

**TECANA AMERICAN UNIVERSITY**  
**Accelerated Degree Program**  
**Bachelor of Science in Geological Engineering**



**INFORME N° 2**

**“GEOLOGÍA APLICADA”**

Alejandro F. Machado L.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Alejandro F. Machado L.', is positioned below the printed name.

“Por la presente juro y doy fe que soy el único autor del presente informe y que su contenido es fruto de mi trabajo, experiencia e investigación académica”.

Panamá, 28 de mayo de 2008

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>Capítulos</b>	
<b>Sub-capítulos</b>	
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>01</b>
<b>LA GEOLOGÍA.....</b>	<b>02</b>
<b>Ciencias de la Tierra y Geología.....</b>	<b>02</b>
<b>Disciplinas Geológicas.....</b>	<b>03</b>
<b>Geología en la Ingeniería.....</b>	<b>04</b>
<b>GEOFÍSICA.....</b>	<b>06</b>
<b>Generalidades.....</b>	<b>06</b>
<b>Exploración Geofísica en la Ingeniería.....</b>	<b>06</b>
<b>ROCAS Y MINERALES.....</b>	<b>08</b>
<b>Origen de las rocas.....</b>	<b>08</b>
<b>Ciclo de formación de las rocas.....</b>	<b>09</b>
<b>Modos de ocurrencia de las rocas.....</b>	<b>11</b>
<b>Minerales que forman las rocas.....</b>	<b>13</b>
<b>Características físicas de las rocas.....</b>	<b>14</b>
<b>Uso de las rocas.....</b>	<b>15</b>
<b>SUELOS.....</b>	<b>16</b>
<b>Formación de los suelos.....</b>	<b>16</b>
<b>Tipos de suelos.....</b>	<b>18</b>
<b>Mecánica de suelos.....</b>	<b>20</b>
<b>EXPRESIÓN TOPOGRÁFICA.....</b>	<b>21</b>
<b>Conceptos Básicos.....</b>	<b>21</b>
<b>¿Qué es la Topografía?.....</b>	<b>23</b>
<b>Formas topográficas.....</b>	<b>25</b>
<b>Mapas geológicos y perfiles.....</b>	<b>29</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>34</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>36</b>

## INDICE DE FIGURAS

1. El geólogo hace las anotaciones y levantamiento topográfico para la evaluación de una futura carretera.....	05
2. Ciclo de las rocas.....	10
3. Modos de ocurrencia de las rocas.....	11
4. El geólogo lleva en su mano derecha un GPS para ubicar puntos geográficos de interés.....	25
5. Representación de una Bajiplanicie.....	26
6. Representación de una colina.....	27
7. Representación de un valle.....	28
8. Representación de un volcán.....	29
9. Un ejemplo de mapa geológico: Mapa geológico generalizado de Panamá...	30
10. Ejemplo de un perfil topográfico partiendo de un plano topográfico.....	33
11. Interpretaciones geológicas sobre un perfil realizado para evaluar una posible explotación minera.....	33

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad la demanda de ingenieros es cada vez más grande. Profesionales que con ingenio, conocimiento y dedicación hacen más sencilla la aplicación de la ciencia y la tecnología al mundo cotidiano.

Pero para lograr con facilidad la integración de los seres humanos a la tecnología, es necesaria la formación en ciertas áreas de vital importancia; una de ellas es la geología. El conocimiento sobre rocas y minerales, su correcta explotación y utilización eficaz hacen más factible el crecimiento económico de un país.

El objetivo principal propuesto para este informe, es realizar una revisión del mundo de la geología y como esta rama que forma parte de las Ciencias de la Tierra, también conocida como Geociencias, puede integrarse perfectamente al mundo ingenieril, sobre todo al área de la construcción, conocida como Ingeniería Civil.

Posteriormente se pretende resumir algunos de los procesos que estudian los geólogos a profundidad como son las rocas, suelos y minerales; tanto en sus procesos de formación, como en su acumulación y utilidad. Por último se disertará sobre las diferentes formas de representación gráfica que utiliza el geólogo para reseñar lo visto en campo, las cuales son útiles para planear los proyectos a realizar a escalas que permitan la comprensión de una manera más sencilla y amena de las áreas de interés.

Para el logro de este material se realizó una revisión bibliográfica y se agregó comentarios producto de la experiencia del autor en este ámbito.

## **LA GEOLOGÍA**

La geología es una de las ramas del área de las Ciencias de la Tierra. En las próximas líneas se pretende explicar sobre la utilidad de esta rama en la ingeniería y cuales son las diferentes disciplinas de investigación que posee.

### **Ciencias de la tierra y geología**

Al utilizar el término “Ciencias de la Tierra”, hacemos referencia al conjunto de las disciplinas que estudian la estructura interna, la morfología superficial y la evolución del planeta Tierra. Las Ciencias de la Tierra o Geociencias no pueden ser consideradas como ciencias "terminadas", ya que al igual que otras ciencias se encuentra en constante evolución. Al comienzo la geografía era solo una descripción sin conexión de los elementos de la superficie de la Tierra. Fue en el siglo XIX cuando se le dio estructura a las ciencias de la Tierra, lo cual sirvió para la conquista y explotación de los recursos naturales en todos los continentes. Al entender más el Universo y el planeta, la geografía se fue haciendo más compleja, surgiendo nuevas áreas como la Geofísica, la Geología, la Geografía, la Geomorfología, la Geoquímica, la Edafología, la Hidrología, la Meteorología, la Sismología, la Climatología, la Mineralogía, la Vulcanología, la Tectónica, la Petrología, la Petrografía, la Paleontología, Oceanografía y Geodesia. Sin embargo, sigue habiendo una completa conexión entre todas ellas, por lo cual se habla de Geociencias o Ciencias de la Tierra.

La Geología es la rama de la Geociencia que se ocupa del estudio de las características representativas que dan origen a la transformación en el tiempo de nuestro planeta. La geología pretende estudiar los materiales que posee el planeta y la forma en como éstos aparecen y se asocian unos con otros. También cada uno de los

procesos por los cuales transitan estos materiales, permitiendo a éstos evolucionar en el tiempo, dando paso al desarrollo de los minerales y de los animales hasta su presente forma en el Reciente u Holoceno.

## **Disciplinas geológicas**

La Geología contiene diversas ramas y en la medida que avanzan las investigaciones, nuevas corrientes o planteamientos se adosan a esta ciencia. Las disciplinas más reconocidas y estudiadas son:

Estratigrafía: La cual profundiza sobre la sucesión de fósiles y rocas durante el tiempo geológico y la mejor forma de ordenar los diferentes estratos, procurando establecer criterios y acuerdos que sean considerados a escala mundial.

Paleogeografía: Estudia los cambios ocurridos en el relieve superficial a través del tiempo geológico.

Geología Histórica: Estudia la historia de la Tierra sintetizando los cambios en la flora, fauna y relieve.

Geomorfología: Estudia los procesos geológicos que dan forma a la superficie.

Geofísica: Profundiza sobre los aspectos internos de la tierra.

Geología Estructural: Estudia las deformaciones y estructuras de las rocas.

Geoquímica: Se basa en la distribución de los elementos químicos presentes en las rocas.

Mineralogía y Petrología: Estudian el origen, condiciones, alteraciones y destrucción de minerales y rocas.

Paleontología: Busca y estudia los fósiles y microfósiles contenidos en las rocas.

Geología Dinámica: Profundiza sobre todos los procesos que generan cambios ecológicos.

Geología Económica: Es una aplicación de la geología dedicada a estudiar el aprovechamiento de minerales, rocas y combustibles, entre otros.

Además, en la actualidad, se está despertando interés sobre nuevas áreas de estudio de la geología, como por ejemplo Vulcanología, Geología Marina, Geología Ambiental, Geotecnia, Geología de Yacimientos Minerales, Hidrogeología, Petrofísica, entre otros.

### **Geología en la ingeniería**

La ingeniería es la profesión que aplica conocimientos y experiencias para que mediante el uso de diseños, técnicas y modelaje, puedan resolverse problemas que afectan a la humanidad.

La geología es una herramienta que utiliza el ingeniero con la intención de conocer los materiales naturales, sus características, origen y modos de ocurrencia. Los ingenieros geólogos aplican los principios geológicos a la investigación de los materiales naturales, tierra, roca y agua superficial y subterránea implicados en el diseño, la construcción y la explotación de proyectos de ingeniería civil. Son ejemplos conocidos por todos, los puentes, las autopistas, los acueductos, por mencionar sólo algunos. El Geólogo procura establecer normas de seguridad que disminuyan riesgos de accidentes, por ejemplo podemos citar la estabilización de taludes y la delimitación de zonas con riesgo de inundación. El alcance de la geología del entorno es muy grande al englobar datos y aplicaciones de ciencias físicas, biológicas y sociales.

La geología ofrece un gran apoyo a la Ingeniería Civil en la resolución e incluso corrección de problemas. Gracias al apoyo de la geología, en la construcción evitan los problemas de cimentación; las excavaciones se pueden planear y dirigir más inteligentemente; se puede conocer de manera más sistematizada como reaccionarán los materiales; se pueden prevenir los efectos de erosión y se encauzan y conocen mejor los cursos de aguas, tanto superficiales como subterráneas. En Obras hidráulicas, también es apoyo al momento del manejo del nivel freático o de la

necesidad de realizar algún control fluvial, cuando se desea ubicar centrales hidroeléctricas o cimentar presas. En obras viales la geología juega un papel importante, pues en la mayoría de las carreteras, túneles y demás obras viales es necesario conocer la calidad de la roca para poder realizar los cortes y rellenos. (ver figura 1)



Figura 1. El geólogo hace las anotaciones y levantamiento topográfico para la evaluación de una futura carretera. (elaboración propia).

En definitiva solo el fin de la creatividad es lo que puede limitar a un geólogo para que colabore en actividades donde la ingeniería esté trabajando.



## **GEOFÍSICA**

En las próximas líneas se disertará sobre esta rama de las ciencias de la Tierra y su uso en el área ingenieril.

### **Generalidades**

La Geofísica también forma parte de la Geociencia, encargándose del estudio del planeta Tierra desde el punto de vista de la Física. La geofísica se centra en abarcar todos los estudios de los fenómenos relacionados con la estructura, condiciones físicas e historia evolutiva de la Tierra. Esta área está clasificada dentro de las disciplinas experimentales, por lo cual usa para su estudio métodos cuantitativos físicos como la física de reflexión y refracción de ondas mecánicas, y una serie de métodos basados en la medida de la gravedad, de campos electromagnéticos, magnéticos o eléctricos y de fenómenos radiactivos. En algunos casos dichos métodos aprovechan campos o fenómenos naturales (gravedad, magnetismo terrestre, mareas, terremotos y tsunamis) y en otros son inducidos por el hombre (campos eléctricos y fenómenos sísmicos). Uno de los mayores aportes conocidos ha sido la posibilidad de conocer el interior de la Tierra basados en las ondas de reflexión y refracción.

### **Exploración geofísica en la ingeniería**

Dentro de la geofísica se distinguen dos grandes ramas: La geofísica interna y la geofísica externa. Ambas generan importantes aportes útiles para la ingeniería.

En primer lugar la geofísica interna analiza la superficie y el interior de la Tierra y los principales temas que estudia son:

Gravimetría, estudia el campo gravitatorio terrestre. Sismología, estudia los terremotos y la propagación de las ondas elásticas que se generan en el interior de la Tierra. Geomagnetismo, estudia el campo magnético terrestre, tanto el interno generado por la propia Tierra como el externo, inducido por la Tierra y por el viento solar en la ionosfera. Oceanología, estudia el océano. Paleomagnetismo, se ocupa del estudio del campo magnético terrestre en épocas anteriores del planeta. Geotermometría, estudia procesos relacionados con la propagación de calor en el interior de la Tierra.

La prospección geofísica, usa métodos cuantitativos para la localización de recursos naturales como petróleo, agua, yacimientos de minerales, cuevas, o artificiales como yacimientos arqueológicos.

La ingeniería geofísica o geotecnia, usa métodos cuantitativos de prospección para la ubicación de yacimientos de minerales e hidrocarburos, así como para las obras públicas y construcción en general. Lo cual es económicamente muy importante.

Por último y no menos importante, la geofísica externa estudia las propiedades físicas del entorno terrestre, como la Meteorología, Aeronomía, estudio de la ionosfera y magnetosfera. Las cuales son herramientas muy importantes e útiles para las compañías de transporte aéreo y marítimo, entre otros.

## ROCAS Y MINERALES

Desde un principio se ha planteado la necesidad del geólogo en diferentes proyectos para poder sacar el máximo provecho a las rocas y a los minerales, pero hasta el momento no se ha realizado en este informe una revisión a las principales características de estos materiales de la Tierra. A continuación se pretende mostrar un pequeño recorrido que aclarará con más detalle lo importante de los materiales de los que hablamos, su uso y principales características.

### Origen de las rocas

A nuestro alrededor existen diferentes tipos de rocas, pero cabría preguntarse ¿Cuál es su origen? Una roca se compone de dos o más minerales, los cuales se convierten en su sustancia básica. Cuando estos minerales se agrupan unos con otros, de forma estable, se forman los agregados llamados rocas. El tipo de roca depende exclusivamente del proceso geológico que la ha originado. Básicamente existen tres tipos de rocas:

Rocas Ígneas que se forman a partir de un proceso de enfriamiento de metales fundidos y su posterior solidificación, esta fusión puede ocurrir a grandes profundidades (rocas intrusivas) como por ejemplo el granito o a nivel somero (rocas extrusivas), como por ejemplo la solidificación de la lava de los volcanes.

Rocas Sedimentarias que se originan a partir de la desintegración de las rocas superficiales terrestres, fragmentos que son trasladados por las aguas y el aire hacia partes más bajas del planeta depositándose hacia el fondo del mar, ríos o lagos en forma de estratos. Las capas superiores se van solidificando por el peso hasta formar rocas, como por ejemplo las Areniscas.

Rocas Metamórficas, su origen puede ser ígneo o sedimentario que sufren transformaciones posteriores originados por cambios de presión y temperatura, por ejemplo los esquistos.

### **Ciclo de formación de las rocas**

Las rocas están constantemente formándose, depositándose y hundiéndose hacia abajo y después volviéndose a formar una y otra vez. Esto se conoce como el ciclo de las rocas (ver figura 2). Dicho cambio lleva millones de años a las rocas. La erosión es una parte clave del ciclo de las rocas. Es responsable de formar una gran parte de los paisajes interesantes que nos rodean, la erosión sucede principalmente como resultado del desgaste por la acción atmosférica y el agua, especialmente la lluvia ácida.

Cuando los volcanes entran en erupción y la roca líquida viene hasta la superficie de la tierra, se crea la nueva roca ígnea. Cuando la roca es líquida dentro de la tierra, se llama magma. Cuando el magma es expulsado a la superficie y fluye, como sucede cuando un volcán entra en erupción, después el líquido se llama lava. Ambos procesos originan las rocas ígneas que son el inicio del ciclo de las rocas.

Cuando las montañas se forman inicialmente, son altas y dentadas, al cabo de cierto tiempo (millones de años) se convierten en montañas viejas y se redondean y bajan mucho de altura. Lo que sucede en medio de este tiempo es que porciones de roca son arrancadas debido a la erosión. Eventualmente la mayoría de los pedacitos quebrados de las rocas caen en los ríos y en las corrientes que fluyen abajo de las montañas. Estos pequeños pedacitos de arena y de roca se llaman los sedimentos. Cuando el agua se frena, estos sedimentos se colocan al fondo de los lagos o de los océanos a los que fluye. En un cierto tiempo las capas de arena y de fango en el fondo de los lagos y de los océanos se convirtieron en rocas. Éstas se llaman rocas sedimentarias.

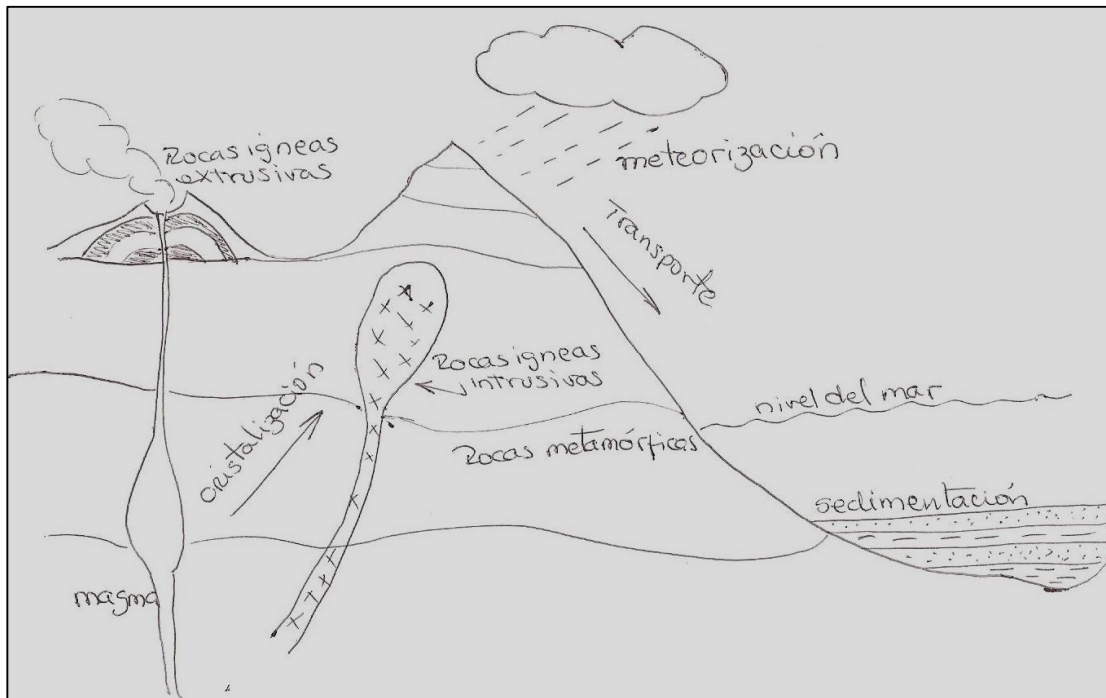


Figura 2. Ciclo de las rocas. (elaboración propia)

Las rocas metamórficas son las rocas que han cambiado, originalmente eran ígneas o sedimentarias, pero debido al movimiento de la corteza de la Tierra, fueron cambiadas. Cuando la corteza de la Tierra se mueve, hace que rocas se compriman tan fuertemente que el calor hace transformar las rocas. El mármol es un ejemplo de una roca sedimentaria que se ha transformado en una roca metamórfica. De esta manera se completa el ciclo de las rocas y logramos tener la variedad de rocas que se estudian y explotan en la actualidad.

### Modos de ocurrencia de las rocas

Las rocas se agrupan según características similares de génesis. Las rocas ígneas se encuentran formando batolitos, diques o lacolitos si son intrusivas (ver figura 3). Las ígneas extrusivas tienden a formar capas o mantos, lo cual es el resultado del enfriamiento de la lava sobre la superficie.

Las rocas sedimentarias se acumulan en capas o mantos, debido a su acumulación progresiva tienden a tener una marcada estratificación.

Por último las rocas metamórficas que se generan por compresión tienden a mantenerse estratificadas o plegadas.

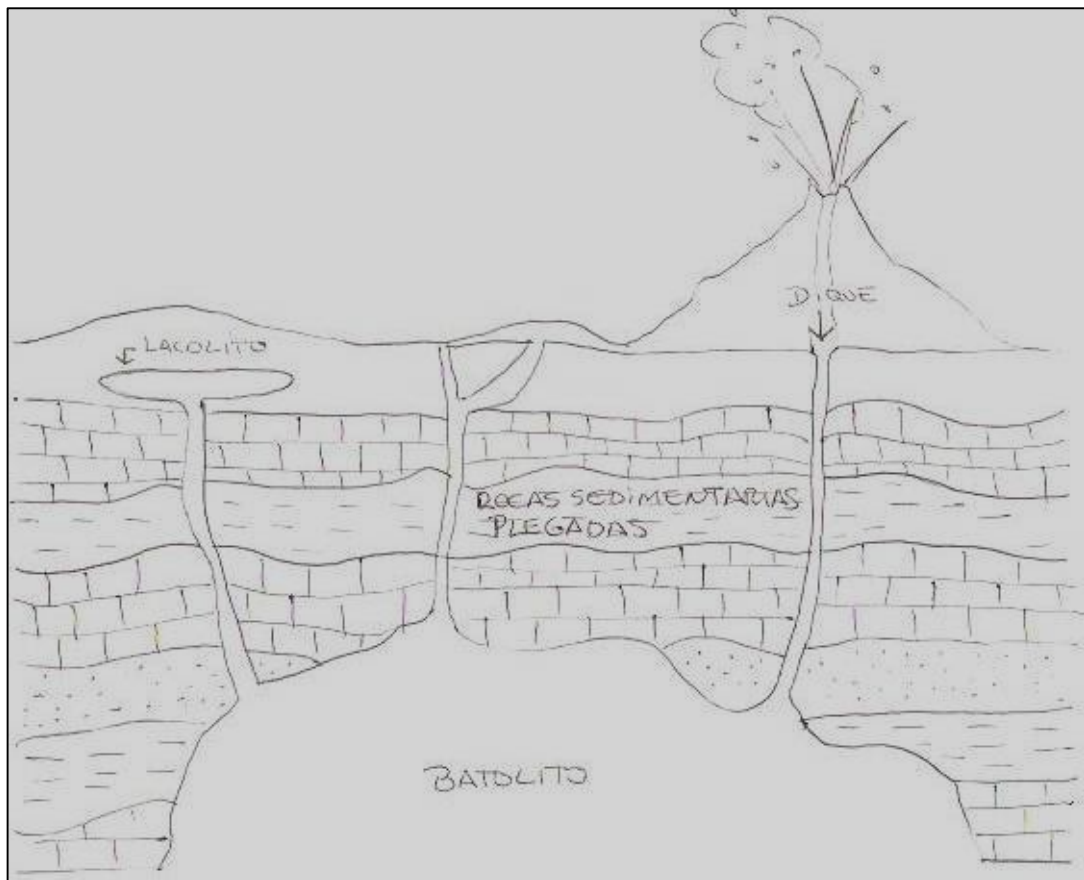


Figura 3. Modos de ocurrencia de las rocas. (elaboración propia)

La tectónica estudia las deformaciones de las rocas y las estructuras resultantes de dichas deformaciones, producidas por las fuerzas internas que actúan en la Tierra y, en ocasiones, por la acción de la fuerza de la gravedad. Se denomina esfuerzo al conjunto de fuerzas que afectan a un cuerpo material y tienden a deformarlo, pueden ser básicamente de tres tipos: Compresión, producido por fuerzas que actúan convergentemente en una misma dirección. Distensión (tensión, estiramiento o tracción), producida por fuerzas divergentes que actúan en una misma dirección o Cizallamiento, originado por fuerzas paralelas que actúan en sentidos opuestos.

Se dice que un cuerpo es perfectamente elástico cuando la relación entre esfuerzo y deformación es constante. Cuando dicha relación no es constante se produce una deformación plástica y, aunque se retire el esfuerzo, el cuerpo quedará con una deformación permanente. Los factores que afectan la deformación de las rocas son la duración del esfuerzo, la temperatura, la presencia de agua que aumenta la plasticidad de las rocas, la existencia de planos de estratificación o esquistosidad que hace variar el comportamiento de las rocas dependiendo de la dirección del esfuerzo en relación con estos planos.

Las principales estructuras tectónicas son los pliegues, deformaciones dúctiles (continuas) de las rocas producidas por fuerzas de compresión. Su magnitud varía desde unos pocos milímetros (micropliegues) hasta decenas de kilómetros y las fracturas, término general que incluye a las roturas de rocas con desplazamiento relativo de los bloques rocosos (fallas) y aquellas que no presentan desplazamientos apreciables (diaclasas).

## **Minerales que forman las rocas**

Un mineral es una sustancia natural, homogénea, de origen inorgánico, de composición química definida, posee unas propiedades (físicas y químicas) características y, generalmente, tiene estructura de un cristal (forma cristalina). Se requieren al menos dos minerales para formar una roca. Los minerales tienen un sinnúmero de aplicaciones que abarcan los más variados campos de la actividad humana, por ejemplo variedades de cuarzo y silicatos, producen el vidrio; el grafito, para las minas de lápices; mezclas de minerales producen componentes para computadoras. Los minerales que entran en la categoría de piedras preciosas o semipreciosas, como los diamantes, topacios, rubíes, se destinan a la confección de joyas. Los nitratos y fosfatos son utilizados como abono para la agricultura. Por último ciertos materiales, como el yeso, son utilizados profusamente en la construcción.

Dentro del grupo de minerales formadores de rocas, los principales son:

Grupo de los feldespatos: Los feldespatos son los minerales más abundantes en la naturaleza. El grupo tiene especial interés e importancia, porque la clase y la cantidad de feldespato es la base para una clasificación detallada de las rocas ígneas.

Cuarzo: Los granos grises o incoloros de cuarzo son muy frecuentes en muchas clases de rocas.

Grupo de los anfíboles: Su composición es silicatos hidratados complejos de calcio, magnesio, hierro, aluminio.

Grupo de los piroxenos: Semejantes a los anfíboles, su composición: silicatos complejos que contienen calcio, magnesio, alúmina, hierro.

Grupo de las micas: Los más comunes son la muscovita o mica blanca (silicato de potasio y aluminio, incoloro o de tinte plateado, con brillo perlado, y especialmente de un cruceo muy perfecto, que permite que el mineral se rompa formando laminas elásticas), biotita o mica negra (es un silicato complejo de potasio, magnesio, hierro y aluminio).



Olivino: El olivino es un mineral verde, vítreo, generalmente granular, compuesto de magnesio, hierro y sílice.

Calcita: Es un carbonato de calcio. Mineral muy extendido que ocurre en masas granulares, efervescente en ácido.

Dolomita: Es un carbonato de calcio y de magnesio. Similar a la calcita, pero menos efervescente.

Yeso: Se presenta como espato lustroso fibroso, alabastro compacto y selenita cristalina; el yeso es un producto abundante de la evaporación.

Anhidrita: Parecido al yeso, mineral muy abundante, blanco.

Halita: Es la sal común o sal gema.

Clorita: Semejante a la mica verde pero flexible.

Serpentina: Mineral masivo, liso, grasoso, una variedad se llama crisólito, es la clase más importante de los asbestos.

### **Características físicas de las rocas**

La identificación de los minerales en las rocas o suelos es de mucha importancia ya que a través de ellos se puede determinar el tipo de roca o suelo.

Existen varios métodos, el megascópico, cuando es utilizada la observación de un mineral a simple vista o con lupa y los métodos analíticos entre los cuales tenemos.

Método de láminas delgadas, cuando se agarra un pedazo de roca y se pule en el laboratorio y se observa en un microscopio petrográfico y el método de rayos X, el cual se utiliza cuando la muestra presenta granos finos.

También para el reconocimiento mineral se utilizan las propiedades físicas de los minerales constituyentes de las rocas. Los más utilizados son: Color: El color que presentan los minerales suele ayudar a clasificarlos. Los minerales presentan el color inherente al mineral. Raya: Si un mineral es raspado en un pedazo de porcelana blanca, deja marcada una raya de determinado color que también sirve para

identificarlo. Raspadura: Es más característico que el color por lo tanto es más útil para la identificación, es el color del mineral en polvo. Crucero: Es su capacidad de romperse más fácilmente en unas direcciones que en otras debido a la disposición de los átomos. Exfoliación: Si se da un golpe seco a un mineral se romperá generalmente a lo largo de un plano definido llamado plano de clivaje o exfoliación. Fractura: Se llama fractura de un mineral al aspecto que presenta cuando se rompe. Tenacidad: Es la capacidad de un mineral para mantenerse sin romperse o doblarse. Peso específico: Es la relación que existe entre el peso de un volumen determinado de un mineral, y el peso de otro volumen igual de agua pura a una temperatura de 4°C. Densidad: Mientras la roca es más densa posee resistencia alta, al ser menos densa es más porosa. Dureza: La dureza de un mineral se determina por su capacidad para rayar o ser rayado por otros de acuerdo con la escala de dureza llamada escala de Mohs. Brillo o lustre: Es el aspecto del mineral a la luz ordinaria (es aspecto debido a la reflexión de la luz sobre su superficie).

### **Uso de las rocas**

Diversos son los usos de las rocas. En el área de la ingeniería civil los principales usos según el tipo de rocas son: IGNEAS: Granito: Pedraplenes, subbases y bases; Rocas Volcánicas: Según dureza, en bases, Rocas Basálticas: Aglomerados asfálticos u hormigones, Pórfidos: Pavimentos. SEDIMENTARIAS: Silíceas: Áridos para hormigón, asfaltos, fundaciones; Aglomeradas: Cimientos; Arcillosas: Malas para fundación; Cálizas: Taludes verticales, Fundaciones, rellenos, aglomerados asfálticos. METAMORFICAS: Fundación de terraplenes (Es importante acotar que en el terraplén de donde se extrae la roca no tiene capacidad de soporte y es alterable). Todos los tipos de rocas, tienen también, un notorio uso en la industria metal-mecánica, en la fabricación de piezas eléctricas y electrónicas, en joyería y con fines energéticos (por ejemplo el carbón).

## **SUELOS**

El suelo es considerado como uno de los recursos naturales más importantes, de ahí la necesidad de mantener su productividad, para que a través de él y las prácticas agrícolas adecuadas se establezca un equilibrio entre la producción de alimentos y el acelerado incremento del índice demográfico.

El suelo es esencial para la vida, como lo es el aire y el agua, y cuando es utilizado de manera prudente puede ser considerado como un recurso renovable. Es un elemento de enlace entre los factores bióticos y abióticos y se le considera un hábitat para el desarrollo de las plantas. Gracias al soporte que constituye el suelo es posible la producción de los recursos naturales, por lo cual es necesario comprender las características físicas y químicas para propiciar la productividad y el equilibrio ambiental (sustentabilidad). En las próximas líneas profundizaremos sobre como se forman, los tipos de suelos y la mecánica de estos.

### **Formación de los suelos**

Los términos roca y suelo, en las acepciones en que son utilizados por el ingeniero civil y a diferencia del concepto geológico que supone roca a todos los elementos constitutivos de la corteza terrestre, implican una clara diferencia entre dos tipos de materiales. La roca es considerada como un agregado natural de partículas minerales unidas mediante grandes fuerzas cohesivas. Y se llama roca a todo material que suponga una alta resistencia, y suelo, contrariamente, a todo elemento natural compuesto de corpúsculos minerales separables por medios mecánicos de poca intensidad, como son la agitación en agua y la presión de los dedos de la mano.

Para distinguir un suelo de una roca se puede hacer uso de un vaso de precipitado con agua en el que se introduce la muestra a clasificar y se agita. La desintegración del

material al cabo del tiempo de agitación (menor a un minuto) conduce al calificativo de suelo, considerándose roca en el caso de efectos contrarios. Por medio de la compresión se puede establecer una frontera numérica; si el material rompe a menos de 14 kilogramos por centímetro cuadrado ( $\text{kg/cm}^2$ ) se toma como suelo, significándose que tal límite es arbitrario y que, en ocasiones, muestras que superan en el laboratorio el supradicho esfuerzo son manejadas con los criterios de suelo.

Con el paso del tiempo y debido a fenómenos de meteorización, la roca va perdiendo progresivamente su resistencia mecánica y se transforma en suelo.

La palabra suelo se deriva del latín *solum*, que significa suelo, tierra o parcela.

El suelo es resultado de la interacción de cinco factores: El material parental, el relieve, el tiempo, el clima, y los seres vivos. Los tres primeros factores desempeñan un rol pasivo, mientras que el clima y los seres vivos participan activamente en la formación del suelo.

El material parental o roca madre es el sustrato a partir del cual se desarrolla el suelo. De éste se deriva directamente la fracción mineral del suelo y ejerce una fuerte influencia sobre todo en la textura del suelo.

El clima influye en la formación del suelo a través de la temperatura y la precipitación, los cuales determinan la velocidad de descomposición de los minerales y la redistribución de los elementos; así como a través de su influencia sobre la vida animal y vegetal.

Los seres vivos (plantas, animales, bacterias y hongos) son el origen de la materia orgánica del suelo y facilitan su mezcla con la materia mineral.

El relieve afecta a la cantidad de agua que penetra en el suelo y a la cantidad de material que es arrastrado, sea por el agua o el viento.

El tiempo es necesario para un completo desarrollo del suelo. El tiempo de formación de un pequeño volumen de suelo es muy largo ( $1 \text{ cm}^3$  de suelo puede tardar entre 100 y 1000 años en formarse) pero su destrucción es muy rápida.

Las propiedades físicas de los suelos dependen de la composición mineralógica, de la forma y del tamaño de las partículas que lo forman y del ambiente que los rodea. El tamaño, la forma y la composición química de las partículas determinan la

permeabilidad, la capilaridad, la tenacidad, la cohesión y otras propiedades resultantes de la combinación de todos los integrantes del suelo.

## **Tipos de suelos**

Existen variadas de maneras de definir los tipos de suelos. Los criterios más utilizados para la clasificación de los suelos son: los Petrográficos, los Genéticos y los Climáticos.

La Clasificación Petrográfica: Es aquella que toma en cuenta el predominio de uno de los integrantes de la fracción mineral del suelo, de donde resultan suelos silíceos, arcillosos, calizos, salinos, etc.

La Clasificación Genética: Es aquella que toma en cuenta el proceso que dio origen a los suelos. Esta divide los suelos en: Suelos Autóctonos (aquellos que resultan del proceso de desintegración de las rocas de un lugar, sin que los materiales desintegrados sean transportados a otros, por los que estos se quedan cubriendo la roca madre) y los Suelos Alóctonos (Son los que se forman por los componentes que han llegado de fuentes de suministro alejadas del lugar de depósito).

La Clasificación Climática: Está relacionada con las condiciones climáticas.

En general, la clasificación de los suelos suele basarse en la morfología y la composición del suelo, con énfasis en las propiedades visibles, o medibles. A continuación se presentan algunas clasificaciones (modificadas de Coti, M., 2000)

### Clasificación N° 1

- Suelos Zonales: Suelos que reflejan la influencia del clima y la vegetación como los controles más importantes.
- Suelos Azonales: Son aquellos que no tienen límites claramente definidos y no están mayormente influenciados por el clima.
- Suelos Intrazonales: Son aquellos que reflejan la influencia dominante de un factor local sobre el efecto normal del clima y la vegetación.

### Clasificación N° 2

- Suelos Exodinamórficos: Son aquellos suelos que reflejan la influencia del clima y la vegetación.
- Suelos Endodinamórficos: Son aquellos suelos influenciados por el material parental.

### Clasificación N° 3

- Pedocales: Suelos con acumulación de carbonatos de calcio, generalmente están en ambientes áridos y semiáridos.
- Pedalfers: Suelos con alta lixiviación y segregación de Al y Fe, generalmente están en ambientes húmedos.

Otras clasificaciones contemplan que existen básicamente tres tipos de suelos: los no evolucionados, los poco evolucionados y los muy evolucionados; atendiendo al grado de desarrollo del perfil, la naturaleza de la evolución y el tipo de humus.

Los suelos no evolucionados son suelos brutos muy próximos a la roca madre. Apenas tienen aporte de materia orgánica.

Si son resultado de fenómenos erosivos, pueden ser: regosoles, si se forman sobre roca madre blanda, o litosoles, si se forman sobre roca madre dura. También pueden ser resultado de la acumulación reciente de aportes aluviales. Aunque pueden ser suelos climáticos, como los suelos poligonales de las regiones polares, los reg (o desiertos pedregosos), y los ergs, de los desiertos de arena.

Los suelos poco evolucionados dependen en gran medida de la naturaleza de la roca madre. Existen tres tipos básicos: los suelos ránker, los suelos rendzina y los suelos de estepa. Los suelos ránker son más o menos ácidos y tienen un humus de tipo moder o mor. Pueden ser fruto de la erosión, si están en pendiente, del aporte de materiales coluviales, o climáticos, como los suelos de tundra y los alpinos. Los suelos rendzina se forman sobre una roca madre carbonatada, como la caliza, y suelen ser fruto de la erosión. El humus típico es el mull y son suelos básicos. Los suelos de estepa se desarrollan en climas continentales y mediterráneo subárido.

Los suelos evolucionados son los suelos que tienen perfectamente formados los tres horizontes. Encontramos todo tipo de humus, y cierta independencia de la roca

madre. Los suelos típicos son: los suelos pardos, lixiviados, podsólicos, podsoles, ferruginosos, ferralíticos, pseudogley, gley y halomorfos (solonchaks, alcalinos, solonetz y solods).

## **Mecánica de suelos**

En ingeniería, la mecánica de suelos es la aplicación de las leyes de la física y las ciencias naturales a los problemas que involucran las cargas impuestas a la capa superficial de la corteza terrestre. Esta ciencia fue fundada por Karl von Terzaghi, a partir de 1925.

Todas las obras de ingeniería civil se apoyan sobre el suelo de una u otra forma, y muchas de ellas, además, utilizan la tierra como elemento de construcción para terraplenes, diques y rellenos en general; por lo que, en consecuencia, su estabilidad y comportamiento funcional y estético estarán determinados, entre otros factores, por el desempeño del material de asiento situado dentro de las profundidades de influencia de los esfuerzos que se generan, o por el suelo utilizado para conformar los rellenos. Si se sobrepasan los límites de la capacidad resistente del suelo o si, aún sin llegar a ellos, las deformaciones son considerables, se pueden producir esfuerzos secundarios en los miembros estructurales, quizás no tomados en consideración en el diseño, productores a su vez de deformaciones importantes, fisuras, grietas, alabeo o desplomos que pueden producir, en casos extremos, el colapso de la obra o su inutilización y abandono.

Es por esta razón que las condiciones del suelo como elemento de sustentación y construcción y las del cimiento como dispositivo de transición entre aquel y la supraestructura, han de ser siempre observadas a través de una correcta investigación de mecánica de suelos.

## EXPRESIÓN TOPOGRÁFICA

Desde el inicio del tiempo, el ser humano ha buscado herramientas que le sirvan para ubicarse espacialmente, desde las huellas y pistas para no perderse en un camino, hasta los hoy día complicados modelos de representación de la tierra en 3 dimensiones, pero no somos los únicos, abejas, hormigas y algunos insectos han demostrado tener la capacidad de comunicarse entre sí, mediante esquemas y señales, para poder representar a los similares como hallar una localidad.

Lo que si nos diferencia, es la capacidad de dejar esto graficado en el tiempo. Históricamente, gracias a los mapas se han podido dejar la clave para encontrar tesoros maravillosos, también, con fines bélicos, los mejores sitios y estrategias para atacar al enemigo y en el mejor de los casos, con fines económicos y comerciales, utilizar las representaciones para fines ingenieriles, que van desde realizar un camino hasta los hoy día llamados “megaproyectos”, es decir, edificaciones inmensas, grandes parques y plantas generadoras de electricidad, sólo por mencionar algunos.

En este capítulo se pretende resumir la utilidad de esta valiosa herramienta, comenzando por explicar que es la topografía, luego definir cuales son las formas topográficas más usuales y que requieren de representación gráfica y para finalizar, discernir sobre las diferentes herramientas, tanto en mapas como en perfiles que hay hoy en día.

### Conceptos Básicos

Antes de iniciar un recorrido por las diferentes formas de expresiones topográficas, es indispensable aclarar ciertos términos:

Mapas: Es una representación gráfica y métrica de una porción de territorio sobre una superficie bidimensional, generalmente plana, pero que puede ser también esférica



como ocurre en los globos terráqueos. El que el mapa tenga propiedades métricas significa que ha de ser posible tomar medidas de distancias, ángulos o superficies sobre él y obtener un resultado aproximadamente exacto. Los mapas más comunes son: *administrativo* (representa los hechos principales de la organización administrativa de un territorio especialmente las cuestiones relativas a las fronteras, divisiones y capitales), *batimétrico* (hidrográfico que representa el relieve de zonas sumergidas), *de base* (mapa inicial que resulta de un levantamiento topográfico o fotogramétrico), *catastral* (representa los límites de la propiedad de la tierra. Sinónimo complementario: plano catastral), *de corrientes* (representa la velocidad y la dirección de las corrientes marinas), *de curvas de nivel* (representa un relieve mediante curvas de nivel), *de carreteras* (representa fundamentalmente las carreteras que se muestran clasificadas en categorías según sea su importancia viaria), *de líneas de navegación marítima*, *de pendientes* (representa los diferentes grados de pendiente de un territorio), *físico* (representa los rasgos fisiográficos principales de un territorio), *general* (representa un conjunto de fenómenos geográficos básicos y diversos tales como las costas, la hidrografía, el relieve, las poblaciones, las carreteras, los límites administrativos, la toponimia, etc.), *geomorfológico* (mapa temático que representa las formas del relieve según su génesis, las dimensiones, los tipos y sus relaciones con la estructura y su dinámica), *geopolítico* (mapa que, mediante una simbología adecuada, representa teorías y hechos de la geopolítica), *hidrográfico* (representa fundamentalmente, los cursos de los ríos y las superficies con agua), *minero* (mapa a gran escala que representa la situación y la extensión de una área de explotación minera en la que se describe tanto sus formas topográficas externas como sus estructuras subterráneas. Nota: a menudo una serie de cortes o secciones verticales completan la información cartográfica), *topográfico* (representa la planimetría y la altimetría de las formas y dimensiones de elementos concretos, fijos y duraderos de una zona determinada de la superficie de un terreno), *turístico* (incluye información útil para el turismo relativa a la localización urbana y a las vías de comunicación destacando los puntos de interés histórico, paisajístico, etc.).

Curvas de nivel: Se refiere a aquella línea que en un mapa une todos los puntos que poseen igualdad de condiciones de altura o cota. La equidistancia, diferencia de altitud entre dos curvas sucesivas, es constante y su valor depende de la escala del mapa y de la importancia del relieve.

Escala Topográfica: Es la relación matemática que existe entre las dimensiones reales y las del dibujo que representa la realidad sobre un plano o un mapa. Las escalas se escriben en forma de fracción donde el numerador indica el valor del plano y el denominador el valor de la realidad. Por ejemplo la escala 1:500, significa que 1 cm del plano equivale a 500 cm. en la realidad. Existen tres tipos de escalas: *Escala natural* (Es cuando el tamaño físico de la pieza representada en el plano coincide con la realidad), *Escala de reducción* (Se utiliza cuando el tamaño físico del plano es menor que la realidad) y *Escala de ampliación* (Cuando hay que hacer el plano de piezas muy pequeñas o de detalles de un plano se utilizan la escala de ampliación en este caso el valor del numerador es más alto que el valor del denominador).

### **¿Qué es la topografía?**

Es la ciencia que estudia el conjunto de procedimientos para determinar las posiciones de puntos sobre la superficie de la tierra, utilizando para ello la medición de los 3 elementos del espacio. Estos elementos pueden ser: dos distancias y una elevación, o una distancia, una dirección y una elevación.

Para distancias y elevaciones se emplean unidades de longitud (el más común es el sistema métrico decimal), y para direcciones se emplean unidades de arco (grados sexagesimales).

El conjunto de operaciones necesarias para determinar las posiciones de puntos y posteriormente su representación en un plano es lo que se llama comúnmente "Levantamiento".

El levantamiento es un conjunto de operaciones que determinan las posiciones de puntos, la mayoría calculan superficies y volúmenes y la representación de medidas tomadas en el campo se realizan mediante perfiles y planos topográficos.

Básicamente existen dos tipos de levantamientos (topográficos y geodésicos).

Los levantamientos Topográficos pretenden abarcar superficies reducidas despreciando la curvatura de la tierra sin error apreciable, los más usuales son: 1. De terrenos en general (marcan linderos o los localizan, miden y dividen superficies, ubican terrenos en planos generales). 2. De vías de comunicación (estudia y construye caminos, ferrocarriles, canales, líneas de transmisión, etc.). 3. De minas (fija y controla la posición de trabajos subterráneos y los relaciona con otros superficiales). 4. Levantamientos catastrales (se hacen en ciudades, zonas urbanas y municipios, para fijar linderos o estudiar las obras urbanas). 5. Levantamientos aéreos (se hacen por fotografía, generalmente desde aviones y se usan como auxiliares muy valiosos de todas las otras clases de levantamientos). La teoría de la topografía se basa esencialmente en la Geometría Plana y del Espacio, Trigonometría y Matemáticas en general.

Los levantamientos geodésicos, son levantamientos en grandes extensiones y se considera la curvatura terrestre, pero no son los más usuales.

Al realizar cualquier tipo de levantamiento es sumamente importante tener con consideración y de ser posible, evitar los errores, tanto de carácter humano como de tipo instrumental, de hecho en la mayoría de los levantamientos se tienen en cuenta y existen fórmulas y procedimientos para distribuir este error cuando está presente.

Las herramientas más utilizadas en la actualidad para estos levantamientos son la cinta de medida, el teodolito, la brújula, las planchetas y el GPS (*global position system*) (ver figura 4).



Figura 4. El geólogo lleva en su mano derecha un GPS para ubicar puntos geográficos de interés. (elaboración propia).

### **Formas topográficas**

La Tierra adopta diferentes formas pero esto no es al azar, es producto de muchos factores que influyen directamente sobre el relieve. Cuando hacemos referencia al relieve, se está conversando sobre las formas que tiene la litosfera (o corteza terrestre), sea emergida o no. La geomorfología, es la rama de la geografía física y ciencias de la tierra que estudia de manera descriptiva y explicativa el relieve de la Tierra, el cual es el resultado de un balance dinámico entre procesos constructivos y destructivos, dinámica que se conoce de manera genérica como ciclo geomorfológico. Cada proceso geomórfico le da rasgos distintivos al terreno y desarrolla conjuntos o agregados de “*landforms*” de los cuales el origen de las formas se puede identificar.

Los procesos responsables por la mayor parte de las formas topográficas son: meteorización, procesos gravitacionales, corrientes de aguas superficiales, agua subterránea, glaciares, olas, viento, tectonismo y volcanismo.

Los principales relieves, tomando en cuenta la morfología y la altura (altimetría) son:

1. Planicies, definidas como extensiones de terreno llano o ligeramente quebrado, de acuerdo con su altura medida en referencia al nivel del mar (msnm) se dividen en bajiplanicies (llanos con altitud inferior a 700 msnm) (ver figura 5), mediplanicies (con elevación entre 700 y 1400 msnm) y altiplanicies (terreno llano a más de 1400 msnm).



Figura 5. Representación de una Bajiplanicie. (elaboración propia).

2. Eminencias, se refiere a partes de terreno relativamente elevado respecto a los alrededores. Entre ellas encontramos cerros (eminencias de no más de 700 msnm. Si su altura es mínima, existen más o menos aisladas y tienen laderas de pendiente suave y formas redondeadas se llaman colinas) (ver figura 6) y montañas (eminencias superiores a los 700 msnm). El conjunto de eminencias forman estructuras conocidas como sierras y cordilleras, macizos montañosos y nudos orográficos, por mencionar algunos.

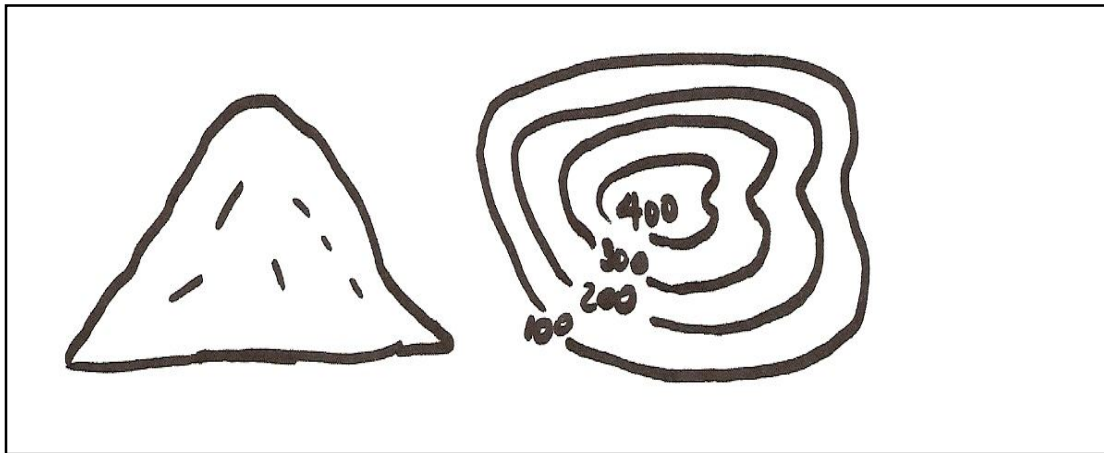


Figura 6. Representación de una colina. Nótese las curvas de nivel redondeadas. (elaboración propia).

3. Depresiones. Hace referencia a terrenos de nivel relativamente menor que el terreno circundante. Cuando se habla de una depresión absoluta se definen terrenos de altitud inferior a la del mar. Las depresiones relativas definen terrenos de menor altitud relativa que los de sus alrededores. Entre ellos tenemos: Valles (depresión entre montañas o rodeada por estas, generalmente conteniendo una corriente de agua. Son propicias para los asentamientos humanos por lo que, sobre todo en las zonas montañosas, suelen ser las partes donde se concentra la población) (ver figura 7), cañones (gargantas profundas de ríos originados por la erosión de éstos o por agentes tectónicos), cañadas (similar a los cañones pero de magnitud menor) y cuencas (es una parte de la superficie terrestre cuyas aguas fluyen hacia un mismo río o lago por lo que tiene forma cóncava, es decir, que constituye una especie de depresión más o menos abierta).

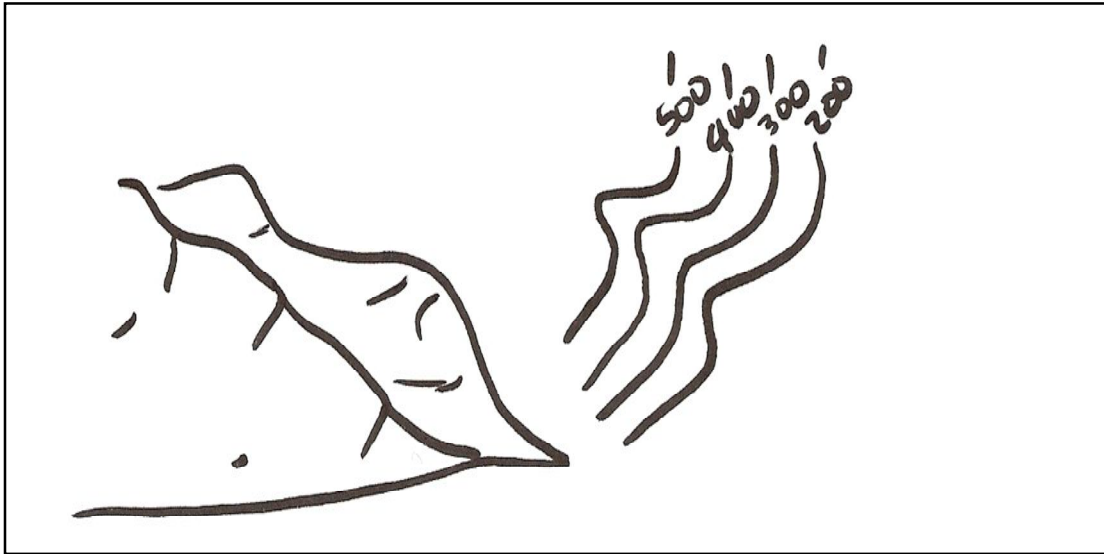


Figura 7. Representación de un valle. La depresión entre dos montañas se observa al formar “V” invertidas en la parte central en la representación de las curvas de nivel. (elaboración propia).

Existen otras formas como volcanes (ver figura 8) y estructuras complejas como drenajes, deltas y meandros de ríos, lo importante es conocer la manera de realizar las representaciones y posteriormente adaptarlas a la zona geográfica y no hacerlo de manera contraria.

Gracias a estas representaciones los profesionales de la ingeniería han sido capaces de resolver grandes problemas de la construcción (en sus diversos tipos y aplicaciones) a nivel mundial.



Figura 8. Representación de un volcán. Nótese que al llegar a la cima, las curvas de nivel comienzan a descender indicando la presencia de un cráter. (elaboración propia).

### **Mapas geológicos y perfiles**

Los mapas geológicos son los requisitos más importantes en la geología y minería. La idea principal de un mapa geológico es la representación de una situación geológica en un mapa (ver figura 9). Es decir se dibujan arriba de una carta topográfica modificada en color o con simbología la litología. Cada estrato, unidad o formación entonces aparece con su propio color o símbolo. Estos mapas permiten una interpretación rápida de un sector de interés. Para confeccionar un mapa se trabajan en varias etapas que parten de un estudio detallado de los antecedentes, análisis de fotos aéreas, la estratigrafía (regional o local), el análisis topográfico y perfiles litológicos necesarios, la definición de las zonas a mapear y finalmente el dibujo del mapa.

Los mapas geológicos tienen una base topográfica (tal vez simplificada). Como informaciones topográficas importantes (cuando es necesario) se incorporan



infraestructura (caminos, ferrocarriles), ríos, pueblos y curvas de nivel con cotas. No se traspasan tipo de vegetación, símbolos especiales topográficos. La base topográfica normalmente tiene solamente un color (negro o café).

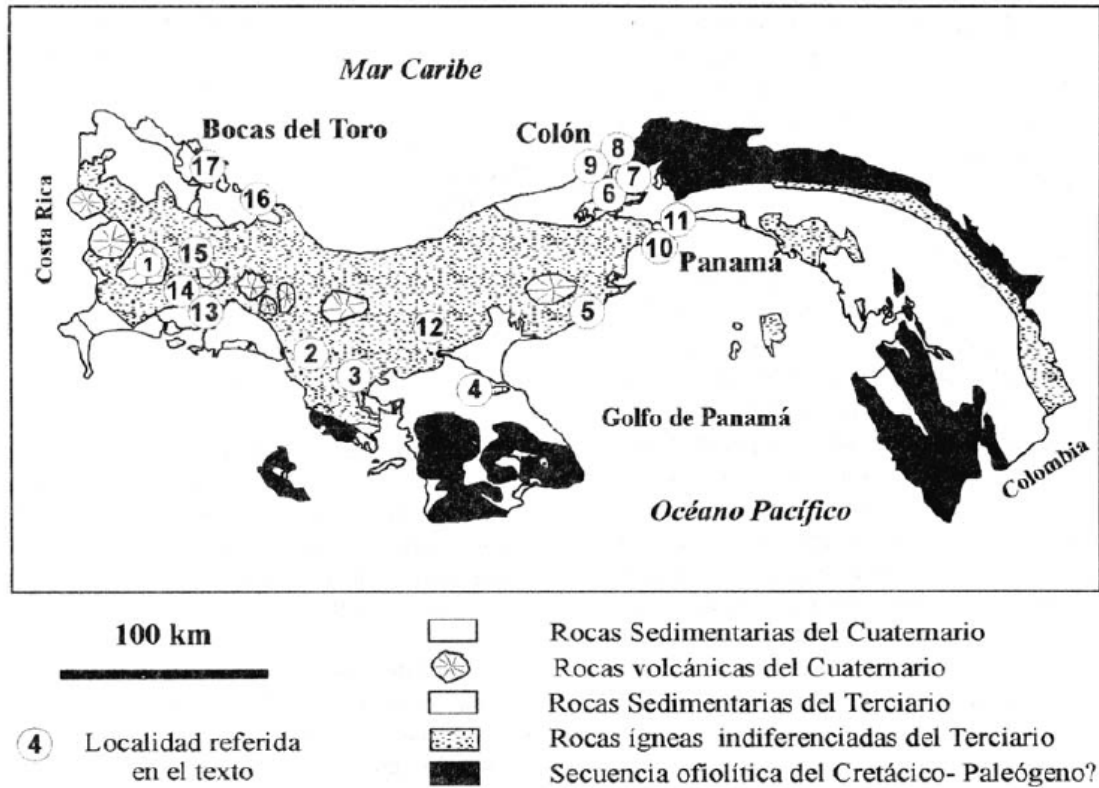


Figura 9. Un ejemplo de mapa geológico: Mapa geológico generalizado de Panamá. Extraído de Badilla, E. *et al* (1999)

Todos los mapas geológicos además representan en gran parte un modelo geológico, es decir en algunos sectores la información geológica tiene su base en la interpretación geológica de los autores. Lo ideal sería la confección de mapas "verdaderos", haciendo referencia a los mapas con un alto porcentaje de información real y solo con poca información interpretada.

Cada mapa tiene su objetivo. Los mapas geológicos de la región tienen un objetivo distinto, según el interés de la empresa que lo elabora, por ejemplo los mapas para una empresa minera o mapas para una empresa de agua potable. Además cada mapa refleja una situación geológica simplificada. La manera de la simplificación pertenece al objetivo del autor del mapa. Por ejemplo los mapas regionales buscan ejemplificar todas las formaciones de la zona para estudios detallados y los mapas para la minería procuran ubicar las rocas y minerales de interés.

Otra de las herramientas utilizadas que parten de los mapas topográficos y ofrecen ayuda en las interpretaciones geológicas son las proyecciones verticales de los terrenos, conocidos como perfiles. La construcción de perfiles topográficos es una práctica muy útil para entender lo que representan los mapas topográficos.

Un perfil topográfico es un corte o sección a lo largo de una línea dibujada en un mapa. En otras palabras, es como si se pudiera rebanar una porción de la Tierra y separarla del resto para poder verla de lado a lado; la superficie de esta rebanada sería el perfil topográfico.

Los perfiles topográficos no solo sirven para entender los mapas topográficos, las personas que estudian los recursos naturales como los geólogos, geomorfólogos, edafólogos y estudiosos de la vegetación, entre otros, construyen perfiles para observar la relación de los recursos naturales con los cambios de topografía y analizar numerosos problemas. Cuando se realiza la prospección de un yacimiento, los perfiles topográficos ayudan a definir la extensión de los materiales de interés e incluso ofrecen una visión integrada cuando se decide realizar correlaciones estratigráficas locales o regionales.

Uno de los aspectos más importantes para los profesionales es no perder el sentido de la ubicación y de la magnitud del área que se está estudiando, por esta razón, tanto los perfiles, como los mapas, deben estar hechos a escala. Pero dado que se manejan dos dimensiones diferentes: horizontal y vertical, cada una puede tener una escala diferente; generalmente la escala horizontal es la misma que la del mapa y la vertical frecuentemente se exagera con el fin de hacer más evidentes los rasgos del relieve. Así por ejemplo, si la escala del mapa es 1:50,000, la escala horizontal del perfil será

1:50,000 y la vertical 1:25,000 si se exagera al doble. Ambas escalas deben venir adecuadamente señaladas en los perfiles.

Para construir un perfil topográfico, primero se debe decidir donde trazar una línea de interés. Esta línea por ejemplo puede cubrir un área que se desea recorrer a pie para levantar una poligonal, por lo que es importante conocer los cambios de pendiente. También puede ser una línea que represente el máximo relieve en el área del mapa o bien una línea que cruza las estructuras geológicas o materiales que se desean interpretar de modo detallado. La siguiente decisión es la escala vertical a usar, lo cual depende del objetivo propuesto.

Una vez que se ha determinado donde quiere dibujarse el perfil, se siguen los siguientes lineamientos: 1) Se dibuja una línea a lápiz a lo largo del perfil elegido, marcando ambos extremos del perfil con claridad (usa letras A y B ó X y Y para cada extremo). 2) Se hace coincidir un papel con la línea trazada. 3) De un extremo hacia el otro, se va marcando en el papel (línea de sección) cada punto donde se cruce una curva de nivel, anotando el valor de la altitud de la curva (se llama cota) justo abajo de la marca de la curva. 4) Una vez seguro de haber marcado adecuadamente las curvas con sus cotas, divisorias y valles, se retira el papel del mapa y se traspasan estos puntos a un papel milimétrico que se ajuste al largo de la sección y que tenga la altura necesaria para la máxima elevación del perfil considerando la escala vertical elegida. 5) Se conectan los puntos de la gráfica con la misma metodología que se usaría en un sistema cartesiano, finalizando el perfil topográfico.

Para resumir lo explicado en el punto anterior y a manera de ejemplo, en la figura 10, puede observarse como se establece una línea AB en un plano topográfico (parte superior de la figura), se trazan unas líneas de referencia que se hacen coincidir con las cotas o curvas de nivel, en la parte inferior se traza un eje de coordenadas y cada punto de coincidencia se traspasa, elaborando de esa manera el perfil topográfico (parte inferior de la figura) y en la figura 11 se muestra la utilidad de un perfil (sólo como un ejemplo sencillo), realizado por el suscrito para evaluar un yacimiento de minerales no metálicos, en el cual se colocan las interpretaciones geológicas de interés para una evaluación de inversión de una empresa minera en Panamá.

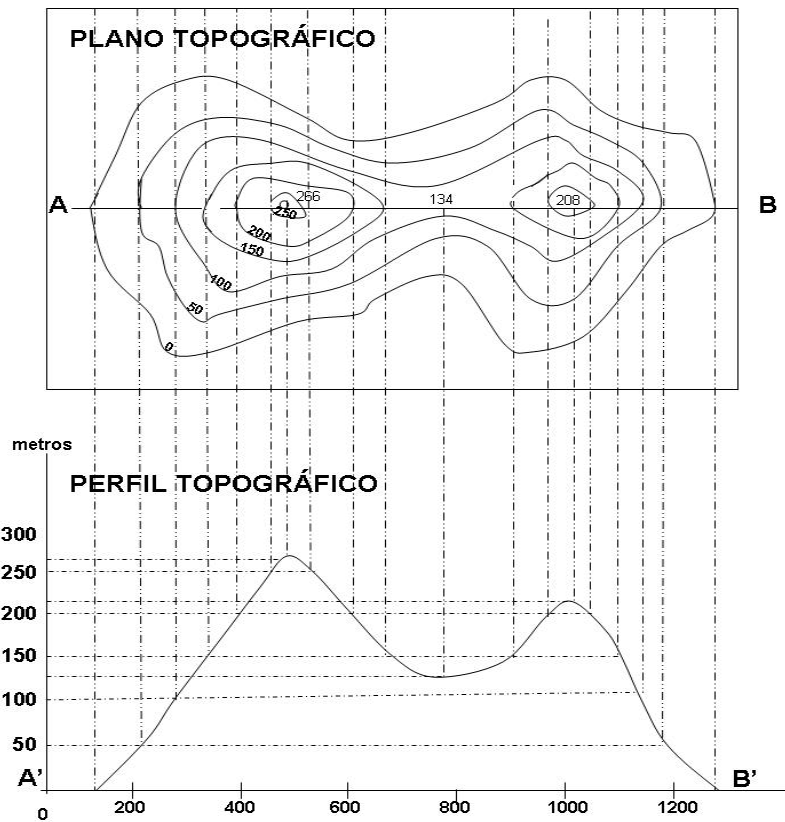


Figura 10. Ejemplo de un perfil topográfico partiendo de un plano topográfico (elaboración propia)

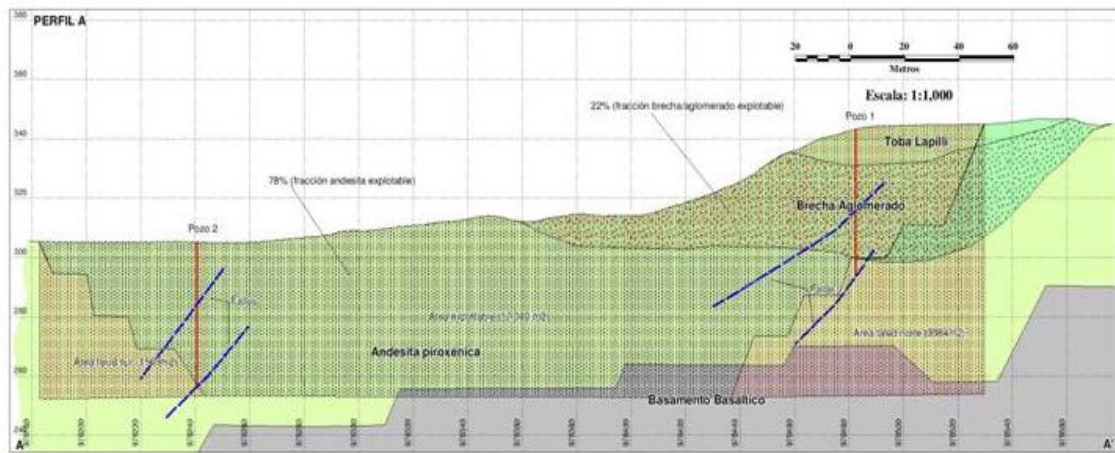


Figura 11. Interpretaciones geológicas sobre un perfil realizado para evaluar una posible explotación minera. Sobre ese perfil se hacen evaluaciones de la dirección de fallamientos y de la litología del área (elaboración propia).

## CONCLUSIONES

La Geología es la rama de las Geociencias que se ocupa del estudio de las características representativas que dan origen a la transformación en el tiempo de nuestro planeta. El estudio de los materiales que posee nuestro planeta y la forma como éstos aparecen y se asocian unos con otros, ha permitido el desarrollo de aplicaciones en diversas áreas de la ciencia, tecnología e ingeniería para resolver problemas técnicos.

A lo largo de este informe se han reseñado las aplicaciones más importantes y usuales de la geología; los puntos más resaltantes se enumeran a continuación:

1. Diversas disciplinas geológicas contribuyen diariamente a la resolución de problemas técnicos, al punto que empresas como las petroleras y mineras requieran diariamente controles estratigráficos, geomorfológicos y geofísicos, sólo por mencionar un ejemplo.
2. La geología ofrece un apoyo importante a la resolución y/o corrección de problemas que se presentan en la ingeniería civil, tanto en suelos como en drenajes y en diversas áreas de la construcción.
3. Los minerales son sustancias inorgánicas, químicamente estables, que en estado sólido se agrupan unos con otros formando rocas.
4. De los minerales reconocidos, los más abundantes y formadores de roca son los feldespatos, el cuarzo, los anfíboles, los piroxenos, las micas, el olivino, la calcita y dolomita, el yeso, la anhidrita, la halita, la clorita y la serpentina.
5. Las rocas se clasifican según su génesis y propiedades físico-químicas.
6. Las rocas cumplen un ciclo partiendo de su formación, depositación, hundimiento y erosión hasta que vuelven nuevamente a formarse. Producto de este ciclo y de su génesis forman diversas estructuras aportando valiosa información al geólogo según su modo de ocurrencia o tectonismo.
7. Las rocas tienen muchos usos en el área de la ingeniería civil, la metal-mecánica, la electrónica, la joyería y en la industria energética.

8. Los suelos se diferencian de las rocas porque las partículas minerales no están unidas, es decir, hay ausencia de una matriz cementante.

9. Existen muchas maneras de clasificar los suelos, pero casi todas coinciden en evaluar la génesis del suelo, el predominio de una fracción mineral sobre otra y las condiciones climáticas y por ende la vegetación existente.

10. La mecánica de suelos es la mejor aplicación geológica para evaluar el suelo como elemento de sustentación de cualquier posible estructura a ser realizada por el hombre.

11. Los mapas y perfiles han demostrado ser excelentes herramientas de representación gráfica para realizar diferentes tipos de interpretaciones topográficas, geológicas y geomorfológicas que ayudan al geólogo en la resolución de diferentes problemas de tipo ingenieril. El uso de diferentes escalas junto al vaciado de la información según las necesidades, hacen posible establecer modelos geológicos que se confeccionan con datos reales recogidos en campo e información interpretada por los autores.

Como comentario final, se ha demostrado en este informe que la geología posee tantas aplicaciones como necesidades se presentan a diario y en la medida que surgen nuevos retos técnicos, científicos e ingenieriles, los profesionales en estas áreas se actualizan para afrontar los retos y superarse en todas las aplicaciones que posee esta geociencia.

## BIBLIOGRAFÍA

- BADILLA, ELENA; PERCY, DENYER; LEPOLT, LINKIMER & ZUÑIGA, HÉCTOR (1999) Bitácora: Gira de estudio y correlación geológica-estratigráfica Panamá-99. Revista Geológica de América Central, Volumen 22: pp. 113-115
- CONTI, MARÍA (2000) Principios de Edafología con énfasis en Suelos Argentinos. Buenos Aires: Editorial Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires (Segunda Edición). 446 pp.
- CORNELIS, KLEIN & CORNELIUS, HURLBUT (1998) Manual de Mineralogía (Basado en la obra de J.D. Dana). Barcelona: Editorial Reverté S.A. (cuarta edición). 679 p.
- GONZALEZ, L. I.(2002) Ingeniería geológica. Madrid: Prentice Hall. 715 p.
- KENNEDY, BRUCE (1990) Surface Mining. England: Society for Mining, Metallurgy & Exploration (Segunda Edición). 1206 pp.
- KERR, PAUL (1965) Mineralogía Óptica. Madrid: McGraw-Hill Book Company. 433 p.
- LEET, L. & HUDSON, S. (1997) Fundamentos de geología física. México DF: Limusa. 450 pp.
- PETRUK, WILLIAMS (2000) Applied Mineralogy in the mining industry. California: Elsevier. 268 pp.

VERA, JUAN (1994) Estratigrafía: Principios y Métodos. Madrid: Editorial Rueda.  
805 p.

WICANDER, REED & MONROE, JAMES. (1999) Fundamentos de geología.  
México DF: Thompson. 445 p.