

Libros de **Cátedra**

Manual de levantamiento geológico

Una introducción a la geología de campo

Horacio Echeveste (coordinador)

n
naturales

FACULTAD DE
CIENCIAS NATURALES Y MUSEO



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE LA PLATA

MANUAL DE LEVANTAMIENTO GEOLÓGICO

UNA INTRODUCCIÓN A LA GEOLOGÍA DE CAMPO

Horacio Echeveste

(coordinador)

Facultad de Ciencias Naturales y Museo



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE LA PLATA

Presentación

El mapa geológico constituye la información básica de cualquier informe geológico. Esto es así debido a que en él se sintetiza toda la información necesaria para comprender la evolución geológica de una región o área. Se trata de la conclusión del trabajo geológico, y por ello es una herramienta universal que todos los lectores pueden comprender. A su vez, el mapa geológico es el punto de partida para cualquier discusión e interpretación, y por ello ninguna publicación debería carecer del mismo. Por ser el lenguaje básico de los geólogos, los trabajos geológicos sin los mapas correspondientes serían incompletos en mi opinión.

Cuando se confecciona un mapa geológico se requiere identificar a cada una de las unidades mapeables y definir sus edades relativas, tarea que conlleva el detallado conocimiento de los contactos entre las unidades. Los objetivos de un mapa geológico son variados y dependen de la finalidad de la investigación. Los mapas más básicos son los que sintetizan la geología de una región sin discriminar una especialidad. Son las cartas geológicas que cubren el territorio de cada país. Otros mapas tienden a enfatizar la evolución de un proceso específico, como la evolución de un volcán, de un complejo metamórfico, de una cuenca sedimentaria, de un distrito minero, etc. Los mapas aplicados a obras de ingeniería, a la exploración de yacimientos o al desarrollo hidráulico son esenciales para determinar la factibilidad de la obra. No obstante, y a pesar de sus objetivos diferentes, todos tienen en común la definición de las unidades mapeables a la escala de trabajo, sus edades relativas y sus relaciones estructurales.

Las unidades en los mapas de riesgos y peligrosidad respecto a la actividad humana se definen como áreas de grado de peligrosidad. Sus objetivos apuntan a la diagramación de la urbanización de ciudades y al trazado de caminos, diques, puentes, etc.

Debido a que un mapa geológico se representa en un plano, es conveniente acompañarlo con perfiles o secciones geológicas representativas para ilustrar la tercera dimensión. De esta manera, se puede estimar el volumen de sus unidades, su posible distribución en el subsuelo, y visualizar mejor las relaciones estratigráficas y tectónicas.

El libro "Manual de levantamiento geológico, una introducción a la geología de campo" consta de 14 capítulos y 5 anexos escritos por diversos autores. Los primeros nueve capítulos están dedicados a explicar y describir las herramientas necesarias para la confección del mapa geológico. Incluyen los sistemas de referencias geográficas, la carta topográfica y su confección como mapa base, técnicas planimétricas y altimétricas, fotografía aérea e imágenes satelitales como auxiliares del levantamiento geológico y los métodos para construir el mapa geológico. Los cuatro capítulos siguientes están dedicados a mapeos geológicos espe-

cíficos como el mapeo de estructuras, de unidades sedimentarias, de rocas ígneas, rocas metamórficas. El último capítulo está destinado a la confección de secciones geológicas y a la redacción del informe. Los cinco anexos que contiene el libro proporcionan información y metodologías de trabajo adicionales, así como la solución de problemas frecuentes. En el último anexo se introduce al lector en los sistemas de información geográfica, indispensable en la actualidad para la confección del mapa geológico y que permite volcar los datos automáticamente en mapas georeferenciados.

La comunidad geológica apreciará, sin duda, la publicación de este libro sobre mapeo geológico. Para los estudiantes de geología significa una materia inestimable en su formación. También será de gran utilidad a toda la comunidad geológica, para mejorar la calidad de los mapas, y adicionalmente incentivar la inclusión en informes y publicaciones de mapas geológicos que sintetizen las novedades estratigráficas que se proponen a raíz de nuevos datos. Es de desear que nuevas propuestas estratigráficas basadas en datos nuevos se reflejen en nuevos mapas.

Eduardo Llambias

La Plata, abril de 2017

Índice

Introducción	14
---------------------	----

Capítulo 1

Sistemas de referencia geográficos	15
Introducción	15
Forma de la tierra y coordenadas geográficas	15
Latitud – Longitud	16
El elipsoide	19
Datum Horizontal	19
Altura	20
Proyecciones cartográficas	21
Proyecciones acimutales	22
Proyecciones cónicas	23
Proyecciones cilíndricas	25
Proyección de Mercator	25
Proyección Transversa de Mercator o Gauss-Krüger	25
Proyección Universal Transversa de Mercator (UTM)	27
Sistemas de coordenadas planas	29
Sistema de coordenadas planas de la proyección Gauss-Krüger	30
Sistema de coordenadas planas de la proyección UTM	30
Cuadrantes en topografía	31
Sistema de coordenadas polares	32
Escala	33
Referencias	34

Capítulo 2

La carta topográfica como mapa base	35
Introducción	35
Cartas topográficas de la república argentina	37
Los tres nortes de las cartas topográficas	39
Declinación e inclinación magnética	40

Cálculo de la declinación magnética _____	43
---	----

Capítulo 3

Introducción a la construcción del mapa base topográfico _____	45
Introducción _____	45
Topografía _____	45
Planimetría y altimetría _____	46
Representación del relieve _____	47
Curvas de nivel _____	48
Modelos de elevación digital _____	52
Fotogrametría digital _____	55
Que se puede representar en función de la escala del mapa? _____	55
Medición de ángulos y distancias _____	56
Medición de ángulos horizontales y verticales _____	56
Medición de distancias _____	59
Mediciones directas de distancia _____	59
Medición indirecta de distancia _____	62
Referencias _____	67

Capítulo 4

Técnicas Planimétricas _____	68
Introducción _____	68
Redes de apoyo _____	69
Poligonales _____	69
Tipos de poligonales _____	69
Medición de ángulos horizontales en poligonales _____	71
En poligonales levantadas con brújula _____	71
En poligonales levantadas con teodolito _____	73
Triangulación _____	74
Errores en las mediciones _____	76
Compensación de poligonales _____	77
Ejemplo _____	80
Compensación de triangulaciones _____	83
Referencias _____	83

Capítulo 5

Técnicas Altimétricas _____	84
Introducción _____	84
Instrumental _____	84
Horizontes aparente, óptico y verdadero _____	87

Tipos de nivelación	89
Nivelación Geométrica o Directa (por alturas)	89
Puesta en estación del nivel	89
Nivelación geométrica simple desde el medio	90
Nivelación geométrica compuesta desde el medio	90
Nivelación Geométrica Simple desde el extremo	93
Comprobación de la horizontalidad del eje de colimación	93
Nivelación trigonométrica o indirecta (por pendientes)	94
Nivelación taquimétrica	95
Nivelación abierta y nivelación cerrada o controlada	96
Errores y tolerancias	97
Compensación del error de cierre vertical en nivelaciones cerradas o controladas	97
Nivelación Barométrica	98
Referencias	98

Capítulo 6

Levantamiento del mapa base topográfico	100
Levantamiento expeditivo con brújula y pasos	100
Brújula Brunton como instrumento topográfico	100
Corrección de acimuts por declinación magnética	103
Levantamiento con base de poligonal	103
Levantamiento con escuadra de prismas	104
Método de la cuadrícula	104
Levantamiento por coordenadas ortogonales	106
Levantamiento con plancheta y alidada	107
Plancheta	107
Alidada (o dioptra)	107
Orientación del tablero	108
Levantamientos de puntos	109
Por estadimetría	109
Por intersección	109
Por resección	110
Punto de paso	110
Levantamiento de detalle con estación total o teodolito	112
Teodolito	112
Tipo de teodolitos	115
Simples	115
Reiteradores	115
Repetidores	115
Estación total	116

Condiciones de exactitud _____	116
Puesta en estación _____	117
Nivelar con precisión el nivel tubular _____	118
Ajuste del ocular _____	118
Levantamiento de puntos _____	118
Orientación del teodolito/estación total _____	119
Elección de los puntos a levantar _____	119
Referencias _____	120

Capítulo 7

El GPS en el levantamiento geológico _____	122
Introducción _____	122
Componentes del sistema _____	123
Satélites _____	123
Estaciones de tierra _____	123
Receptores _____	123
Fundamentos del sistema GPS _____	123
Precisión en la ubicación _____	125
Cálculo de posición diferencial _____	126
Alcances y aplicaciones básicas del receptor GPS _____	127
Datum _____	127
Sistema de Coordenadas _____	128
Instrucciones para configurar las coordenadas del GPS en Gauss-Krüger _____	128
Norte _____	129
Determinación de un punto (Waypoint, Location o Land Marks) _____	129
Ruta _____	130
Itinerarios (Tracks) _____	130
Ir a (GoTo) _____	130
Referencias _____	131

Capítulo 8

La fotografía aérea como mapa base y fotogrametría digital _____	132
Introducción _____	132
La fotografía aérea en el levantamiento geológico _____	132
Escala de la fotografía _____	135
Desplazamiento y deformación de la imagen _____	136
Mosaicos _____	137
Fotoíndice _____	137
Visión estereoscópica _____	137
Estereoscopios _____	138

Fotogeología, fotointerpretación _____	139
Método de trabajo _____	140
Tono y Textura _____	141
Fotogrametría digital _____	144
<i>Structure from motion</i> (SFM) _____	144
Flujo de trabajo _____	145
Algunas experiencias de trabajo _____	147
Referencias _____	149

Capítulo 9

La imagen satelital en el levantamiento geológico _____	150
Imágenes satelitales en la teledetección _____	150
El espectro electromagnético _____	150
Un poco de historia _____	155
Componentes del sistema de obtención de imágenes satelitales _____	155
Plataformas espaciales _____	155
Instrumentos de observación _____	156
Distorsión de la imagen _____	157
Resolución _____	157
Resolución espacial _____	157
Resolución espectral _____	158
Resolución radiométrica _____	159
Resolución temporal _____	160
Estructura de la imagen _____	160
Visualización de la imagen _____	161
Procesamiento de imágenes digitales _____	161
Referencias _____	164

Capítulo 10

Métodos de mapeo geológico _____	165
Introducción _____	165
Tipos de mapa geológico _____	166
Unidades de mapeo _____	167
Definición del nombre de la roca _____	168
Descripción de la roca _____	168
Métodos de mapeo _____	168
Mapeo de contactos _____	168
Mapeo por afloramientos o mapeo de todos los afloramientos _____	172
Mapeo por perfiles _____	172

Traza de contactos según la regla de las V geológicas _____	175
Problema de los tres puntos _____	180
Ejercicios _____	181
Resultados _____	184
Referencias _____	185

Capítulo 11

Mapeo de estructuras _____	186
Introducción _____	186
La brújula geológica para la medición de elementos estructurales _____	186
Definiciones _____	186
Tipos de notación _____	187
Medida de planos y líneas con la Brunton _____	190
Planos _____	190
Líneas _____	192
Pliegues _____	193
Que medir en un pliegue _____	195
Fallas _____	198
Que medir en una falla _____	200
Desplazamiento de la falla _____	201
Rocas de falla _____	206
Diaclasas _____	209
Referencias _____	209

Capítulo 12

Mapeo de rocas sedimentarias _____	211
Introducción _____	211
Descripción de la roca sedimentaria _____	211
Textura _____	211
Tamaño de Grano _____	211
Selección _____	212
Morfología de los clastos _____	213
Fábrica _____	213
Color _____	214
Composición _____	214
Estructuras sedimentarias _____	215
Contenido fosilífero _____	216
Registro gráfico de la secuencia sedimentaria _____	216
Registro de espesores _____	218
Método del báculo de Jacob _____	218

Método con la altura del operador _____	219
Distintos casos en la medición y cálculo de espesores _____	220
Caso I: Capas horizontales _____	220
Caso II: Capas verticales _____	220
Caso III: Capas inclinadas con pendiente cero _____	221
Caso IV: Capas inclinadas ($\alpha + \beta < 90^\circ$) _____	221
Caso V: Capas inclinadas ($\alpha + \beta > 90^\circ$) _____	222
Caso VI: Capas inclinadas, la capa y la pendiente inclinan de en la misma dirección _____	222
Caso VII: La pendiente es mayor que la inclinación de _____	223
Mediciones de espesor a partir del mapa Geológico _____	223
Inclinación en contra de la pendiente _____	223
Inclinación a favor de la pendiente con un ángulo mayor _____	224
Inclinación a favor de la pendiente con un ángulo menor _____	225
Referencias _____	225

Capítulo 13

Mapeo de rocas ígneas _____	226
Introducción _____	226
La descripción de campo de las rocas ígneas _____	227
Texturas de las Rocas Ígneas _____	228
Parámetros texturales _____	228
Texturas generales de las rocas ígneas _____	230
Texturas de las Rocas Plutónicas _____	230
Texturas de las Rocas Volcánicas Lávicas _____	232
Texturas de las Rocas Volcánicas Piroclásticas _____	233
Clasificación de las rocas ígneas _____	234
El diagrama QAPF _____	235
Índice de Color _____	237
Clasificación de las Rocas Ígneas Clásticas _____	237
Resumiendo _____	238
Referencias _____	240

Capítulo 14

Mapeo de rocas metamórficas _____	241
Introducción _____	241
Estratigrafía de las rocas metamórficas _____	241
Las rocas metamórficas en el Código Argentino de Estratigrafía _____	242
Problemas estratigráficos en la aplicación directa del Código Argentino de Estratigrafía _____	243

Términos recomendados en el mapeo de rocas metamórficas	244
Descripción de campo de las rocas metamórficas	247
Rocas de metamorfismo regional dinamo-térmico	248
Rocas de metamorfismo local de contacto	261
Rocas de metamorfismo local dinámico, de cizalla o cataclástico	264
Referencias	265

Capítulo 15

Mapas, secciones geológicas e informe	267
El mapa de campo (mapa borrador)	267
Volcando datos sobre el mapa base	269
Anotaciones en la libreta	274
El mapa final	276
Coloreado del mapa	278
Información adicional del mapa	279
Referencias	279
Sistema de coordenadas y nortes	279
Escala numérica, gráfica y equidistancia	280
Mapa de ubicación (mapa de posición relativa a otros mapas limítrofes)	281
Etiqueta o carátula	281
Secciones Geológicas	282
Dibujo de la sección	283
Inclinación verdadera y aparente	285
Secciones sobrealzadas	287
Informe geológico	288
Título	289
Introducción	289
Antecedentes (o marco geológico regional)	289
Metodología	289
Resultados	289
Discusión	290
Conclusiones	290
Lista de trabajos citados en el texto	290
Trabajos citados en el texto	290
Referencias	291

Anexo I

Medida de ángulos en algunos modelos de teodolitos de limbos metálicos y de cristal	292
Lectura de los limbos metálicos con nonios	292
Lectura de limbos de cristal	293

Anexo II

Intersección inversa o problema de los tres puntos _____	297
Solución Geométrica _____	297
Solución analítica _____	299
Deducción de los ángulos A y C por el método de Pothenot _____	300
Ejemplo _____	301
Resolución _____	301

Anexo III

Lectura de distancia reducida y desnivel en alidadas con Arco Beaman y autoreductoras ____	303
Arco Beaman _____	303
Cálculo del desnivel _____	304
Calculo de la distancia reducida _____	304
Alidadas autorreductoras _____	305

Anexo IV

Principales símbolos geológicos _____	307
Código RGB de colores para eones, eras, períodos y épocas _____	310
Principales símbolos cartográficos _____	311
Escala gráfica _____	312

Anexo V

Sistemas de Información geográfica (GIS - SIG) _____	313
Introducción _____	313
Tipos de GIS _____	314
Tipos de datos manejados por arcgis: vectores, rasters y tablas _____	314
Trabajo En Capas _____	317
Capas en Geología _____	317
Estructura del gis _____	318
Sistemas de coordenadas _____	319

Los autores _____	320
--------------------------	-----

Introducción

Este manual está dirigido a estudiantes avanzados de la carrera de geología, con el fin de presentar una introducción a las técnicas y métodos de trabajo que permitan interpretar y realizar mapas geológicos.

Sobre la base de la importancia de contar con un mapa topográfico como mapa base donde volcar la geología, inicialmente se abordan las características y propiedades de los mapas topográficos levantados por el Instituto Geográfico Nacional, que tradicionalmente han sido usados como mapas base para realizar las hojas geológicas de la República Argentina. Se hace una introducción a los distintos tipos de proyecciones cartográficas, profundizando en los sistemas de coordenadas. También se introduce al lector en el concepto de Datum, horizontal y vertical.

Posteriormente se describen diferentes técnicas de planimetría y altimetría y los distintos instrumentos que permiten relevar la posición espacial de puntos desde los que se realiza un mapa topográfico. Se abordan las técnicas con brújula tipo Brunton, nivel óptico, teodolito y la estación total. Asimismo se introducen los fundamentos y utilidades del sistema de posicionamiento global: GPS y GPS diferencial.

En los Capítulos 8 y 9 se presenta la utilidad de las imágenes de sensores remotos para ser usadas como mapa base. Se hace un desarrollo del uso de fotografías aéreas verticales e imágenes satelitales donde se analizan sus alcances y limitaciones y se abordan distintos métodos para su georreferenciación. Sobre la base de la importancia de contar con modelos digitales del terreno, se presentan las técnicas modernas de reconstrucción topográfica y donde obtener modelos de elevación del terreno producto de percepción remota.

En los Capítulos 10 a 14 se abordan distintos métodos del mapeo geológico, sujetos al tipo de trabajo a desarrollar, al objetivo, a la escala, al tipo de afloramientos, los tipos de rocas, la deformación que se registra en las rocas y a la interpretación de los procesos que la ocasionaron. Incluye también los métodos de medición de perfiles geológicos, espesores estratigráficos en el campo, trazas de afloramientos, realización de perfiles topográfico-geológicos y columnas estratigráficas.

En el Capítulo 14 se desarrollan las metodologías de campo y gabinete para realizar el mapa "borrador" primero y luego al mapa final con las secciones geológicas e informe escrito que lo acompañan.

Finalmente el manual presenta una serie de anexos que complementan y amplían algunos de los temas tratados, principalmente referidos al levantamiento con teodolito y plancheta. También se hace una síntesis sobre los sistemas de información geográfica y su importancia en el manejo de datos georeferenciados.

CAPÍTULO 8

La fotografía aérea como mapa base y fotogrametría digital

Horacio Echeveste y Luciano López

Introducción

La teledetección es la ciencia, técnica o arte de extraer información de un objeto a partir de un dispositivo que no está en contacto directo con él. La obtención de estos datos se realiza mediante sensores que pueden estar montados en aviones o satélites. Estos sensores pueden registrar distintos tipos de energía como la radiación electromagnética, la gravedad o el magnetismo, pero generalmente cuando nos referimos a sensores remotos o teledetección solemos aludir a los sensores que registran datos de la superficie terrestre a partir de la distribución de la energía del espectro electromagnético. En el caso de las fotografías aéreas la luz del sol (con longitudes de onda correspondientes al espectro visible) que es reflejada sobre la superficie de la Tierra es captada en el sensor de la cámara fotográfica, ya sea analógica como digital.

La fotografía aérea en el levantamiento geológico

El uso e interpretación de la fotografía aérea es una técnica utilizada en una gran variedad de actividades, desde militares a ingenieriles y constituye una herramienta utilizada como práctica auxiliar en el levantamiento geológico y en tareas de prospección y exploración minera y petrolera.

La fotografía aérea suele proporcionar un muy adecuado mapa base para el mapeo de unidades geológicas, facilitando las tareas de campo mediante una mejor planificación del trabajo, reducción en el tiempo de ejecución de las labores y permitiendo alcanzar mayor precisión en los resultados. Asimismo es de uso imprescindible en la confección de mapas topográficos a partir de técnicas fotogramétricas. En nuestro país el IGN ha relevado aerofotográficamente prácticamente todo el territorio nacional es escala 1:60.000 o 1:70.000. Otros organismo estatales suelen desarrollar programas de relevamiento aerofotográfico con distintos fines, planificación territorial, catastrales, control de superficies cultivadas, etc.

El ministerio de Economía de la provincia de Buenos Aires tiene relevado el territorio provincial con fotografías aéreas a escala 1:20.000.

Existen dos tipos principales de fotografías aéreas, verticales y oblicuas, las más usadas en fotogeología son las verticales, proyecciones cónicas tomadas con el eje óptico de la cámara fotográfica normal al terreno, es decir coincidente con la vertical del lugar (Fig. 8-1a). Las fotografías oblicuas son tomadas con el eje óptico de la cámara formando un ángulo variable con la vertical, las que forman ángulos grandes pueden incluir el horizonte, tienen la ventaja de cubrir áreas muy grandes pero la desventaja de poseer una fuerte diferencia de escala entre el primer plano y el fondo de la foto, por este motivo no son de uso común en levantamiento geológico.

En los relevamientos aerofotográficos las fotografías son verticales, la intersección de la proyección del eje óptico con el terreno determina el punto central o principal del fotograma. La distancia en el terreno entre dos fotos sucesivas se denomina base aérea y puede variar entre 2 y 15 km en fotografías a escala ~1:10.000 a 1:60.000 respectivamente.

Para cubrir un área determinada, los vuelos deben ser programados en líneas paralelas. Las fotografías se van tomando automáticamente a medida que el avión avanza en una línea lo más recta posible, con una frecuencia de exposición que asegure un 60 % de traslape o recubrimiento entre fotogramas sucesivos, llamado recubrimiento estereoscópico (Fig. 8-1b). Asimismo, cada línea de fotos debe tener de un 25 a un 30 % de traslape respecto a cada una de las líneas vecinas. El traslape entre fotos sucesivas y entre líneas de vuelo asegura la cobertura total del área relevada y garantiza, en el primer caso, que cada punto en el terreno haya sido fotografiado desde dos puntos de vista diferentes.

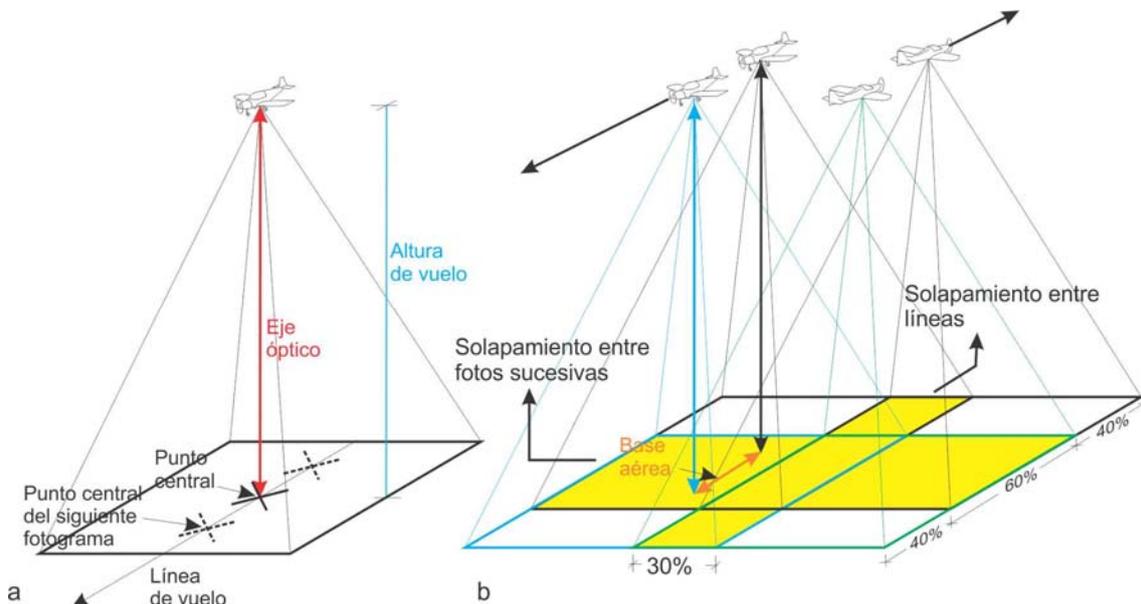


Figura 8-1. a) El eje óptico de la cámara fotográfica, coincidente con la vertical del lugar, define el punto principal de la foto por su intersección con el terreno. b) Recubrimiento estereoscópico entre fotos sucesivas y entre líneas de vuelo contiguas (superficie amarilla).

El tamaño de los fotogramas es comúnmente de 23 x 23 cm, 18 x 18 cm o 14 x 14 cm, son copias de contacto de negativos de ese tamaño. Generalmente las fotografías aéreas son pancromáticas (en escala de grises).

Las primeras cámaras para la toma de fotografías aéreas fueron diseñadas durante la primera guerra mundial (1914-1918) y su tecnología se ha seguido desarrollando hasta nuestros días. Actualmente la fotografía digital ha reemplazando el papel fotosensible.

El recubrimiento del 60 % entre fotogramas consecutivos permite observar las fotos con visión estereoscópica, es decir percibir el relieve a partir del uso de un estereoscopio. Para que la superficie de un fotograma pueda verse totalmente con visión estereoscópica se debe contar con los dos fotogramas vecinos, el anterior y el siguiente (tripleto estereoscópico).

Cada fotograma presenta en sus bordes marcas fiduciaras, uniendo las marcas opuestas se determina el punto principal o central (Fig. 8-2a). En los márgenes de cada foto figura también el número de fotograma y el de línea de vuelo o corrida, la fecha en que fue tomada la foto y en algunas ocasiones la hora, la altura de vuelo y el estado de nivel de la cámara (Fig. 8-2b).

Debido al recubrimiento del 60 %, cada fotograma, además de su punto principal, contiene los puntos principales de las fotos vecinas, uniendo el punto central de un fotograma particular con los de las fotos vecinas se obtiene la trayectoria de vuelo. Superponiendo los fotogramas según estas líneas, se puede orientar el conjunto de fotos según el recorrido que hizo el avión o línea de vuelo, que no siempre es rectilínea (Fig. 8-2c).

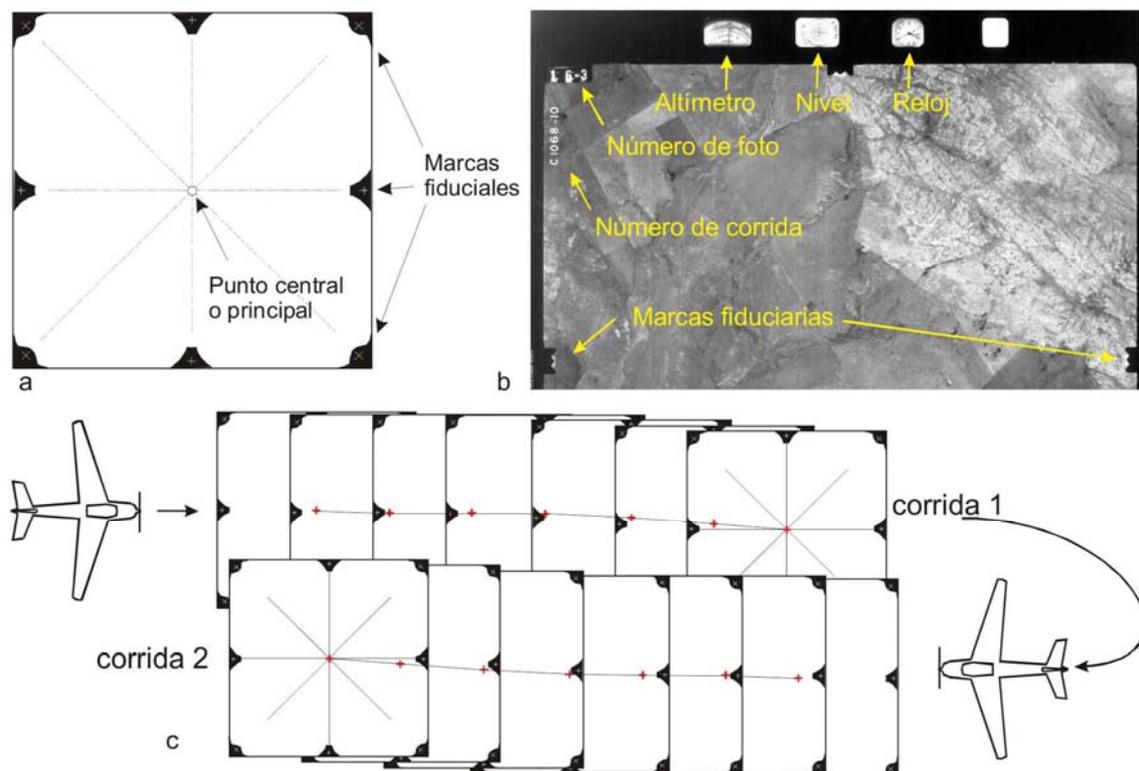


Figura 8-2. a) La unión de las marcas fiduciales opuestas permite identificar el punto central o principal. b) Diversa información consignada en el borde de un fotograma. c) La identificación del punto central de un fotograma en el fotograma siguiente permite reconstruir la trayectoria o línea de vuelo.

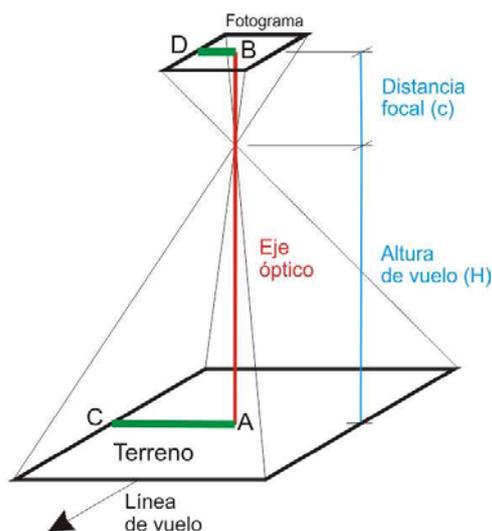
Escala de la fotografía

La escala de una fotografía aérea es, al igual que la de cualquier mapa, el cociente entre una distancia medida en la foto y la mediada correspondiente en el terreno. Está en función de la distancia focal de la cámara y de la altura de vuelo.

De la figura 8-3 se desprende que la escala es

$$1 : x = DB : AC = c : H$$

Siendo x = factor de escala



AC = una distancia en el terreno
BD = la misma distancia en la foto
c = distancia focal
H = altura de vuelo

Figura 8-3. Relación entre la escala de la foto y la altura de vuelo y distancia focal de la cámara fotográfica.

Las cámaras de ángulo normal (60°) tienen 210 mm de distancia focal por lo que, para obtener una fotografía, por ejemplo a escala 1:20.000, la altura de vuelo debe ser:

$$1 / 20.000 = 210 \text{ mm} / H \quad H = 4.200 \text{ m}$$

De esta sencilla relación se desprende rápidamente que si el terreno es irregular, es decir presenta distintas elevaciones, la escala de la foto no será uniforme en toda la superficie, sino que variará en función de las diferentes alturas de vuelo. Por lo tanto cuando se habla de escala en fotografías aéreas, se entiende ésta como escala media, calculada en función de la altura media de vuelo.

En la figura 8-4 se ilustra la variación de la escala en función de la altura de vuelo suponiendo que las tomas se hacen con una cámara de 210 mm de distancia focal. En una zona serrana como la del ejemplo, con desniveles del orden de los 2.000 m la escala tendrá fuertes variaciones entre distintos sectores del terreno (de $\sim 1:20.000$ a $\sim 1:30.000$).

Asimismo, si la altura relativa de vuelo aumenta, la escala será más pequeña y con altura relativa de vuelo más reducida, la escala será más grande.

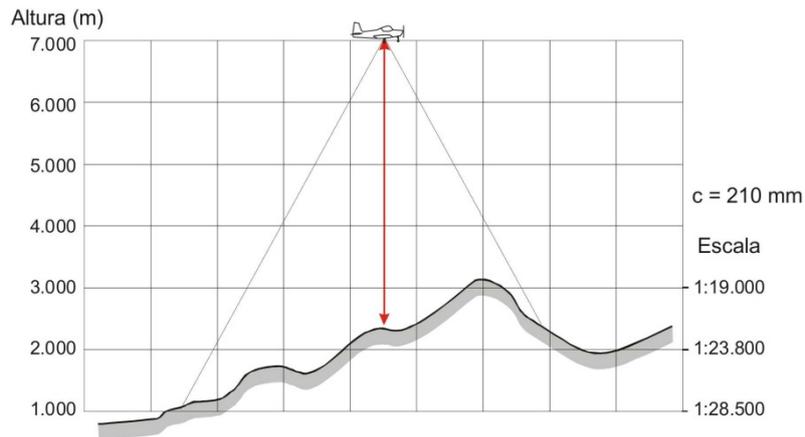


Figura 8-4. Variación de la escala con la altura de vuelo.

Desplazamiento y deformación de la imagen

En los mapas, producto de una proyección ortogonal, todos los detalles se encuentran emplazados en sus correctas posiciones horizontales. En las fotografías aéreas la proyección de los puntos del terreno sobre el negativo es una proyección cónica (Fig. 8-5). Especialmente cuando el relieve es pronunciado, la proyección cónica provoca desplazamientos diferentes de los rasgos topográficos en los fotogramas sucesivos. Solo ocupará su correcta posición planimétrica el punto principal, por ser el único de proyección ortogonal, aumentando el desplazamiento y deformación hacia los bordes de la foto. Este desplazamiento se debe a dos factores, a la desviación del eje óptico de la cámara distinto a la vertical y al relieve. En la figura 8-5a se ilustra el desplazamiento del vértice de una pirámide tomada en dos fotogramas sucesivos en función del relieve.

En la figura 8-5b se muestra un caso real en dos fotogramas a escala aproximada 1:60.000 de la Sierra de Sañogasta, provincia de La Rioja. Los círculos rojos, de diámetros distintos, abarcan la sombra de la misma quebrada en ambas fotos.

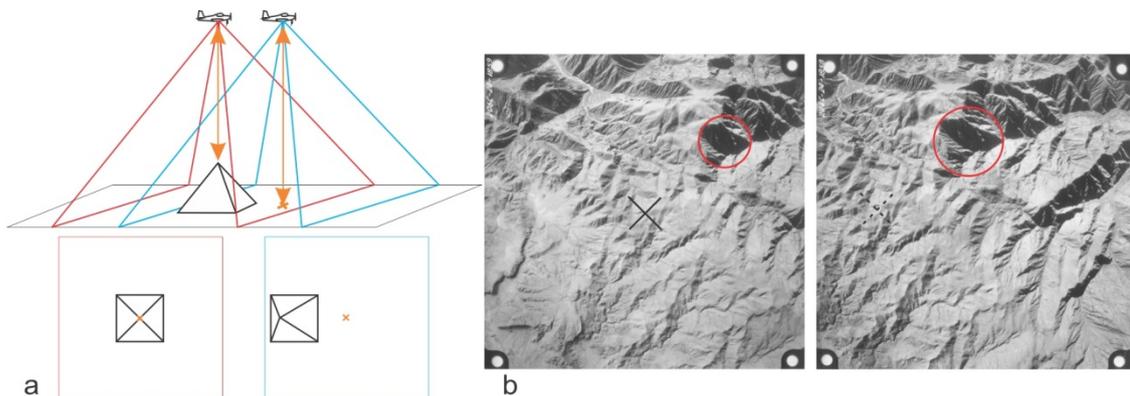


Figura 8-5. a) Desplazamiento del vértice de una pirámide tomada en dos fotogramas sucesivos en función de su altura y de la posición del eje óptico de la cámara. b) La sombra de la misma quebrada, encerrada en los círculos rojos posee diferente superficie debido a los dos factores mencionados. Sierra de Sañogasta, La Rioja, escala ~ 1:60.000.

En el caso de terrenos planos si las fotografías son tomadas con el eje óptico de la cámara en posición perfectamente vertical, la fotografía aérea tendrá una escala uniforme en toda su superficie.

Mosaicos

Las fotografías aéreas verticales se pueden ensamblar unas con otras para formar un plano o mapa fotográfico con información planimétrica que se conoce como mosaico. Normalmente para construir los mosaicos se utilizan las partes centrales de las fotos que son las que presentan las menores distorsiones debidas, tanto al relieve como a la inclinación del eje de la cámara. Los mosaicos pueden ser controlados, semicontrolados o no controlados. En los primeros, antes de hacer el ensamblaje entre los fotogramas, estos son corregidos por posible falta de verticalidad del eje óptico de la cámara al momento de la toma y reducidos a una misma escala. Asimismo son correctamente georreferenciados mediante la ubicación de puntos trigonométricos identificables en las fotos por lo que poseerán coordenadas geográficas precisas.

En los mosaicos semicontrolados las fotos no son restituidas pero el ensamblado entre fotogramas se hace manteniendo correctamente las posiciones de puntos trigonométricos, es decir el mosaico tendrá coordenadas precisas sobre estos puntos y aproximadas en sectores alejados de los puntos de control.

Por último en los mosaicos no controlados las fotos no son rectificadas ni tienen apoyo topográfico dado por puntos trigonométricos.

Fotoíndice

Normalmente las compañías proveedoras de fotografías aéreas o los organismos estatales encargados de relevamientos aerofotográficos construyen una especie de mosaico denominado fotoíndice constituido por una foto de escala pequeña (1:100.000 o 1:200.000) tomada de un conjunto de fotografías apoyadas una sobre otras según su ubicación secuencial, en el que figura las líneas de vuelo y el número de cada foto.

Visión estereoscópica

La observación de una foto aérea vertical individual, aún de una zona de relieve pronunciado brindará una imagen plana, pero, como se mencionó anteriormente, uno de los motivos del traslapamiento entre fotos es tener la posibilidad de observar un par de fotos sucesivas (par estereoscópico) según una imagen estereoscópica, es decir con una apreciación real del relieve.

La evaluación de la profundidad de campo o visión en tres dimensiones de los objetos que se presentan frente a nuestros ojos, se debe a que cada uno de ellos, situados a distintas distancia, son observados por nosotros desde dos puntos de vista diferentes constituidos por cada uno de nuestros ojos que registran imágenes levemente diferentes. El hecho de enfocar los objetos que observamos y de converger o divergir la dirección de visión de cada ojo nos dan la sensación de profundidad y la posibilidad de estimar la distancia relativa a que se encuentran.

En el caso de los pares estereoscópicos, un mismo sector de la superficie del terreno ha sido fotografiado desde dos posiciones o puntos de vista diferentes. Al observar ambas fotos simultáneamente, correctamente colocadas, con un instrumento conocido como estereoscopio, uno de nuestros ojos observará un foto mientras el otro la contigua según dos visuales paralelas, el cerebro procesa ambas imágenes y nos dará la sensación de profundidad, logrando una visión estereoscópica con una perfecta apreciación del relieve.

La imagen observada presentará una apreciable exageración vertical debida a varios factores, altura de vuelo de la toma, distancia focal de la cámara, y especialmente a la relativa gran distancia entre los punto de toma. Este fenómeno debe ser considerado al momento de la foto-interpretación ya que, por ejemplo las capas de rocas sedimentarias u otros rasgos planos se verán con inclinaciones mucho mayores que las verdaderas.

Estereoscopios

Existen dos tipos principales de estereoscopios, de bolsillo y de espejos. El primero (Fig. 8-6) consiste en dos lentes de 2 o 3 aumentos montados en una armadura metálica o plástica que posee cuatro patas también metálicas abatibles que lo separan una distancia de trabajo de las fotografías de unos 10 cm. La distancia entre ambas lentes se puede regular hasta alcanzar la distancia interpupilar de cada usuario.

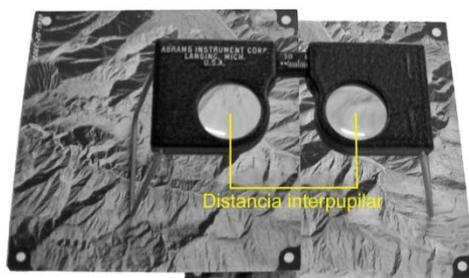


Figura 8-6. Estereoscopio de bolsillo.

Para observar correctamente un par estereoscópico con un estereoscopio de bolsillo deben guardarse algunos recaudos:

- Las fotografías deben orientarse una a continuación de la otra en el sentido de la línea de vuelo, obtenida a partir de la unión del punto principal de cada foto y su homólogo en las foto contiguas.
- Identificar un punto cualquiera en una de las fotos y su homólogo en la foto contigua.
- Ambos puntos deben estar separados una distancia igual a la distancia interpupilar.

- La distancia de separación entre las lentes del estereoscopio debe ser igual a la distancia interpupilar.
- Colocar el estereoscopio sobre el par de fotos de manera que su eje sea paralelo a la línea de vuelo. De esta forma ambas lentes se proyectarán verticalmente sobre puntos homólogos de ambas fotos. En esta posición debería verse una imagen tridimensional o estereoscópica.
- En esa posición las visuales de ambos ojos será paralelas y verá un mismo sector del terreno que fue fotografiado desde dos puntos de vista distintos.

Si no se ve una imagen estereoscópica deben hacerse pequeños movimientos de las fotos o del estereoscopio hasta lograr esa imagen.

El estereoscopio de espejo (Fig. 8-7) permite tener una vista completa de toda el área traslapada ya que el sistema de espejos permite que ambos fotogramas puedan separarse de manera que no se superponga uno foto sobre otra. Consta de dos lentes de aumento y cuatro espejos, dos relativamente grandes situados a 45° sobre ambas fotos y dos más pequeños enfrentados paralelamente a los anteriores que transmite la imagen hacia arriba a los oculares de aumento. Por encima de los oculares se puede disponer un par de lupas de 6 u ocho aumentos.

El procedimiento de preparación de las fotos es similar al del estereoscopio de bolsillo, ambas deben orientarse según la línea de vuelo como en el caso anterior (Fig. 8-7) colocándose el estereoscopio con su eje paralelo a esta. Mirando por los oculares se mueven levemente los fotogramas hasta que se logra una visión estereoscópica.

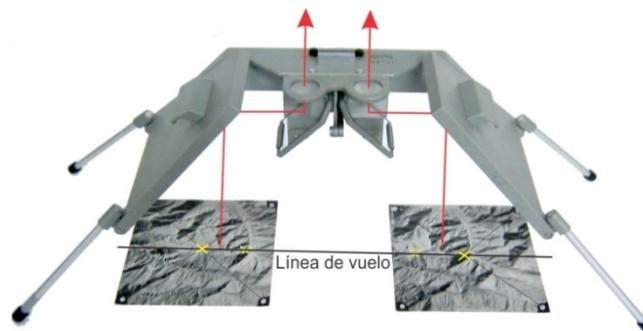


Figura 8-7. Estereoscopio de espejo.

Fotogeología, fotointerpretación

Una de las ventajas que posee encarar un proyecto de levantamiento geológico auxiliado por la fotografía aérea, es que el trabajo puede iniciarse previamente al desarrollo de las tareas de campo. En el gabinete puede prepararse un mapa exclusivamente producto de la fotointerpretación, se pueden marcar inicialmente las obras humanas como caminos, ferrocarriles, poblaciones, etc., en segundo lugar la red hidrográfica y en tercer lugar los rasgos geológicos. Estos pueden ser reconocidos directamente, como contactos entre distintas litologías, zonas

con afloramientos de rocas de basamento y aquellas cubiertas con sedimentos modernos, líneas de estratificación, estructuras como pliegues, fallas o sistemas de diaclasas y lineamientos en general o interpretados sobre la base de cambios de tono y textura.

Asimismo a partir del análisis de las fotografías aéreas pueden reconocerse muchos rasgos geomorfológicos como campos de dunas, piedemontes, deslizamientos, terrazas aluviales, morenas, coladas de lavas, conos volcánicos, etc.

Durante las tareas de campo se verifica la fotointerpretación realizada en gabinete y se completa el levantamiento. Generalmente los afloramientos pueden identificarse en las fotografías con precisión con el apoyo de la visión estereoscópica, de esta manera se facilita la planificación de los recorridos en el campo, seleccionándose para ser visitados aquellos puntos de características relevantes.

El mapa final puede confeccionarse directamente a partir de las fotos aéreas, o la información volcada sobre estas ser transferida a un mapa base.

Método de trabajo

El procedimiento de trabajo consiste en “mapear” sobre pares estereoscópicos dibujando sobre uno de ellos. No es conveniente dibujar directamente sobre el fotograma y si se lo hace debe ser con lápiz grueso. Lo más apropiado es colocar sobre la foto un papel transparente preferentemente un acetato o Mylar con una cara brillante que apoya sobre la foto y una mate para poder dibujar con lápiz sobre ella. Se trabaja bajo el estereoscopio, más cómodamente con uno de espejos.

Generalmente se dibuja sobre fotos por medio ya que el traslape del 60 % asegurará un 20 % de superposición entre fotogramas alternos (Fig. 8-8).

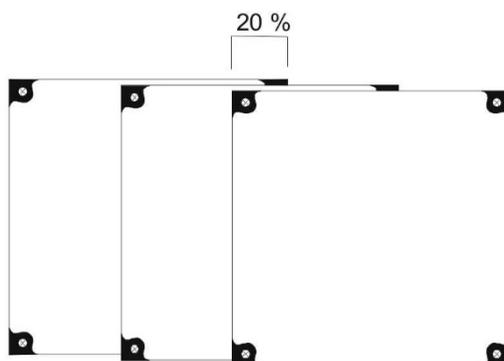


Figura 8-8. Superposición del 20 % entre fotogramas alternos.

En ocasiones es conveniente dibujar sobre todos los fotogramas, sobre la zona central de cada uno que es la que tiene menor deformación debida al relieve. En las regiones de relieve pronunciado este método facilita el ensamblado entre los distintos transparentes.

En la figura 8-9 se muestra un ejemplo de un fotograma y el papel transparente sobre el que fueron dibujados la red de drenaje, las áreas cubiertas por sedimentos modernos y los contactos entre las dos unidades de roca dura reconocidas.

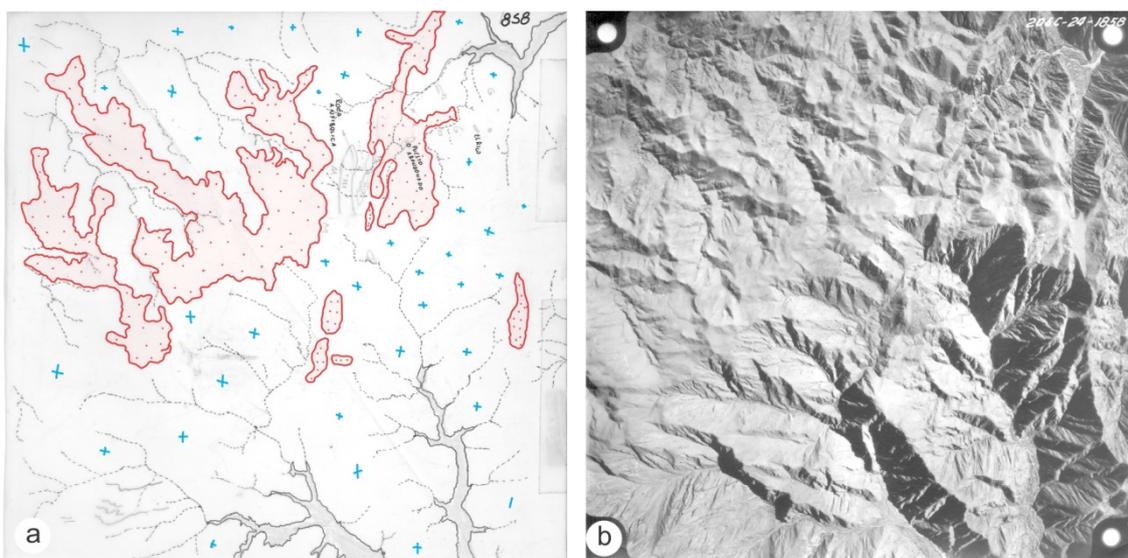


Figura 8-9. a) Fotointerpretación con control de campo de un sector de la sierra de Sañogasta. La zona gris corresponde al relleno moderno de los valles, las zona punteada de color rosado corresponde a areniscas de la Formación Patquía y la zona en blanco con cruces azules corresponde a granitos de la Formación Nuñorco. b) Fotograma fotointerpretado. El ancho del fotograma representa unos 12,5 km en el terreno.

Tono y Textura

La fotointerpretación de las fotografías aéreas pancromáticas se basa en dos propiedades fundamentales que son el tono y la textura.

El tono está directamente relacionado de la cantidad de luz del espectro visible que la superficie del terreno refleja y es registrada en la fotografía. Los tonos de grises pueden ser claros, oscuros, negruzcos etc.

Las variaciones en el tono de las fotos aéreas responden a diversos factores, algunos propios de los materiales reflectantes y otros ajenos a ellos.

Entre los primeros se puede mencionar el tipo de roca, el grado de diaclasamiento que presenta (por ejemplo en los granitoides a mayor diaclasamientos tono más oscuro, las rocas sanas suelen ser más reflectivas), la presencia de humedad (las áreas húmedas presentan en general tonos más oscuros), presencia de vegetación, desarrollo y tipo de suelos.

Entre los factores que no están relacionados con las características del terreno se pueden mencionar la exposición solar (las áreas con sombra donde no incide directamente la luz del sol presentarían tonos oscuros), la sensibilidad de la película utilizada, el tiempo de exposición o el tipo de revelado.

El término textura puede definirse como la frecuencia en el cambio de tono y puede ser rugosa, lisa, moteada, rayada, bandeada, reticular, manchada, etc.

A continuación se muestran algunos ejemplos de tonos y texturas de algunos casos particulares.

En la figura 8-10 se muestra un detalle del fotograma de la figura 8-9b. Aquí se distingue en forma bastante precisa el contacto entre las rocas sedimentarias de la formación Patquía apoyadas sobre el Granito Nuñorco. Las areniscas de la primera presentan un tono gris más ho-

mogéneo que les proporciona una textura lisa. El granito, de mayor reflectividad presenta un tono más claro, mientras que el relieve más irregular le proporciona una textura rugosa.



Figura 8-10. Contacto entre las sedimentitas de la formación Patquía apoyadas sobre el Granito Ñuñorco. Sierras de Sañogasta La Rioja. Ancho de la foto ~ 5 km.

El fotograma de la figura 8-11 pertenece a un sector del Macizo del Deseado cubierto mayoritariamente por rocas volcánicas. Se distingue claramente una colada de basalto terciario de tono muy oscuro, propio en general de las rocas básicas con clara inversión de relieve. En el sector inferior y superior izquierdo afloran coladas ignimbríticas jurásicas de tonos más claros y textura más rugosa. Las zonas bajas de relleno moderno de tono oscuro, indican presencia de mayor humedad, en tanto que las zonas claras al este de las lagunas revelan la presencia de sedimentos finos de origen eólico.



Figura 8-11. Unidades volcánicas, ignimbritas y basaltos en el Macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz. El ancho de la foto representa 14 km en el terreno.

En la figura 8-12, parte de un fotograma también del Macizo del Deseado en Santa Cruz, se puede distinguir un secuencia de rocas volcanoclásticas y sedimentarias. En la parte infe-

rior tufitas y tobas de caída de tonos claros apoyan sobre coladas andesíticas de la Formación Bajo Pobre de tono oscuro. Corona la secuencia una ignimbrita de composición dacítica en el extremo noroeste de la foto también de tono oscuro. Las áreas de relleno moderno presentan una textura muy lisa. Desde el punto de vista estructural, se puede distinguir claramente el rumbo e inclinación de las capas y en el extremo sudoeste un par de fallas con desplazamiento de rumbo sinistral.

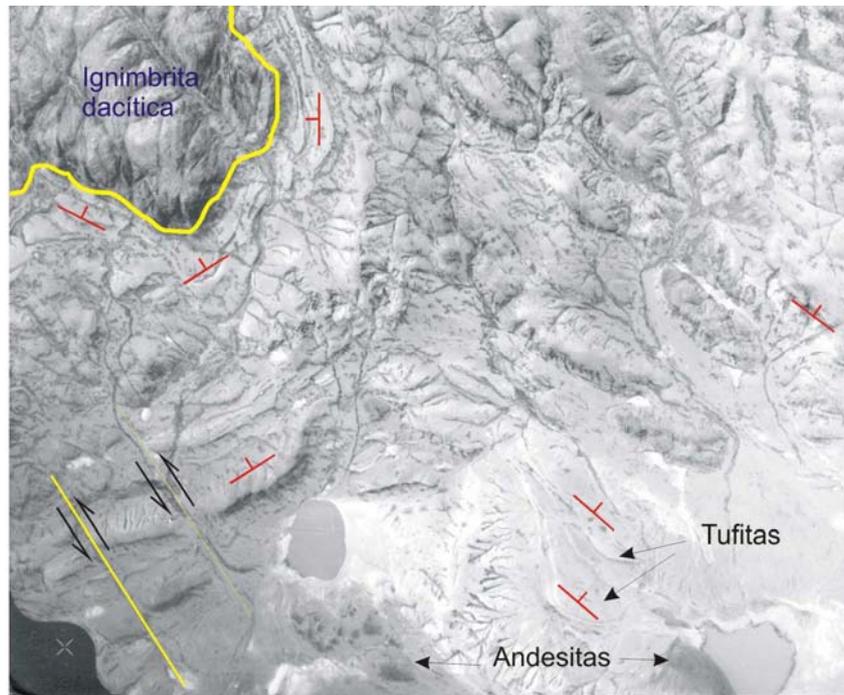


Figura 8-12. Ambiente de rocas volcánicas y sedimentarias en el Macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz. Alternancia de ignimbritas tobas de caída y tufitas. El ancho de la foto abarca unos 5 km.

La figura 8-13 es de un sector de la Sierra del Tigre, pocos kilómetros al sur de la ciudad de Tandil, Provincia de Buenos Aires. En la región afloran rocas del basamento del Complejo Buenos Aires, granitoides y metamorfitas Transamazónicas. En la parte central de la foto se distingue un sector de textura bandeada conformada por una zona de cizalla con fuerte deformación dúctil limitada al sur por una zona de tonos claros y textura rugosa conformada por granitoides sin deformar. Todo el sector está cortado por diques de diabasa de hasta 50 m de ancho de rumbo NNO (flechas) caracterizados por poseer un tono oscuro producto del importante grado de meteorización que presenta la roca básica con desarrollo de suelos de relativamente alto contenido de humedad. La observación aguda de los contactos del dique con la roca de caja revela que este no es cortado por la cizalla sino que se desvía emplazándose en los planos de cizalla cuando atraviesa esta zona. La relación de corte indica que el dique es posterior a la cizalla.

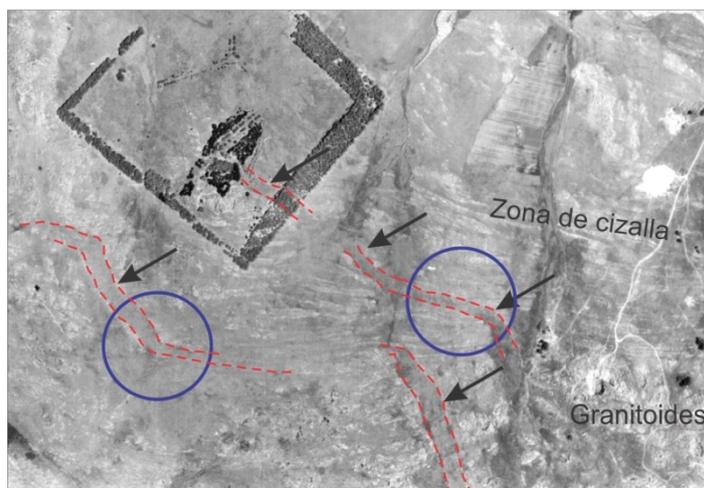


Figura 8-13. Zona de basamento cristalino de los alrededores de la Ciudad de Tandil conformado por granitoides cortados por una zona de cizalla y diques de diabasa (flechas). Los diques al cortar la zona de cizalla se desvían de su rumbo NNO disponiéndose paralelos a aquella (círculos). En ancho de la fotografía abarca unos 2 km.

Fotogrametría digital

El origen y las bases teóricas de la fotogrametría digital se basan en los mismos conceptos que los que se utilizaban en la fotogrametría analógica. La fotogrametría es una técnica que permite a partir de fotografías, obtener medidas reales. Estas fotografías pueden ser tanto terrestres como aéreas y permite la construcción de mapas topográficos y generación de modelos de elevación digital. Actualmente la fotogrametría es un método topográfico habitual, que si bien no elimina los trabajos de campo, los reduce en volumen y tiempo, además de mejorar su calidad. La fotogrametría es la aplicación directa de la fotografía a la topografía. De acuerdo a la Sociedad Americana de Fotogrametría y Teledetección (ASPRS) la define como: “El arte, ciencia y tecnología para la obtención de medidas fiables de objetos físicos y su entorno a través de grabación, medida e interpretación de imágenes y patrones de energía electromagnética radiante y otros fenómenos”.

En la fotogrametría analógica se utilizaba un restituidor óptico mecánico que a partir de un par de fotos escaladas y orientadas lograba obtener datos altimétricos. Gran parte de la información altimétrica que fue utilizada para la interpretación de las curvas de nivel de los mapas topográficos del IGN fue obtenida de esta forma y luego ajustada y controlada con relevamiento de campo.

Structure from motion (SFM)

La base del *structure from motion* (SFM) es similar a la de la fotogrametría, su desarrollo comenzó en los años '80s pero recientemente ha tomado un impulso notable debido fundamentalmente a dos avances tecnológicos, por un lado el poder de cálculo con varios núcleos de los

procesadores y por otro lado a la popularización de los UAV (drones). Estas herramientas permiten componer modelos 3D complejos con cierta facilidad, agilidad y bajo costo. La técnica de SFM permite trabajar sin tener una caracterización de la cámara o planificación. Solo se necesita fotografías que posean un amplio solapamiento (Fig. 8-14). Si bien pueden realizarse modelos con fotos tomadas de casi cualquier dispositivo (como por ejemplo una cámara de un teléfono celular), la calidad del modelo será ostensiblemente mayor cuanto mejor sea la cámara. Cuando nos referimos a calidad de las fotos no estamos restringiéndolo solo a la cantidad de megapíxeles que tenga la cámara, sino principalmente al tamaño del sensor fotográfico.

Debido a la facilidad para realizar los modelos, el bajo costo y preparación, los modelos generados por SFM pueden constituirse como una alternativa a los relevamientos tridimensionales realizados con LIDAR (*laser detection and ranging*) o luz estructurada.

Una de las principales ventajas es que el uso de la fotogrametría ya no se limita la generación de mapas topográficos, en la actualidad se utiliza para generar modelos tridimensionales que pueden ser utilizados para la digitalización de elementos reales. De esta forma se inaugura un campo muy amplio de aplicación en las ciencias naturales, medicas, en arquitectura, ingeniería e incluso está siendo muy utilizado en la industria cinematográfica y de videojuegos.

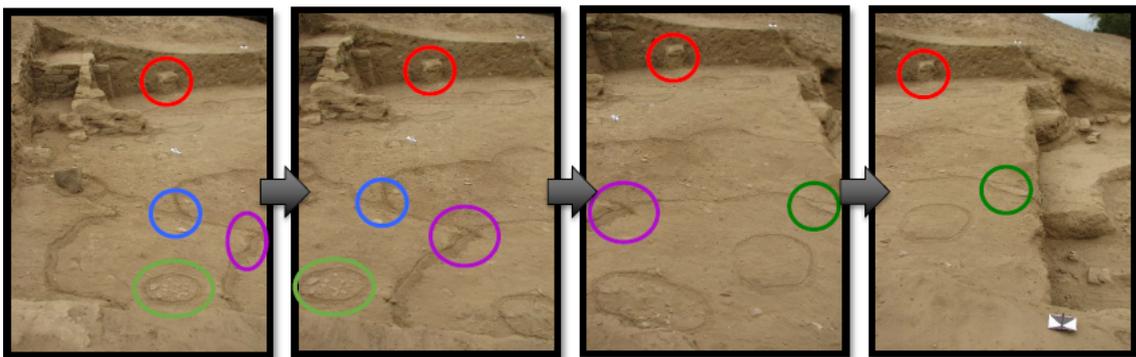


Figura 8-14 Tomado de (Miller y Moulin 2014). Identificación de puntos homólogos en distintas fotografías de un mismo objeto.

Flujo de trabajo

Hay una gran variedad de programas que realiza algunos o todos los pasos del flujo de trabajo desde las fotografías hasta el modelo tridimensional. Los más populares son el Agisoft Photoscan, el Pix4D y el 3Dsurvey. Todos ellos son *software* de tipo comercial. Además existen versiones *open source* que hilando una serie de programas se puede alcanzar un modelo terminado, con georreferencia y textura (por ejemplo, Visual SFM, Cloud compare, MeshLab, etc.).

El primer resultado de un proceso de SFM es una nube de puntos abierta o discreta (Fig. 8-15a), donde el software reconoce a estos puntos como homólogos en las distintas fotografías y a partir de ellos logra establecer la posición espacial de la cámara para cada una de las tomas

fotográficas. Esta nube suele tener entre cientos a miles de puntos. A este proceso se lo conoce como SIFT (*scale-invariant feature transform*). Esta nube de puntos resulta crucial ya que será el almacén donde se armará el modelo tridimensional. Cualquier inconveniente en la alineación de los puntos estará reflejado en el modelo final.

El siguiente paso es la generación de una nube de puntos densa (Fig. 8-15b), con cientos de miles a millones de puntos, que describe con mayor detalle las morfologías de los objetos fotografiados. Una gran ventaja que presentan estas nubes de puntos es que cada uno de ellos está coloreado en un modelo RGB. Estos colores son extraídos de los píxeles de las fotografías empleadas en el modelo. La nube densa se configura como un resultado sobre el que podemos trabajar realizando mediciones, cálculos de direcciones de líneas y planos, etc.

El flujo de trabajo puede completarse generando una malla sobre esta nube de puntos (Fig. 8-15c). El proceso es mediante triangulación donde cada punto se configura el vértice de una serie de triángulos. Este sólido es una superficie con una precisión geométrica que dependerá de la nube abierta y con un nivel de detalle que dependerá de la cantidad de puntos de la nube densa.

Luego puede crearse una textura de las fotografías y apoyarla sobre la malla (Fig. 8-15d). Este proceso le otorga al modelo tridimensional un acabado fotográfico. Finalmente el modelo puede escalarse o georreferenciarse. Para ello es precisa la toma de puntos de control en el campo con algún método de alta precisión (estación total o GPS diferencial).

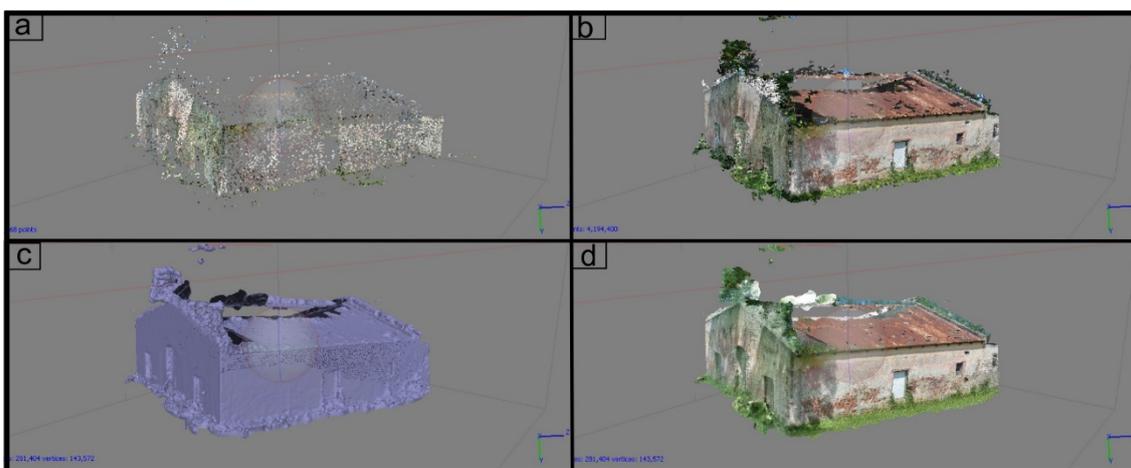


Fig. 8-15. Flujo de trabajo con Agisoft Photoscan. a) Generación de nube abierta con 15.000 puntos. b) Nube de puntos densa, con 4 millones de puntos. c) Malla generada a partir de la nube densa, compuestas por triángulos, generando cerca de 300.000 caras. Modelo tridimensional final con textura fotográfica.

Un aspecto importante para el trabajo geológico es que el modelo se encuentre escalado y preferentemente georreferenciado. Para ello es necesario relevar marcadores o puntos de control (*GCP ground control points*) en campo que puedan ser fácilmente distinguibles en las fotografías. Cada uno de estos puntos deberá contar con coordenadas planas y altimétricas con alta precisión. El levantamiento de estos puntos se realiza con estación total o con GPS diferencial.

La información relevada con estos métodos produce información métrica precisa, ortofotos y modelos de elevación digital (DEM). La implementación de estos flujos de trabajo permite la generación de un registro riguroso de contextos detectados en el campo, facilitando la toma de decisiones y la organización de la información (Miller y Moulin 2014).

Una de las mayores ventajas de trabajar con esta técnica es que permite trabajar a múltiples escalas, desde pocos milímetros hasta modelos kilométricos. Además la posibilidad de realizar distintos modelos a lo largo del tiempo brindan la oportunidad de estudiar la evolución de las nubes de puntos y componer mapas donde se aprecie las zonas que pierden material y las zonas que lo ganan, podría ser utilizado en abanicos aluviales para estudiar el volumen depositado ante una tormenta, para cuantificar la migración de dunas eólicas, o para evaluar el volumen explotado en una cantera, entre otros.

Algunas experiencias de trabajo

La fotogrametría ha ganado un uso cada vez mayor en el área de la arqueología ya que es utilizada por ejemplo para el relevamiento de sitios, aunque también es de uso frecuente para la digitalización objetos (Fig. 8-16). Hay experiencias en colecciones de museos para la generación de catálogos y colecciones virtuales. Asimismo, se ha utilizado esta técnica para reconstruir material óseo e incluso han sido modeladas marcas de corte milimétricas para evaluar su morfología.

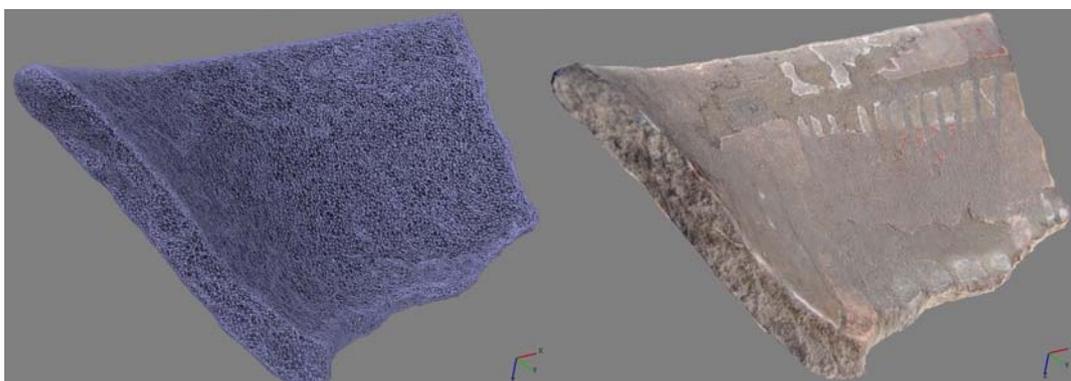


Fig. 8-16. Modelado de un fragmento de cerámica, a la izquierda se observa la malla y a la derecha el modelo con textura fotográfica

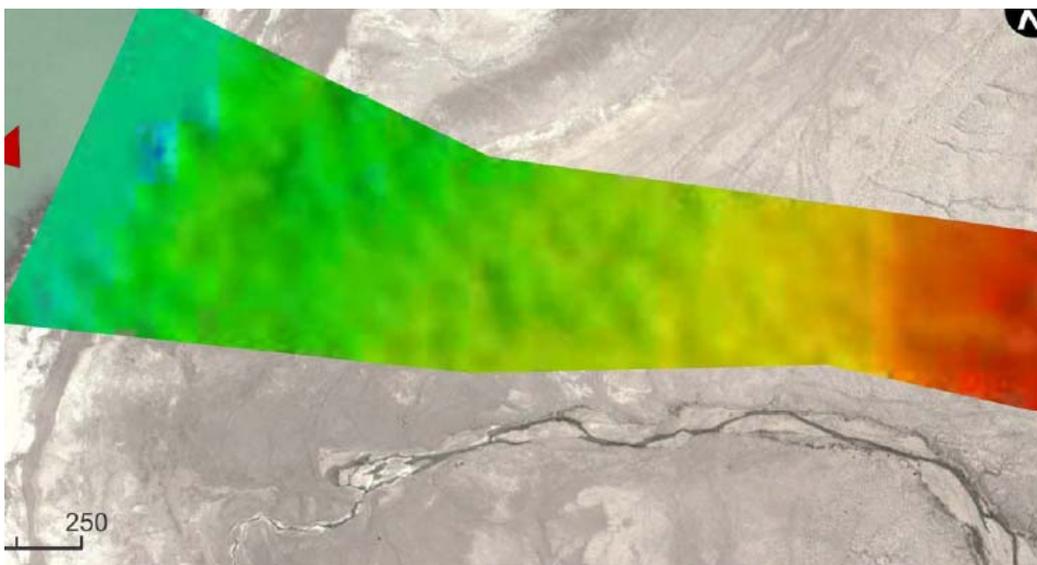
Esta técnica ha sido utilizada para la digitalización de los fósiles (Fig. 8-17), con el fin de realizar determinaciones morfométricas (longitudes, volumen, etc.), para la divulgación y socialización entre colegas.



Fig. 8-17. Modelo 3D utilizado a partir de colecciones de museo para la reconstrucción 3D de organismos.

En el campo de la geología, el SFM se ha utilizado esta técnica para relevamientos topográficos de muy alta resolución, con píxeles submétricos (Fig. 8-18). Gracias a estas altas resoluciones se ha podido realizar mediante técnicas fotogramétricas mapeos de facies en un mar, monitoreo de dinámica de un glaciar, mapeo en una zona con deslizamientos, en el ámbito minero también son útiles para ubicar las escombreras en las minas, entre otros.

A partir de la nube de puntos densa es posible extraer información de rumbo y buzamiento de las capas. Esto es gracias a que al elegir tres puntos que corresponden a un plano, es posible mediante el problema de los tres puntos, definir cuál es la orientación espacial del plano (Fig. 8-19). De esta forma es posible obtener esta información de forma expeditiva y además es útil para obtener datos en lugares de difícil acceso.



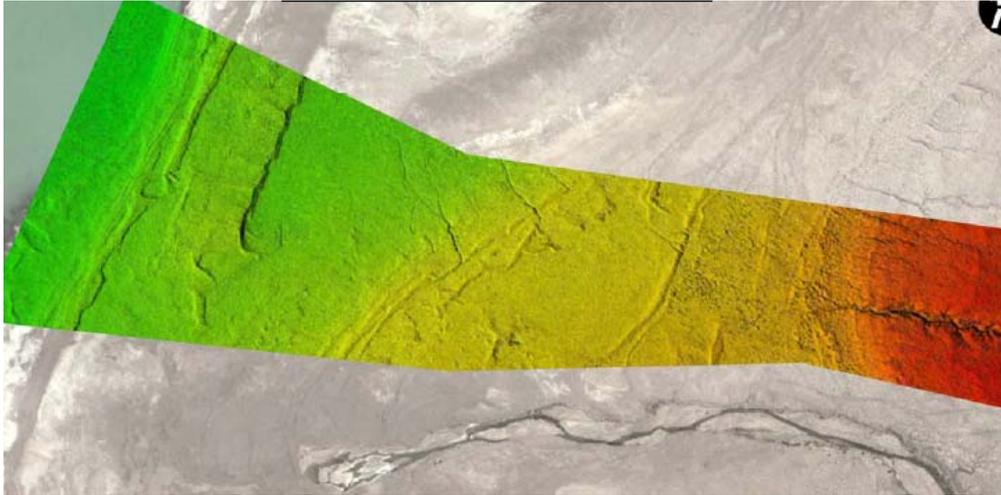


Figura 8-18. Comparación entre un DEM satelital ALOS con pixel de 30m y un DEM generado mediante fotogrametría a partir de imágenes capturadas con un drone. El modelo tiene 15 cm de pixel.

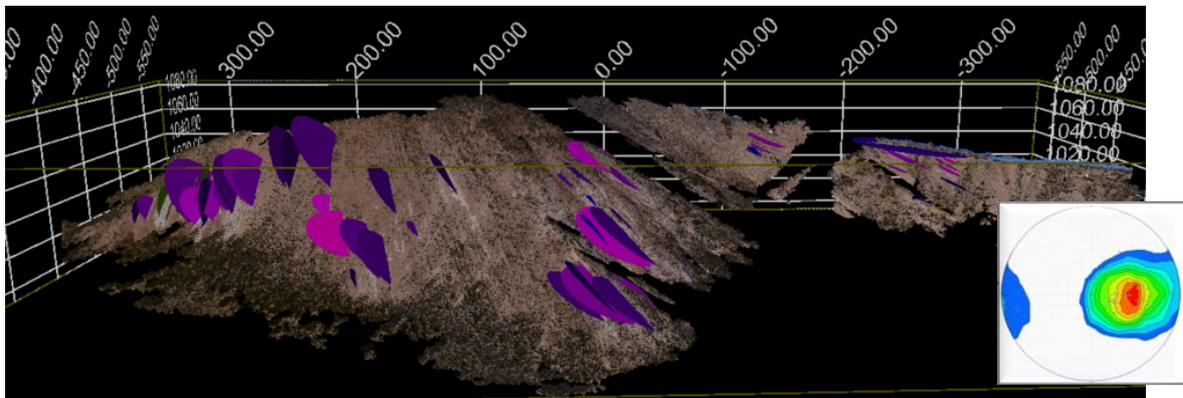


Figura 8-19. Nube de puntos densa y orientación de las capas en sedimentos depositados durante la formación de un pliegue (discordancia progresiva).

Referencias

- De Romer, J. (1969). *Fotogeología aplicada*. Buenos Aires: Eudeba.
- Miller, M. y Moulin, C. (2014). *Fotogrametría y modelamiento 3D: análisis de las técnicas digitales utilizadas en las excavaciones arqueológicas de Huaca La Capilla, Temporada 2014*. Programa Arqueológico San José de Moro – Temporada 2014.
- Ray, R.G. (1960). *Aerial photographs in geologic interpretation and mapping*. Geological Survey Professional paper 373. 229 pp. Washington: U.S. Govt. Print. Off.

Los autores

Coordinador

Echeveste, Horacio

Doctor en Ciencias Naturales (orientación Geología), Licenciado en Geología, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata. Especializado en Geología de Yacimientos. Profesor Titular de Levantamiento Geológico, Facultad de Ciencias naturales y Museo. Publicaciones: - Echeveste, H.J., López, L. M., Rodríguez, E. y Recio, C. Alteración hidrotermal en el yacimiento epitermal Manantial Espejo, Macizo del Deseado, Santa Cruz, Argentina. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 73 (3): 369-387. 2016. ISSN 0004-4822. - Fernández, R.R., Tessone, M.O.R., Echeveste, H.J., Moreira, P. y Carlini, M. Geología y mineralización del área "Estancia San Pedro", Macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 73 (3): 388-404. 2016. ISSN 0004-4822. - Echeveste, H.J., López, L. y Carlini, M. Geology of the Manantial Espejo Epithermal District, Deseado Massif, Patagonia Argentina. Journal of Maps, Vol. 12, (Sup.1): 172-177. 2016. Online ISSN: 1744-5647. Director de proyectos de investigación relacionados a geología de yacimientos de minerales metalíferos. Instituto de Recursos Minerales, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata.

Autores

González, Pablo Diego

Doctor en Ciencias Naturales (orientación Geología), Licenciado en Geología, Facultad de Ciencias naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata. González, Pablo Diego Especializado en Petrología Ignea y Metamórfica. Profesor Titular de Petrología Igneo-Metamórfica y Práctica Profesional Supervisada (Grado), Universidad Nacional de Río Negro; y de Petrología (Post-grado), del Cuerpo Académico de la Carrera del Doctorado, Mención Ciencias de la Tierra, Universidad Nacional de Río Negro. Publicaciones: - González, P.D. Cábana, M. C., 2014. Geology of the Anecón Grande area, Patagonia (Río Negro), Argentina. Journal of Maps. 10 (3), 402-408, DOI: 10.1080/17445647.2013.877403. - Greco, G., González, Pablo D., González, S., Sato, A.M., Basei, M., Tassinari, C., Sato, K., Varela, R., Llambías, E., 2015. Geology, structure and age of the Nahuel

Niyeu Formation in the Aguada Cecilio area, North Patagonian Massif, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences* 62, 12-32. - González, P. D. 2015. Textura de los cuerpos ígneos. En: Llambías, E. J.: "Geología de los cuerpos ígneos". Edición Especial 70° Aniversario de la Asociación Geológica Argentina, Serie B, Didáctica y Complementaria N° 31. 4ta. Edición. Capítulo 12, 167-195. Buenos Aires. Director de proyectos de investigación relacionados con mapeo y petrología de rocas de basamento metamórfico e ígneo. Instituto de Investigación en Paleobiología y Geología (Universidad Nacional de Río Negro-CONICET).

López, Luciano

Doctor en Ciencias Naturales (orientación Geología), Licenciado en Geología, Facultad de Ciencias naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata. Profesor Adjunto de Levantamiento Geológico, Facultad de Ciencias Naturales y Museo. Especializado en modelado tridimensional de depósitos minerales. Publicaciones: - López L., Echeveste H. 2012. Paragénesis mineral del depósito tipo Five Element Purísima-Rumicruz, Jujuy, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*. Vol 69 (4): 537-543. - López L., Jovic S., Guido D., Permuy Vidal C., Páez G., Ruiz R. 2015. Geochemical distribution and supergene behavior of Indium at the Pingüino epithermal polymetallic vein system, Patagonia, Argentina. *Ore Geology Reviews*. Vol (64) 747-755. - Echeveste H., López L., Carlini M. 2016. Geology of the Manantial Espejo epithermal district, Deseado Massif, Patagonia Argentina, *Journal of Maps*, DOI: 10.1080/17445647.2016.1187676.

Páez, Gerardo Nestor

Doctor en Ciencias Naturales (orientación Geología), Licenciado en Geología, Facultad de Ciencias naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata. Investigador Adjunto del CONICET especializado en vulcanismo y su vinculación con yacimientos hidrotermales de oro y plata, con lugar de trabajo en el Instituto de Recursos Minerales (INREMI) y la Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata. Jefe de trabajos prácticos de Petrología 1 (rocas ígneas) en la Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata. Director de proyectos de investigación relacionados a vulcanismo y yacimientos de oro y plata. Publicaciones destacadas: - Páez, G.N., Ruiz, R., Guido, D.M., Ríos, F.J., Subias, I., Recio, C., Schalamuk, I.B., 2016. High-grade ore shoots at the Martha epithermal vein system, Deseado Massif, Argentina: The interplay of tectonic, hydrothermal and supergene processes in ore genesis. *Ore Geol. Rev.* 72, 546–561. - D'Elia, L., Páez, G., Hernando, I., Petrinovic, I., Villarosa, G., Bilmes, A., Bodaño, M., Guzmán, S., Borzi, G., Serra Varela, S., Manzoni, C., Outes, V., Delménico, A., Balbis, C., 2014. Erupciones históricas del Volcán Tromen: Análisis geomorfológico y geocronológico en su sector Noroeste. *Rev. la Asoc. Geol. Argentina* 71, 444–448. - Páez, G., Ruiz, R., Guido, D., Jovic, S., Schalamuk, I., 2010. The effects of K-metasomatism in the Bahía Laura Volcanic Complex, Deseado Massif, Argentina: Petrologic and metallogenic consequences. *Chem. Geol.* 273, 300–313.

Manual de levantamiento geológico : una introducción a la geología de campo / Horacio Echeveste ... [et al.] ; coordinación general de Horacio Echeveste. - 1a ed . - La Plata : Universidad Nacional de La Plata ; La Plata : EDULP, 2018.

Libro digital, PDF - (Libros de cátedra)

Archivo Digital: descarga y online
ISBN 978-950-34-1623-5

1. Mapa. 2. Geología. I. Echeveste, Horacio II. Echeveste, Horacio, coord.
CDD 551

Diseño de tapa: Dirección de Comunicación Visual de la UNLP

Universidad Nacional de La Plata – Editorial de la Universidad de La Plata
47 N.º 380 / La Plata B1900AJP / Buenos Aires, Argentina
+54 221 427 3992 / 427 4898
edulp.editorial@gmail.com
www.editorial.unlp.edu.ar

Edulp integra la Red de Editoriales Universitarias Nacionales (REUN)

Primera edición, 2018
ISBN 978-950-34-1623-5
© 2018 - Edulp

n
naturales



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE LA PLATA