

MANUAL DE GEOLOGIA PARA INGENIEROS

GONZALO DUQUE ESCOBAR

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
SEDE MANIZALES
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
MANIZALES, 2003

**A la Universidad Nacional de Colombia,
a mis Profesores y a mis Alumnos**

CONTENIDO

	Pág
PRESENTACION	12
1 INTRODUCCION A LA GEOLOGIA	13
1.1 SOBRE LA GEOLOGIA	13
1.2 CICLO DE LAS ROCAS	14
2. MATERIA Y ENERGIA	26
2.1 INTRODUCCION	26
2.2 CONSTANTES EN LA TEORIA FISICA	30
2.3 MACROESTRUCTURAS	31
2.4 TRABAJO	33
2.5 LA ENERGIA	35
2.6 DETECCION A DISTANCIA POR RADAR	38
3. EL SISTEMA SOLAR	45
3.1 EL SISTEMA SOLAR	45
3.2 TEORIAS ACERCA DE LA FORMACION DEL SISTEMA SOLAR	53
3.3 FORMACION DE LA TIERRA	55
4. LA TIERRA SÓLIDA Y FLUIDA	57
4.1 ATMOSFERA	57
4.2 LA TIERRA SÓLIDA	60
4.3 HIDROSFERA	66
4.4 EL CLIMA MUNDIAL	68
4.5 LOS ELEMENTOS DEL CLIMA	71
5. LOS MINERALES	74
5.1 DEFINICION	74
5.2 ELEMENTOS CLAVE	74
5.3 CRISTALIZACION	76
5.4 ENLACES, ESTRUCTURAS Y ALEACIONES	77
5.5 PROPIEDADES FISICAS DE LOS MINERALES	82
5.6 FORMA Y SISTEMAS CRISTALINOS	89
5.7 MINERALOGIA QUIMICA	91
5.8 PARTICIPACION E IMPORTANCIA DE LOS MINERALES	96
5.9 GEOLOGIA ECONOMICA DEL EJE CAFETERO	99
VULCANISMO	
6. VULCANISMO	103
6.1 LOS AMBIENTES DE LOS PROCESOS MAGMATICOS	103
6.2 PARTES DE UN VOLCAN	105

6.3	MECANISMOS ERUPTIVOS DE LOS VOLCANES	111
6.4	PRODUCTOS Y EFECTOS DE LAS ERUPCIONES	118
6.5	MANIFESTACIONES VOLCANICAS	120
6.6	LOS VOLCANESCOLOMBIANOS	121
7.	ROCAS IGNEAS	125
7.1	GENERALIDADES	125
7.2	ASPECTOS FUNDAMENTALES	125
7.3	CRITERIOS DE CLASIFICACION	130
7.4	PAISAJE IGNEO	134
7.5	ALGUNOS TERMINOS Y DEFINICIONES	140
7.6	EJEMPLOS EN COLOMBIA	142
8.	INTEMPERISMO O METEORIZACION	146
8.1	PROCESOS EXTERNOS	146
8.2	FACTORES DEL INTEMPERISMO FISICO O MECANICO	149
8.3	FACTORES DEL INTEMPERISMO QUIMICO	152
8.4	FORMAS DEL INTEMPERISMO QUIMICO	154
8.5	FRAGMENTOS LITICOS	155
8.6	SUELOS	160
8.7	ZONAS RICAS DEL PAIS	174
9.	ROCAS SEDIMENTARIAS	176
9.1	GENERALIDADES	176
9.2	DIAGENESIS	179
9.3	CLASIFICACION DE ROCAS SEDIMENTARIAS	183
9.4	CARACTERISTICAS DE LAS ROCAS SEDIMENTARIAS	184
9.5	DESCRIPCION DE LAS ROCAS SEDIMENTARIAS	188
9.6	SEDIMENTOS ORGANICOS	194
9.7	FASES DE EXPLORACION GEOLOGICA	196
9.8	EJEMPLOS DE SEDIMENTITAS EN COLOMBIA	197
10.	TIEMPO GEOLOGICO	200
10.1	TIEMPO ABSOLUTO	201
10.2	TIEMPO RELATIVO	208
10.3	LA COLUMNA GEOLOGICA	213
10.4	FORMACION DEL SECTOR NORTE DE LOS ANDES (COLOMBIA)	220
10.5	TERMINOS	222
11.	GEOLOGIA ESTRUCTURAL	226
11.1	CONCEPTOS BASICOS	226
11.2	COMPORTAMIENTO DE LAS ROCAS	229
11.3	DEFORMACIONES DE LA CORTEZA TERRESTRE	232

11.4	PLIEGUES	234
11.5	FRACTURAS	238
11.6	DISCORDANCIAS ESTRATIGRAFICAS	242
11.7	ELEMENTOS DE LA GEOLOGIA ESTRUCTURAL COLOMBIANA	245
12.	MACIZO ROCOSO	251
12.1	CALIDAD DEL MACIZO	252
12.2	DISCONTINUIDADES EN MACIZOS ROCOSOS	257
12.3	ESTABILIDAD DEL MACIZO	262
12.4	RASGOS ESTRUCTURALES	268
13.	ROCAS METAMORFICAS	277
13.1	AGENTES DEL METAMORFISMO	278
13.2	TIPOS DE METAMORFISMO	280
13.3	MINERALES DEL METAMORFISMO	283
13.4	FACIES DEL METAMORFISMO	284
13.5	TEXTURA	286
13.6	TIPOS DE ROCAS METAMORFICAS	288
14.	MONTAÑAS Y TEORIAS OROGENICAS	293
14.1	TIPOS BASICOS DE MONTAÑAS	293
14.2	CRITERIOS DE CLASIFICACIÓN DE LAS MONTAÑAS	294
14.3	TIPOS DE CORDILLERAS O PLEGAMIENTOS	298
14.4	GEODINAMICA	300
14.5	CAUSAS DE LAS FUERZAS ENDOGENAS DE LA OROGENIA	303
14.6	SUCESION Y CLASIFICACION DE LAS OROGENESIS	306
14.7	ESTILOS ESTRUCTURALES DE LOS TERRENOS DE COLOMBIA	309
15.	SISMOS	314
15.1	TEORIA DEL REBOTE ELASTICO	315
15.2	DOS LECCIONES: SAN FRANCISCO Y KOBE	316
15.3	PARAMETROS DE UN SISMO	317
15.4	LA SISMOLOGIA	318
15.5	RIESGO SISMICO	327
15.6	RIESGO SISMICO EN COLOMBIA Y EL EJE CAFETERO	334
16.	MOVIMIENTOS MASALES	338
16.1	PARAMETROS Y PROCESOS DE INESTABILIDAD	339
16.2	CAUSAS Y FACTORES DE LA INESTABILIDAD	343
16.3	EVALUACION DE LA ESTABILIDAD	345
16.4	CLASIFICACION Y DESCRIPCION DE LOS MOVIMIENTOS DE MASAS	349

16.5	LA SITUACION EN COLOMBIA	357
16.6	EVALUACION DEL RIESGO	359
17.	AGUAS SUPERFICIALES	364
17.1	EL MAR	364
17.2	ATMOSFERA E HIDRÓSFERA	369
17.3	CORRIENTES SUPERFICIALES	375
17.4	DINAMICA FLUVIAL	387
17.5	MORFOLOGIA Y RED DE DRENAJE	394
17.6	PRINCIPALES RIOS DE COLOMBIA	396
18.	AGUAS SUBTERRANEAS	399
18.1	PROCEDENCIA DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS	401
18.2	DINAMICA DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS	409
18.3	FACTORES DEL MOVIMIENTO DE AGUAS SUBTERRANEAS	415
18.4	MANTOS	421
18.5	PAISAJE KARSTICO	428
19.	GLACIARES Y DESIERTOS	432
19.1	GLACIARES	432
19.2	EROSION GLACIAR	436
19.3	TEORIA DE LA GLACIACION MULTIPLE	440
19.4	EL VIENTO	444
19.5	DESIERTOS	449
19.6	EROSIÓN EN EL DESIERTO	452
19.7	DESIERTOS EN AMERICA	457
20.	GEOMORFOLOGIA	458
20.1	LA GEOMORFOLOGIA COMO CIENCIA	458
20.2	CLAVES DE FOTOINTERPRETACION	462
20.3	GENERALIDADES DEL AREA DE MANIZALES Y CHINCHINA	472
	BIBLIOGRAFIA	480

LISTA DE FIGURAS

		Pág
Figura 1	El ciclo de las rocas (dos versiones)	14
Figura 2	Relieve de los Fondos Oceánicos	17
Figura 3	Estados de la materia	26
Figura 4	Los elementos aristotélicos	27
Figura 5	Formas de intercambio de energía	35
Figura 6	Espectro electromagnético	36
Figura 7	Imágenes desde el espacio	41
Figura 8	Orbita elíptica de un planeta en torno al Sol	46
Figura 9	Diagrama temporal	56
Figura 10	Regiones térmicas de la atmósfera	58
Figura 11	Trayectoria de las ondas sísmicas	61
Figura 12	Corte ideal del planeta Tierra	63
Figura 13	Modelos isostáticos	65
Figura 14	Perfil hipsográfico	68
Figura 15	Enlaces	77
Figura 16	Arreglos de átomos de carbono	79
Figura 17	Tetraedros de carbono	80
Figura 18	Reflexión y refracción de una haz luz	87
Figura 19	Ejemplos de cristales sistema por sistema	91
Figura 20	Vulcanismo en zona magmática interplaca	105
Figura 21	Estructura general de un volcán	106
Figura 22	Formación de una caldera	108
Figura 23	Desplazamiento transversal de una dorsal	110
Figura 24	Proceso volcánico por despresurización de su reservorio	112
Figura 25	Proceso volcánico por ascenso de magma	113
Figura 26	Cuatro tipos de erupciones en vulcanismo subaéreo	118
Figura 27	Mapa de Amenazas Potenciales del VN del Ruiz	124
Figura 28	Ambientes de formación y texturas	129
Figura 29	Manejo de un diagrama de triple entrada	132
Figura 30	Diagrama de Streckeisen	133
Figura 31	Paisaje ígneo	134
Figura 32	La clasificación de las rocas piroclásticas	135

Figura 33	Anexos petrográficos	137
Figura 34	Procesos de agradación y degradación de la corteza	147
Figura 35	Formación de un peñasco esferoidal	151
Figura 36	Bloque fracturado merced a un sistema de diaclasas	153
Figura 37	Raíz de una planta formando arcillas	153
Figura 38	Representación simbólica de las arcillas	157
Figura 39	Etapas y procesos en la formación del suelo	161
Figura 40	Depósitos sedimentarios con clastos	162
Figura 41	Otros depósitos sedimentarios	163
Figura 42	Perfil de un suelo	164
Figura 43	Ambientes sedimentarios	181
Figura 44	Estratificación cruzada	186
Figura 45	Representación de una estructura sedimentaria	189
Figura 46	Costos y rendimientos de diferentes métodos de prospección	197
Figura 47	Correlación de eventos con base en tres columnas estratigráficas	210
Figura 48	Registros fósiles	225
Figura 49	Esfuerzos y deformaciones de un cuerpo por cargas externas	227
Figura 50	Carga creciente instantánea y carga constante prolongada	228
Figura 51	Bloque sometido a compresión	229
Figura 52	Relaciones esfuerzo-deformación de las rocas	230
Figura 53	Partes de un pliegue	234
Figura 54	Tipos de pliegues	236
Figura 55	Partes de una falla	238
Figura 56	Tipos de fallas	239
Figura 57	Otros tipos de fallas	241
Figura 58	Sistemas compuestos de fallas	241
Figura 59	Discordancia	243
Figura 60	Discordancia entre cinco unidades litológicas	243
Figura 61	Correlación entre formaciones ígneas y sedimentarias	244
Figura 62	Correlación entre eventos tectónicos	245

Figura 63	Mapa estructural de Colombia	247
Figura 64	Diagrama estructural de la región	249
Figura 65	Túnel en un macizo afectado por una intrusión	251
Figura 66	Profundidad de una galería	252
Figura 67	Clasificación ingenieril de roca intacta según Deere	254
Figura 68	Fallas de un talud de roca	255
Figura 69	Estratificación y esquistocidad en el caso de un túnel	260
Figura 70	Volcamiento y deslizamiento de bloques en un macizo	262
Figura 71	Aptitud de una estructura geológica y la dirección de un túnel	263
Figura 72	Estabilidad de cuñas de roca	264
Figura 73	Galería rectangular con fuerte anisotropía estratigráfica	267
Figura 74	Plano inclinado	268
Figura 75	Proyección del plano estructural	270
Figura 76	Tipos de proyecciones	271
Figura 77	Plano estructural, horizonte y polo	272
Figura 78	Plano estructural $K = (N \phi E: \alpha SE)$	273
Figura 79	Representación del plano de falla $K (N 60^\circ W; 30^\circ SW)$	274
Figura 80	Ejemplos numéricos de equivalencias entre dos notaciones	275
Figura 81	Inestabilidad cinemática con una familia de discontinuidades	275
Figura 82	Inestabilidad cinemática con dos familias de discontinuidades	276
Figura 83	Metamorfismo progradante	282
Figura 84	Esquema de Turner (1968)	285
Figura 85	Acerca de las fábricas texturales	286
Figura 86	Tipos de montañas según su origen	295
Figura 87	Magnetismo fósil en el fondo oceánico	298
Figura 88	Colisión entre placa continental y placa oceánica	299
Figura 89	Placas principales y sus límites	305
Figura 90	Mapa de los terrenos geológicos de Colombia	310

Figura 91	Teoría del rebote elástico	316
Figura 92	Parámetros de un sismo	317
Figura 93	Maremoto	320
Figura 94	Ondas sísmicas	321
Figura 95	Esquema de un sismógrafo	322
Figura 96	Sismograma	323
Figura 97	Sismo por corrimiento	324
Figura 98	Espectro de respuesta a un sismo	325
Figura 99	Zonas de riesgo y fuentes sismotectónicas en Colombia	335
Figura 100	Perfil idealizado de una ladera	100
Figura 101	Fallas en suelos	346
Figura 102	Falla de un talud friccionante	347
Figura 103	Falla de un talud cohesivo	347
Figura 104	Grano de arena en equilibrio crítico sobre un talud	348
Figura 105	Selección de la ladera adecuada	354
Figura 106	Evaluación del riesgo sísmico	362
Figura 107	Corrientes oceánicas	366
Figura 108	Fondo del mar	368
Figura 109	Ciclo hidrológico	370
Figura 110	Sistema de drenaje	379
Figura 111	Perfil longitudinal de una corriente	380
Figura 112	Curva de Hjulstrom	383
Figura 113	Deltas de una corriente	384
Figura 114	Abanicos aluviales	384
Figura 115	Formación de un valle	385
Figura 116	Formación de una terraza aluvial	385
Figura 117	Corrientes aluviales	386
Figura 118	Líneas de flujo en una corriente	387
Figura 119	Velocidad terminal de una partícula	388
Figura 120	Meandros en cause sinuoso y corriente rápida	392
Figura 121	Canales para tratamientos de aguas en ladera	393
Figura 122	Defensas de las riveras de un río	393
Figura 123	Formas de drenaje	395
Figura 124	Tipos de corriente	396
Figura 125	Curva de rocío	401
Figura 126	Nivel freático regional	410
Figura 127	Esquema del nivel freático	411

Figura 128	Meniscos	414
Figura 129	Variaciones en la porosidad de la arena	416
Figura 130	La Ley de Darcy	421
Figura 131	Acuíferos y nivel piezométrico	423
Figura 132	Acuíferos especiales	424
Figura 133	Esquema del NAF en un macizo	425
Figura 134	Corriente subterránea de un torrente	425
Figura 135	Pozos en acuífero libre	426
Figura 136	Pozo en acuífero confinado	427
Figura 137	Paisaje kárstico	430
Figura 138	Estructura de un glaciar	433
Figura 139	Nieve, neviza y hielo	435
Figura 140	Glaciares de montaña	436
Figura 141	Movimiento de partículas en el glaciar	437
Figura 142	Morfología glaciar	438
Figura 143	Formación de una marmita	438
Figura 144	Modelado del paisaje glaciar	439
Figura 145	Glaciaciones del pleistoceno	440
Figura 146	Efecto multiplicador de un deshielo o un calentamiento	441
Figura 147	Esquema de la máquina atmosférica del planeta	444
Figura 148	Circulación de los vientos en dos temporadas	447
Figura 149	Formación de un ventifacto	452
Figura 150	Formación de una cuenca de deflación	453
Figura 151	Pedestales	453
Figura 152	Barján y duna en U	455
Figura 153	Dinámica de las dunas	456
Figura 154	Evolución del paisaje húmedo y seco	456
Figura 155	Paisaje con diferentes tipos pétreos	460
Figura 156	Geformas en rocas sedimentarias	467
Figura 157	Morfología para diagnóstico	470
Figura 158	Perfil morfoestructural	474

LISTA DE CUADROS

		Pág
Cuadro 1	Las fuerzas de la naturaleza	29
Cuadro 2	Distancia a los planetas en unidades astronómicas	50
Cuadro 3	Las atmósferas y las gravedades de los cuerpos del sistema solar	51
Cuadro 4	La composición del agua del mar	67
Cuadro 5	Elementos más abundantes en la Tierra	75
Cuadro 6	Tipos de erupción volcánica	114
Cuadro 7	Serie de reacciones de Bowen	126
Cuadro 8	Cuadro simplificado de las rocas ígneas	131
Cuadro 9	Resistencia de algunas rocas en Kg/cm ²	150
Cuadro 10	Tamaños típicos de partículas y fragmentos de suelo	156
Cuadro 11	Símbolos para la representación litológica de las principales rocas	178
Cuadro 12	Proceso de formación de las rocas sedimentarias	182
Cuadro 13	Las rocas sedimentarias	183
Cuadro 14	Edades radiométricas en el departamento de Caldas	207
Cuadro 15	Escala de tiempo geológico	214
Cuadro 16	Tipos principales de discontinuidades en macizos rocosos	278
Cuadro 17	Rocas metamórficas	278
Cuadro 18	Textura y fábrica del material rocoso	287
Cuadro 19	Fases de plegamiento en América	307
Cuadro 20	Procesos de erosión hídrica e inestabilidad	341
Cuadro 21	Perfil de un suelo residual	342
Cuadro 22	Clasificación de los movimientos de suelos y rocas en regiones tropicales	351
Cuadro 23	Origen de las aguas subterráneas	399
Cuadro 24	Claves fotogeológicas	462

LISTA DE TABLAS

		Pág
Tabla 1	Lista de constantes fundamentales y magnitudes derivadas	31
Tabla 2	Escalas de estructuras	32
Tabla 3	Escala de energía involucrada en diferentes fenómenos	34
Tabla 4	Componentes del aire seco al nivel del mar	57
Tabla 5	Estructura de la Tierra	62
Tabla 6	Composición promedia de la corteza, del manto y del planeta Tierra	66
Tabla 7	Escala de Mohs	84
Tabla 8	Peso específico y dureza de algunos minerales	86
Tabla 9	Ejemplos de silicatos	92
Tabla 10	Ejemplos de óxidos	93
Tabla 11	Ejemplos de sulfuros	94
Tabla 12	Ejemplos de carbonatos	94
Tabla 13	Ejemplos de sulfatos	95
Tabla 14	Las menas más importantes	97
Tabla 15	Serie del uranio 238	201
Tabla 16	Contenido radiactivo y calor liberado	204
Tabla 17	Comparación entre varios tipos de desastres naturales	314
Tabla 18	Valoración de parámetros para la microzonificación	332
Tabla 19	Diferencia entre reptamiento y deslizamiento	355
Tabla 20	Componentes disueltos en el agua de mar	364
Tabla 21	Principales ríos del mundo con su cuenca	376