



CURSO DE FOTOGEOLOGIA, GEOMORFOLOGIA Y APLICACIONES DE LA PERCEPCION REMOTA

METODOLOGIA PARA LOS LEVANTAMIENTOS FOTOGEOLOGICOS

Por:

DOMINGO MENDIVELSO L.
Geólogo-Geomorfólogo-Fotointérprete

Bogotá, julio de 2008

República de Colombia
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA
INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 OBJETIVOS	1
1.2 METODOLOGÍA	2
1.3 DIAGRAMA DE FLUJO DE LAS FASES DE FOTOINTERPRETACIÓN	2
1.4. EL MAPA TOPOGRÁFICO BASE ANÁLOGO O DIGITAL	4
2. FOTOGRAFÍAS AÉREAS.....	5
2.1 CLASES DE FOTOGRAFÍAS AÉREAS	5
2.2 FOTOGRAFÍA AÉREA ANÁLOGA EN BLANCO Y NEGRO	5
2.3 FOTOGRAFÍA AÉREA DIGITAL A COLOR	9
2.4 VENTAJAS DEL USO DE FOTOGRAFÍAS AÉREAS.....	9
2.5 LIMITACIONES DEL USO DE LAS FOTOGRAFÍAS AÉREAS	11
2.6 ELEMENTOS DE LA FOTOINTERPRETACIÓN	11
2.7 CARACTERÍSTICAS FOTOGEOLÓGICAS DE LAS ROCAS	13
2.7.1 Características Fotogeoológicas de las rocas Ígneas intrusivas.....	13
2.7.2 Características Fotogeoológicas de las rocas Sedimentarias	16
2.7.3 Características Fotogeoológicas de las rocas Metamórficas.....	18
2.7.4 Interpretación Estructural	18
3. EL MAPA FOTOGEOLÓGICO	21
3.1 CLASES DE MAPAS FOTOGEOLÓGICOS	21
3.1.1 Mapas Fotogeoológicos sin control de campo	21
3.1.2 Mapas Fotogeoológicos con control de campo	21
3.1.3 Mapas Geológicos convencionales.....	21
3.2 TRABAJOS DE OFICINA	22
3.3 TRABAJOS DE VERIFICACIÓN EN EL CAMPO.....	23
3.4 LEVANTAMIENTO DE COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS	23
3.5 TRABAJOS DE TRANSFERENCIA DE INFORMACION	24
3.5.1 Reinterpretación y ajuste de la información.....	24
3.5.2 Preparación de leyenda y convenciones del mapa	25
3.5.3 Informe o Memoria del Mapa	25
BIBLIOGRAFÍA	29

1. INTRODUCCIÓN

La fotointerpretación puede definirse como la actividad de examinar las imágenes fotográficas de los objetos en el terreno a fin de identificarlos y entender su significado para extraer información pertinente a varias disciplinas.

La interpretación de fotografías aéreas puede considerarse como un proceso de dos pasos, el primero incluye entre otros: la observación, colección de datos, medida e investigación de rasgos sobre las fotografías aéreas, esta parte se considera como un proceso de selección empírica. El segundo paso se relaciona con el proceso racional, en el que se analiza y se buscan analogías entre objetos o evidencias de campo que por comparación o convergencia de evidencia conduzcan finalmente a la identificación e interpretación de esos datos en términos del significado según cada disciplina; en este caso aplicada a las Geociencias y en particular a la Fotogeología.

En esta segunda parte juega un papel preponderante el análisis deductivo e inductivo, la experiencia, entrenamiento y habilidad del intérprete; éste último aspecto sirve de enlace entre los datos obtenidos de las fotografías y los datos de referencia del intérprete según su formación.

La fotointerpretación se considera como el Arte de examinar la imagen fotográfica del terreno con el propósito de identificar los diferentes componentes del paisaje para extraer y suministrar información temática de interés para los diferentes profesionales de las Ciencias de la Tierra u otras áreas o disciplinas afines como las Ingenierías.

Cuando se toman fotografías aéreas de un área, la imagen obtenida es similar a un mapa, sin embargo, desde el punto de vista cartográfico no puede ser considerado como tal, debido a las distorsiones o deformaciones introducidas a la fotografía durante el proceso de la toma.

Para corregir la distorsión horizontal (x e y) inherente a las fotografías aéreas, existen instrumentos de transferencia sencillos como el “Sketch Master” y el “Zoom Transfer scope”. Estos instrumentos son utilizados para transferir la información fotográfica interpretada a mapas topográficos base, con un grado de exactitud razonable. La cantidad de información extraída de las fotografías aéreas depende del entrenamiento, la experiencia y habilidad del fotointérprete, como también de la calidad y contraste de las fotografías durante el proceso de revelado. Para corregir el desplazamiento por la altitud (z), se requiere de instrumentos fotogramétricos complejos y costosos por ejemplo, el Wild AIO, entre otros.

1.1 OBJETIVOS

Introducir a los participantes del curso en el aprendizaje y utilización de la metodología de los levantamientos fotogeológicos, para facilitar la extracción de información de las fotografías aéreas y aplicarla eficientemente en la ejecución de proyectos multidisciplinarios. Se recalca además sobre el uso adecuado de una herramienta de mucho valor en cualquier proyecto relacionado con el estudio o levantamiento o exploración de recursos naturales y la prevención de desastres.

Familiarizarse con una metodología, sencilla, práctica y de fácil manejo que sirva de guía para efectuar levantamientos fotogeológicos y/o fotogeomorfológicos de apoyo a los proyectos e investigaciones que se adelantan en las diferentes áreas de INGEOMINAS, en particular en las Subdirecciones de Geología básica, Minería y Geoamenazas.

1.2 METODOLOGÍA

La metodología constituye la esencia del curso de fotointerpretación. La información sobre el terreno es captada por una cámara y luego impresa sobre las fotografías.

En la elaboración de un Mapa fotogeológico sobre una determinada región, área o localidad, se recomienda seguir la metodología utilizada por Meckel (1977, 1978), basada en la interpretación de fotografías aéreas en formato análogo o digital en blanco y negro o a color para la elaboración de los mapas fotogeológicos, y hacerla compatible con la metodología utilizada por INGEOMINAS, en los levantamientos geológicos y geomorfológicos en el país.

1.3 DIAGRAMA DE FLUJO DE LAS FASES DE FOTOINTERPRETACIÓN

Para efectuar un levantamiento fotogeológico sobre un terreno determinado, se puede efectuar de dos maneras diferentes e independientes. El primero de ellos tiene que ver con el conocimiento que tiene el intérprete del área basado en la consulta de la literatura y mapas geológicos pre-existentes y mediante un análisis mental, se obtienen datos de referencia y mediante la reducción y análisis de los datos obtenidos mediante la interpretación temática, se extrae luego la información y de esta manera se obtiene el mapa fotogeológico para su aplicación. (**Figura 1**).

El segundo camino para la obtención de un mapa fotogeológico sobre un determinado terreno, se parte del uso de imágenes de sensores remotos: Landsat, Spot, Radar, Quick Bird, Ikonos y Fotografía Aérea blanco y negro o a color si están disponibles; luego se procede a la reducción y análisis de datos, y mediante la interpretación temática ya sea visual o digital, se efectúa luego el trabajo de campo y se obtiene así el mapa fotogeológico con su leyenda y convenciones respectivas.

Para efectuar el levantamiento fotogeológico se requiere en primer lugar disponer de una cobertura de Fotografías Aéreas a escala adecuada a las necesidades y objetivos del levantamiento. Si no existen éstas o no están disponibles, se debe contratar y programar con la Empresa Privada o con el IGAC, un vuelo fotogramétrico para la toma de las mismas.

Adicionalmente se debe contar con los mapas base respectivos y si estos no existen o no están disponibles, se tendrá que efectuar una restitución a partir de las fotografías aéreas tomadas para su elaboración y el posterior uso, para de esta manera poder transferir la información temática interpretada de las fotografías a los mapas topográficos base.

La preparación de las fotografías aéreas para su interpretación incluye varios pasos y etapas a saber:

- a. Marcar los puntos principales y sus homólogos sobre cada una de las fotografías adyacentes y trazar la línea de vuelo entre fotografías adyacentes y determinar el área útil de trabajo.
- b. Si el terreno es plano se puede hacer la interpretación sobre las fotografías alternas, es decir sobre las fotografías pares o impares. Si se trata de terreno montañoso, es necesario interpretar las áreas útiles localizadas sobre las fotografías adyacentes.

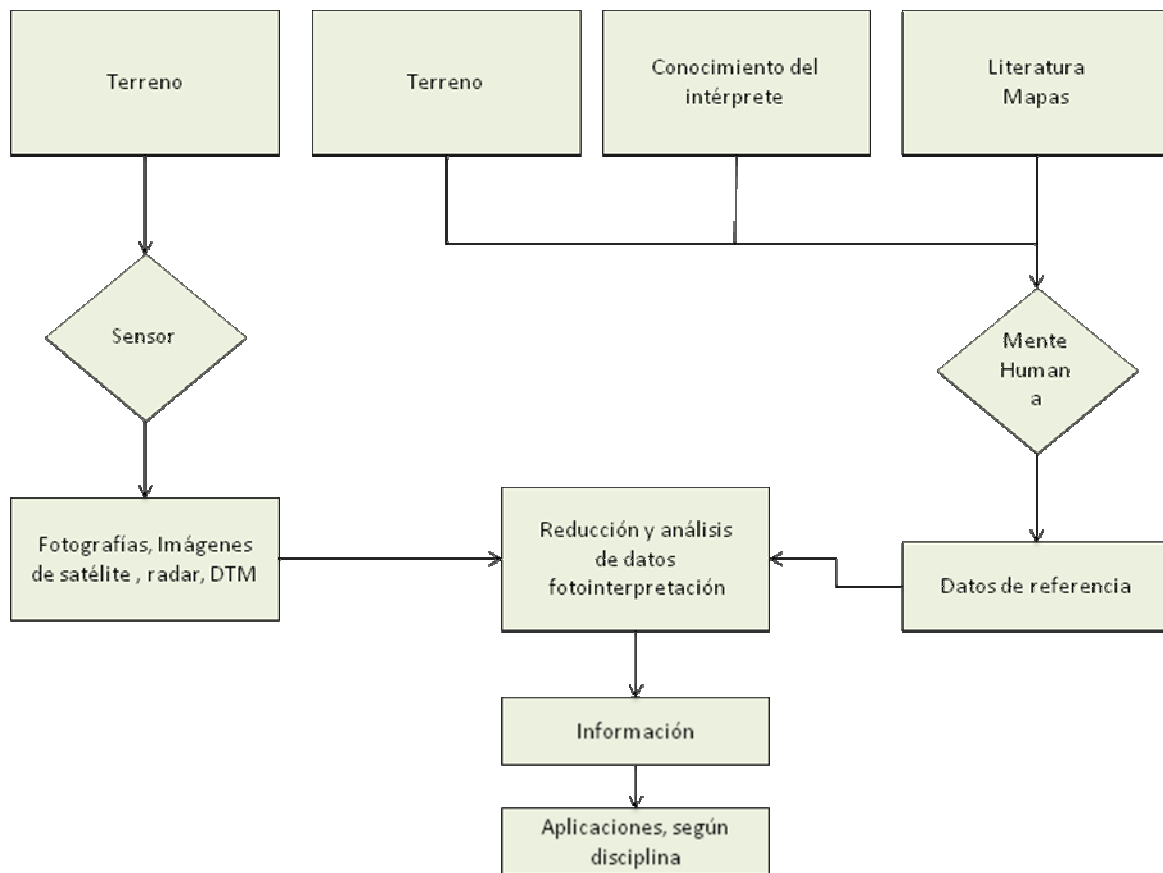


Figura 1. Diagrama de flujo de aspectos y alcances de la Fotointerpretación

c. Orientar las fotografías para ser observadas bajo el estereoscopio de espejos, tratando en lo posible que las sombras que aparecen sobre la fotografía estén orientadas hacia el observador.

d. Se procede luego a la fotointerpretación ya sea directamente sobre la fotografía, utilizando para ello lápices vidriograf de varios colores (azul, verde, rojo y negro) o si se prefiere, se puede interpretar sobre papel kodatrace o en su defecto sobre acetatos, utilizando en este caso marcadores indelebles de punta fina de varios colores (azul, verde, rojo, negro y café).

En fotointerpretación, se parte de la reducción y análisis de los datos siguiendo las cuatro fases siguientes a saber: **Fase 1, Fotolectura:** incluye la discriminación, detección e identificación. La **fase 2 Análisis:** se efectúa el reconocimiento de geoformas (litología y estructuras), cobertura vegetal, patrones de drenaje, uso de la tierra y todos los procesos dinámicos. Para ello se hace uso de los elementos de identificación y fotointerpretación. La **fase 3 Clasificación:** en esta fase se clasifican los elementos y rasgos interpretados según las categorías a las que pertenezcan. Finalmente se efectúa la fase de interpretación según la disciplina respectiva para obtener finalmente la información en forma de mapas temáticos e informes para su aplicación posterior.

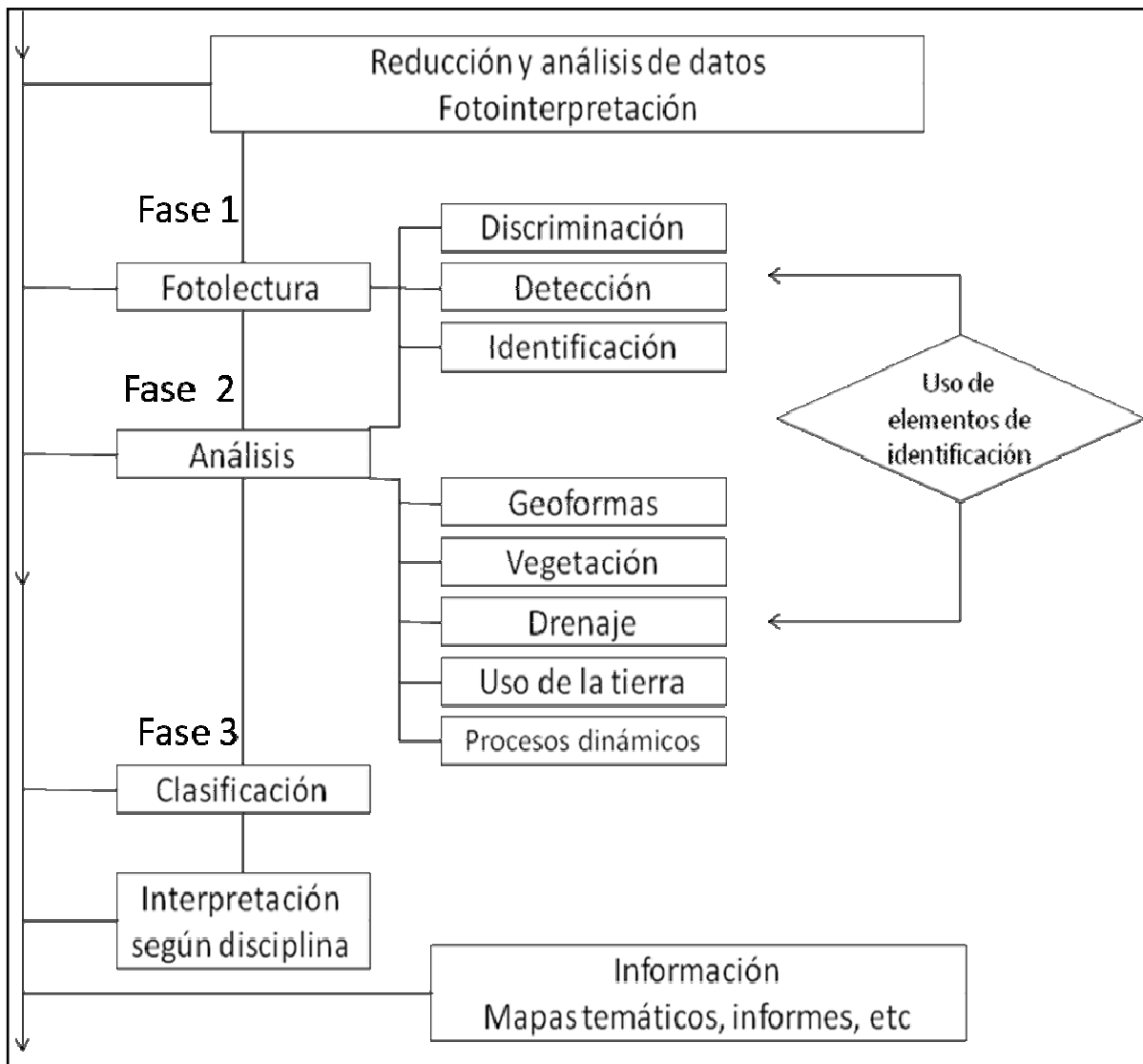


Figura 2. Diagrama mostrando los diferentes aspectos y Fases de la Fotointerpretación

1.4. EL MAPA TOPOGRÁFICO BASE ANÁLOGO O DIGITAL

Se debe establecer si existe o no la base Cartográfica disponible ya sea en el IGAC y/o en otra Entidad de las responsables en la producción de información topográfica análoga o digital. Si el mapa base existe y es del IGAC, se procede a la adquisición del mismo en el Centro de Información Geográfica (CIG). Si no existe el mapa del IGAC, se procede a la búsqueda de otras fuentes tales como la Cartografía del DMA o la restituida por entidades privadas. Si no existe ningún otro tipo de información se procede a la utilización de las imágenes de Radar, Landsat Tm y Spot y el modelo digital del terreno para derivar de allí la base planimétrica respectiva que sirva de apoyo para la transferencia de los datos temáticos.

2. FOTOGRAFÍAS AÉREAS

La Fotografía Aérea se considera como el Arte de fijar en una película sensible a la luz las imágenes obtenidas sobre la superficie de la tierra con la ayuda de una cámara aérea localizada en una plataforma ya sea un avión, helicóptero o satélite.

Las fotografías aéreas son una fuente muy valiosa de información para el estudio de la naturaleza y sus recursos, analizar las características del medio natural, ya sea marino, litoral, costero y continental. Las fotografías aéreas verticales pueden ser utilizadas para actualizar mapas topográficos base o para producir nuevos mapas topográficos a partir de fajas de fotografías individuales recientes o a partir de diversas fajas de fotografías adyacentes sobre un área, más conocidas como mosaicos.

2.1 CLASES DE FOTOGRAFÍAS AÉREAS

Hay dos clases o tipos principales de fotografías aéreas: verticales y las oblicuas.

- i) Fotografías Aéreas verticales: las lentes de la cámara apuntan verticalmente hacia abajo produciendo una visión que se asemeja a un plano del terreno (**Figura 3**).
- ii) Fotografía oblicua: el eje de la cámara apunta con un ángulo al terreno. Si se incluye el horizonte, la fotografía se define como una oblicua alta (**Figura 4**); en caso contrario, se define como oblicua baja. (**Figura 5**)

Dependiendo de la información requerida y la derivada de las fotografías, puede ser necesario obtener más de un tipo de película. En esta situación, es recomendable el uso de cámaras múltiples de proyección, ya que se reducirán los costos y tiempos de toma de las fotografías aéreas.

2.2 FOTOGRAFÍA AÉREA ANÁLOGA EN BLANCO Y NEGRO

Se considera como fotografía aérea la que es tomada desde un avión, con una cámara con eje óptico vertical y constituye un registro de la imagen del terreno que es fiel reproducción de los objetos existentes en superficie. La fotografía aérea es un documento sobre el cual obtenemos la información que nos interesa una vez efectuada la respectiva fotointerpretación.

Cuando un avión realiza un vuelo para obtener una cobertura de fotografía aérea de un área determinada, lo hace realizando sucesivas pasadas adelante y atrás sobre la misma, generalmente en dirección Este-Oeste. Esta trayectoria de vuelo asegura la consistencia en la orientación y el ángulo del sol, lo que ayudará de la mejor manera a la interpretación de las fotografías Aéreas. Para permitir el análisis estereoscópico y fotogramétrico, hay generalmente un traslape o solapamiento longitudinal anterior y posterior del 60% entre fotografías sucesivas en la misma trayectoria de la línea de vuelo, y un traslape o solapamiento lateral que varía entre 20–40% (en promedio 30%) entre trayectorias de líneas de vuelo adyacentes.

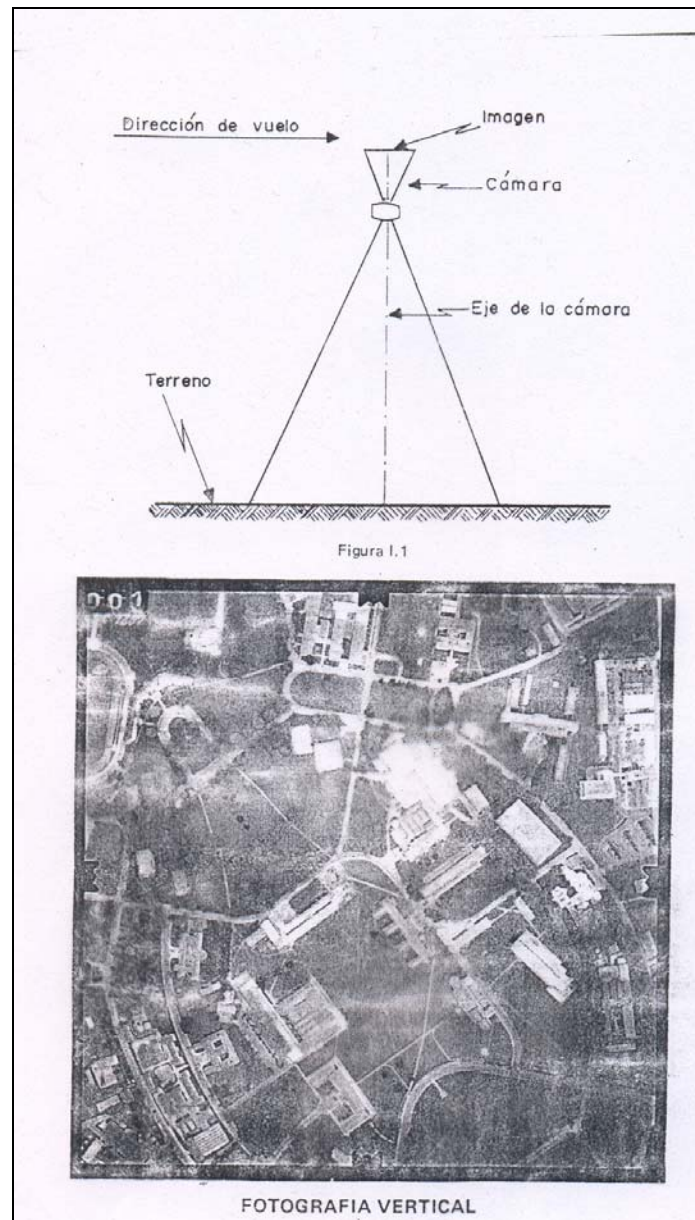


Figura 3. Fotografía Aérea vertical

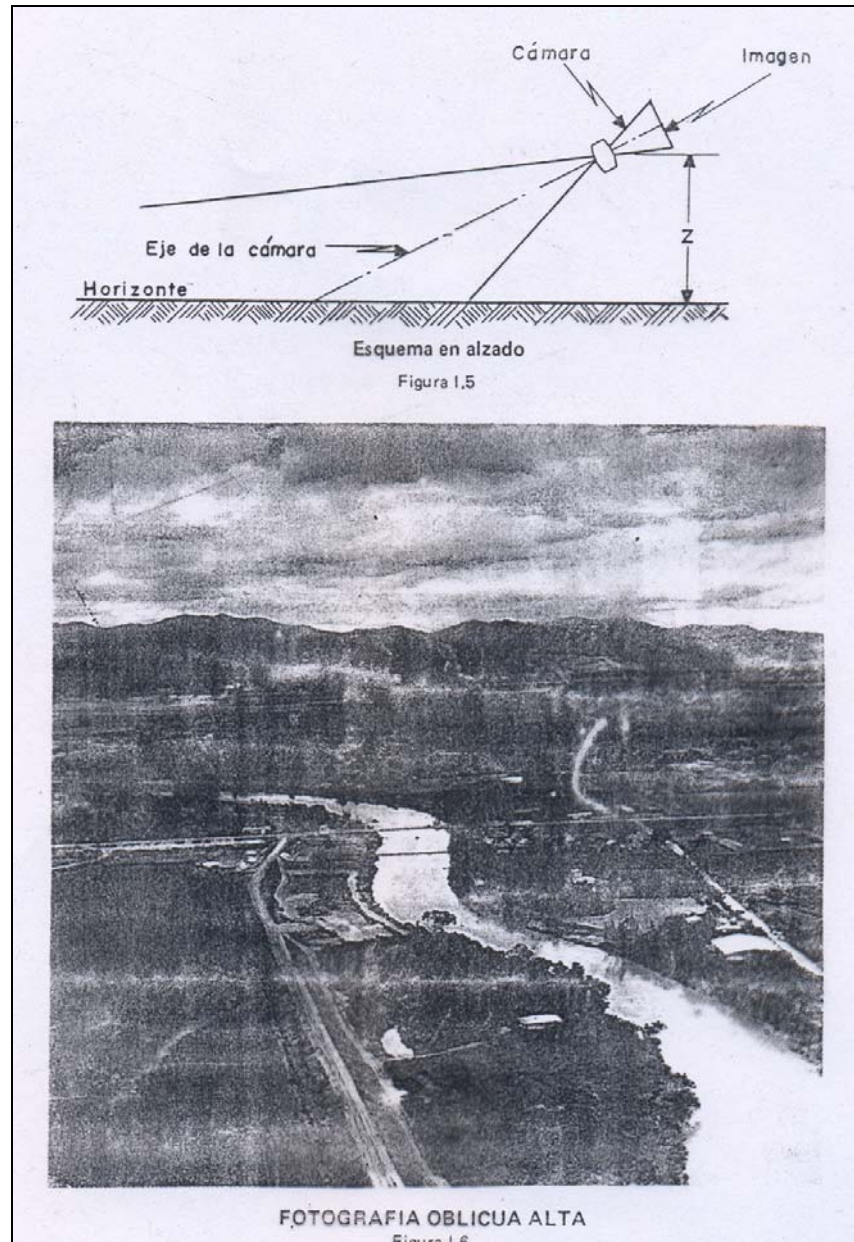


Figura 4. Fotografía Aérea oblicua alta

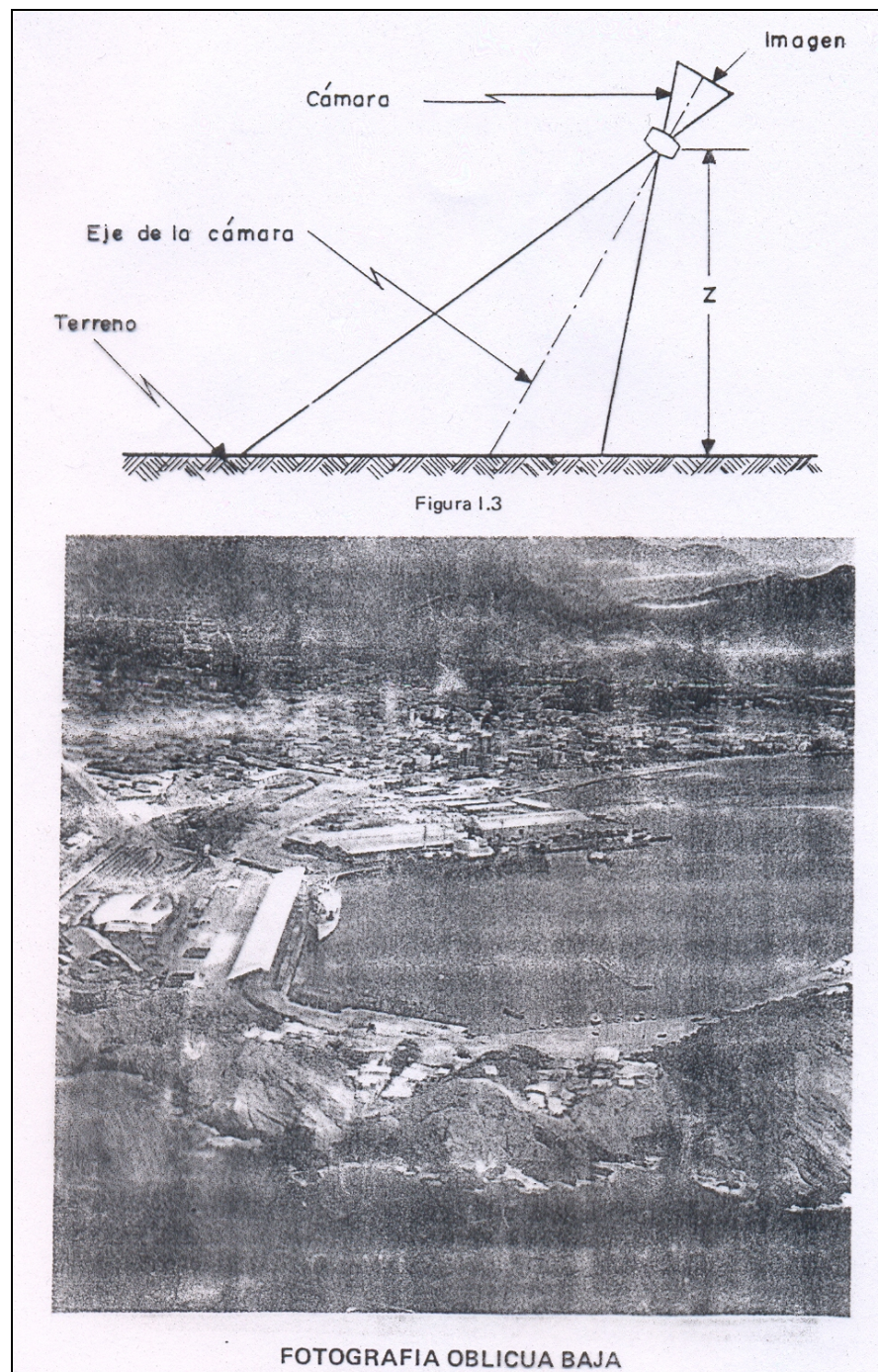


Figura 5. Fotografía oblicua baja

Existe una variación en el tamaño del formato de las fotografías tomadas por el IGAC, aunque el tamaño más común es de 23cm × 23 cm; existe el formato de 18 cm x 18 cm. Las escalas pueden variar desde 1:1.000 a 1:60.000 dependiendo de los requerimientos y propósito de la interpretación de las fotografías aéreas. Por ejemplo, las fotografías para levantamientos detallados generalmente están en escalas entre 1:25.000 y 1:10.000; mientras que para el levantamiento general y análisis de los rasgos geológicos se requieren fotografías a escalas que varían entre 1:30.000 y 1:60.000. Los datos e información marginal, esta ubicada generalmente en los bordes de la fotografía e incluye toda la información relevante a la toma de la fotografía como número de vuelo, escala, número de la fotografía, hora y fecha de toma de las fotografías, etc.

La calidad de las fotografías depende de la calidad del negativo y del revelado (con excepción de la fotografía aérea digital que no requiere de estos procesos). En la obtención del negativo influyen entre otros, la escala de la fotografía, que depende a su vez de la distancia focal y la altura de vuelo. La calidad de la película depende de la base estable y sensibilidad apropiada, los filtros utilizados para acentuar los contrastes o eliminar la bruma, la cantidad de luz, el tiempo de exposición, el color natural de los objetos fotografiados, el efecto de las sombras que dependen de la posición del sol, la cantidad de neblina o bruma de la atmósfera.

La fotografía aérea se constituye en una herramienta muy valiosa para la extracción de información temática aplicada a varias disciplinas, entre ellas a la geología, geomorfología, amenazas naturales, suelos, cobertura vegetal, usos del suelo, hidrogeología y estudios para ordenamiento urbano.

De acuerdo con el ángulo de inclinación del eje de la cámara se conocen dos tipos principales de fotografías. Las fotografías verticales y las fotografías oblicuas que a su vez se clasifican en oblicua alta y oblicua baja.

2.3 FOTOGRAFÍA AÉREA DIGITAL A COLOR

La fotografía aérea digital a color ha sido utilizada en muchos países del mundo desde hace algún tiempo, pero en Colombia su introducción es reciente, gracias al Convenio de Cooperación firmado entre el Gobierno Colombiano y la Unión Europea, fue posible adquirir una cámara digital de excelentes especificaciones técnicas con la cual ya se han hecho tomas sobre diferentes regiones de Colombia, con énfasis en áreas urbanas de ciudades capitales de departamentos y en algunos casos, sobre ciudades intermedias. También se han hecho tomas sobre la totalidad del territorio de la Isla de San Andrés y Providencia, lo mismo que tomas de fotografías a mayor altura en el departamento del Huila sobre los sectores del Desierto de la Tatacoa y sobre el área del Embalse de Betania, entre otros.

Las fotografías aéreas a color tienen muchas ventajas para el fotointérprete, especialmente el poder detectar cambios en áreas de alteraciones hidrotermales y zonas de fallas.

2.4 VENTAJAS DEL USO DE FOTOGRAFÍAS AÉREAS

La información obtenida sobre la fotografía constituye un registro permanente y fiel de los objetos y fenómenos que se presentan sobre la superficie terrestre en el momento de la toma.

La toma de fotografías aéreas con cámaras de eje vertical, permiten obtener un modelo tridimensional gracias al traslape longitudinal del 60%, lo cual facilita el estudio de la topografía y un mejor análisis de los objetos registrados.

La visión estereoscópica obtenida con las fotografías aéreas, facilita tener todo el tiempo el modelo tridimensional para efectuar el análisis de los diferentes rasgos temáticos.

La vista sinóptica que permite obtener una visión de conjunto, facilita establecer las relaciones espaciales y temporales entre los diferentes componentes obtenidos sobre la superficie del terreno.

La exageración vertical que se logra al observar un modelo estereoscópico permite estimar las pendientes, buzamientos o configuración del terreno, cuando se interpretan fotografías aéreas.

El efecto de sombras facilita la visión estereoscópica, sobre todo cuando el terreno es plano y se orientan las sombras hacia el observador. También es posible estimar o medir alturas de los objetos utilizando la barra de paralaje.

Las Fotografías Aéreas permiten y facilitan el acceso a terrenos escarpados, pantanosos o selváticos, dónde no se puede llegar o se dificulta en muchos casos.

Se pueden establecer relaciones temporales sobre las fotografías aéreas tomadas en diferentes fechas y se pueden efectuar análisis multitemporal para detectar cambios sobre el terreno.

Se logran establecer relaciones espaciales entre diferentes rasgos litológicos y estructurales para comprender mejor los estilos y modelos predominantes en una determinada región.

Se pueden detectar anomalías en el subsuelo mediante el análisis superficial de los patrones de drenaje y la expresión morfológica predominante en un determinado lugar.

Se reduce considerablemente el tiempo de ejecución de un proyecto, junto con la facilidad para la planeación del trabajo de campo, lo cuál a su vez redundará en la reducción de costos, lo cuál es definitivo en la ejecución de cualquier proyecto.

Las fotografías aéreas permiten y facilitan la obtención de un mayor volumen de información que por cualquier otro medio, sin menoscabo de la calidad técnica y precisión de la misma.

La resolución temporal obtenida por las fotografías, permite estudiar con más precisión la evolución de fenómenos dinámicos desarrollados sobre la superficie terrestre como: vulcanismo, glaciación, erosión de costas, procesos fluviales, movimientos en masa y cambios en áreas urbanas.

La utilización de fotografías aéreas permite la ejecución del trabajo con mayor eficiencia, ya que permite hacer una buena planeación del trabajo de campo desde la oficina y la selección de áreas difíciles o con la mejor exposición de las secuencias estratigráficas y áreas con complicaciones estructurales o litológicas y para establecer relaciones espaciales difíciles de ver y entender en el campo.

Sobre las fotografías aéreas se pueden ver y describir detalles que no es posible detectar en el terreno, ya sea porque son demasiado grandes, o porque están cubiertas por espesos depósitos cuaternarios o en otros casos por estar localizados en áreas de difícil acceso.

La utilización de fotografías aéreas facilita el estudio de grandes áreas en poco tiempo, a la vez que facilita el estudio del mismo fenómeno a escalas diferentes.

A partir de las fotografías aéreas se puede extraer información cualitativa y cuantitativa en cantidades mayores y de mejor calidad que la obtenida por métodos convencionales.

Las fotografías aéreas permiten trabajar en la oficina con mayor flexibilidad y durante la mayor parte del tiempo que sea necesario, especialmente en épocas de mal tiempo o en áreas afectadas por condiciones adversas de orden público.

La resolución espectral obtenida sobre las fotografías aéreas, más amplia que la capacidad del ojo humano, permite el registro de objetos que de otra forma serían invisibles como lo son los rangos del ultravioleta y el infrarrojo.

2.5 LIMITACIONES DEL USO DE LAS FOTOGRAFÍAS AÉREAS

Existen también algunas limitaciones en el uso de fotografías aéreas y en parte tienen que ver con la escala de las mismas versus el tipo de información que se requiere extraer, como por ejemplo: información paleontológica, sedimentológica y geoquímica; ya que no se pueden ver los contenidos de fósiles, ni la granulometría de las rocas, pero se pueden seleccionar los lugares para levantar columnas estratigráficas y seleccionar los puntos de muestreo geoquímico.

En terrenos completamente planos o sobre superficies peneplanizadas es imposible diferenciar estructuras plegadas en el subsuelo y cuando hay presencia de potentes depósitos Cuaternarios.

Cuando las fotografías presentan exceso de nubosidad es imposible su utilización, sobre todo en terrenos montañosos, donde la presencia de nubes es casi permanente, por ejemplo: en regiones como la Amazonía o el pacífico, donde hay excesiva humedad y existe una espesa cobertura de bosque tropical.

En áreas montañosas y con cobertura permanente de bosques naturales densos, se dificulta la interpretación geológica de las fotografías por las deformaciones hacia el extremo de las mismas.

2.6 ELEMENTOS DE LA FOTOINTERPRETACIÓN

- i) **Tamaño:** El tamaño se refiere a las tres dimensiones de un objeto, de manera que además de medir las coordenadas planas se podrá medir la altura, por ejemplo utilizando la barra de paralaje. Las sombras suelen ser útiles para estimar la altura de un objeto. El tamaño del objeto observado, puede ser de una gran ayuda para su plena identificación. Dos elementos diferentes pueden aparecer en la imagen fotográfica muy parecidos, sin embargo la diferencia de tamaño puede ser el factor decisivo para la identificación de objetos similares en forma. El medir dichos objetos puede ser necesario.

- ii) **Forma:** La forma de los objetos, observada sobre una fotografía aérea no es la que el observador está acostumbrado a ver y por eso es necesario adquirir experiencia y destreza mediante el estudio de muchos pares de fotografías para aprender a ver los objetos desde un punto de vista diferente a la forma general (incluye la visión estereoscópica tridimensional) puede ser la única y más real evidencia para su clara e inequívoca identificación.
- iii) **Tono y color:** El color contribuye positivamente en fotografías aéreas a color a la identificación de objetos y su influencia es mucho mayor que la diferenciación de tonos de gris correspondientes a fotografías en blanco y negro. La variación en el tono resulta de diferencias en las cualidades reflectantes de los objetos, por ejemplo, luz, oscuridad, etc. Para un fotointérprete experimentado, la imagen en colores tendrá muy pocas ventajas sobre la imagen en blanco y negro, ya que con su experiencia podrá obtener la misma información que tendría de una imagen a color, pero es necesario conocer los factores que tienen influencia sobre los tonos, ya sean debidos a cambios en el proceso de revelado de las fotografías. El geólogo emplea los cambios en las tonalidades de las fotografías para diferenciar tipos de litología, estructuras y depósitos superficiales entre otros. Aunque el tono es un indicador importante, no siempre es el determinante en la identificación de los objetos, ya que factores como la humedad del terreno y cambios en la cobertura del suelo presentan variaciones sobre un mismo terreno.
- iv) **Textura:** La textura puede ser definida como la distribución de tonos que presenta un conjunto de unidades que son demasiado pequeñas para ser identificadas individualmente sobre una fotografía aérea. El tamaño de los objetos que determina la textura, varía con la escala de la fotografía y en algunos casos suele ser suficiente para la identificación de objetos. Cuando los cambios en el tono son muy pequeños para ser discernibles, la textura puede ayudar a la identificación. Las principales texturas son: lisa, áspera granular, lanosa, moteada, rugosa o suave.
- v) **Sombras:** proporciona una visión desde el terreno del objeto y, por lo tanto, es una indicación importante. La longitud de la sombra puede ser utilizada para determinar la altura de los objetos, si el terreno circundante se presenta casi plano.
- vi) **Patrón:** El patrón se refiere a la agrupación ordenada de ciertos elementos con características especiales. El patrón de drenaje, los cultivos, la cobertura vegetal y el uso de la tierra pueden presentar ciertos patrones característicos que permiten deducir e inferir una serie de rasgos o elementos característicos no visibles directamente sobre las fotografías. La disposición sobre el terreno de rasgos físicos y culturales es frecuentemente distintiva, y puede ser útil para el reconocimiento y evaluación.
- vii) **Contexto:** La localización o la ubicación sobre el terreno puede contribuir a la identificación de diferentes objetos sobre la fotografía, por ejemplo, una vegetación en particular, como la de páramo puede aparecer solamente en un lugar específico por condiciones climáticas y altitudinales, que puede ser fácilmente reconocida sobre las fotografías.
- viii) **Rasgos asociados:** hay rasgos que se encuentran frecuentemente junto al objeto bajo investigación. Estos tienen una apariencia característica y ayudan de una forma fácil a la interpretación fotográfica, por ejemplo, afloramiento de roca, cuerpos de agua y el terreno con vegetación (bosques, prados, cultivos), carreteras de acceso, vías ferroviarias, ciudades y lugares históricos, entre otros.

2.7 CARACTERÍSTICAS FOTOGEOLÓGICAS DE LAS ROCAS

Sobre las fotografías Aéreas, los diferentes tipos de rocas tienen su propia expresión fotogeológica según la localización geográfica (zonas templadas o áreas ecuatoriales), las condiciones climáticas (clima seco y árido o tropical húmedo), los tipos de cobertura vegetal y el grado de alteración de las rocas por procesos de meteorización y erosión. A continuación se describen algunas de las características reconocibles sobre las fotografías Aéreas.

2.7.1 Características Fotogeológicas de las rocas Ígneas intrusivas

Las rocas ígneas se presentan como rocas félsicas, rocas intermedias y rocas máficas. Los granitos, granodioritas y cuarzodioritas, se caracterizan sobre las fotografías aéreas por presentar aspecto masivo y morfología homogénea. El tono de las rocas ígneas es generalmente gris claro.

Las rocas ígneas cuando están intruyendo a rocas sedimentarias o metamórficas se distinguen claramente por su morfología, tonos claros y un mayor grado de disección. Los patrones de drenaje son generalmente dendríticos con algunas variaciones o modificaciones.

Las rocas ígneas en general son duras y resistentes a la erosión; pero varía según sea la composición del roca, grado de fracturamiento, pendiente y cambio en las condiciones del clima.

El grado de alteración por meteorización y erosión de las rocas ígneas intrusitas es mayor en rocas de textura gruesa con cristales grandes de cuarzo, abundante biotita y generalmente la roca está muy fracturada.

El grado de alteración de las rocas ígneas intrusitas es menor en climas fríos, si el grado de fracturamiento es menor y si los tamaños de los cristales son mas finos.

La densidad de drenaje es alta con muchas ramificaciones; el patrón varía de dendrítico típico a dendrítico subangular o angular, según el grado de diaclasamiento de las rocas.

Los cauces principales son ensanchados y sinuosos, poco profundos y con pendientes fuertes.

Los cauces secundarios son estrechos, en forma de V, cortos y rectilíneos. Los arroyos de las cabeceras presentan ramificaciones en forma de pinza, especialmente en los granitos.

En los granitos es frecuente encontrar sistemas de fallas y una densa red de diaclasas entrecruzadas en varias direcciones con diferentes ángulos, según hayan sido los patrones de esfuerzos y direcciones predominantes de la deformación.

La densidad de fracturas y diaclasas está relacionada con la fragilidad de la roca, por su grado de cristalinidad, la mayor o menor cohesión y la poca plasticidad.

En las rocas graníticas es difícil diferenciar desplazamientos a lo largo de las fallas y a veces no se pueden diferenciar de las diaclasas debido al aspecto masivo y homogéneo de la roca, excepto cuando hay evidencias de drenajes desplazados o alineados.

El mayor o menor grado de alteración y disección de las rocas graníticas por la acción de la meteorización y erosión que determina su diferente apariencia que se manifiesta en distintos tipos de relieve que varía desde grandes cordilleras, con relieves medios colinados, hasta extensas y rebajadas penillanuras.

En cordilleras antiguas del ambiente tropical, los granitos desarrollan geoformas típicas conocidas como: los inelbergs, peñoles, Pan de azúcar, dedos de Dios. En zonas con estacionamiento desarrollan los Tors.

En climas cálidos y húmedos se desarrollan potentes capas de alteritas, saprofitos y suelos profundos, debido al fuerte grado de meteorización, con topografía suave a ondulada con formas redondeadas tipo media naranja.

En zonas secas y áridas el relieve es más escarpado y se desarrolla un menor perfil de meteorización

Debido a la mayor permeabilidad de los suelos arenosos desarrollados sobre los granitos fracturados que a su vez yacen sobre materiales impermeables, se acumula mayor humedad la cuál permite un mayor desarrollo de cobertura vegetal.

Los suelos desarrollados sobre rocas ígneas presentan una mayor fertilidad debido a la presencia de minerales como las plagioclasas y feldespatos ricos en potasio, por ello es frecuente encontrar cultivos, pastos, bosques naturales y/o plantados.

Las rocas graníticas por su composición mineral presenta en general tonos que tienden a variar desde gris claro a gris medio. Cuando hay cobertura de vegetación el tono se torna un poco mas oscuro.

Si las rocas están alteradas pero sin cobertura vegetal, presentan tonos claros a blancos debido a la meteorización de las arcillas.

Las características fotointerpretables de las dioritas: estas rocas ígneas de composición intermedia, presentan características similares a los granitos. Sin embargo, pueden presentar patrones de drenaje que varía de paralelo a subparalelo y densidad media.

Los cauces intermedios son de longitud media y rectilíneos. Los drenajes de las cabeceras son escasos y confluyen en ángulos agudos.

La topografía desarrollada sobre estas rocas es más abrupta que los granitos, con pendientes más fuertes y más o menos alargadas.

La cobertura de vegetación en regiones áridas y semiáridas es poco densa o muy escasa.

Las características fotointerpretables de las rocas ígneas máficas son muy difíciles de identificar sobre las fotografías aéreas, se requiere para ello un buen nivel de referencia y una excelente experiencia del fotointérprete.

La topografía desarrollada sobre este tipo de rocas es homogénea, de apariencia rugosa y no muy accidentada.

Las fracturas y el diaclasamiento de las rocas ígneas máficas intrusivas, se presentan con patrones bien definidos.

El tono es generalmente más oscuro que el que normalmente presenta los granitos y las dioritas.

La cobertura vegetal generalmente se desarrolla en parches o manchas visibles

Algunas de las características fotogeológicas no fotointerpretables de las rocas máficas especialmente en los basaltos desarrollados por vulcanismo submarino, presentan estructuras almohadilladas identificables solamente en el campo.

Los basaltos presentan un patrón de disyunción tabular, más conocido como estructura columnar de los basaltos.

Las características fotointerpretables de las rocas ígneas extrusivas o volcánicas félsicas son más fácilmente identificables sobre las fotografías aéreas que las rocas ígneas intrusivas, dadas sus peculiares tipos de relieve y patrones de drenaje característicos.

Las características fotointerpretables de este tipo de rocas está directamente relacionada con la velocidad del enfriamiento, grado de solidificación del magma, tipo de efusión de las lavas eruptadas por los diferentes tipos de volcanes y según su composición química y mineral.

Sobre este tipo de rocas es frecuente el reconocimiento de geoformas y rasgos típicos como la formación de edificios volcánicos, conos, cráteres, calderas, domos, escudos volcánicos, cúpulas, agujas, coladas de lava, mantos de ceniza, tobas y depósitos piroclásticos.

Las lavas pueden ser de composición félsica, intermedia o máfica, según sea el tipo de volcán a la cual están asociados.

El grado de viscosidad y la fluidéz de las lavas depende de la cantidad de sílice presente. Las lavas félsicas son más viscosas y se solidifican muy cerca del cráter del volcán, formando coladas de lava de poca extensión.

Las andesitas forman parte de los conos volcánicos y agujas, su patrón de drenaje es radial, semidenso, con pocos tributarios secundarios.

Las lavas máficas son más fluídas, cubren mayores extensiones y configuran la mayor parte del relieve volcánico.

Los basaltos cunado provienen del vulcanismo de fisura, suelen presentar un relieve formando mesetas con escasos valles encerrados entre borde escarpados, tales como las Mesetas del Paraná en el Brasil y las mesetas del Decan en la India.

También pueden formar relieves tabulares o cúpulas y domos de pendiente suave, con red de drenaje radial semidensa.

El drenaje de los campos de lava es interno, no detectable sobre las fotografías aéreas, debido a la infiltración de las aguas lluvias por las grietas y fisuras de las rocas.

Los tonos fotográficos de los basaltos son generalmente oscuros. Las andesitas y traquitas presentan tonos gris medio. Las riolitas y dacitas presentan tonos gris claro.

En general las rocas volcánicas más alteradas o menos alteradas suelen presentar tonos más claros que las rocas menos alteradas o más frescas.

Los mantos de ceniza volcánica, tobas, escorias y depósitos piroclásticos, cuando los espesores son considerables contribuyen a suavizar el relieve existente, su uniformidad depende de las características de la topografía inicial.

Si el relieve es muy abrupto y las pendientes son muy fuertes, las cenizas se depositarán con frecuencia en las depresiones, valles y cauces de los ríos y quebradas. Si el terreno es plano el depósito cubrirá el área en forma uniforme.

2.7.2 Características Fotogeológicas de las rocas Sedimentarias

Desde el punto de vista fotogeológico las rocas sedimentarias se pueden clasificar en tres grandes categorías. Rocas sedimentarias clásticas de grano fino, rocas sedimentarias clásticas de grano grueso y las rocas sedimentarias calcáreas o carbonatadas.

Las rocas clásticas de grano fino generalmente son poco resistentes, insolubles e impermeables, drenaje externo de alta densidad, el diaclasamiento puede estar presente, pero difícil de detectar e interpretar. El tono puede variar de gris oscuro a medio.

Las rocas clásticas de grano grueso generalmente son resistentes, porosas y permeables dependiendo de la cantidad de cemento o matriz. El Patrón de drenaje interno y de baja densidad. Son frecuentes los sistemas de diaclasamiento. Los tonos se presentan de gris claro a gris medio.

Las características fotogeológicas de estas rocas son las siguientes: Presentan casi siempre buena estratificación que las diferencia de otro tipo de rocas.

Se presentan en capas, estratos y bancos muy potentes y son claramente diferenciables sobre las fotografías aéreas, tanto por la exposición de las secuencias estratigráficas y la disposición de los planos estructurales.

Cuando las rocas sedimentarias se encuentran deformadas por plegamiento las estructuras de tipo anticlinal y sinclinal son fácilmente reconocibles por la posición de los ejes y la disposición de los flancos.

Cuando las rocas se encuentran deformadas por fallamiento, las secuencias de rocas sedimentarias son fáciles de identificar sobre las fotografías, sobre todo si se detectan desplazamientos entre los bloques desplazados o si existen discordancias con respecto a las rocas infrayacentes.

La interpretación de las rocas sedimentarias se facilita o se dificulta si estas se encuentran ligeramente plagadas o falladas; moderadamente plegadas o falladas; intensamente plegadas o falladas.

Las rocas sedimentarias pueden estar formando estructuras de tipo anticlinal, sinclinal, homoclinal, monoclinal o de tipo isoclinal y de esta forma se resalta su naturaleza sedimentaria.

Las rocas sedimentarias pueden estar afectadas por fallas de tipo: normal, inverso, transcurrente o de rumbo y adicionalmente afectadas por fracturas y diaclasas en una o varias direcciones con densidad moderada a alta, lo que facilita o dificulta su identificación durante el proceso de la fotointerpretación.

El desarrollo de patrones de drenaje en las rocas sedimentarias es variable y depende de varios factores entre los cuales se incluyen :l a composición química y mineral de la roca, la granulometría, la permeabilidad y porosidad primaria o secundaria de la roca y su grado de fracturamiento y alteración.

La identificación e interpretación de las rocas sedimentarias se facilita o se dificulta dependiendo de la presencia de depósitos cuaternarios superficiales que pueden estar ausentes, o poseer un espesor muy delgado, intermedio o grueso. Pueden estar cubiertas por vegetación escasa, moderada, densa, muy densa, difusa o en manchas y ello facilita o dificulta la interpretación. Adicionalmente se pueden presentar cultivos de diferente tipo, ya sean permanentes, transitorios o esporádicos, etc.

Las rocas sedimentarias se pueden identificar sobre las fotografías aéreas dependiendo del tipo de contraste de las fotografías (alto, moderado o bajo); dependiendo del tipo de tonos que varían desde el blanco hasta el negro. También dependiendo de la textura desde fina y suave hasta gruesa y rugosa, bandeada, manchada, lineal, acolchada o lanosa.

Para el caso de las rocas calcáreas o carbonatadas estas presentan unas características fotogeológicas muy propias. Pueden presentarse en potentes secuencias en posición vertical o casi horizontal.

Su identificación sobre las fotografías aéreas es muy fácil debido a la presencia de dolinas y rasgos de disolución formando paisajes kársticos.

El desarrollo del drenaje es subterráneo y el superficial es escaso, pobre o desintegrado, debido a la presencia de fracturas y diaclasas que facilitan el proceso de infiltración del agua en el subsuelo.

La mayoría de las rocas calcáreas presentan tonos muy claros, si la caliza es pura y tonos medios a oscuros, si la roca está recubierta por líquenes o musgos. En climas áridos la presencia de vegetación es muy escasa.

2.7.3 Características Fotogeológicas de las rocas Metamórficas

Las rocas metamórficas presentan ciertas características fotogeológicas bastante difíciles de reconocer, sobre las fotografías aéreas dependiendo del grado de metamorfismo. Por ejemplo las características fotogeológicas de las pizarras son rocas resultantes del metamorfismo regional de muy bajo grado y provenientes de rocas clásticas de grano fino (arcillolitas, limolitas y shales). Conserva muchas de las características de la roca sedimentaria de donde se originan.

Las pizarras son blandas, fácilmente erosionables y relieve muy poco marcado, tiende a formar superficies rugosas con pequeñas lomas redondeadas que se elevan a igual altura y separadas por arroyos. En climas áridos las lomas evolucionan a formas agudas. Presentan estratificación poco marcada, bastante plegadas, pero poco se manifiesta en la topografía, fuertes buzamientos.

El patrón de drenaje dendrítico denso, según tamaño de grano y grado de metamorfismo, generalmente con control estructural por fracturas, desarrollan un patrón angular o rectangular.

las fallas y fracturas, aunque abundantes, casi no se aprecian sobre las fotografías aéreas. Se puede observar, si hay control estructural del drenaje y este es angular. El tono de las pizarras sobre las fotografías varía de gris medio a gris oscuro según composición mineral y a veces con aspecto bandeado.

2.7.4 Interpretación Estructural

Uno de los aspectos más importantes del uso de las fotografías aéreas es para el análisis de los rasgos estructurales, es decir la identificación e interpretación de estructuras plegadas y falladas cuya expresión morfológica es muy evidente y facilita las tareas del levantamiento fotogeológico.

El plegamiento y el fallamiento de las rocas sedimentarias y el fallamiento en los demás tipos de rocas son perfectamente visibles sobre las fotografías aéreas y para su interpretación se requiere del apoyo de la geomorfología. Adicionalmente, algunos aspectos básicos como la interpretación de la red de drenaje, el relieve, los cambios de tono y texturas, junto con los patrones de vegetación permiten el análisis de las diferentes estructuras desarrolladas sobre las diferentes litologías y dónde la expresión morfológica contribuye a su identificación e interpretación.

La identificación y definición de los rumbos y buzamientos de las diferentes capas y estratos inclinados en una secuencia estratigráfica donde se alternan capas duras y blandas, permite definir y delinear las estructuras.

En terrenos planos con estratificación horizontal y ojalá cubiertos por depósitos cuaternarios, la identificación y delineación de las estructuras, se hace más difícil y es allí donde se requiere mayor trabajo de campo.

Las estructuras plegadas y falladas pueden ser identificadas e interpretadas sobre las fotografías aéreas, aún en ambientes húmedos tropicales con presencia de densa cobertura de bosques.

Cuando hay alternancia de rocas sedimentarias clásticas duras y blandas y estas se encuentran plegadas y falladas, se pueden diferenciar claramente los escarpes de las zonas más suaves.



Figura 6. Estructuras plegadas, en fotografías aéreas



Figura 7. Estructuras falladas en, fotografías aéreas.

3. EL MAPA FOTOGEOLÓGICO

El mapa fotogeológico es un documento obtenido como producto de la interpretación de fotografías aéreas tomadas sobre el terreno a una escala determinada y cumpliendo con una serie de especificaciones técnicas de precisión, resolución, escala, contraste, traslape y otros requisitos preestablecidos durante la toma y posterior revelado en el laboratorio fotográfico.

3.1 CLASES DE MAPAS FOTOGEOLÓGICOS

Los mapas Fotogeológicos se pueden dividir en tres grandes categorías de acuerdo a la forma como se obtiene la información de las diferentes fuentes así:

3.1.1 Mapas Fotogeológicos sin control de campo

Son aquellos mapas preliminares derivados de la interpretación de fotografías aéreas a diferentes escalas, sin trabajos de verificación de campo. Estos mapas fotogeológicos pueden ser derivados de ortoespaciomapas elaborados a partir de imágenes de Sensores Remotos Landsat, Spot y Radar aerotransportado y/o radar satelital utilizados en las fases de exploración y elaboración de los mapas básicos para el levantamiento de recursos naturales y la explotación de yacimientos minerales metálicos y no metálicos, hidrocarburos o aguas subterráneas etc.

Estos mapas son elaborados a partir de la interpretación de fotografías aéreas, ortofotomapas, e imágenes georreferenciadas de los diferentes sistemas de Radar satelital y/o aerotransportado, lo mismo que a partir de imágenes de Satélite de los sistemas LANDSAT, SPOT, IKONOS y QUICK BIRD entre otros.

3.1.2 Mapas Fotogeológicos con control de campo

Corresponde a aquellos mapas derivados de la interpretación de fotografías aéreas a diferentes escalas, pero con verificación de campo. Estos Mapas fotogeológicos pueden ser derivados de Espaciomapas o a partir de imágenes de Sensores Remotos Landsat, Spot y Radar aerotransportado y/o satelital.

3.1.3 Mapas Geológicos convencionales

Son los mapas elaborados por los métodos convencionales mediante recolección directa de los datos en el campo, principalmente y mediante el levantamiento de columnas estratigráficas y cortes geológicos, apoyados con trabajos de fotointerpretación y mediante la comprobación y descripción de las unidades litológicas y estratigráficas en el campo acompañados de los respectivos cortes transversales.

En la elaboración de los mapas geológicos se deben seguir una serie de fases dependiendo del tipo y escala del levantamiento, ya sea para estudios fotogeológicos básicos o geológicos a nivel nacional, departamental, municipal y local. A efectos de explicar la metodología, se tomará como punto de partida la elaboración de un mapa geológico a escala 1:100.000, que cubre un área aproximada de 2400 Km².

Para la realización y ejecución de los levantamientos y estudios geológicos, se debe disponer primero que todo de un equipo de personal capacitado en geología, con experiencia teórica y práctica en los conceptos básicos fundamentales y en lo posible poseer experiencia en interpretación de imágenes de sensores remotos y fotografías aéreas; pero también se requieren sólidos conocimientos en la metodología para la ejecución de los trabajos de levantamiento y verificación en el campo.

Los estudios y levantamientos geológicos incluyen actividades y trabajos de preparación en la oficina, trabajos de verificación en el campo, dibujo análogo, digitalización, diseño cartográfico, edición y publicación, junto con la respectiva memoria explicativa.

3.2 TRABAJOS DE OFICINA

Las tareas y trabajos de oficina que se requieren para adelantar la primera fase del estudio incluyen entre otras las siguientes actividades: Planeación del trabajo preliminar, selección de las secciones estratigráficas y el muestreo en el campo.

Revisión y compilación de información cartográfica correspondiente a los mapas topográficos base a escalas 1:25.000, 1:50.000 y 1:100.000. En esta parte se debe efectuar una revisión cuidadosa y sistemática de la información existente en las diferentes entidades y bibliotecas, para saber y conocer el estado del arte y el nivel de conocimiento que se tiene del país de una determinada región, departamento, municipio o localidad.

Ubicación, selección y adquisición de los registros de fotografías aéreas, imágenes de Radar y Satélite existentes de la región seleccionada. Adquisición de imágenes de sensores remotos, ya sea de satélite radar, Landsat, DTM, spot y/o fotografías aéreas convencionales o las tomadas con la cámara digital del IGAC.

Se debe consultar el Banco de imágenes del IGAC y las entidades oficiales y/o empresas privadas responsables de la toma, generación, adquisición y distribución de las imágenes de Sensores Remotos existentes en el país o en el exterior.

Una vez corroborada la existencia de las imágenes se procederá a la adquisición mediante un trámite administrativo, previo la consulta de la disponibilidad presupuestal mediante el respectivo CDP u otra forma de financiación o quizás por donación. En esta fase se efectúa la adquisición de las imágenes y/o fotografías aéreas existentes y una vez se hayan adquirido las respectivas imágenes, se procederá a la fase de:

- a. lectura y tratamiento digital de las imágenes, con el propósito de efectuar su georreferenciación y elaboración de los espaciomapas respectivos para su interpretación visual y/o digital.
- b. Efectuar la interpretación preliminar de las fotografías aéreas e imágenes de radar y satélite adquiridas para el proyecto, y así obtener una primera impresión de las características del área.
- c. Preparar una leyenda preliminar con los símbolos correspondientes.

3.3 TRABAJOS DE VERIFICACIÓN EN EL CAMPO

Una vez terminada la fase de fotointerpretación de las imágenes y/o las fotografías aéreas, se procede a la preparación de los trabajos de verificación en el campo, para ello se seleccionarán sobre las fotografías las secciones más representativas y bien expuestas a lo largo de caminos, carreteras y ríos. etc.

Se tomarán las muestras para efectuar los análisis de laboratorio de tipo físico, químico, mineralógico y micropaleontológico.

Se deben tomar las fotografías de campo con el fin de ilustrar de manera gráfica los informes respectivos.

3.4 LEVANTAMIENTO DE COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS

Se levantarán las columnas estratigráficas necesarias de acuerdo al objetivo del estudio y la escala de trabajo.

- a. Se requiere de la preparación del equipo de campo que incluye entre otros los siguientes implementos: Estereoscopio de bolsillo, brújula Brounton, altímetro, lupa de 20 aumentos, frasco con ácido clorhídrico diluido, martillo para geólogo, cinta métrica mínimo de 10 m, cámara fotográfica, maletín porta-fotos, tubo plástico o de pvc para guardar los mapas, libreta de campo, transportador, caja de colores, cinta de enmascarar, marcadores de punta fina indelebles, tinta blanca para marcar las muestras de rocas y fósiles.
- b. Determinación previa de los itinerarios de viaje, logística y selección de las secciones que primero se vayan a verificar de acuerdo con las prioridades establecidas en la fase de fotointerpretación preliminar.
- c. Ejecución de las tareas de verificación de acuerdo con la interpretación preliminar donde se efectúa la recolección de información existente en el área y relacionada con los siguientes aspectos: Tectónica, estratigrafía, levantamiento de columnas estratigráficas, identificación de la litología, reconocimiento de los principales rasgos estructurales (pliegues, fallas, y discordancias etc.), paleontología, geología económica (minas, canteras etc), determinación de los principales tipos de amenazas naturales, etc y finalmente recolección y toma de muestras para efectuar los respectivos análisis de laboratorio en los aspectos de petrografía, geoquímica y paleontología.
- d. Una vez culminada la fase de campo se procede a efectuar una reinterpretación y un ajuste de la información con base en los datos obtenidos durante la fase de verificación de campo y los datos resultantes de los análisis de laboratorio.

En la fase de transferencia, dibujo y edición de los mapas e informe en formatos análogo y digital. La transferencia de la información interpretada sobre las imágenes y/o espaciomapas a los mapas base. Una vez interpretadas las imágenes y efectuadas las delineaciones de las unidades temáticas se procederá a la transferencia de dicha información a los mapas base elaborados para tal fin.

3.5 TRABAJOS DE TRANSFERENCIA DE INFORMACION

Una vez se ha concluido la fase anterior se procederá a efectuar los trabajos de transferencia de la información complementaria obtenida de las fotografías e imágenes de satélite a los respectivos mapas topográficos base y se inicia el trabajo de dibujo propiamente dicho de las planchas, previamente preparadas y ajustadas a las respectivas bases cartográficas. La secuencia de pasos seguidos en el proceso incluye lo siguiente:

- a. Dibujo de los mapas geológicos en papel de seguridad a la escala 1:100.000, junto con su respectiva leyenda y convenciones, ajustadas a los estándares del Ingeominas.
- b. Revisión de los mapas dibujados con el fin de supervisar y detectar posibles errores u omisiones que se puedan pasar en la fase de dibujo de las planchas.
- c. Una vez dibujados y revisados los mapas junto con los símbolos y convenciones respectivas y previo el visto bueno del profesional responsable del proyecto y/o del trabajo, los mapas pasarán a la fase de digitalización.
- d. En esta etapa del trabajo se procederá a efectuar la transformación de la información temática de formato análogo a digital, para lo cual se utilizará el software que autorice el coordinador del área de sistemas, pero en todo caso se obtendrán los mapas en formato compatible con los programas que utilicen tanto los usuarios internos como externos de INGEOMINAS u otras Instituciones públicas o privadas.
- e. Una vez finalizada la etapa de digitalización y previo visto bueno del coordinador de sistemas, los mapas se imprimen en planchas análogas en papel y simultáneamente se archivarán en formato digital para su posterior edición y publicación.
- f. Para la publicación de los mapas se requiere efectuar un proceso de elaboración de los negativos para la reproducción de los mapas finales y la preparación de los archivos finales para su impresión litográfica y su respectiva publicación por parte de la editorial que sea contratada por la Entidad.
- g. Paralelamente con la fase de dibujo de los mapas se procede a la preparación, elaboración y edición de la memoria y/o informe correspondiente al área en estudio, el cual se editará en los programas disponibles en la subdirección y elaborado con las pautas y normas establecidas por la Subdirección Geología básica de INGEOMINAS.

3.5.1 Reinterpretación y ajuste de la información

En esta fase se efectúan los trabajos de reinterpretación tanto de las fotografías aéreas como de las imágenes de sensores remotos (Radar, Landsat, Spot, Ikonos, Quick Bird u otros) con el fin de ajustar las delineaciones y efectuar las respectivas correcciones una vez se ha regresado del trabajo de campo. Todas las anotaciones y observaciones efectuadas en el campo deben estar acorde con el mapa fotogeológico elaborado.

3.5.2 Preparación de leyenda y convenciones del mapa

A la par que se va elaborando el mapa fotogeológico, se va preparando una leyenda del mapa con sus respectivos símbolos tomados de los manuales estandarizados de INGEOMINAS, ITC o del IGAC, con el fin de hacer la representación real de cada uno de los rasgos interpretados.

Las convenciones del mapa deben ajustarse a las convenciones estandarizadas utilizadas por Ingeominas o el Igac en los mapas base o temáticos producidos, tanto en formato análogo como digital.

3.5.3 Informe o Memoria del Mapa

Finalmente, se procede a la elaboración de la memoria técnica que acompañará al respectivo mapa fotogeológico. Hay diferentes tipos de informes fotogeológicos que tratan distintos tópicos. Los de carácter general, o los que hacen énfasis en algún tópico específico, como: la estratigrafía, petrografía, paleontología o en la geología económica o ambiental, entre otros.

A continuación se presenta el bosquejo para la elaboración de un informe fotogeológico general, aplicado a una determinada zona bajo estudio.

Una vez efectuadas la interpretación de las fotografías aéreas y/o imágenes en la fase de investigación inicial, y una vez realizado el trabajo de campo, es muy importante establecer cuál es el contenido del informe y los respectivos anexos como: secciones estratigráficas, cortes y los registros fotográficos de campo que acompañarán al respectivo mapa. Las siguientes son las Partes que debe contener un informe o Memoria de un mapa fotogeológico con verificación de campo.

Portada

En la portada se indica el título del tema y el carácter del informe. Sobre la portada debe figurar el nombre del autor, nombre de la Entidad o Instituto que realiza la investigación, fecha y demás datos de interés general para los usuarios del mapa.

Resumen

El resumen es la parte más importante del informe (se lee normalmente sin tener tiempo para leer el informe completo) y debe escribirse después de que todo el informe esté listo. El resumen debe figurar antes del contenido y debe dar en forma condensada el contenido del informe, mencionando el tipo de estudio y la indicación de la zona investigada, los datos y el resultado de la investigación. El resumen es un compendio que da la información más importante del estudio en forma de frases cortas, sin usar palabras redundantes y no debe ocupar más de una página y se debe elaborar una vez que el informe esté hecho y listo para su publicación.

Tabla de contenido

En la tabla de contenido se debe dar de una manera clara y concisa la relación entre los contenidos de los capítulos y subcapítulos: Los nombres de estos capítulos y subcapítulos deben ser los mismos que figuran en el texto y deben conservar el orden riguroso de los mismos.

Introducción

La introducción normalmente está conformada por varios subcapítulos a saber:

Generalidades. Dónde se debe explicar el motivo y los métodos de trabajo.

Localización de la región o área de estudio. Se debe incluir un mapa índice, donde se pueden incluir algunos rasgos geográficos como acceso a la zona, ríos importantes, poblados y otros rasgos de interés, entre otros.

Descripción geológica general: Debe indicarse una breve descripción de la geología del área o región estudiada destacando una caracterización de las grandes unidades geológicas.

Trabajos previos. Se deben mencionar en forma breve los resultados de trabajos anteriores en la región o en sus alrededores, refiriéndose de manera especial a la bibliografía o referencias. Debe mencionarse también la existencia de mapas geológicos ya existentes de la zona.

Agradecimientos. Se debe expresar los agradecimientos a las Instituciones que apoyaron o patrocinaron el estudio, a los compañeros y colegas, participantes y a todas las personas que de una u otra forma colaboraron en todas las actividades, tanto de oficina como de campo.

Estratigrafía y litología. En la parte introductoria se describen las principales unidades estratigráficas que fueron identificadas, cartografiadas y reconocidas tanto en la fase de fotointerpretación preliminar, como durante los trabajos de reconocimiento en el campo y la correlación con la columna estratigráfica de la región. De ser necesario se debe hacer una tabla de las principales unidades y formaciones reconocidas en el área de estudio. Se debe iniciar la descripción de las unidades estratigráficas o litoestratigráficas iniciando por la más antigua.

Una buena descripción de las unidades estratigráficas consta de: Una introducción que da en una o dos frases los tipos de rocas y su secuencia cronoestratigráfica. Localización de la unidad en la región. Límites de la unidad con las supra o infrayacentes, es decir los tipos de contactos, si son netos, transicionales, discordantes o fallados. Una descripción litológica extensa de la unidad o unidades estratigráficas y de sus principales características. Descripción del ambiente de depositación y cambios de facies en la región. La edad asignada a la unidad basada en la posición estratigráfica o en el contenido de fósiles (los nombres de taxonómicos sistemáticos de los fósiles deben estar subrayados en el informe y en la columna estratigráfica). Se debe establecer la correlación estratigráfica con otras regiones que tengan las mismas unidades de la columna estratigráfica.

Metamorfismo.

Se puede indicar brevemente los periodos de metamorfismo, con énfasis en los complejos metamórficos de alto grado y que no se puedan colocar en el capítulo de estratigrafía por falta de correlación.

Magmatismo. Se refiere a la actividad ígnea de tipo intrusivo o extrusivo, destacándose en ellos la presencia de cuerpos magmáticos.

Tectónica y Geología Estructural. En esta parte debe efectuarse una introducción de las principales unidades estructurales, destacando las diferencias entre las principales unidades y la influencia de la litología, el metamorfismo y la actividad ígnea, como también el tipo e intensidad de las fallas y pliegues. Sobre estas últimas se debe destacar la descripción de los pliegues y fallas geológicas identificadas dentro de cada una de las unidades estructurales reconocidas. Se debe describir la tendencia de los trenes estructurales tanto a nivel de pliegues como de fallas, indicando los tipos y nombres de las estructuras identificadas. Si existen evidencias de complicaciones estructurales menores deben indicarse claramente el tipo y nombre. Finalmente se debe establecer en lo posible las relaciones de las estructuras mayores con los grandes ciclos geológicos de la región.

Geología Económica. En este capítulo se debe indicar dónde se encuentran las minas y yacimientos minerales potenciales en la región o área de estudio. De ser posible hay que hacer una descripción de los yacimientos existentes. De ser posible establezca las relaciones entre las mineralizaciones con las estructuras, los cuerpos ígneos, las capas sedimentarias o los límites geológicos. En últimas trate de establecer cuál ha sido el desarrollo metalogénico de la región.

Geología histórica. Este capítulo constituye la síntesis del estudio y trata los datos esenciales que fueron dados y explicados en los capítulos anteriores. La síntesis debe tratar el desarrollo y evolución histórica de la región, basado en los datos descritos de los capítulos anteriores. En lo posible debe incluir el desarrollo estratigráfico, tectónico y metalogénico de la región o área estudiada.

Conclusiones del Estudio. Debe destacarse el valor dado a cada una de las fases desarrolladas en el estudio, como también las limitaciones, si es necesario recalcar que es necesario más trabajo de campo, en particular si ciertas áreas tienen algún interés económico o se requiere un mayor conocimiento geológico de la región y su posible correlación con otras áreas circundantes.

Referencias bibliográficas. En las referencias se incluyen todos los artículos mencionados en el texto. Estas deben ordenarse alfabéticamente, indicando primero el autor, seguido de las iniciales, el año, título, nombre de la revista o publicación, número del volumen y páginas. Verificar que las referencias estén correctas.

En lugar de referencias, se puede incluir una bibliografía que comprende todos los artículos que tratan de la geología de la región o del trabajo de campo, además de los artículos correspondientes a la descripción de las grandes unidades geológicas que se encuentran dentro del área de estudio o en la región, sin necesidad de que todos los artículos estén referenciados en el texto.

Anexos del Informe. En los anexos del informe se pueden incluir datos en forma tabular que puedan ser de gran interés, pero que no se incluyen en el texto debido a que esto haría el informe ilegible.

El Mapa fotogeológico. El mapa geológico obtenido en el estudio, generalmente tiene una escala definida, de tal manera que toda la información obtenida en las fases de fotointerpretación y fase de campo, se puede incluir en el mapa sin dar mayores detalles. Los detalles o datos relevantes, se pueden incluir en un dibujo o en un mapa detallado en el texto. El mapa geológico debe ser de un tamaño manejable. Debe contener los datos topográficos importantes del mapa base como: curvas de nivel, nombres geográficos, carreteras, caminos, poblados y localidades importantes.

Es muy importante que los datos geológicos sean diferenciados entre datos geológicos comprobados y no comprobados en el campo. Distinguiendo entre datos tomados y comprobados, datos inferidos y datos probables, entre otros.

El mapa debe contener un rótulo con el nombre de la entidad, título del mapa, nombre de los autores del trabajo de fotointerpretación y trabajos de campo, fecha de elaboración y escala. El mapa debe contener además coordenadas geográficas y/o planas, indicar el norte y referencia de la base cartográfica utilizada.

El mapa debe contener una leyenda con la descripción de las principales unidades estratigráficas y/o cronolitoestratigráficas, las convenciones geológicas utilizadas y los símbolos topográficos del mapa base.

Anexos

Dentro de los anexos del informe se deben incluir otros los siguientes anexos:

Cortes geológicos. Los cortes se deben incluir en el mapa (con preferencia en la parte inferior del mapa) y deben orientarse perpendiculares a los ejes de las estructuras mayores o en diagonal a los rasgos topográficos mayores. La escala de los cortes tanto en la horizontal como vertical, debe ser la misma del mapa, pero es posible exagerar la escala vertical y mantener la escala horizontal igual a la del mapa. Las convenciones y colores del corte deben ser las mismas que tiene el mapa.

Columnas Estratigráficas. Las columnas estratigráficas dan claramente una idea de las unidades estratigráficas y geológicas de una determinada región o área de estudio. Estas columnas se pueden incluir en el mapa y sobre ellas se pueden localizar las discordancias, cambios de facies, contenidos paleontológicos, presencia de mineralizaciones. Se pueden establecer correlaciones estratigráficas regionales o locales.

Registro fotográfico de campo. Es necesario mostrar en estos registros las relaciones estratigráficas, la descripción de las estructuras y las características generales que permitan tener un buen entendimiento del texto y comprender mejor la geología de la región o área de estudio.

Figuras, diagramas y gráficos. Sirven para complementar los contenidos presentados en el texto, todo esbozo hecho en la libreta de campo puede mostrarse en el informe para explicar alguna situación particular. Los diagramas de bloque pueden aclarar las relaciones entre estructuras complejas o complicadas. Otros diagramas pueden ayudar a explicar los cambios de facies.

Tablas. Las secuencias estratigráficas y la tectónica regional, se presentan en forma de tablas que acompañan el texto. Algunas secuencias locales o subdivisiones de las unidades también se pueden presentar en forma de tablas.

Finalmente, debe tenerse en cuenta que un buen informe debe ser redactado varias veces, controlar que haya sido constante en el uso de palabras y frases que aparecen en el texto y tener cuidado de no cometer errores de ortografía.

BIBLIOGRAFÍA

- ALLUM, J.A.E 1970. Photogeology and Regional Mapping. Pergamon Press, Oxford.
- BANDAT, H.F. VON. 1962. Aerogeology. Gulf Publ. Comp., Houston, Tex. 350 pp.
- DEAGOSTINI R. D. 1978. . Introducción a la fotogrametría. Centro Interamericano de Fotointerpretación. Bogotá.
- LOPEZ VERGARA M.I. 1971. Manual de Fotogeología; Publ. Científicas de la Junta de Energía Nuclear, Madrid, 286 p., XXXII pl.
- MECKEL J.F.M. 1978 The Use of Aerial Photographs and other images in Geological mapping. I.T.C Texbook Vol. 1 chapter VIII.1. The Netherlands.
- MECKEL, J.F.M. 1972. The Geological Interpretation of Radar Images, I.T.C. Textbook of Photointerpretation, Enschede, 81 p. Vol. VIII-2.
- MILLER, V.C. 1961. Photogeology. McGraw-Hill, New York, 243 p.
- MURILLO J. 1974. Ejercicios Prácticos de fotogrametría elemental. Centro Interamericano de Fotointerpretación. Bogotá.
- RAY R.G. 1960. Aerial Photographs in Geologic Interpretation and Mapping. U.S. Geol. Surv. Prof. Paper 373, Washington, 230 p.
- ROA J.I. 1976. Principios de Fotogrametría. Texto de pregrado en Universidades. Bogotá.
- VERSTAPPEN H.TH.1977. The Use of Aerial photograprs in Geomorphological Mapping, I.T.C Texbook of Photo-Interpretation Volumen VII, Chapter 5. The Netherlands.