. Sin embargo, si la fotografía es bien interpretada, debe permitir, definir los problemas generales del área tales como: carencia de agua y obras de infraestructura, pendientes muy fuertes, etc.

Relaciones entre elementos naturales: La definición de conjuntos espaciales parte del conocimiento de las relaciones entre sus componentes. De un fenómeno físico se puede deducir otro.

El relieve, por ejemplo, puede influir sobre el drenaje, sobre el suelo, sobre la vegetación, sobre el clima, sobre el uso de suelo, etc. Las variaciones de altitud influyen sobre la temperatura media, según gradientes que pueden cambiar de un lugar a otro de la tierra. Esta variación de temperatura debe tenerse en cuenta en la interpretación de un área por los diversos pisos térmicos que originan. Es necesario entonces, tener presente el piso térmico al que corresponde la fotografía.

Una pendiente muy fuerte del terreno coincide generalmente con suelos pobres y propensos a la erosión: en terrenos de pendiente moderada, pueden encontrarse suelos con buen drenaje, profundos y aptos para la agricultura: en terrenos planos, pueden presentar problemas de drenaje. Las formas del relieve

también permiten ubicar los mejores suelos: terrazas aluviales, valles de los ríos, abanicos aluviales, altiplanos, etc.

Relaciones entre elementos culturales y naturales. Las actividades humanas identificadas entre los mapas y en las fotografías aéreas, permiten establecer relaciones que no aparecen de manera explícita en estos, sin embargo, obedecen a una lógica geográfica, por ejemplo, la distribución de la población rural, sigue frecuentemente accidentes físicos tales como valles, terrazas, etc. Donde se encuentran los mejores suelos a su vez la vegetación permite deducir el tipo de suelos.

Evidentemente, hay un sinnúmero de posibles relaciones que pueden ser analizadas sin embargo es conveniente tener a mano una lista de fenómenos para no olvidar, haya o no relaciones importantes que anotar. Una lista de tales electos puede ser como se describe en la tabla 9.

Tabla 9. Relaciones geográficas

Elementos físicos	Elementos humanos	Geografía física	Geografía humana
Relieve y pendientes	Pueblos y ciudades	Geomorfología	Uso de suelo
Patrón de drenaje	Áreas agrícolas	Suelos	Área poblada de cultivos
Zonas pantanosas	Caminos, carreteras	Clima vegetación	Tenencia de la tierra
Forma de valle aluvial	Aeropuertos	Áreas inundables	Densidad de población
Áreas sin vegetación	Fábricas	Áreas con mal y buen drenaje	Limitantes en producción y en la ocupación del espacio
Montañas		Áreas con mayor y menor pendiente	Áreas urbanizadas
		Áreas con mayor y menor pendiente	Áreas con mayor concentración de población

Fuente: (IDRISI México, 2006)

Después que el trabajo de gabinete ha concluido se prepara la visita al terreno para aclarar los puntos de dudosa interpretación esto puede hacerse por muestreo.

El paso siguiente consiste en pasar los rasgos fundamentales de los fenómenos interpretados al mapa base según las normas de la cartografía temática. Se puede a partir del mapa temático y los apuntes que se han tornado durante el proceso de fotointerpretación, redactar el informe final con las conclusiones para facilitar la planificación y toma de decisiones.

ORTOFOTOS DIGITALES

Las imágenes de sensores remotos, como las fotografías aéreas y las imágenes de satélite, son de gran utilidad por mostrar en forma directa y clara los rasgos de la superficie terrestre, por lo que además de ser la fuente básica de la información cartográfica, pueden utilizarse directamente en muy diversas aplicaciones (INEGI, s.f.).

Sin embargo, las fotografías aéreas no tienen de origen las características geométricas y de referenciación geográfica necesarias en los trabajos cartográficos. Por medio de procesos fotogramétricos, las imágenes son corregidas para cumplir con un conjunto de especificaciones hasta obtener, fotografías rectificadas corregidas geométricamente y radiométricamente y con geo-referencia.

Para su obtención se requiere:

1) Parámetros de Orientación obtenidos por Triangulación Aérea:
    a. X, Y, Z de los centros de imagen
    b. Giros en los ejes X, Y, Z denominados Omega, Phi y Kappa.

2) Imágenes en formato TIF.

La Ortofoto (del griego Orthós. correcto, exacto) es una presentación fotográfica de una zona en la superficie terrestre, donde todos los elementos presentan la misma escala, libre de errores y deformaciones, con la misma validez de un plano cartográfico.

También se dice que es una imagen corregida geométricamente trasladándole de una proyección central a una proyección ortogonal y referida dentro de un marco cartográfico.

Una ortofoto se consigue mediante un conjunto de imágenes aéreas (tomadas desde un avión o satélite) que han sido corregidas mediante procesos fotogramétricos, para representar una proyección ortogonal sin efectos de perspectiva, y por lo tanto es posible realizar mediciones exactas, al contrario, sobre una fotografía aérea simple, que siempre presentará deformaciones causadas por la perspectiva desde la cámara, la altura o velocidad a la que se mueble avión. A este proceso de corrección digital se le llama ortorectificación. Por lo tanto, una ortofoto u (ortofotografía) combina las características del detalle de una fotografía aérea con las propiedades geométricas de un plano.

La aplicación de la ortofoto en diferentes actividades, nos remite a alguna de las disciplinas que tienen como objetivo el estudio y aprovechamiento racional de los recursos naturales, (figura 20).

Figura 20. Ortofoto digital f14c42d2 Fuente: INEGI

Por su parte, las ortofotos digitales son útiles, entre sus muchas aplicaciones para:

- Geografía y Cartografía
- Suelos
- Agricultura
- Bosques
- Ganadería
- Catastro Rural y Urbano
- Presas
- Vías Terrestres
- Planeación
- Atención a Contingencias
- Análisis de Riesgo
- Evaluación de Daños

- Estudios Evolutivos
- Ordenación del Territorio

COMBINACIONES CON LAS BANDAS DEL SENSOR LANDSAT

Combinación en color natural: RGB 321 bandas (3, 2, 1)

Constituye la combinación más próxima a la percepción de la tierra con nuestros ojos desde el espacio, de ahí el nombre de color verdadero, (Landsat Missions, 2017).

Las bandas visibles dan respuesta a la luz que ha penetrado más profundamente, y por tanto sirven para discriminar el agua poco profunda y sirven para distinguir aguas turbias, corrientes, batimetría y zonas con sedimentos, (figura 21).

- El azul oscuro indica aguas profundas.
- El azul claro indica aguas de media profundidad.
- La vegetación se muestra en tonalidades verdes.
- El suelo aparece en tonos marrones y tostados.
- El suelo desnudo y la roca aparecen en tonos amarillentos y plateados.

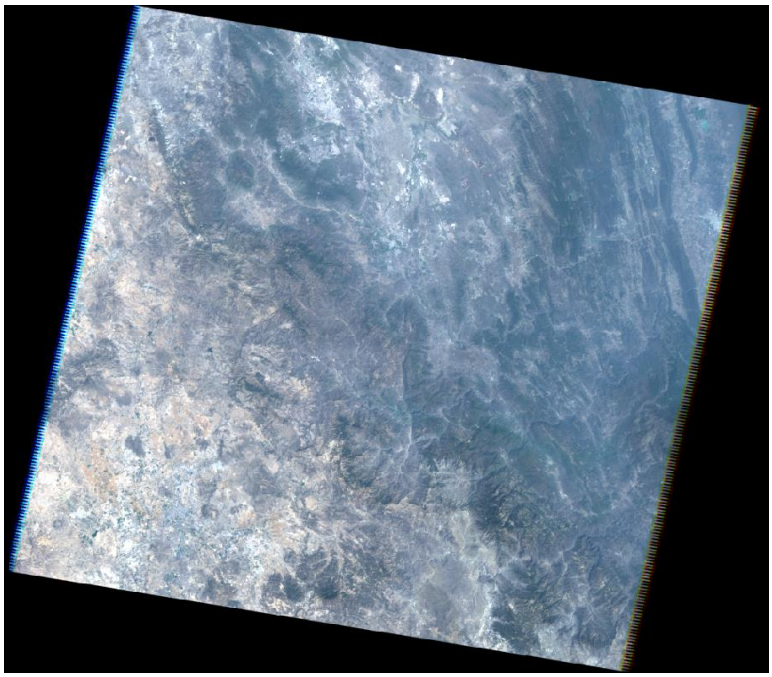

Figura 21. Imagen Landsat RGB 321 bandas (3, 2, 1) [imagen multiespectral obtenida de http://glovis.usgs.gov y procesada en Ardas Imagine 2014]

Combinación en falso color: RGB 432 bandas (4, 3, 2)

Rojo – magenta: Vegetación vigorosa, cultivos regados, prados de montaña o bosques de caducifolias en imágenes de verano y cultivos herbáceos de secano en imágenes de primavera.

Rosa: Áreas vegetales menos densas y/o vegetación en temprano estado de crecimiento. Las áreas residenciales suburbanas en torno a las grandes ciudades, con sus pequeños jardines y árboles diseminados, aparecen a veces en este color. Praderas.

Blanco: Áreas de escasa o nula vegetación, pero de máxima reflectividad: nubes, arenas, depósitos salinos, canteras y suelos desnudos.

Azul oscuro a negro: Superficies cubiertas total o parcialmente por el agua: ríos, canales, lagos y embalses. En zonas volcánicas los tonos negros pueden asimismo identificar flujos de lava.

Gris a azul metálico: Ciudades o áreas pobladas, si bien puede asimismo tratarse de roquedo desnudo.

Marrón: Vegetación arbustiva muy variable en función de la densidad y del tono del sustrato. Los tonos más oscuros indican presencia de materiales paleozoicos (pizarras), mientras los materiales calcícolas, menos densos normalmente, ofrecen una coloración más clara.

Beige – dorado: Identifica zonas de transición: prados secos frecuentemente asociados con el matorral ralo, (figura 22).

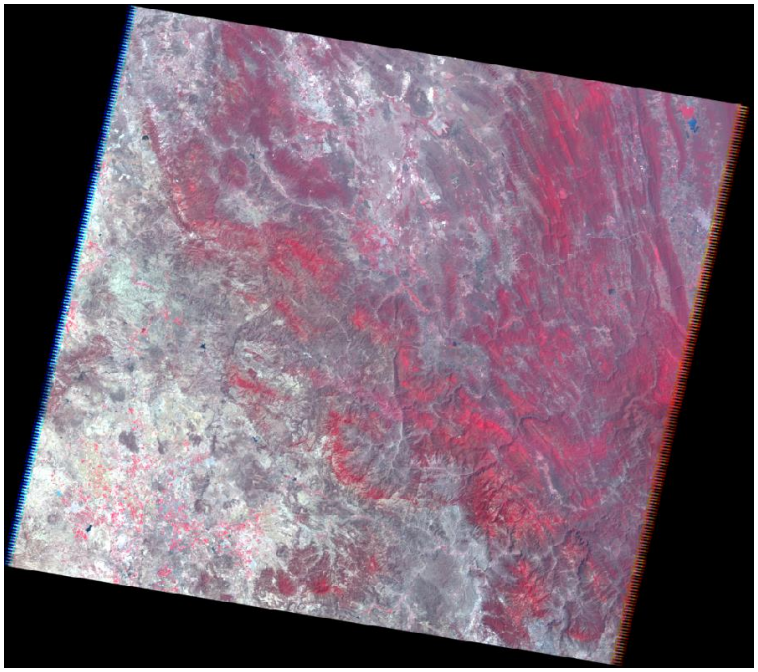

Figura 22. Imagen Landsat RGB 432 bandas (4, 3, 2) [imagen multiespectral obtenida de http://glovis.usgs.gov y procesada en Ardas Imagine 2014]

Combinación en falso color: RGB 453 bandas (4, 5, 3)

- Realza con gran detalle los límites entre el agua y la tierra.
- Los diferentes tipos de vegetación se muestran en colores marrones, verdes y naranjas.
- Realza las diferencias de humedad en el suelo y es usada para el análisis de humedad en el suelo y vegetación. Generalmente el suelo húmedo aparece más oscuro, (figura 23).

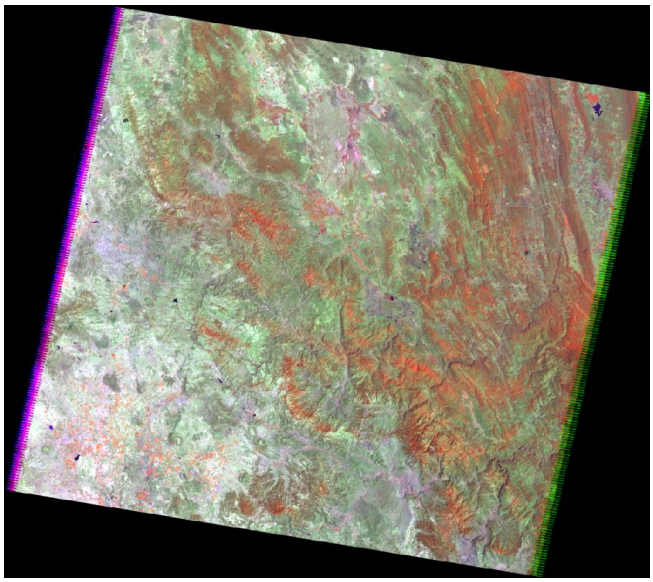

Figura 23. Imagen Landsat RGB 453 bandas (4, 5, 3) [imagen multiespectral obtenida de http://glovis.usgs.gov y procesada en Ardas Imagine 2014]

Combinación en falso color: RGB 742 bandas (7, 4, 2)

- Las áreas urbanas aparecen en tonos magentas.
- Las praderas en verde claro.
- De verde oliva a verde brillante indica áreas forestales (en general los bosques de coníferas son más oscuros que los de caducifolias), [figura 24].

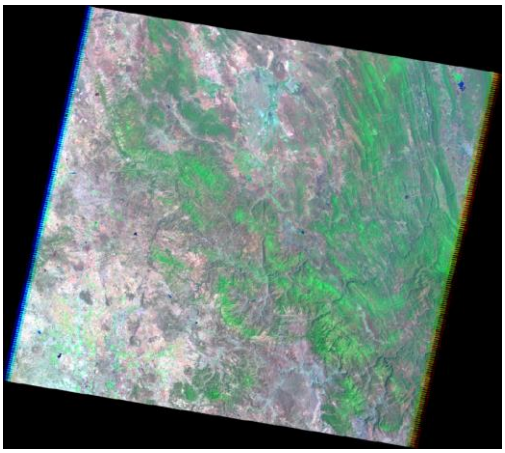

Figura 24. Imagen Landsat RGB 742 bandas (7, 4, 2) Fu[imagen multiespectral obtenida de http://glovis.usgs.gov y procesada en Ardas Imagine 2014]

Combinación en falso color: RGB 341 bandas (3, 4, 1)

- En tonos verdes intensos, vegetación vigorosa.
- En tonos violáceos, Áreas edificadas.
- En tonos verdes a negros, zonas arboladas intensas.
- En tonos marrones claros, cereal de secano.
- En negro aguas profundas y/o medias, (figura 25).

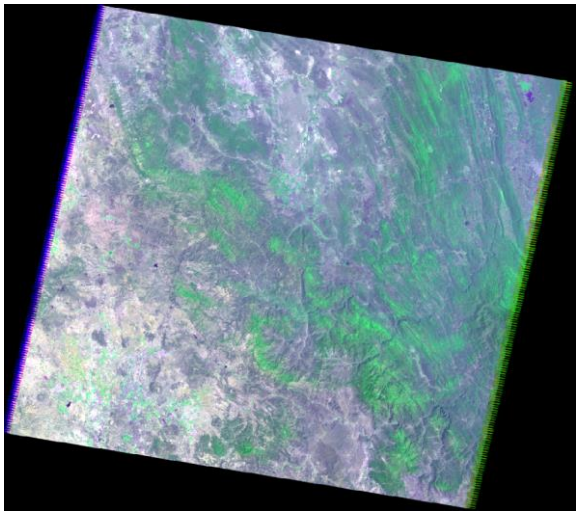

Figura 25. Imagen Landsat RGB 341 bandas (3, 4, 1) [imagen multiespectral obtenida de http://glovis.usgs.gov y procesada en Ardas Imagine 2014]

Otras combinaciones en falso color RGB

Se pueden utilizar cualquier otra combinación entre bandas, seleccionando tres a tres cada una de las bandas. Se recoge a continuación una relación de las combinaciones más empleadas con indicación del tipo de ámbito habitual donde se emplean, (tabla 10).

Tabla 10. Combinaciones en falso color RBG

Combinación	Tipo de estudio
357	Erosión de suelos
354	Erosión de suelos
345	Sectores Ambientales
347	Sectores Ambientales
234	Sectores Ambientales
157	Clasificación de cubiertas
257	Clasificación de cubiertas
145	Clasificación de cubiertas
247	Clasificación de cubiertas
245	Clasificación de cubiertas
752	Geología
754	Geología
753	Geología
135	Geología
354	Clasificación de Suelos

Fuente: (Universidad de Texas, s.f.)

Combinaciones en falso color RGB operando entre bandas

Consiste en realizar operaciones entre bandas, generalmente divisiones, con objeto de resaltar en la imagen distintas zonas, dependiendo del tipo de estudio que estemos realizando.

La combinación RGB se especifica: RGB TM3/TM1, TM5/TM4, TM5/TM7
Otras combinaciones habitualmente empleadas, (tabla 11).

Tabla 11. Combinaciones en falso color RGB operando entre bandas

Combinación	Tipo de estudio
3/1 5/4 5/7	Geología
5/1 4/7 2/4	Geología
5/3 4/7 2/4	Geología
5/7 3/1 7/4	Litología
5/7 3/2 7/4	Litología
1 / 4 3/2 7/4	Litología
7/1 5 7	Litología
1 / 4 5/2 4	Litología
5/7 4/7 2/4	Erosión de suelos
4/7 5/1 5/3	Sectores Ambientales
4/7 5/1 5/3	Sectores Ambientales
4/3 5/7 3/2	Geología
1 /4 3/5 7/4	Sectores Ambientales
1 /4 1/7 3/5	Sectores Ambientales
1 /4 1/5 3/5	Clasificación de cubiertas
3/5 4/3 7/4	Geología
3/5 5/7 7/4	Geología

Fuente: (Universidad de Texas, s.f.)

Este tipo de combinaciones RGB suelen ir seguidas de un tratamiento posterior de la imagen, consistente en una ecualización del histograma y un "stretching", (estiramiento), del histograma.

COMBINACIÓN DE BANDAS PARA LANDSAT 8

Landsat 8, (Landsat Missions, 2017), ha estado en línea desde el 11 de febrero del 2013 (LDCM: Landsat Data Continuity Mission, Misión de Continuidad de la Información Landsat), gracias a una operación conjunta entre la Administración

Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA) y el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS).

Landsat 8, que reemplaza a Landsat 5 TM y Landsat 7 ETM, cuenta con 2 instrumentos de toma de datos: el OLI, Operational Land Imager, o Generador Operacional de Imágenes de Tierra y el TIRS, Thermal Infrared Sensor, o Sensor Infrarrojo Térmico.

Las escenas de Landsat 8 tienen un total de 11 bandas espectrales, 9 tomadas por el OLI y 2 por el TIRS. En la siguiente tabla se describen las principales características de las mismas, (tabla 12).

Tabla 12. Principales características de las bandas del Landsat 8

Bandas Espectrales de OLI	Longitud de onda	Resolución
Banda 1 - Costero / Aerosol	0.433 - 0.453 m	30 m
Banda 2 – Azul	0.450 - 0.515 m	30 m
Banda 3 – Verde	0.525 - 0.600 m	30 m
Banda 4 – Roja	0.630 - 0.680 m	30 m
Banda 5 - Infrarrojo cercano	0.845 - 0.885 m	30 m
Banda 6 - Infrarrojo de onda corta	1.560 - 1.660 m	30 m
Banda 7 - Infrarrojo de onda corta	2.100 - 2.300 m	30 m
Banda 8 – Pancromática	0.500 - 0.680 m	15 m
Banda 9 – Cirrus	1.360 - 1.390 m	30 m
Band 10 - Infrarrojo termal o de onda larga	10.30 - 11.30 m	100 m
Band 11 - Infrarrojo termal o de onda larga	11.50 - 12.50 m	100 m

Fuente: http://landsat.usgs.gov

Los archivos de Landsat 8 son más grandes que los del Landsat 7, unos 2 GB por tener más bandas que sus antecesores, por tratarse de archivos de 12 bits y por contener una banda de Valoración de Calidad (QA) que proporciona información sobre la "calidad" de determinado píxel, respecto a anomalías en la toma del dato por problemas de instrumental u otras como presencia de aerosoles, agua

o nieve, etc. He aquí un resumen de algunas combinaciones de bandas más comunes aplicados para Landsat 8, se muestra como rojo, verde, azul (RGB), [tabla 13).

Tabla 13. Combinaciones de bandas del Landsat 8

Combinación	Bandas
Color natural	4 3 2
Falso color (urbano)	7 6 4
Color infrarrojo (vegetación)	5 4 3
Agricultura	6 5 2
Penetración atmosférica	7 6 5
Vegetación saludable	5 6 2
Tierra/agua	5 6 4
Natural con remoción atmosférica	7 5 3
Infrarrojo de onda corta	7 5 4

Fuente: http://landsat.usgs.gov

Así es como las nuevas bandas de Landsat 8 alinean con Landsat 7, como se muestra en la tabla 14 y 15.

Tabla 14. Comparación de bandas de Landsat 7 y Landsat 8

Landsat 7			Landsat 8		
Banda	Ancho (m)	Resolución (m)	Banda	Ancho (m)	Resolución (m)
			Band 1 Coastal	0.43–0.45	30
Band 1 Blue	0.45 – 0.52	30	Band 2 Blue	0.45 – 0.51	30
Band 2 Green	0.52 – 0.60	30	Band 3 Green	0.53 – 0.59	30
Band 3 Red	0.63 – 0.69	30	Band 4 Red	0.64 – 0.67	30
Band 4 NIR	0.77 – 0.90	30	Band 5 NIR	0.85 – 0.88	30
Band 5 SWIR1	1.55 – 1.75	30	Band 6 SWIR1	1.57 – 1.65	30
Band 7 SWIR2	2.09 – 2.35	30	Band 7 SWIR2	2.11 – 2.29	30

Fuente: http://landsat.usgs.gov

Tabla 15. Comparación de bandas de Landsat 7 y Landsat 8 (Continuación)

Landsat 7			Landsat 8		
Banda	Ancho (m)	Resolución (m)	Banda	Ancho (m)	Resolución (m)
Band 8 Pan	0.52 – 0.90	15	Band 8 Pan	0.50 – 0.68	15
			Band 9 Cirrus	1.36 – 1.38	30
Band 6 TIR	10.40 – 12.50	30/60	Band 10 TIRS1	10.6 – 11.19	100
			Band 11 TIRS2	11.5 – 12.51	100

Fuente: http://landsat.usgs.gov

En su mayor parte, las bandas se alinean con lo que estamos acostumbrados, con algunos ajustes menores de los rangos espectrales. La banda del infrarrojo térmico del Landsat 7 ahora está dividida en dos bandas de Landsat 8. Mientras que antes de tener una banda térmica que fue adquirido a 60 metros de resolución (y vuelve a muestrear a 30 metros) ya que ha aumentado la resolución espectral a costa de la resolución espacial.

EL USO DE DRONES EN FOTOINTERPRETACIÓN

Una importante evolución ha tenido lugar en las técnicas empleadas para generar información geográfica a través de fotogrametría aérea: la introducción de vehículos aéreos no tripulados (UAV), las tecnologías de mapeado y el uso de cámaras fotográficas digitales, se emplean hoy día como herramientas complementarias a sistemas convencionales como aviones tripulados y teledetección en la adquisición de información a pequeña o gran escala de un objeto o fenómeno. Un UAV puede ser controlado de forma remota, o de forma autónoma por un dispositivo integrado en el UAV (Jenaro-de Mencos, 2013), cuyos parámetros se pueden monitorizar y modificar desde una estación de control (GCS) a través de un enlace inalámbrico; en los últimos años, los módulos xbee se presentan como una opción económica y eficiente, ampliamente utilizada en redes de sensores basados en el protocolo 802.15.4 Zigbee (Mayalarp & Et., 2010); un UAV que incorpore un módulo xbee puede comunicarse con otros sistemas que integren estos módulos: GCS, otras redes

de sensores, etc. (Todd & Et. Al., 2007), con enlaces inalámbricos teóricos de 40 km. utilizando antenas dipolo y visión directa[4], (figura 26).

Figura 26. Phantom 3 Pro 4k
Fuente: http://www.dji.com

Los UAV tienen un amplio abanico de aplicaciones, como elaboración de modelos digitales, gestión del territorio, planificación urbana, evaluación de catástrofes, agricultura de precisión, inspección del terreno, etc.; según autores como Jenaro-de Mencos and Piñeiro-García-de León (2014), los UAV, y en especial una variante conocida como NAV (nano UAV), con un peso tan reducido que no daña a una persona en caso de impacto, ni requiere contemplar medidas específicas de coordinación del espacio aérea, en la próxima década estarán cada vez más presentes en entornos urbanos.

Los datos recopilados por el UAV presentan ciertas características que exigen un tratamiento previo a la generación del producto final como pueden ser una ortofoto de precisión, un DTM, DSM, etc. Lograr efectuar este procesado de forma eficaz y automática es un proceso clave en el uso de UAV para teledetección.

[4] https://www.digi.com/support/productdetail?pid=3553#specs; 18/02/2017

Las nuevas tecnologías permiten abaratar costos en sensores de captación de imágenes, popularizando el uso de cámaras no profesionales para usos métricos; sin embargo, estas imágenes no poseen métrica adecuada para fines precisos y presentan deformaciones geométricas, siendo necesario algoritmos de corrección.

No obstante, en los últimos años, la visión computacional ha trabajado activamente en el procesamiento de este tipo de imágenes para aplicar en múltiples ámbitos, desarrollando algoritmos que permiten detectar características distintivas en imágenes (correlación de imágenes); un alto porcentaje de estos algoritmos están enfocados al mercado reciente, cada vez más amplio, de dispositivos móviles que integran sensores genéricos, dotando a estos dispositivos de valor añadido y proporcionando un enorme potencial.

Uno de los ámbitos de aplicación es el reconocimiento de patrones, incluso en condiciones poco favorables: iluminación deficiente, imágenes borrosas, cambios en la escena, etc., permitiendo relacionar imágenes entre sí de forma eficiente. Estos algoritmos permiten que un dispositivo móvil detecte ciertos elementos en imágenes y efectúe diversas operaciones (rastrear objetos en movimiento, fusionar imágenes, etc.).

Las imágenes obtenidas en condiciones no favorables, como es el caso de las recogidas desde UAV normalmente con cámaras no profesionales, una vez tratadas con técnicas de visión por computador pueden alcanzar niveles de precisión y calidad suficientes para desarrollar numerosas utilidades. Un aspecto importante a resaltar es que, combinando visión por computador y fotogrametría, se pueden generar modelos tridimensionales e imágenes con métrica de forma automática a partir de imágenes, simplificando procesos manuales, (Bejarano, 2013).

Aplicaciones de los Drones en Ingeniería

Existe una gran variedad de aplicaciones que tienen los Drones en varias áreas del conocimiento, entre las que se pueden mencionar algunas en el área de la Ingeniería (Morales, 2016):

Aplicaciones en los SIG: El uso de drones tiene varias aplicaciones relacionadas con los Sistemas de Información Geográfica, siendo una de las tendencias de futuro en el sector GIS.

Con estos vehículos es fácil obtener imágenes de alta resolución con tecnología LIDAR, siendo de cada vez más solicitado los trabajos que emplean tecnología LIDAR.

Mediante el uso de drones obtenemos lo siguiente:

- ✓ Las nubes de puntos muestreadas son comprimidas en formato LAS (.laz) y/o en formato ASCII (.asc).
- ✓ Un DSM (Modelo Digital de Superficie).
- ✓ Ortomosaico (normalmente en formato GeoTIFF).

Con un importante auge por su versatibilidad y bajo costo, las aplicaciones son diversas:

- ✓ Gestión de recursos naturales
- ✓ Agua
- ✓ Agricultura
- ✓ Meteorología
- ✓ Minería
- ✓ Respuesta a emergencias o desastres

- ✓ Forestal
- ✓ Topografía
- ✓ Catastro

Uso de drones en agricultura. En agricultura se utiliza el vuelo de drones para capturar imágenes de los campos de cultivo. Por lo que se puede hablar de agricultura de precisión. Las imágenes de los vuelos se procesan para generar un ortomosaico en formato GeoTIFF, para ello se pude utilizar el software Pix4D.

Las áreas de aplicación pueden ser:

- ✓ Tipos de cultivo
- ✓ Recuento de plantas
- ✓ Índice de área foliar
- ✓ Tipos de suelo
- ✓ Humedad de suelo
- ✓ Estado de desarrollo
- ✓ Altura de la planta
- ✓ Deficiencias de nitrógeno
- ✓ Sanidad vegetal
- ✓ Desespigamiento
- ✓ Estimación de la biomasa

Con los datos obtenidos se calcula el Índice de vegetación de diferencia normalizada, también conocido como NDVI, es un índice usado para estimar la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación. Se puede utilizar un cliente como QGIS para realizar este cálculo.

Uso de drones en Topografía. Con los datos obtenidos a partir de los sensores se pueden crear mapas catastrales mediante la digitalización de las ortofotografías

georreferenciada. Esta tarea se puede realizar con AutoCAD, ArcGIS o cualquier cliente SIG.

Uso de drones en proyectos de minería. Las imágenes obtenidas a partir de los VANTS tienen utilidad para medir el volumen de las existencias de grava. A partir de cientos de miles de puntos en 3D se genera un modelo digital del terreno.

La reconstrucción de una mina también tiene utilidad para medir los volúmenes extraídos. En este caso, es necesario realizar un geoprocesamiento posterior para analizar los datos en dos periodos de tiempo. Se debe generar modelos del terreno y las curvas de nivel. La variación de alturas entre periodos nos determinará los volúmenes explotados por periodo.

Uso de drones para la gestión de recursos naturales. Los proyectos relacionados con los recursos naturales siguen la pista de los cambios en el patrimonio histórico.

Los drones son útiles para monitorizar las amenazas de las áreas protegidas, desde la caza furtiva o la deforestación.

En hidrología es posible evaluar la salud ecológica de las masas de agua mediante el seguimiento de la vegetación de las plantas, que es detectable por drones. De nuevo los drones pueden facilitar datos en zonas remotas o de difícil acceso.

Para los científicos es muy caro y les requiere mucho tiempo probar y mapear las plantas acuáticas de forma manual. La evolución de la tecnología de aviones no tripulados permite el mapeo de las plantas acuáticas en una escala de 5 cm, lo que significa que las plantas potencialmente pueden ser identificados a nivel de especie en una cuarta parte del costo del trabajo manual.

Otras aplicaciones en agua son el mapeo de tierras de regadío, de la superficie impermeable y en planificación de cuencas.

Uso de drones en gestión de emergencias: Ante un deslizamiento de tierras el uso de drones para las construcciones de un modelo 3D cobra fundamental importancia para evaluar los riesgos de nuevos deslizamientos de tierra.

Permite a geólogos y autoridades a identificar las zonas afectadas por el deslizamiento de tierras. Ayuda a evaluar rápidamente las zonas en peligro y a reparar las infraestructuras dañadas.

Mediante el uso de VANTS es posible llegar a zonas de difícil acceso, como montañas con alta variación de altitud.

Otras situaciones de emergencia que se pueden monitorizar con drones son los derrames de petróleo, inundaciones o daños de incendios.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

ARQHYS Arquitectura. (26 de 05 de 2017). *ARQHYS Arquitectura*. Obtenido de El Color: http://www.arqhys.com/color.html

Bejarano, B. (2013). *Técnicas de fotogrametría y visión por computador para el modelado 3D de estructuras geomorfológicas dinámicas.* Madrid: Universidad de Extremadura.

Chuvieco Salinero, E. (2008). *Teledeteccion ambiental.* España: Ariel.

Dent, B. D. (1999). *Cartography: Thematic Map Desing.* Boston: Mc Graw Hill.

DMAP. (22 de Junio de 2006). *Distribution Mapping Software*. Recuperado el 3 de Abril de 2007, de www.dmap.co.uk

ESRI. (2004). *map Projections. Georeferencing spatial data.* California: GIS bye ESRI.

FotoNostra. (25 de 05 de 2017). *FotoNostra*. Obtenido de Estudio del color: http://www.fotonostra.com/grafico/elcolor.htm

IDRISI México. (3 de Julio de 2006). *Centro de Recursos IDRISI México*. Recuperado el 3 de Abril de 2007, de http://www.idrisi.uaemex.mx/

INEGI. (s.f.). *Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática*. Recuperado el 25 de Marzo de 2007, de http://www.inegi.gob.mx

Jenaro-de Mencos, G. (2013). Nano vehículos aéreos no tripulados en operaciones militares. *Revista ejército*, 80-88.

Jensen, J. R. (2007). *Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective, 2nd Edition.* Pearson.

Joly, F. (1982). *La cartografía.* Barcelona: Seix y Barral.

Keates, J. S. (1995). *Cartographic Design and Production.* Londres: Longman Scientific & Technical.

Landsat Missions. (29 de 06 de 2017). *Landsat 8*. Obtenido de Landsat 8: https://landsat.usgs.gov/landsat-8

Landsat Missions. (21 de 06 de 2017). *Landsat Missions*. Obtenido de Landsat Missions: https://landsat.usgs.gov

Maling, D. H. (1992). *Coordinate System and Map Projections.* New York: Pergamon Press.

Mayalarp, V., & Et., A. (2010). 2nd ECTI-Conference on Application Research and Development (ECTI-CARD 2010). *Wireless mesh networking with XBee*, (págs. 10-12). Pattaya, Chonburi, Thailand.

Morales, A. A. (13 de noviembre de 2016). *MAPPINGSIG*. Obtenido de Ejemplos de uso de drones en GIS: http://mappinggis.com/2014/09/ejemplos-de-uso-de-drones-en-gis/

Raisz, E. (1987). *Cartografía general.* México: Omega.

Robinson, A. H., & Al., E. (1992). *Elemtos de la cartografía.* México: Omega.

Snyder, J. P., & Voxland, P. M. (1999). *An Album of map projections.* Washington: U. S. Geologycal Survey.

Todd, M., & Et. Al. (2007). Proceedings of the 6th International workshop on Structural Health Monitoring. *Proceedings of the 6th International workshop on Structural Health Monitoring.* California: United States.

U.S. Geological Survey. (5 de Febrero de 2007). *USGS Geological Survey*. Recuperado el 15 de Febrero de 2007, de http://www.usgs.gov

UABCS. (s.f.). *Universidad Autónoma de baja California*. Recuperado el 1 de Marzo de 2007, de http://balandra.uabcs.mx/geologia/geo_bajamx

Universidad de Colorado. (s.f.). *Universidad del Estado de Colorado*. Recuperado el 23 de Abril de 2007, de http://www.waernercnr.colostate.edu

Universidad de Texas. (s.f.). *Universidad de Texas*. Recuperado el 25 de Marzo de 2007, de http://www.utexas.edu

Vázquez Maure, F., & Martín López, J. (1996). *Lectura de mapas.* Barcelona: Rialp.

Wolfgang, T. (1980). *Geodesia.* México: Diana.