



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO**



FACULTAD DE INGENIERÍA

DIVISIÓN DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

**"Un acercamiento a la geología con base en la cartografía de la CARTA
BUENAVISTA F14-C55. Material didáctico para la enseñanza media"**

T E S I N A

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

INGENIERO GEÓLOGO

PRESENTA:

JOSÉ DE JESÚS BECERRIL LARA

DIRECTOR DE TESINA: GILBERTO SILVA ROMO

MÉXICO, D.F.

MAYO 2014

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a todas las personas que he podido conocer dentro y fuera de las aulas de C.U. Dentro de ellas a: amigos, compañeros, profesores, laboratoristas, científicos, ingenieros, etc.; y fuera de ellas a: amigos otra vez, estudiantes de otras facultades, conductores de autobús, etc., a todos los recuerdo.

Agradezco a mis sinodales el M. en C. Emiliano Campos M., la Dra. Claudia C. Mendoza R., el M. en C. Enrique González T. y la Ing. María de la Paz Hernández R. por su buena disposición y colaboración; de manera especial al Dr. Michelangelo Martini por su darme la oportunidad de participar en su proyecto de investigación; y al director de esta tesina, el Dr. Gilberto Silva Romo, por toda su ayuda.

Agradezco a los señores Abraham Pacheco Sánchez y Rodrigo Gutiérrez Pacheco de Moral Puerto de Nieto, Gto., por su hospitalidad durante la última campaña de campo en la zona de estudio.

Por supuesto, agradezco a mi familia, a mis padres: Alejandra Lara Martínez y José Luis Becerril Cortés, por darme una buena educación y a mi hermana Ana Celia; a todos mis familiares: a tíos, primos, sobrinos, etc., por toda su ayuda y comprensión.

Agradezco también a mis amigos de antaño: Diego, Fabiola e Israel Patiño, Ariadne Gómez y Gerardo, por su cariño y amistad.

Por último pero no menos importante, agradezco a Ana Laura, por toda su ayuda para la elaboración de este trabajo, gracias por compartir los mejores momentos de mi vida.

Contenido

Resumen	4
Abstract.....	5
Introducción	6
1. ASPECTOS BÁSICOS DE LOS PROCESOS GEOLÓGICOS.....	10
1.1 EL TIEMPO	10
1.1.1 El Tiempo Geológico	10
1.1.2 La Escala del Tiempo Geológico.....	12
1.2 LA DERIVA CONTINENTAL Y LA TEORÍA DE LA TECTÓNICA DE PLACAS.....	14
1.2.1 Los Márgenes Tectónicos	17
1.2.2 Los Sismos.....	19
1.3 TIPOS DE ROCAS.....	21
1.3.1. LAS ROCAS ÍGNEAS.....	21
1.3.1.1 Clasificación de las Rocas Ígneas	23
1.3.1.2 Serie de Reacciones de Bowen	25
1.3.2 LAS ROCAS SEDIMENTARIAS	27
1.3.2.1. Las rocas Sedimentarias Clásticas	28
1.3.2.2 Las rocas Sedimentarias Químicas	30
1.3.2.3 Las Rocas Sedimentarias Bioquímicas	31
1.3.3 LAS ROCAS METAMÓRFICAS	31
1.3.3.1 El Metamorfismo de Contacto.....	32
1.3.3.2 El Metamorfismo Regional	32
1.4 LOS CICLOS EN EL PLANETA TIERRA.....	34
2. EL RELIEVE TERRESTRE Y SU ESTUDIO	37
2.1 DISCIPLINAS GEOLÓGICAS	37
2.1.1 ESTRATIGRAFÍA	37
2.1.1.1 Los Principios Estratigráficos	38
2.1.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	39
2.1.2.1 Fallas	40
2.1.2.2 Pliegues.....	41
2.1.3 GEOMORFOLOGÍA.....	42
2.1.3.1 Procesos de Esculpido del Relieve Terrestre.....	42

2.1.4 CARTOGRAFÍA	43
2.1.4.1 Utilidad de la Cartografía.....	43
2.1.4.2 Objetivo de la Cartografía.....	44
2.1.4.3 Características de la Cartografía.....	44
2.1.4.4 Simbología en un Mapa Geológico	45
2.1.4.5 La Proyección Cartográfica.....	45
2.1.4.6 Proyección Universal Trasversa de Mercator.....	47
2.2 FORMAS DE REGIONALIZACIÓN GEOGRÁFICA DE MÉXICO	48
2.2.1 Provincias Fisiográficas	49
2.2.2 Provincias Geológicas.....	50
3. CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DE LA CARTA BUENAVISTA F14-C55	52
3.1 LOCALIZACIÓN Y VÍAS DE ACCESO	52
3.2 FISIOGRAFÍA REGIONAL	55
3.3 GEOLOGÍA REGIONAL.....	57
3.4 ESTRATIGRAFÍA.....	58
3.5 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	62
4. SUGERENCIAS PARA EL USO DE ESTE TRABAJO.....	63
5. CONCLUSIONES	67
INDICE DE TÉRMINOS.....	68
6. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS	69

Resumen

Con el objetivo de abordar el espacio geográfico desde la perspectiva de las Ciencias de la Tierra, en este trabajo se hace un bosquejo de los conceptos implícitos en la lectura de un mapa geológico, para después describir como ejemplo didáctico el caso respecto a la cartografía-geológica de la CARTA BUENAVISTA F14-C55; de esta forma se hace un esfuerzo para acercar estas ciencias a los habitantes de la región como primera aproximación, y al público en general interesado en la naturaleza.

Para introducir poco a poco al lector sobre lo que se trata en el estudio geológico de una región se parte de lo general a lo particular. Los capítulos comprenden los temas: 1) Aspectos Básicos de los Procesos Geológicos; 2) El Relieve Terrestre y su Estudio; 3) Cartografía Geológica de la Carta Buenavista F14-C55 y 4) Sugerencias Para el Uso de este Trabajo. En cuanto a la redacción y contenido en cada capítulo se presenta en una breve introducción del tema en cuestión para dar paso a los aspectos y conceptos geológicos en específico de cada tema particular, algunos apoyados con diversos recursos didácticos que hacen más fácil su entendimiento, tales como figuras, esquemas, mapas o fotos ilustrativas.

El primer tema aborda el tiempo geológico, la deriva continental y la teoría de la tectónica de placas, los tipos de rocas y los ciclos en el planeta Tierra. El segundo tema describe la materia de estudio de cuatro Ciencias Geológicas útiles para el fin cartográfico, estas son: la Estratigrafía, la Geología Estructural, la Geomorfología y por supuesto la Cartografía, para terminar este capítulo se indicaran dos formas de regionalización geográfica de México, por Provincias Geológicas y por Provincias Fisiográficas. El tercer tema describe los aspectos que conforman la caracterización cartográfica-geológica de la zona de estudio y se concluye con la ilustración del mapa geológico. En el capítulo cuatro se proponen algunas sugerencias didácticas para los profesores de Geografía a manera de articular el contenido de este trabajo con los temas de la asignatura.

Abstract

With the objective of boarding geographic space from the Earth Sciences perspective, this work makes a sketch of the implicit concepts when reading a geological map, and then describes a didactic example of BUENAVISTA F14-C55 CHART to study geological-cartography. This approach makes an effort to bring this sciences close to the inhabitants of the region and to the general public interested in nature.

To introduce the reader little by little about what a geology study in a region means, there is a general to particular narrative. The chapters contain the themes: 1) Basic Aspects of Geological Processes; 2) Earth Relief and it's study; 3) Geological Cartography of Buenavista F14-C55 Chart & 4) Suggestion for this work use. Editing and content in each chapter includes a short introduction of the theme, followed by composition about aspects and geological concepts of each topic, some of them supported by didactic resources such as figures, schemes, maps or illustrative photography, to obtain a better understanding.

The fist theme talks about Geological time, Continental Drift & Plate Tectonics Theory, Rock's types, and Cycles in the Earth. The second theme describes Geological Sciences subject useful for Cartography, divided in four topics: Stratigraphy, Structural Geology, Geomorphology, and of course, Cartography. To end this chapter there is an indication of two method for Geographic regionalization in Mexico, Geological Province and Physiographic Province. Third Topic describes aspects that conform the geological-cartographic characterization in the study zone, it concludes in the geological map illustration. The four chapter proposes some didactic suggestions for Geography teachers, therefore content and subject topics can be articulated.

Introducción

Este trabajo pretende servir como una guía introductoria a la Geología y a las Ciencias de la Tierra donde el lector conocerá: 1) los procesos que le dan forma al relieve geológico; 2) la caracterización cartográfica-geológica de la región estudiada; y 3) los elementos del mapa geológico presentado. Esto contribuirá en una primera aproximación, a la formación educacional de los habitantes de la región, aprovechando las características fisiográficas y geológicas del espacio que comprende la Carta Buenavista F14-C55, a escala 1:50,000 para que puedan comprender el porqué de esas características del espacio donde residen, además, esto servirá a los estudiantes de la región como una introducción a las Ciencias de la Tierra para efectos de orientación vocacional.

La estructura de los temas se estableció con el objetivo de explicar los aspectos y conceptos geológicos básicos de cada uno, de tal forma que se vayan abordando de lo general a lo particular.

Planteamiento del problema:

Las Ciencias de la Tierra son poco abordadas en los programas educativos de nivel básico e intermedio. Algunos temas de Geografía en la educación media-superior como el de Espacio Geográfico y los Mapas son abordados sin aprovechar las características geológicas que ofrece el paisaje de residencia de los estudiantes.

Objetivo del trabajo:

Elaborar una guía introductoria a las Ciencias de la Tierra desarrollando el caso de estudio relativo a la cartografía-geológica de la Carta Buenavista F14-C55; este trabajo a su vez, es un esfuerzo de acercamiento dirigido a los habitantes de la región de dicha carta y al público en general.

Justificación:

La divulgación de los conceptos geológicos permitirá entender aquellos procesos físicos que condicionan el paisaje un lugar, en este caso, la región que comprende la hoja Buenavista. Este recurso contribuirá al mejor aprendizaje de los estudiantes de nivel medio-superior sobre Geografía, ofreciendo una guía para valorar las características de su entorno geográfico y será una aproximación a las ciencias geológicas para efectos de orientación vocacional.

Área geográfica:

La zona de estudio se ubica al centro de México, en la parte meridional entre los Estados de Querétaro y Guanajuato y abarca una superficie de 884 km² aproximadamente. Se escogió esta área por las características fisiográficas y geológicas que ofrece, por su densidad de población, por las vías de comunicación terrestre con las que cuenta y por su cercanía con el Distrito Federal.

Trabajos antecedentes:

Este trabajo es original ya que no existen trabajos pedagógicos con material didáctico a manera de introducción sobre Geología, ni sobre Cartografía-Geológica a nivel medio superior en México.

Metodología de trabajo:

El trabajo se dividió en tres etapas principales, en la primera etapa se completó el estudio cartográfico-geológico de la carta Buenavista, en la segunda se elaboraron los capítulos introductorios a la geología y en la tercera se hicieron los capítulos que le dan forma de tesina.

I. Primera etapa: Estudio Cartográfico-Geológico.

- 1) Primera parte: Actividades previas a la Campaña de Campo.
 - i. Se recopiló información bibliográfica en artículos científicos de la zona en cuestión.

- ii. Se hizo el estudio de interpretación fotogeológico de la zona: para esto se imprimieron imágenes satelitales con paralaje obtenidas con base en el globo terráqueo digital “*Google Earth*”, después estas imágenes se estudiaron y posteriormente se identificó con un lápiz las características geológicas reconocidas, todo esto con objeto de discernir la conformación espacial de la zona de estudio.
- iii. Se tomó una copia de la Hoja Topográfica Buenavista F14-C55, editada por el Instituto Nacional de Geografía, Estadística e Informática (I.N.E.G.I.), en donde se marcaron las características geológicas obtenidas con la interpretación fotogeológica descrita arriba, esto con objeto de utilizarla como carta base en el trabajo geológico de campo.

2) Segunda parte: Trabajo Geológico de Campo.

El trabajo geológico de campo, el cual se hace directamente en la zona de estudio, abarcó tres campañas o salidas de campo en diferentes momentos, con esto se estudió principalmente la zona Norte de la Carta Buenavista. Estas campañas tienen como objetivo la recopilación de información geológica en forma sistemática o metódica que nos permitirá hacer la elaboración de la cartografía con base en diferentes enfoques, los temas que se investigaron tratan sobre: geomorfología, estratigrafía y geología estructural. Para esto, se toman todos los datos importantes de las observaciones en cuanto al paisaje y a las rocas, tales como: 1) las relaciones espaciales y temporales de los cuerpos rocosos para definir la historia geológica y 2) los atributos y propiedades de las rocas, en algunos casos, se toman muestras de esas rocas para análisis futuros y/o fotos. Toda esta información se anota en una libreta de campo y a la par, se marcan las disposiciones espaciales de las unidades de rocas en la carta base de trabajo. simultáneamente a la recopilación de información geológica importante, se van ratificando las hipótesis planteadas a partir del análisis de diversas fuentes de información (actividades previas a la campaña de campo).

3) Tercera parte: Análisis y redacción del estudio cartográfico-geológico. Se redactaron los textos de la cartografía temática y se terminó de dibujar la Carta para su posterior digitalización.

II. Segunda etapa: Redacción de los capítulos introductorios a la Geología: Aspectos Básicos de los Procesos Geológicos y El Relieve Terrestre y su Estudio.

- i. Se consultó y recopiló bibliografía disponible sobre los temas considerados que tuvieran un enfoque didáctico.
- ii. Se redactaron los textos temáticos y en paralelo se hicieron los trabajos de diseño, digitalización y edición de las figuras que ilustran el texto mediante dibujo asistido por computadora.
- iii. Se digitalizó el mapa geológico mediante dibujo asistido por computadora.

III. Tercera etapa: Redacción de los capítulos faltantes: I) Introducción, IV) Sugerencias para el uso de este trabajo y V) Conclusiones.

Se consultó información en Internet sobre los programas de estudio de Geografía y se analizó esta información; después se redactó el contenido de los capítulos faltantes.

1. ASPECTOS BÁSICOS DE LOS PROCESOS GEOLÓGICOS

1.1 EL TIEMPO

La mayoría de los procesos que modifican la superficie de la Tierra han operado durante largos periodos de tiempo, millones de años. Las rocas expuestas en la superficie terrestre, rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas, son la evidencia de los procesos geológicos del pasado. En este sub-capítulo conoceremos el concepto del tiempo geológico para ir entendiendo los procesos que se dan a esta escala de tiempo y después, los métodos científicos utilizados para determinar el pasado de las rocas, al finalizar conoceremos la escala del tiempo geológico expresada en una tabla, la Tabla Crono-estratigráfica Internacional.

1.1.1 El Tiempo Geológico

El tiempo geológico o tiempo absoluto abarca toda la historia de la Tierra; esta historia se puede determinar de dos maneras: una relativa y otra absoluta. El tiempo geológico relativo establece el orden de los eventos en la historia, es decir, si algún evento ocurrió antes o después que otro, no importando el tiempo transcurrido entre ellos, mientras que el tiempo geológico absoluto estima cuándo ocurrió un evento, proporcionando una cantidad de años.

Para visualizar la magnitud del tiempo geológico se necesita “saltar” de la escala del tiempo “normal” ---como lo vemos comúnmente en días, años, décadas, etc.-- a la escala del tiempo absoluto, esto se logra con base en el registro geológico y la radioactividad.

El registro geológico en las rocas es un trabajo de arte natural el cual preserva los efectos de la erosión (degradación y transporte del suelo), la construcción de montañas y cualquier cambio significativo de una región. Los científicos estudian rocas sedimentarias que contienen evidencias orgánicas preservadas durante mucho tiempo conocidas como fósiles índices; los *fósiles índices* son especies que evolucionaron durante algún tiempo en la historia terrestre y ocuparon grandes *zonas paleo-geográficas* (lugares

geográficos del pasado). Si se conoce cuáles de estas especies de fósiles índices se conservaron en el registro geológico, se puede inferir el tiempo necesario para que esas rocas se pudieran haber acumulado o formado, de esta manera, podemos aproximar fácilmente la edad de las rocas; si conocemos además que existen rocas con el mismo registro geológico y los mismos fósiles índices en otro lugar entonces podremos correlacionarlas.

La *radioactividad* por otra parte, es una propiedad de algunos átomos mediante la cual se desintegran espontáneamente para formar átomos de diferente elemento, liberando energía. La razón por la que el decaimiento radioactivo es un medio confiable de mantener el tiempo es porque la tasa de desintegración promedio es fija y no varía con ningún cambio típico respecto a sus condiciones físicas o químicas. (Press y Sievier, 1986). A comienzos del siglo XX, los investigadores sugirieron que las rocas sedimentarias o metamórficas con minerales radioactivos podían ser utilizadas para calcular la edad de los minerales de origen y así, poder estimar la edad de las rocas en términos del tiempo absoluto. Los métodos radioactivos para determinar la edad absoluta han derivado centenares de fechas para muchos eventos de la historia terrestre y continuamente se dispone de nuevos datos. La edad absoluta de la Tierra sigue siendo indeterminada hasta nuestros días, sin embargo, las líneas de evidencia sugieren una edad alrededor de 4,567 millones de años. Cabe mencionar que la mayoría de los métodos para la determinación de edades por medio de la radioactividad se pueden usar para especificar fechas histórico-geológicas hasta 2 millones de años de antigüedad como mínimo; el potasio radioactivo ha sido la excepción y sigue siendo usado con buenos resultados en algunos casos. Para los eventos geológicos más “recientes”, sólo hay un elemento radioactivo que se usa con verdadero éxito y este es el isótopo radioactivo del Carbón, el carbono-14, ^{14}C . Este isótopo se puede utilizar sólo en material orgánico como los restos óseos de un animal o materia vegetal calcinada con una antigüedad de hasta 60,000 años (Leet y Judson, 2004).

1.1.2 La Escala del Tiempo Geológico

Resulta muy ilustrativo para darnos una idea de la escala del tiempo geológico el ejercicio de hacer equivalentes la edad de la Tierra o tiempo absoluto con la duración de un año en la Tierra, para hacer esto, igualamos la edad de la Tierra de 4,567 millones de años con la duración que tiene un año, 365 días, podríamos decir entonces que: el primer anfibio apareció el 8 de Diciembre; los dinosaurios se extinguieron el 26 de Diciembre y los primeros homínidos aparecieron los últimos 6 minutos antes de que terminara el año, ahora estamos viviendo el último segundo de ese año. Con esto podemos darnos una idea del tiempo absoluto de la Tierra, desde sus inicios como planeta y junto a ella la evolución de los seres vivos.

El mayor logro de los estratígrafos y geo-cronólogos en el siglo XX fue determinar la relación geo-cronológica de las mayores secuencias sedimentarias en el mundo (Fritz y Moore, 1988). Para esto, ellos usaron principios básicos desarrollados en los siglos XVII y XVIII para describir y nombrar unidades estratigráficas, de esta forma, pudieron establecer correlaciones sobre límites regionales. Debido al éxito de estos geo-científicos, ahora sabemos la edad aproximada de casi todas las secuencias estratigráficas del mundo y tenemos una idea acerca de qué unidades se correlacionan unas con otras a través, y a lo largo de los continentes. Esta forma de correlación de rocas ha sido representada en mapas (ver la página de internet de Scotese, 2001).

Así, la historia de la Tierra se ha dividido en un esquema que se conoce como Tabla Estratigráfica Internacional (Fig. 1), esta tabla está a escala de millones de años (Ma). En este esquema según McConell *et al.*, (2008), el pasado de la Tierra está dividido en tres grandes etapas de tiempo conocidas como Eones. Los *Eones* son grandes intervalos de tiempo, cada uno con una duración superior a 500 millones de años, los cuales, marcan los mayores cambios en el sistema terrestre. Las rocas más antiguas conocidas (de cerca de 4 mil millones de años de edad) fueron formadas durante el principio del Eón Arqueano, algunas personas aún usan el término Arcaico para representar la historia más temprana de la Tierra desde su estado de fundición, antes de que la primera roca se haya formado.

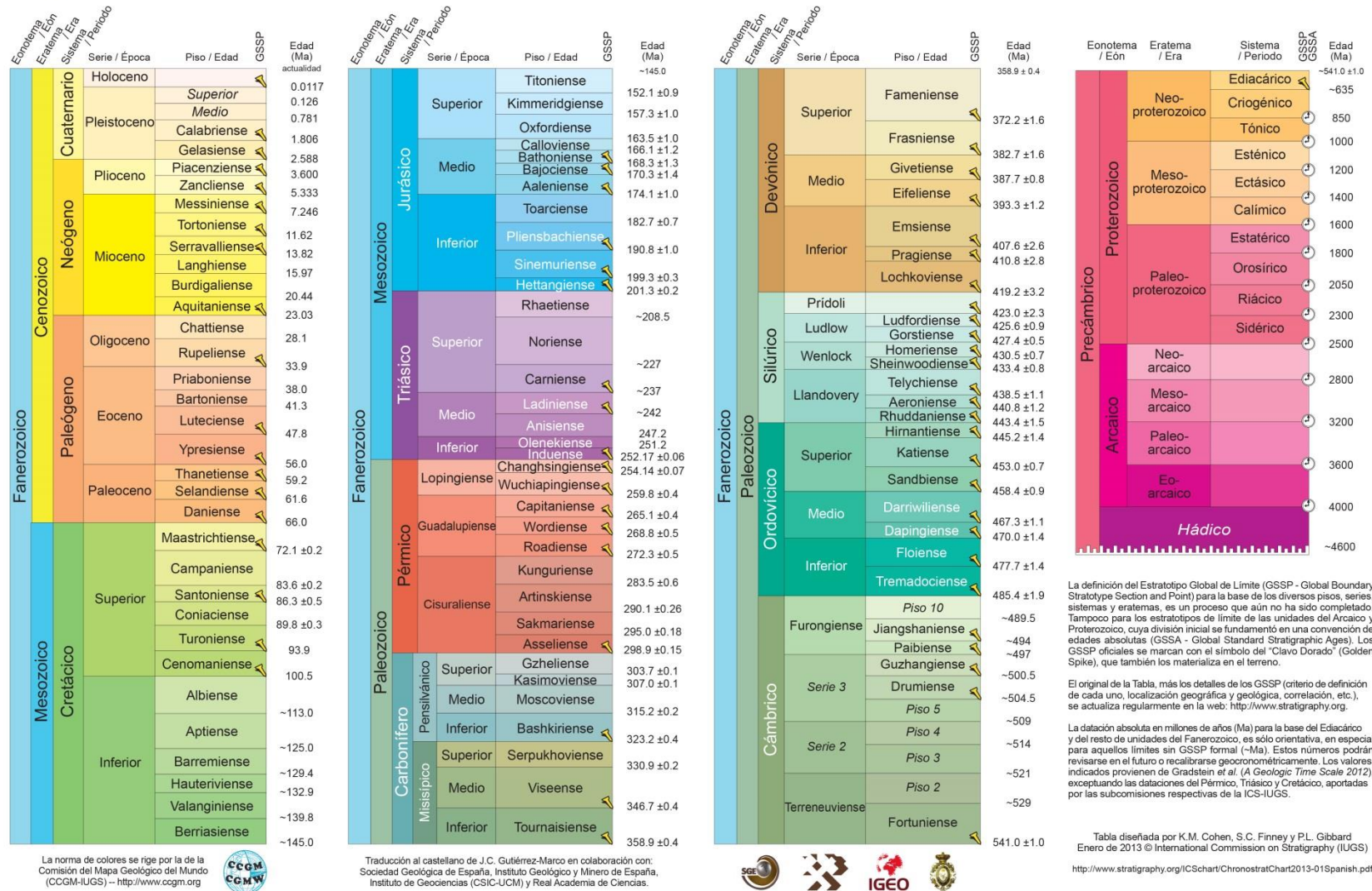


TABLA CRONOESTRATIGRÁFICA INTERNACIONAL

www.stratigraphy.org

Comisión Internacional de Estratigrafía

v 2013/01



La norma de colores se rige por la de la Comisión del Mapa Geológico del Mundo (CCGM-IUGS) - <http://www.ccgm.org>



Traducción al castellano de J.C. Gutiérrez-Marco en colaboración con: Sociedad Geológica de España, Instituto Geológico y Minero de España, Instituto de Geociencias (CSIC-UCM) y Real Academia de Ciencias.



La definición del Estratopito Global de Límite (GSSP - Global Boundary Stratotype Section and Point) para la base de los diversos pisos, series, sistemas y eras, es un proceso que aún no ha sido completado. Tampoco para los estratopitos de límite de las unidades del Arcaico y Proterozoico, cuya división inicial se fundamentó en una convención de edades absolutas (GSSA - Global Standard Stratigraphic Ages). Los GSSP oficiales se marcan con el símbolo del "Clavo Dorado" (Golden Spike), que también los materializa en el terreno.

El original de la Tabla, más los detalles de los GSSP (criterio de definición de cada uno, localización geográfica y geológica, correlación, etc.), se actualiza regularmente en la web: <http://www.stratigraphy.org>.

La datación absoluta en millones de años (Ma) para la base del Ediacárico y del resto de unidades del Fanerozoico, es sólo orientativa, en especial para aquellos límites sin GSSP formal (-Ma). Estos números podrán revisarse en el futuro o recalibrarse geocronométricamente. Los valores indicados provienen de Gradstein et al. (*A Geologic Time Scale 2012*), exceptuando las dataciones del Pérmico, Triásico y Cretácico, aportadas por las subcomisiones respectivas de la ICS-IUGS.

Tabla diseñada por K.M. Cohen, S.C. Finney y P.L. Gibbard
Enero de 2013 © International Commission on Stratigraphy (IUGS)
<http://www.stratigraphy.org/ICSChart/CronostratChart2013-01Spanish.pdf>

Fig. 1. Tabla Crono-estratigráfica Internacional. Tomado de Comisión Internacional de Estratigrafía, Derechos Reservados, 2013.

Después de otros mil millones de años, la evidencia del final del Eón Arqueano indica los primeros continentes formados y la aparición de vida primitiva en forma de primera bacteria. Cerca de 2 mil millones de años después, durante el Eón Proterozoico (“vida temprana”), el oxígeno empezó a acumularse en la atmósfera en mayores cantidades que antes (lo confirman los minerales oxidados de las rocas antiguas) y la vida evolucionó desde entonces.

El comienzo del último Eón, el Fanerozoico (“vida revelada”), marca la pauta entre las rocas jóvenes que contienen abundantes fósiles conformados por organismos con caparazón y fuertes esqueletos. El Eón Fanerozoico representa el 12% del tiempo geológico. Los geólogos usan comúnmente el término informal Precámbrico para referirse a todo el tiempo geológico anterior al Fanerozoico.

Las unidades de roca del Eón Fanerozoico han sido asignadas a tres eras relativamente cortas basados en las características de sus fósiles, cada una de diferentes rangos: Paleozoico, Mesozoico y Cenozoico. El Paleozoico se deriva del griego “vida antigua”, el Mesozoico significa “vida media” y el Cenozoico representa “vida nueva”. Cada una de estas Eras están sub-divididas dentro de intervalos de tiempo más cortos conocidos como Periodos. El comienzo del Periodo más viejo, el Cámbrico, señaló una explosión de diversidad dentro de la biósfera. Los incrementos de fósiles representadas por el número de especies en promedio datan desde el Periodo Cámbrico en adelante, sin embargo, de todos los *phyla* mayores que fueron derivados en el Cámbrico, la diversidad tiende a verse después de esta etapa, esto sugiere que la diversidad de organismos se ha incrementado a través del tiempo.

1.2 LA DERIVA CONTINENTAL Y LA TEORÍA DE LA TECTÓNICA DE PLACAS

Si intentamos reconstruir el antiguo super-continente *Pangea* ---que fue una masa continental de donde derivan todos los continentes actuales--- con los continentes recortados en pedazos de un simple mapa mundial, probablemente empezaríamos uniendo el contorno de Sudamérica y África por su evidente similitud, así continuaríamos uniendo poco a poco los demás continentes hasta formarlos; de esta forma, con

un poco de imaginación podríamos darnos una idea de cómo fueron moviéndose las masas continentales antes de llegar a ocupar los sitios actuales, a esto es a lo que llamamos “*Deriva Continental*”.

La deriva continental, así como las características de un continente en cuanto a su geología, orografía e hidrografía se explican gracias a la teoría de la Tectónica de Placas ---la cual se abordará un poco más adelante-- Te has preguntado ¿por qué tienen formas tan peculiares los continentes?. Si observamos el Continente Sudamericano por ejemplo, podemos destacar tres características a simple vista: 1) el ancho asimétrico que guarda; 2) la Cadena Montañosa en el límite occidental (Los Andes); y 3) el relieve se vuelve cada vez más tendido hacia la costa del Atlántico desde su cadena montañosa.

Los Andes pertenecen a una cadena de volcanes más grande llamada “Cinturón de Fuego del Pacífico”. Este cinturón es una zona activa de volcanes que bordea el Océano Pacífico a lo largo de 40,000 km y comprende desde el sur de Argentina, pasando por toda América, Alaska, Asia oriental, Japón, las Filipinas, y finaliza al oriente de Australia. En esta zona se tiene mayor ocurrencia de sismos en todo el planeta y también los de mayor duración.

Observar el relieve o la morfología del fondo marino resulta más complicado, no obstante, se puede hacer a través del uso de tecnologías como los ecosondas; estos aparatos se usan desde un barco en la superficie, la ecosonda transmite un sonido y dependiendo del tiempo que tarda en regresar este sonido, el aparato va determinando la altura y la forma del piso oceánico. Las estructuras más importantes son dos: las dorsales y las trincheras. Las *dorsales oceánicas* son las cadenas de montañas submarinas más largas esencialmente continuas del planeta, por ejemplo, la Dorsal del Atlántico tiene más de 40,000 km de longitud; las *trincheras* por otra parte son depresiones estrechas, elongadas y en forma de V, y constituyen estructuras que se forman cuando una placa se hunde por debajo de otra, característica que los coloca en los puntos más profundos del planeta alcanzando los 11 km de profundidad por debajo del nivel del mar, por ejemplo, la Trinchera de Las Marianas al oeste del océano Pacífico y al este de las Islas Marianas.

En los párrafos siguientes se describen los aspectos básicos de la Teoría de la Tectónica de Placas, los márgenes tectónicos y al término de este sub-capítulo conoceremos los efectos de estos procesos, los sismos.

Para comprender mejor las características y dimensiones de las diferentes capas internas que conforman el planeta imaginemos que un durazno partido a la mitad representa el Planeta Tierra (Fig. 2): la piel del durazno es la litósfera de la Tierra, la pulpa el manto y la semilla el núcleo. Ahora comparemos sus características: la piel, delgada como la corteza de la Tierra es de mayor dureza que la pulpa; la pulpa en estado semi-sólido y la semilla del durazno, sólida y dura. La parte superior del manto en la Tierra es una capa débil debajo de la litósfera llamada astenósfera que se comporta de forma plástica debido a que se encuentra cerca del inicio de la temperatura de fusión para las rocas y por la presión confinante a su alrededor.

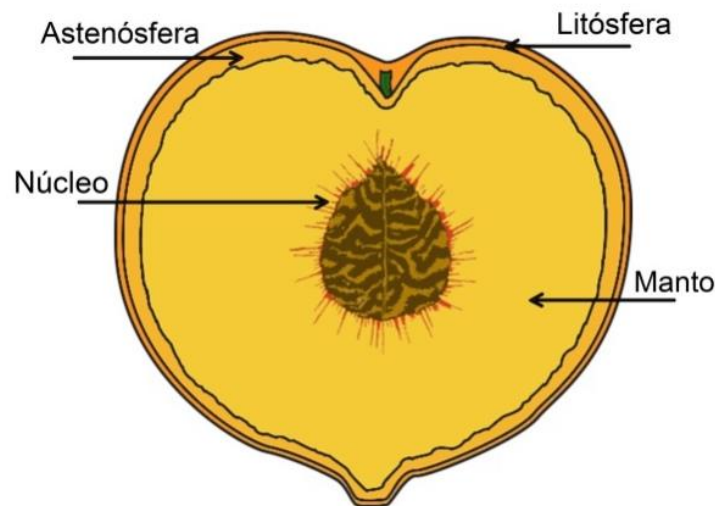


Fig. 2 Modelo de la Tierra a partir de un durazno. La estructura interna de un durazno partido a la mitad se puede comparar con la estructura interna de la Tierra: piel -- Litósfera; pulpa -- Manto; semilla -- Núcleo.

Las *placas tectónicas* son fragmentos de la litósfera, existen seis grandes placas que se extienden a lo largo de miles de kilómetros cuadrados, las otras, que son mayoría, son placas de menor tamaño. Las placas incluyen masas continentales que se encuentran en una condición llamada *isostasia*, lo que significa esencialmente que se encuentran flotando sobre la astenósfera, como si fueran troncos de madera flotando

en el agua. Conforme el flujo termal actúa en el manto, las placas interactúan entre sí, estos movimientos involucran fenómenos naturales complicados, algunos de estos se pueden ver y otros no.

1.2.1 Los Márgenes Tectónicos

La interacción entre placas tectónicas sucede en los llamados *márgenes tectónicos*. Existen tres maneras fundamentales de interacción entre placas: se pueden separar una respecto de la otra o divergencia; se pueden mover una contra la otra o convergencia; o se pueden deslizar una respecto de la otra a lo largo de fracturas denominadas fallas transformantes; por lo tanto, podemos distinguir tres tipos de márgenes:

1. Los *márgenes divergentes* (Fig. 3-C) son fracturas en la litósfera donde dos placas se separan. Un margen divergente se puede presentar en corteza oceánica (*rifts* en inglés o dorsales) o en corteza continental también llamado valle de rift, por ejemplo, los del este de África. El valle de rift es la primera etapa de un rift.
2. Los *márgenes convergentes* o zonas de subducción son regiones donde dos placas se mueven una hacia otra. Existen tres tipos de márgenes convergentes: océano-océano (Fig. 3-A), océano-continente (Fig. 3-B) y continente-continente (Fig. 4). Estas zonas son franjas amplias y su estructura es muy característica.

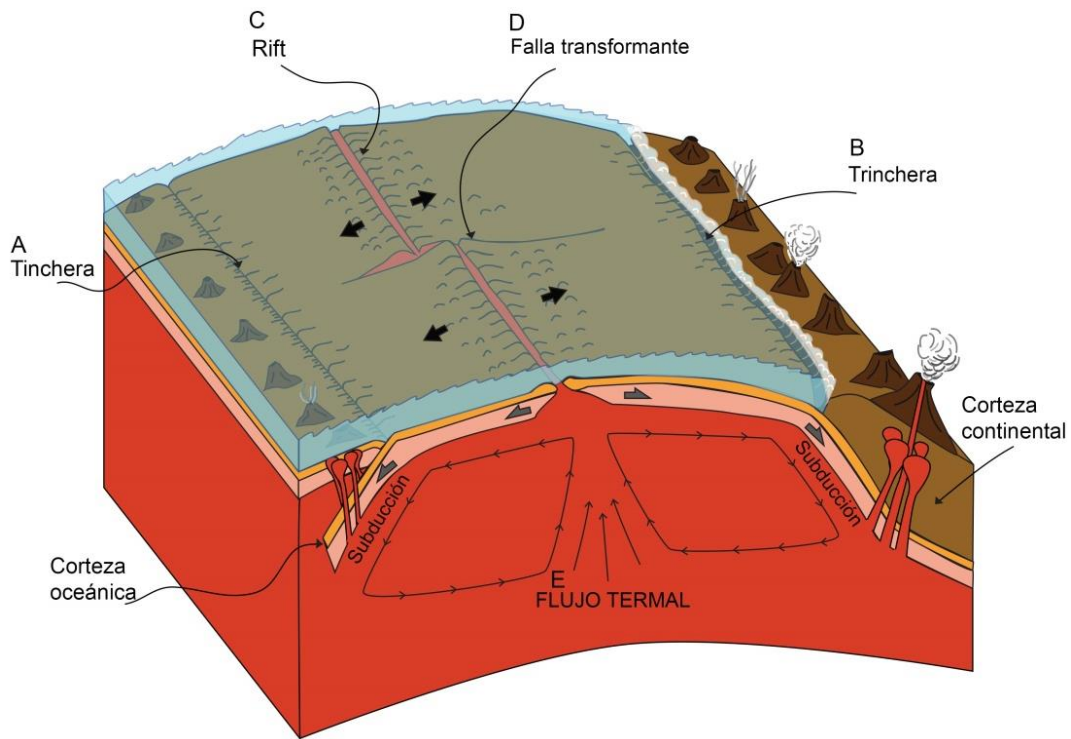


Fig. 3 Bloque 3D. Se muestran las siguientes estructuras: A) trinchera océano-océano; b) trinchera océano-continente; C) rift; D) falla transformante; y E) Flujo Termal provocado por las Corrientes de Convección en el manto.

Cuando un continente choca con otro continente a lo largo de un margen convergente forman una zona de colisión donde el crecen hacia arriba formando grandes cadenas montañosas, por ejemplo Los Himalayas (Fig. 4) ---cadena más alta del mundo situada en el Continente Asiático.

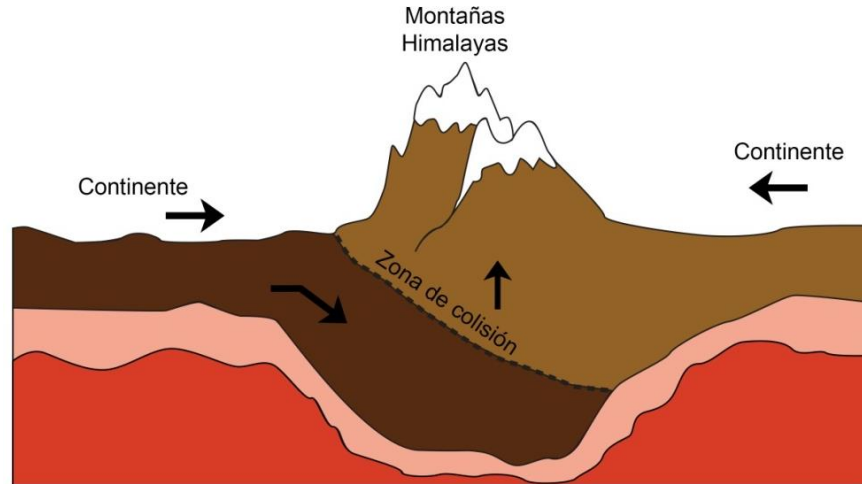


Fig. 4 Zona de Colisión. Se muestra el modelo de un Margen Convergente en continente.

3. Los *márgenes transformantes* son fallas donde dos placas se mueven paralela y horizontalmente, una con respecto a otra (Fig. 3-D), moliendo y abrasando sus bordes, un ejemplo es la Falla de San Andrés en California, E.U.A., donde la Placa del Pacífico se mueve hacia el noroeste de la Placa de Norteamérica.

Es casi imperceptible el movimiento entre placas porque se mueven muy lentamente, usualmente entre 1 y 10 cm por año (Murck y Skinner, 1999), más o menos lo que crecen nuestras uñas por año (Leet y Judson, 2004).

1.2.2 Los Sismos

Los movimientos tectónicos producen esfuerzos en las rocas ocasionando que se muevan ligeramente unas contra las otras de forma permanente. Por lo general, los paquetes de roca se pegan debido a la fricción, la cual reduce el movimiento, poco a poco los esfuerzos incrementan hasta que los paquetes de roca se deslizan abruptamente liberando toda la energía acumulada con un gran crujido, un sismo. Los sismos son fenómenos que sólo pueden ocurrir en rocas de la corteza que están lo suficientemente frías y son relativamente rígidas.

Si arrojamos una roca a un estanque de agua en reposo, la roca creará ondas al contacto con el agua por desplazamiento, el agua transmite estas ondas en forma de círculos o anillos concéntricos desde el punto donde cayó la roca, cuando ocurre un sismo, la energía se transmite en forma similar al efecto en el agua del estanque, sólo que en este caso, se transmite a través de las rocas. El punto donde cae la roca en el estanque se puede comparar con el punto de origen de un sismo llamado foco o *hipocentro* (Fig. 5) y el punto en la superficie arriba del foco, empleado para identificar la ubicación de un sismo se llama *epicentro*.

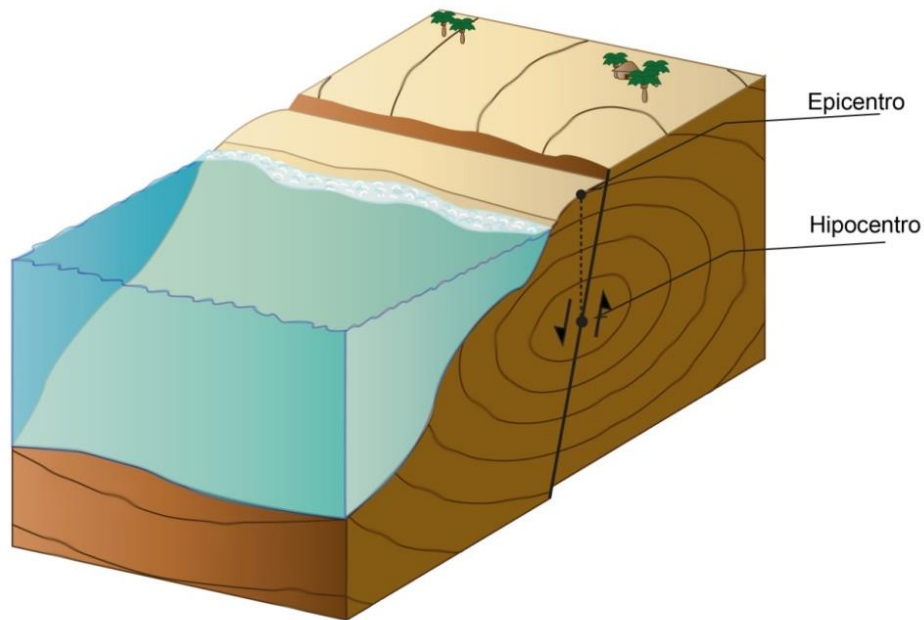


Fig. 5 Diagrama de un Sismo. Se muestra el punto de origen de un sismo o hipocentro y el punto en la superficie terrestre o epicentro.

Los sismos que ocurren a lo largo de márgenes divergentes son de baja intensidad y tienen hipocentros someros, es decir, cerca de la superficie, los márgenes de fallas transformantes tienen sismos que ocurren a profundidades intermedias y someras, con posibilidad de ser muy intensos, los sismos que se producen en los márgenes convergentes son los de mayor intensidad.

1.3 TIPOS DE ROCAS

Ya que las rocas y los minerales pueden ser fácilmente confundidos, diferenciémoslos: un *mineral* es un sólido formado de átomos con una estructura definida, homogéneo e inorgánico. La mineralogía es la ciencia encargada de la identificación de minerales y el estudio de sus propiedades, origen y clasificación; una *roca* por otra parte, es un sólido formado por la asociación de minerales o fragmentos de rocas, sin forma geométrica determinada, resultado de un proceso geológico.

1.3.1. LAS ROCAS ÍGNEAS

Las *rocas ígneas* ---primarias en la formación de los grupos de rocas--- derivan su nombre del latín *ignis* que significa “fuego”. Estas se forman por enfriamiento de roca fundida (magma) ---concepto acuñado en el modelo del plutonismo en el siglo XIX. Las rocas ígneas se dividen en dos grandes grupos: volcánicas y plutónicas.

Las rocas que se enfrían debajo de la superficie terrestre son llamadas *rocas ígneas plutónicas* y permanecen ocultas a la vista hasta que un levantamiento tectónico o la erosión, las expone. Estas rocas adquieren gran variedad de formas y tamaños, los más comunes son tres: batolitos (grandes volúmenes), diques (delgadas venas discordantes), o mantos o *sills* (estratos discontinuos) (Fig. 6).

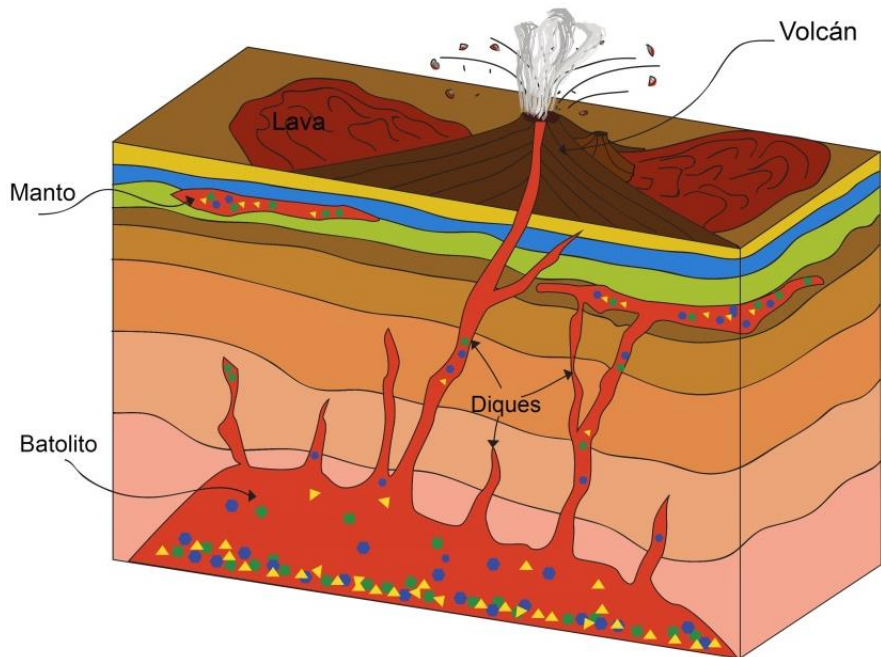


Fig. 6 Diagrama esquemático de estructuras ígneas. Se muestran las principales estructuras en rocas ígneas plutónicas: batolito, diques y mantos; y las dos principales estructuras en rocas ígneas volcánicas: un volcán y derrames de lava.

Las *rocas ígneas volcánicas* se forman cuando el magma sube del interior de la Tierra a la superficie a través de pipas o fisuras (fracturas) en la corteza, una vez que llega a la superficie, el magma libera gases atrapados (CO_2 , SO_2 , y H_2O) y fluye como lava. Los volcanes y las cadenas que forman estos son las manifestaciones más grandes y fáciles de reconocer en el relieve terrestre.

El proceso de enfriamiento interno en una cámara magmática puede causar la concentración de minerales ricos en metales en algunas zonas (p.ej., el grupo de minerales del platino o cromo). Estos se forman a altas temperaturas antes de que el magma solidifique, cuando estos minerales cristalizan, son más pesados que el medio que los contiene, así que se precipitan en la base de la cámara magmática por un proceso llamado *cristalización fraccionada* (Fig. 7), creando una capa de enriquecimiento mineral. Durante la fase final de enfriamiento y solidificación del magma, el magma restante puede contener a menudo elementos raros como el berilio y litio relleno de zonas de fractura cercanas alrededor de la cámara magmática. El enfriamiento paulatino del magma residual puede producir cristales minerales individuales de grandes dimensiones.

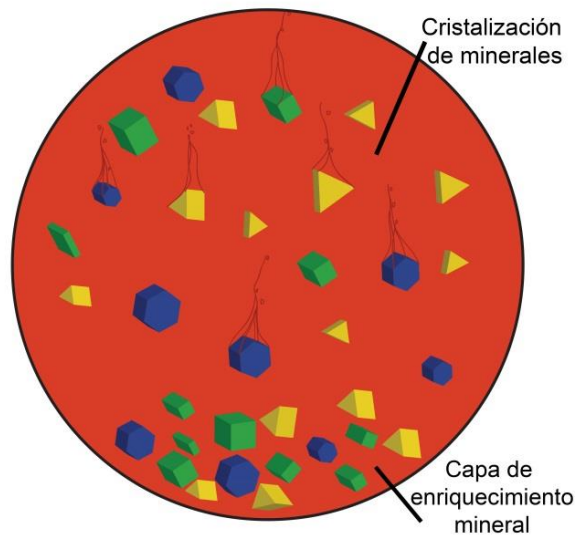


Fig. 7 Acercamiento a una Cámara Magmática. Modelo esquemático que representa el proceso de cristalización fraccionada.

1.3.1.1 Clasificación de las Rocas Ígneas

Se puede hacer una clasificación de las rocas ígneas de acuerdo a: 1) tamaño y arreglo (textura) de los granos minerales, y 2) el color, que es un indicador de la composición química.

1) *Textura*. El tamaño de los cristales minerales de una roca ígnea depende de la velocidad de enfriamiento del magma que la formó. En las rocas ígneas plutónicas, las rocas cercanas a la superficie aseguran relativamente el calor por debajo de ella y los cristales minerales pueden desarrollarse fácilmente. En las rocas volcánicas, el magma se somete a caídas rápidas de temperatura al llegar a la superficie y los cristales tienen poco tiempo para crecer, por esto, los tamaños no pasan de granos pequeños difíciles de ver a simple vista, a menos que se cuente con lentes magnificentes. Los granos grandes de las rocas ígneas plutónicas hacen más fácil el reconocerlas que las rocas volcánicas. Hay que tener en cuenta que a pesar de las diferencias en los tamaños de los granos minerales, los mismos minerales están presentes en ambas rocas ígneas, los cuales, provienen de la misma fuente magmática.

Cuando el magma se enfría de forma rápida al entrar en contacto con un medio más frío como el agua o con el aire, provoca que no se puedan desarrollar minerales, en su lugar se formará vidrio (Foto 1). El vidrio volcánico es un tipo especial de roca ---fácilmente confundible con un mineral--- en el que los *iones* (átomos o moléculas con carga eléctrica) no están dispuestos de manera ordenada.



Foto 1. Vidrio volcánico tipo obsidiana.

2) *Color*. Los colores de las rocas ígneas son representativos de sus composiciones químicas, los cuales varían de acuerdo al porcentaje de sílice que contenga cada roca. Los minerales de colores claros como el cuarzo (Foto 2) y el feldespato contienen más del elemento silíceo, por consiguiente, su presencia abundante en una roca avisa de una fuente magmática enriquecida en sílice. Las rocas ígneas con colores claros, la riolita o el granito, están formadas de magmas enriquecidos en sílice. Por el contrario, los colores oscuros (negro, café, verde oscuro) escasos de sílice y relativamente ricos en hierro y magnesio, de rocas como el basalto o el gabro, contienen minerales de olivino y piroxenos. Las rocas intermedias pueden ser de colores entre grises fuertes a oscuros, por ejemplo la diorita o la andesita.

Foto 2. Cuarzo amorfo.



La andesita es producto de las erupciones volcánicas en límites convergentes como Los Andes, ---de ahí su nombre--- su equivalente plutónico, la diorita, se puede encontrar donde el magma antiguo se enfrió y solidificó debajo de estas cadenas montañosas.

Si estuviésemos en un rift y pudiésemos perforar en algún punto, encontraríamos: primero, rocas plutónicas como el gabro, y segundo, peridotita (la roca del manto). En algunos lugares podemos encontrar la misma asociación de rocas sobre el continente, donde deslizamientos delgados de litósfera oceánica han sido atrapados y preservados a lo largo de márgenes tectónicos, como en Los Himalayas.

1.3.1.2 Serie de Reacciones de Bowen

Cuando la temperatura en la cámara magmática empieza a caer debajo de los 1,400 °C, los minerales con altas temperaturas de fusión son los primeros en formar cristales, lo que sucede después, fue descubierto por N.L.Bowen en una serie de experimentos hace 80 años. Él observó la secuencia de cristalización (Fig. 8) en la cual se desprenden dos ramas: una continua y otra discontinua. La rama discontinua representa los minerales ferro-magnesianos, así denominados debido a que son ricos en hierro y magnesio; conforme se enfría el sistema magmático, los minerales reaccionan con el líquido residual y se transforman en un ferro-magnesianos de menor temperatura. La rama continua representa los feldespatos minerales de diferente composición, variando de cálcicos a sódicos conforme reacciona con los fluidos remanente del magma y se enfría. Los minerales de ambas ramas cristalizan al mismo tiempo, por ejemplo, el magma puede contener

cantidades iguales de cristales de olivino y feldespato. En la serie discontinua se modifica la estructura cristalina.

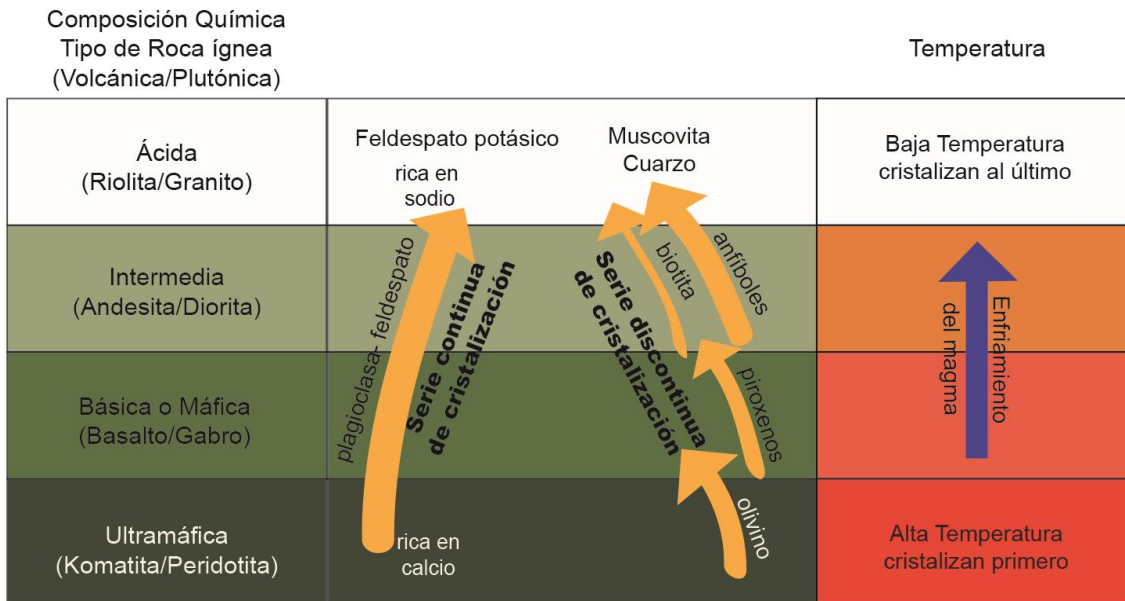


Fig. 8 Serie de Reacciones de Bowen. Se muestra las series continua y discontinua de cristalización de los minerales de acuerdo a su temperatura de cristalización (derecha), composición química y el tipo de roca ígnea (volcánica/plutónica) (izquierda).

En una cámara magmática idealizada, los minerales con bajo contenido de sílice como el olivino y la variedad rica en calcio de feldespato serían los primeros en cristalizar, si la temperatura permanece alta, estos minerales pueden continuar formándose hasta ocupar todo el hierro, magnesio y calcio posible, sin embargo, es más común que la temperatura del magma continúe decayendo, en este caso, dos eventos son posibles:

Primer caso. Los cristales formados prematuramente caen y se asientan en la base de la cámara magmática (cristalización fraccionada). El siguiente mineral en la serie de reacciones podría formarse (piroxenos y más feldespatos ricos en calcio).

Segundo caso. Los minerales ferro-magnesianos formados al principio pueden reaccionar con el magma remanente. Estas reacciones pueden convertir los minerales al principio a los siguientes minerales en la rama discontinua de la serie, por ejemplo, el olivino puede recrystalizar a piroxeno. Los feldespatos de

plagioclasas ricas en calcio pueden conseguir hacerse más grandes gradualmente, sin embargo, empiezan a añadir más sodio dentro de su estructura cristalina. Las reacciones continúan mientras el magma es consumido.

Los magmas formados en etapas iniciales son ricos en piroxeno, olivino y feldespato de plagioclasa y tienen relativamente poco contenido de sílice; estos tipos de roca son el basalto y el gabro. Cualquier magma posterior va a formar minerales ricos en sílice como el cuarzo y el feldespato potásico, que también contiene relativamente altas proporciones de potasio y magnesio. (Murck y Skinner, 1999).

1.3.2 LAS ROCAS SEDIMENTARIAS

Las *rocas sedimentarias*, del latín *sedimentum* o “materia que se asienta”, se depositan en series de capas individuales superpuestas, estas capas llamadas estratos u horizontes pueden identificarse en la naturaleza basándonos en las características de los planos de estratificación como son: colores, espesores y resistencias a la erosión, propiedades que están relacionadas a la composición y tipo(s) de roca(s) original(es).

Las rocas sedimentarias se forman en diversos ambientes: en los canales de los ríos, en el piso del fondo oceánico o en las dunas de desiertos. Los estudios en ambientes modernos ayudan a los científicos a comprender cómo se forman las rocas y estos datos son empleados para interpretar cómo las rocas se formaron hace millones de años. Los científicos que estudian la Tierra se valen de esta información para investigar temas en específico como los climas del pasado, los eventos de formación de montañas o los movimientos entre las placas tectónicas.

Las rocas sedimentarias se pueden dividir en tres tipos principales con base en el material que las conforma y por el proceso que las creó:

1. Las *rocas sedimentarias clásticas* se componen por sedimentos que son fragmentos de rocas que se desprenden de las rocas cuando se rompen en o cerca de la superficie terrestre y minerales

producto de la meteorización química, es por esto que estas rocas son las que más frecuentemente se encuentran en la naturaleza.

2. Las *rocas sedimentarias químicas* se han cristalizado desde una solución (p.ej. el agua de mar) como consecuencia del cambio en las condiciones físicas (p.ej. la evaporación).
3. Las *rocas sedimentarias bioquímicas* se forman por la acción de organismos vivos o están compuestas por los restos duros de organismos.

1.3.2.1. Las rocas Sedimentarias Clásticas

Estas rocas están compuestas por fragmentos de rocas y minerales a los que se les denomina clastos o sedimentos. El proceso que les da origen está dividido en una serie de etapas: (1) producción de clastos o generación, resultado del rompimiento de rocas originales por meteorización; (2) transportación de los materiales erosionados desde el área de origen; y (3) litificación, es decir, el depósito y sucesiva conversión del sedimento a roca. A continuación describiremos cada paso con más detalle:

1. Generación. Las rocas en o cerca de la superficie se fragmentan en pedazos más pequeños y sus minerales se someten a cambios químicos para derivar en minerales más frágiles, este proceso de desintegración y descomposición se llama *meteorización* y es determinado por el tipo de roca original y por las condiciones climáticas. La meteorización es más rápida en las rocas que contienen minerales con planos de rompimiento preferencial bien definido (clivaje), en minerales que pueden disolverse fácilmente en el agua, y en los minerales que cristalizan a temperaturas más altas debido a que se encuentran en condiciones menos favorables. Por otro lado, las condiciones climáticas marcadas por altas temperaturas y mucha agua favorecen una meteorización rápida.

Los sedimentos se clasifican de acuerdo al tamaño de grano, las partículas sedimentarias pequeñas se denominan arcillas y limos, mientras que los granos más grandes forman arena y grava. A modo de comparación, las arenas son del mismo tamaño que los granos de azúcar y las gravas son alrededor del

mismo tamaño que los caramelos. Las gravas y las arenas pueden ser observadas a simple vista, pero se necesita de lentes magnificentes para identificar partículas individuales del tamaño de los limos o arcillas.

2. *Transportación.* El proceso por el cual los sedimentos son empujados desde sus lugares de origen por diferentes agentes de energía como el agua, el viento y/o los glaciares se llama *erosión*. El proceso de erosión modifica el paisaje y participa en la formación de muchas formas especiales de relieve.

El tamaño del sedimento que puede ser transportado depende de que tan rápido se mueva la corriente de agua o que tan fuerte sople el viento, si la velocidad es alta, una corriente puede arrastrar grandes cantidades de material, por ejemplo, bloques del tamaño de una camioneta. Cuando la velocidad de una corriente desciende, el sedimento que lleva consigo es depositado, el material más pesado cae primero, mientras la velocidad continúe disminuyendo, las partículas más pequeñas se irán depositando. Los ríos arrojan los sedimentos que transporta cuando penetran en aguas relativamente calmadas de un océano o un lago creando el relieve conocido como delta, entre los deltas más grandes en el mundo están los de La Bahía de Bengala y el Mar Árabe (al este y al oeste de la India), los cuales se formaron hace millones de años por sedimentos erosionados de Los Himalayas. Estos sedimentos son continuamente transportados y redistribuidos a lo largo de la línea costera por el oleaje formando playas. Las partículas más finas se mantienen en suspensión en el océano antes de ser paulatinamente depositadas costa afuera.

3. *Litificación.* Los sedimentos se compactan cada vez que se deposita nuevo sedimento arriba de ellos por el efecto de carga, expulsando el agua, a su vez, los fluidos circulantes a través de las pilas de sedimentos precipitan minerales lentamente, cementando los granos amontonados, y convirtiéndolos en una roca; el proceso de compactación que convierten los sedimentos en roca se denomina litificación. Las rocas sedimentarias clásticas como las limolitas y areniscas, tienen nombres que expresan el tamaño de sus granos.

Las diferentes velocidades de corrientes de agua o viento, así como la distancia que recorren los sedimentos al ser transportados, sirven para clasificar los sedimentos por su tamaño de grano. Razonablemente los granos de arena en una playa son en promedio del mismo tamaño, al igual que las

rocas clásticas que tienen un tamaño dominante de grano, en lugar de ser mezclas aleatorias de partículas con diferentes tamaños.

1.3.2.2 Las rocas Sedimentarias Químicas

Las rocas sedimentarias químicas se forman cuando los minerales precipitan o cristalizan de una solución como consecuencia del cambio de condiciones físicas. El agua del mar es la solución más común, pero los minerales también se disuelven en el agua de una laguna en menores concentraciones o en los acuíferos en un continente. Cuando los minerales de una roca se disuelven como efecto de la meteorización, son transportados en solución por corrientes de ríos u océanos. Hace millones de años, amplios océanos tropicales cubrían grandes áreas de lo que hoy es el continente Americano, estos mares se evaporaron o se retiraron de ciertas regiones dejando depósitos de sales. Diferentes tipos de sal se pueden formar dependiendo de las concentraciones presentes, la sal de mesa común que le rocías a tu comida es un mineral, la halita, esa sal se forma cuando el agua de mar se evapora. El yeso (usado para recubrir las paredes) es otro mineral disuelto en el agua marina.

Conforme el agua se evapora, las concentraciones en el agua remanente se elevarán gradualmente al nivel en donde el mineral empieza a precipitar y entonces se depositará en el piso de un lago u océano formando una capa de mineral. La evaporación ocurre típicamente en cuencas restringidas en los climas secos (áridos). Estas capas de mineral son enterradas posteriormente bajo otras rocas sedimentarias (posiblemente rocas clásticas). Los científicos pueden interpretar estas concentraciones de minerales como un indicador de que en ese lugar hubo un reemplazamiento constante de agua marina y climas que fueron cálidos por algún tiempo. Estos tipos de rocas son llamados evaporitas como referencia al proceso que las forma.

1.3.2.3 Las Rocas Sedimentarias Bioquímicas

Las actividades de muchos organismos en el agua marina modifican la composición del agua ocasionando que el mineral calcita (carbonato de calcio, el componente principal de las calizas) pueda precipitar de la solución; la caliza es la roca por excelencia en ambientes costeros tropicales. Todas las demás rocas sedimentarias bioquímicas que no sean caliza están hechas de los remanentes de organismos muertos. Un ejemplo de una roca bioquímica fácil de identificar en un continente es el carbón (también llamada roca orgánica), el carbón se forma de los remanentes compactados de muchas plantas muertas, ---como las que crecen apresuradamente en ambientes cálidos tropicales--- de ahí proviene el sobrenombre de “roca orgánica”. El pedernal por otro lado es otro tipo de roca sedimentaria bioquímica, la cual se forma con restos de microorganismos llamados radiolarios, los cuales crecen en ambientes marinos profundos; por lo tanto, a estas rocas las encontraremos en relativa asociación con las calizas.

1.3.3 LAS ROCAS METAMÓRFICAS

La palabra metamorfosis significa “cambio” y se deriva para describir cómo una oruga se convierte en mariposa. En geología, esta palabra se refiere a los cambios de composición mineral o de textura de una roca como resultado del incremento de presión y temperatura, y con la ayuda de ciertos fluidos químicamente activos, por ejemplo, la caliza se puede transformar en mármol cuando se calienta por la cercanía de un cuerpo magmático, ---nótese que se ha referido a calentamiento, no a fusión, si la fusión sucede el resultado final será una roca ígnea, las rocas metamórficas necesitan de cierto rango de temperatura lo suficientemente alto para habilitar reacciones químicas necesarias que cambien los minerales, pero no tan altas para que éstos se fundan.

Dependiendo de la mezcla de presión, temperatura y composición química de los fluidos circulantes, una roca adquirirá el potencial para convertirse en algún tipo de roca metamórfica. El límite de temperatura

inferior para que ocurra el metamorfismo está probablemente alrededor de los 150°C (Miyashiro, K., 1973).

Existen dos formas principales de metamorfismo: metamorfismo de contacto y metamorfismo regional. Estas formas de metamorfismo resultan de diferentes procesos y producen rocas de diferentes particularidades.

1.3.3.1 El Metamorfismo de Contacto

El *metamorfismo de contacto* sucede cuando las rocas están en contacto con una fuente de calor (usualmente un cuerpo magmático); esencialmente las rocas son cocidas. Una transformación comparable pasa con la carne asada o el pan horneado—la composición no cambia, pero la textura de los materiales sí cambia. Teniendo en cuenta que las rocas son malas conductoras de calor, se espera que la zona del metamorfismo de contacto esté relativamente cerca de la fuente de calor. El mármol es un ejemplo de las rocas que pueden formarse por metamorfismo de contacto. El mármol se forma cuando la caliza es calentada a altas temperaturas, ambas rocas tienen la misma composición, pero el mármol típicamente tiene el tamaño de grano más grande que la caliza. Las rocas metamórficas son por lo general más resistentes a la erosión y a la meteorización que las rocas sedimentarias de composición semejante.

1.3.3.2 El Metamorfismo Regional

El *metamorfismo regional* sucede cuando las rocas se someten a aumentos de temperatura y presión asociados a esfuerzos tectónicos, la presión se puede comparar con la que experimenta un buzo en mar abierto, mientras más profundo se sumerja, mayor es la presión de la columna de agua que tiene que soportar. En zonas donde ocurre este metamorfismo, los márgenes convergentes, las rocas sedimentarias pueden ser sepultadas a grandes profundidades (de 10 a 20 km) y las rocas ígneas plutónicas podrían

terminar a 60 km por debajo de la superficie como resultado del engrosamiento cortical (Murck y Skinner, 1999). La presión produce minerales tipo hojas (p.ej. micas) en la roca, las cuales se forman cuando los minerales son comprimidos y transformados, recristalizando con una orientación preferencial de acuerdo a su composición. Estos minerales se encuentran alineados en paralelo, perpendicularmente a la dirección del esfuerzo de presión, a esta orientación geométrica de los minerales se llama *foliación*. No todas las rocas que se someten a metamorfismo regional llegan a tener foliación, por ejemplo, las rocas que tienen escasos minerales, no logran generar la lineación paralela necesaria para crear esa foliación. La arenisca compuesta principalmente por granos de cuarzo se transforma a cuarcita (Foto 3) por metamorfismo regional, y la caliza se convierte en mármol.

Conforme mayor sea la presión y temperatura, mayor es la intensidad de metamorfismo. Las rocas generadas por metamorfismo regional se clasifican de acuerdo al tamaño de los minerales. Las rocas metamórficas foliadas en orden creciente de metamorfismo y tamaño de grano son: pizarra, filita, esquisto y *gneiss*. El tamaño de grano en la pizarra es mucho más pequeño para poder ser visto a simple vista y la disposición de los minerales tipo hoja favorece que la pizarra se rompa fácilmente en láminas delgadas. La mica, un mineral común en las rocas metamórficas, puede dar una apariencia brillante y sedosa cuando se presentan en granos largos. El *gneiss* (se pronuncia como nice en inglés) tiene los tamaños de grano más grande, conformado mayormente de cuarzo y feldespato. Los minerales claros y oscuros se separan en bandas claras y oscuras que se distinguen fácilmente.



Foto 3. Cuarcita

1.4 LOS CICLOS EN EL PLANETA TIERRA

Las personas suelen recolectar envases de papel, lata, plásticos y en general todo lo que puede ser reciclado para re-utilizarlo de algunas otras formas o convertirlos en otros productos. Los materiales en la naturaleza también son “reciclados” a través de procesos que se repiten permanentemente, los ciclos naturales, estos ciclos interactúan entre sí por medio de procesos físicos y químicos y biológicos intercambiando materiales y energía, los sedimentos por ejemplo, pueden formar una roca sedimentaria si existen las condiciones necesarias, pero también estos sedimentos pueden terminar su recorrido en una trinchera y convertirse en magma. Los ciclos principales en el sistema terrestre son impulsados por dos poderosas fuentes de energía natural, el sol y el calor interno. En los siguientes párrafos se describen estos ciclos a grandes rasgos.

1. El *ciclo hidrológico* (Fig. 9-A) describe el movimiento del agua a través del sistema terrestre: el sol que conduce este ciclo, calienta el agua de los mares y océanos, el agua se evapora como vapor de agua quedando suspendida en el aire, las corrientes de aire llevan el vapor hacia la atmósfera donde se condensa para formar nubes, las partículas de nubes colisionan, crecen y caen precipitando como gotas de lluvia, granizo o nieve sobre los continentes, el agua pluvial transporta los sedimentos de las montañas hacia los

ríos donde son clasificados y distribuidos, y a su vez, el río retorna el agua hacia los océanos para continuar el ciclo.

2. El *ciclo de rocas* (Fig. 9-B) describe los procesos por los cuales las rocas se forman, se modifican y se descomponen por medio de procesos terrestres internos y externos: las montañas se forman a través de procesos geológicos como el volcanismo o los levantamientos tectónicos, estas montañas son erosionadas por agentes climáticos como el agua, el sol y el viento produciendo sedimentos, en ciertas condiciones se formará una roca sedimentaria o una roca metamórfica, esta última se fundirá en un margen tectónicamente activo hasta convertirse en magma para continuar el ciclo.

3. El *ciclo tectónico* (Fig. 9-C) constituye los movimientos e interacciones de las placas tectónicas conducidos por procesos internos, principalmente corrientes de convección, las cuales son generadas por calor del núcleo terrestre. El ciclo tectónico conserva un balance en cuanto a la cantidad de material de la Tierra, nuevo material cortical es añadido por volcanismo a lo largo de márgenes divergentes, mientras que la subducción consume una cantidad equivalente de material de la corteza terrestre en los márgenes convergentes.

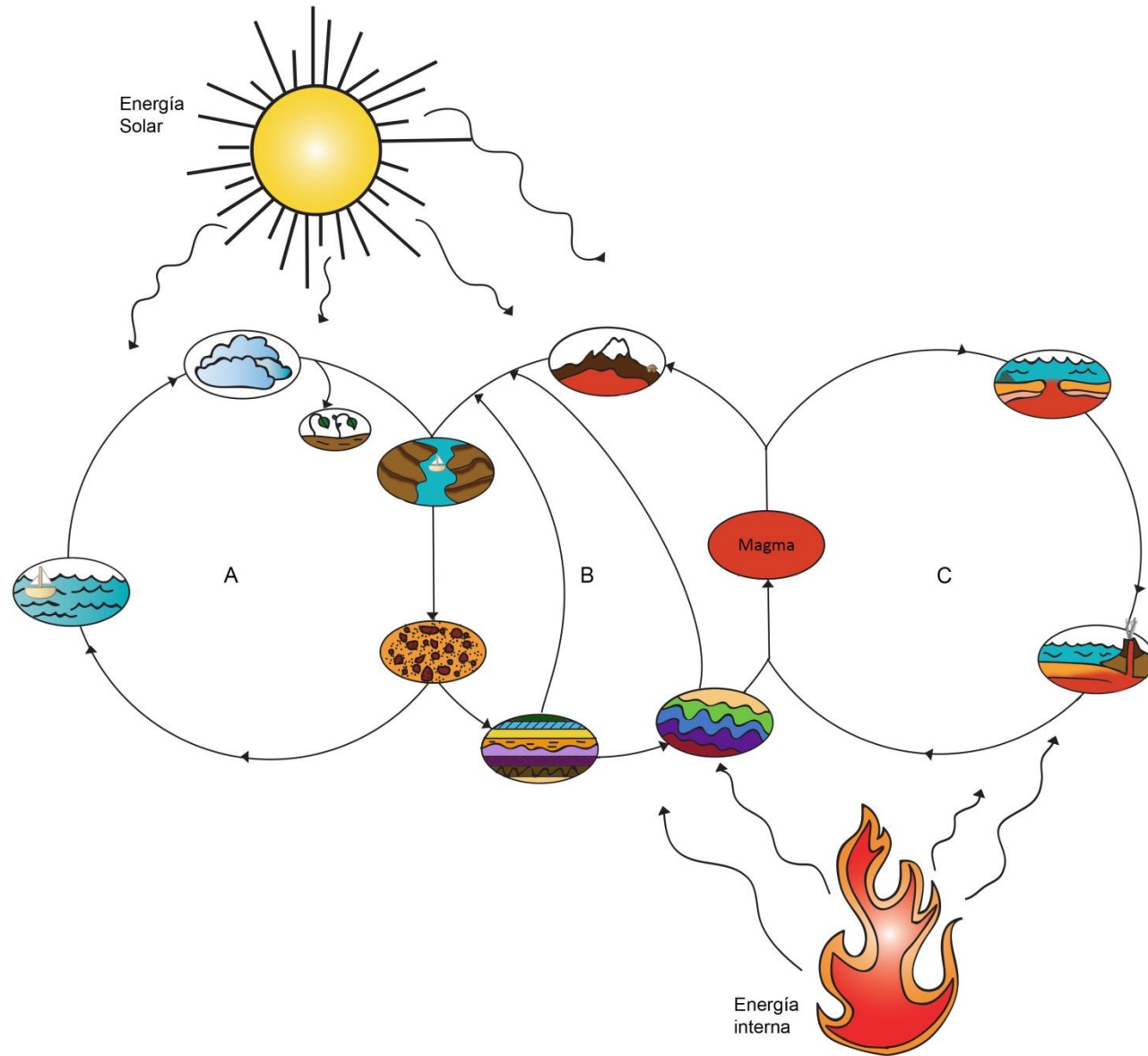


Fig. 9 Diagrama de los ciclos en el planeta Tierra. A) Ciclo Hidrológico, B) Ciclo de las Rocas y C) Ciclo Tectónico.

2. EL RELIEVE TERRESTRE Y SU ESTUDIO

Como vimos en el capítulo anterior, las formas de los continentes y sus paisajes no han sido los mismos a través del tiempo ya que la geografía terrestre está evolucionando a través de procesos geológicos; por medio del estudio de las rocas, los geólogos son capaces de descubrir la historia que le ha dado forma al relieve terrestre hasta nuestros días. Es importante estudiar el relieve terrestre por lo anterior y ya que para cualquier proyecto civil, es la etapa donde se recopilan datos sobre la geología y topografía, información indispensable para poder diseñar la obra deseada.

En este capítulo se indicará la materia de estudio sobre las disciplinas geológicas útiles para la cartografía-geológica, junto a estas se tocarán algunos de los temas más importantes de cada una. Para concluir este capítulo se mostrarán dos de las formas más importantes en las que se ha dividido regionalmente el territorio mexicano.

2.1 DISCIPLINAS GEOLÓGICAS

El trabajo que requiere la cartografía-geológica de una región se desarrolla con base en cuatro disciplinas geológicas fundamentales, la Estratigrafía, la Geología Estructural, la Geomorfología y por supuesto la Cartografía. Estas disciplinas nos permiten identificar los rasgos más importantes que presenta las rocas en cuanto a su composición química, su conformación espacial, su estructura, etc. A continuación se describirá brevemente en qué consisten cada una de ellas.

2.1.1 ESTRATIGRAFÍA

La *estratigrafía* es la ciencia que trata del estudio e interpretación de los estratos, así como sus relaciones espaciales en sentido vertical y horizontal (correlación de las unidades estratigráficas) y sus relaciones

temporales (edades de las rocas). Esta información es interpretada por los geólogos a través de la aplicación de los llamados *Principios Estratigráficos*, los cuales son postulados científicos nacidos de la observación de las rocas en los que se sintetiza un fenómeno natural.

2.1.1.1 Los Principios Estratigráficos

Con base en estos principios, uno puede determinar la posición estratigráfica original de los estratos, identificado la superficie de techo o cima, esto es fácil en áreas donde no hay deformación o en capas con planos horizontales, pero se dificulta en áreas donde hay plegamiento y deformación de los estratos. A continuación se describen algunos de estos principios estratigráficos.

Niels Stenson o Steno (1638-1686) fue un pionero de la anatomía y la geología en donde descubrió que las rocas tienen historia y ello lo llevó a acuñar los tres principios estratigráficos fundamentales:

1. *Horizontalidad Original* trata del estado inicial de los estratos y afirma que estos fueron originalmente depositados en capas horizontales, independientemente de la actitud en el que se encuentren las rocas en el presente.
2. *Superposición*, sostiene que en un paquete vertical o pila de rocas, las de abajo fueron depositadas primero y son más antiguas que aquellas que se encuentran arriba.
3. *Continuidad Lateral*, mantiene que los estratos fueron depositados en capas continuas a través de una cuenca de depósito.

Por otra parte, James Hutton (1726-1797) fue un físico, químico manufacturero, naturalista, agricultor experimental y geólogo escocés de Edimburgo, pasó gran parte de su vida describiendo interrupciones en el registro de rocas, que después llamaría discordancias (Fig. 10), dándose cuenta de la enorme cantidad de tiempo necesario para producir las relaciones de campo que había descrito, con esto, también reconoció la importancia del tiempo faltante en sentido de establecer correlaciones de rocas. Las ideas respecto a estos fenómenos fueron establecidas en su libro “Teoría de la Tierra con Pruebas e Ilustraciones” publicado en

1795 (Fritz y Moore, 1988), el cual es la base para las interpretaciones geológicas modernas. Es así que Hutton y su colega John Playfair (1748-1819) proponen que “el presente es la clave del pasado”, definiendo el Uniformismo.

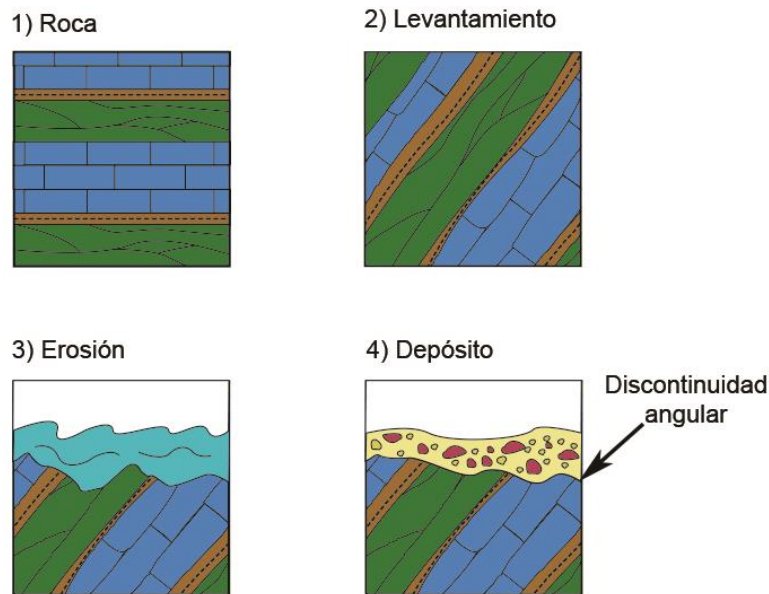


Fig. 10 Proceso de formación de una discontinuidad angular. 1) formación de una roca, en este caso sedimentaria; 2) levantamiento y plegamiento de estratos; 3) erosión (en la figura se representa erosión por agua); y 4) depósito y formación de nuevas rocas; al final se tiene una discontinuidad angular entre dos secuencias de rocas de diferente edad.

Otro principio básico que acuñó es el de las Relaciones de Corte Transversal, el cual postula que lo que sea que corte a una capa de rocas sedimentarias, este debe ser más reciente que las rocas que está cortando, por ejemplo, un dique o una falla que corta un paquete de rocas sedimentarias es más reciente que las capas sedimentarias.

2.1.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

La arquitectura terrestre se compone de estructuras tales como fallas o pliegues, estas estructuras son causadas por esfuerzos tectónicos los cuales producen movimientos y deformaciones en las rocas. El geólogo estructural examina dichas estructuras buscando evidencias que contengan signos específicos que

le permitirán identificar el sentido y la magnitud de los movimientos relativos y las deformaciones en las rocas con el propósito de aprender cómo, cuándo, y por qué se formaron.

Las estructuras geológicas menores como fallas pequeñas locales o pliegues centimétricos son reflejo de las estructuras mayores como fallas regionales o pliegues grandes ya que son motivados por los mismos esfuerzos tectónicos.

2.1.2.1 Fallas

Una *falla* en geología es una superficie discreta que forma una zona más o menos tabular, la cual corta un cuerpo rocoso; esta estructura se forma por un desplazamiento en las rocas ocasionada por la acción de esfuerzos tectónicos. Si una estructura parecida no ha tenido desplazamiento alguno, se dice que es una *fractura*. El ambiente de formación de estas se da en un campo de deformación frágil que es cuando las rocas tienen comportamiento rígido. Cuando una falla ocurre o se activa, la energía liberada puede producir un sismo.

Cada uno de los ámbitos que resultan de una superficie de ruptura se denomina *bloque*, si la superficie de ruptura es inclinada, el volumen que queda arriba de la superficie se llama *bloque de techo* y el volumen inferior se llama *bloque de piso* (Fig. 11-A). Una falla se clasifica con base en el movimiento relativo entre estos bloques. Cuando el bloque de techo se desliza hacia abajo, la falla se denomina normal (Fig. 11-B), los esfuerzos por alargamiento, es decir, cuando los bloques son jalados en direcciones contrarias producen fallas normales. Las fallas inversas ocurren cuando el bloque de techo sube (Fig. 11-C), los esfuerzos por acortamiento producen fallas inversas. El movimiento entre los bloques también puede ser rotacional o lateral cuando el movimiento es paralelo al rumbo ---intersección entre una superficie inclinada y un plano horizontal--- de la falla, en estas, el plano de falla es usualmente vertical por lo que no hay bloque de techo ni de piso (Fig. 11-D). En realidad, muchas fallas muestran una combinación. Los geólogos usan mediciones más sofisticadas para analizar los movimientos relativos entre los bloques.

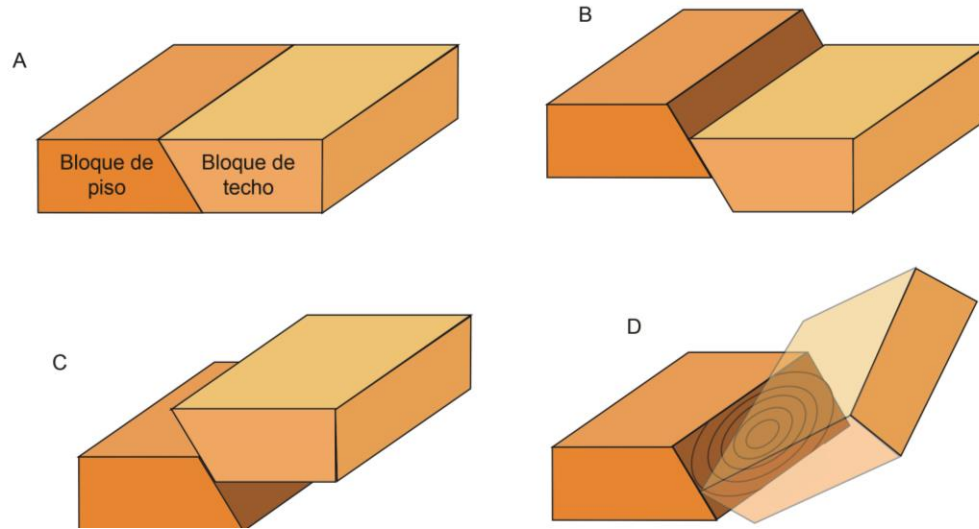


Fig. 11 Clasificación de las fallas de acuerdo al movimiento relativo de los bloques de falla. A) Diagrama que ilustra los conceptos de Bloque de piso y Bloque de techo. B) Falla normal, el bloque de techo se desliza hacia abajo en la dirección de la superficie de falla. C) Falla inversa, el bloque de techo se desliza hacia arriba en la dirección de la superficie de falla. D) Falla rotacional, el bloque de techo gira conforme a un eje normal a la superficie de falla. Tomado de Silva-Romo *et al.* (2010).

2.1.2.2 Pliegues

Cuando la deformación sucede en un campo de deformación dúctil, ---comportamiento plástico de las rocas--- estas son sometidas a modificaciones en su geometría, modificación que será posible reconocer cuando los cuerpos rocosos presenten algún rasgo planar antes de la deformación, por lo regular, la estratificación, es decir, una superficie inicialmente plana se observará flexionada, la flexión de un plano se denomina *pliegue*.

Los pliegues son estructuras geológicas que involucran tantos aspectos geológicos, estratigráficos y cronológicos; estos se clasifican en anticlinales y sinclinales con base en su morfología: anticlinal (Fig. 12-A) cuando es convexo hacia arriba, y sinclinal (Fig. 12-B) cuando el pliegue es cóncavo hacia arriba.

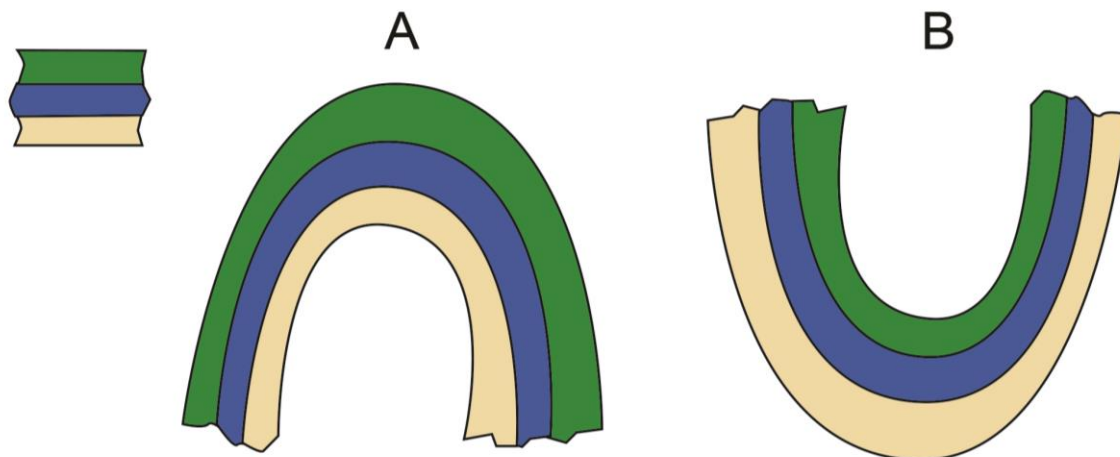


Fig. 12 Tipos de pliegues (columna estratigráfica a la izquierda). A) Pliegue anticlinal y B) Pliegue sinclinal.

2.1.3 GEOMORFOLOGÍA

La *geomorfología* es la ciencia que estudia las formas del relieve, tanto en el ámbito marino como en el continental. Este estudio tiene que ver con el origen, distribución y evolución de las estructuras en la corteza terrestre. Las aplicaciones de la geomorfología incluyen el cálculo de peligros geológicos como la predicción de derrumbes, riesgos volcánicos, impacto ambiental, las medidas preventivas que se deben tomar para mitigar los efectos de los fenómenos meteorológicos y tectónicos que afectan a la sociedad.

2.1.3.1 Procesos de Esculpido del Relieve Terrestre

La superficie de la Tierra es moldeada por una combinación de procesos superficiales que esculpen el relieve terrestre, y por procesos geológicos que le dan forma. Los procesos superficiales hacen que una roca sólida cambie su cohesión y composición por procesos de meteorización cerca o sobre la superficie terrestre, los minerales primarios que componen esa roca se convierten en otros nuevos dentro de un suelo que descansa sobre parte de la roca inalterada, en seguida el viento, el agua y el hielo se confabulan para

remover los materiales del suelo, clasificarlos y depositarlos en un nuevo medio a manera de extensos mantos de escombros.

Los procesos tectónicos e isostáticos son responsables de algunos levantamientos en la corteza terrestre, lo cual resulta en la creación de montañas. Debido a estos levantamientos, algunas montañas están conformadas por rocas sedimentarias que alguna vez fueron acumuladas en cuencas marinas, como lo atestiguan los restos fósiles de organismos que contienen.

El índice de producción de sedimentos clásticos es más rápido en regiones caracterizadas por altas elevaciones debido a la rápida meteorización, un ejemplo en la actualidad sucede en Las Montañas Himalayas, sin embargo, el promedio de la energía erosiva en el planeta, oscila entre 0.02 y 2 mm por año (Murck y Skinner, 1999), dependiendo de las características del lugar y el clima. Es así como la Tierra cambia lenta y permanentemente, por lo general de manera imperceptible para una vida humana, pero a veces, de maneras muy estrepitosas, como cuando ocurren los sismos, tsunamis o erupciones volcánicas, estos fenómenos naturales se vuelven desastres para la humanidad cuando la gente se interpone en los procesos de la Tierra e invade terrenos que no son aptos para residir en ellos.

2.1.4 CARTOGRAFÍA

2.1.4.1 Utilidad de la Cartografía

Los procesos evolutivos de las ciudades requiere mostrar los recursos disponibles, así como su distribución, la Cartografía es una herramienta que nos permite hacerlo; o si queremos proyectar a la población de determinado lugar con sus diferentes características (edad, sexo, religión, población económicamente activa, escolaridad, etc.), lo que sirve de apoyo para hacer los censos de población y vivienda en México

La Asociación Internacional de Cartografía en su primera reunión celebrada en la UNESCO (París) en Abril de 1968 adoptó la siguiente definición de **CARTOGRAFÍA** “*Conjunto de estudios y operaciones científicas,*

artísticas y técnicas que, a partir de los resultados de levantamientos directos o del examen y estudio de documentos, se emplean para la formación y apresto de las cartas, planos y otros sistemas de expresión, así como para la utilización de los mismos.” La Cartografía-geológica es una ciencia que incluye técnicas cartográficas, artes gráficas y sistemas de proyección e información, generando así un amplio campo de estudio e investigación.

2.1.4.2 Objetivo de la Cartografía

La cartografía tiene dos objetivos básicos:

- I. Expresar las características de la superficie terrestre y la distribución de los rasgos culturales permanentes que se encuentran sobre dicha superficie, esto es, elaborar mapas topográficos.
- II. Expresar la distribución espacial de otros atributos geográficos, como la geología, la fisiografía o la hidrología en México, y variables socioeconómicas como demografía, población, vivienda o migración, mediante la elaboración de mapas.

2.1.4.3 Características de la Cartografía

Las características fundamentales de la cartografía son (Silva-Romo *et al.*, 2010):

1. Representación de la realidad.
2. Representación geométrica plana (Sistemas de proyección).
3. Representación simplificada.
4. Representación convencional.
5. Presenta una relación de similitud proporcionada (escala).

Ya que el mundo real es complejo para poder representarlo con toda su perfección, en un mapa sólo se puede representar una parte de sus elementos geográficos mediante recursos de expresión gráfica como

signos, líneas y áreas pigmentadas. Los mapas son reducciones de la realidad e implican una relación dimensional definida entre la realidad y el mapa llamada escala.

Generalmente el término mapa y carta se utilizan como sinónimos para referir una representación gráfica convencional de una superficie terrestre; en la práctica un mapa se dice que fue hecho para admirarlo, y una carta para trabajar en ella.

2.1.4.4 Simbología en un Mapa Geológico

Los siguientes símbolos o signos representan algunos elementos que componen el mapa geológico visto al terminar el capítulo 3:

Falla normal. La simbología de la falla normal tiene una línea principal con pequeñas líneas trasversales, su forma se asemeja a un peine; representa la traza de la falla vista desde la superficie y separa los bloques de techo y de piso, el bloque de piso es el que tiene los dientes del peine.

Contacto geológico. El contacto geológico es una línea y representa el límite entre dos unidades geológicas; esta línea muestra la configuración espacial de una unidad estratigráfica respecto a otra unidad.

Sección geológica. Una sección geológica es un diagrama a escala del perfil de un corte, en este caso longitudinal, donde se muestra la configuración topográfica y geológica del terreno; la línea que se dibuja representa el corte el cual tiene cierta orientación y longitud.

2.1.4.5 La Proyección Cartográfica

Los mapas entonces son una representación selectiva y simbólica de la realidad que involucra transformaciones geométricas, donde una superficie curva real en 3D se transforma a una superficie plana en un mapa.

En un sistema de proyección, la superficie terrestre queda inmersa en una malla de meridianos y paralelos cuyo punto de origen varía en cada caso, por ejemplo, el Ecuador o el Polo Sur, así, cada punto de aquella superficie se puede identificar con un par de coordenadas (x e y). Los sistemas de proyección subdividen el territorio por representar en regiones con la premisa de que las hojas cartográficas resultantes a una determinada escala tengan un tamaño manejable en una mesa cualquiera y que sus límites correspondan con líneas geográficas: meridianos y paralelos.

La elección del sistema de proyección depende de la posición geográfica y extensión del espacio a cartografiar, y particularmente del propósito y escala del mapa. Consideremos primero el dibujo de los mapas de un atlas: las diferentes regiones en latitudes tropicales, templadas o polares deben ser cartografiadas utilizando proyecciones normales cilíndricas, cónicas y acimutales (Fig. 13), respectivamente. La elección de una proyección para un continente dependerá si se encuentra en ambos hemisferios (como África y Sudamérica), o en uno solo, para lo cual existe la proyección de Mollweide, la estereográfica de Gall Peters o la acimutal ecuatorial. Por otro lado, la elección dependerá del propósito del mapa, considerando en este caso las posibles distorsiones. Para mapas de distribución, las proyecciones de igual área son deseables, y para la navegación, dirección de corrientes y vientos, una proyección conforme es recomendada. Para cada caso deben ser consideradas todas sus características (Silva-Romo, *et al.*, 2010).

En México se utiliza la Proyección Cónica de Lambert en mapas regionales a escalas igual o menores de 1:1'000,000. En tanto que, la cartografía de detalle se realiza por lo general con base en la Proyección Universal Trasversa de Mercator (U.T.M.); cabe mencionar que la proyección es casi perfecta y se usa entre las latitudes 80°N y 80°S (Silva-Romo, *et al.*, 2010).

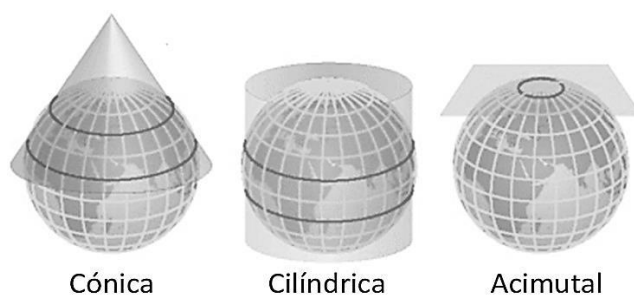


Fig. 13 Sistemas de proyecciones. Se muestra el sistema cónico, cilíndrico y polar acimutal. Tomado de ArcGIS Resources (2014).

2.1.4.6 Proyección Universal Trasversa de Mercator

La cobertura del globo terráqueo se divide en 60 husos los cuales se enumeran a partir del antimeridiano de Greenwich en forma progresiva hacia el Este, cada huso mide 6° de longitud. En el caso de la cartografía temática a escala 1:50,000, cada huso se subdivide en fajas de 4° de latitud, a las cuales se les asigna una letra del abecedario. En el Hemisferio Norte se inicia con la letra A para la faja comprendida entre el Ecuador y la latitud 4°; de esta forma, la República Mexicana comprende las fajas que corresponden a las letras D, E, F, G, H e I y los husos 11, 12, 13, 14, 15 y 16 (Fig. 14).

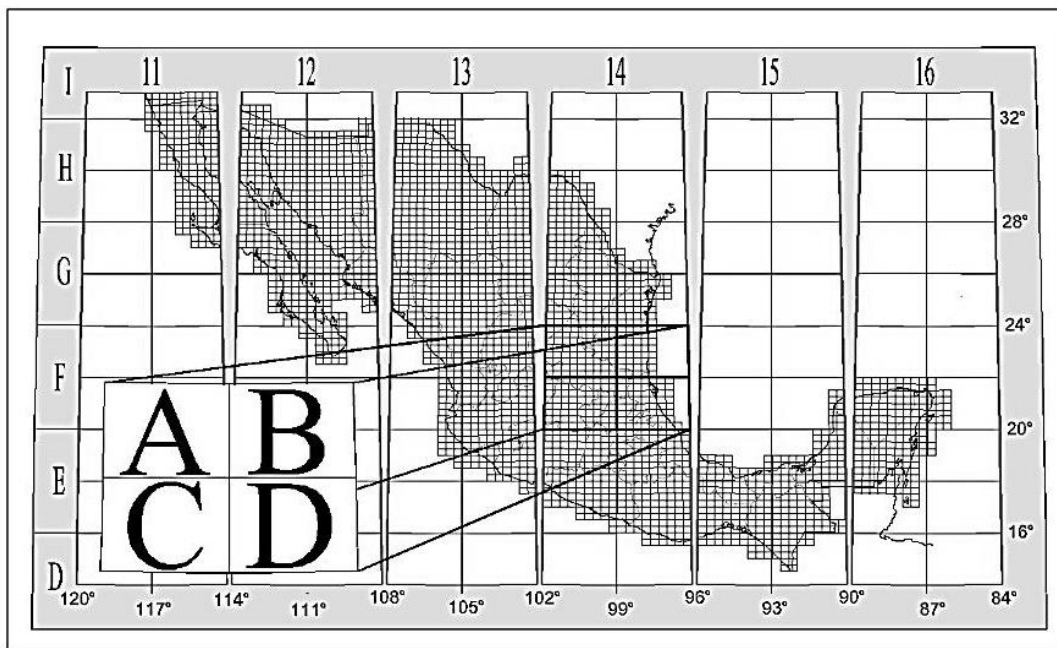


Fig. 14 Gradícula en el Sistema Norteamericano. Este sistema divide el territorio mexicano en fajas de 4° de latitud y subdivide cada faja en cuatro cuadrantes denominados A, B, C y D. Tomado de Silva-Romo y Mendoza-Rosales, 2011.

La clave o notación alfanumérica en cada carta se basa en una subdivisión de cada faja en 4 cuadrantes notados como A, B, C y D (Fig. 14), los cuales a su vez se subdividen en 8 renglones de 15' de latitud por 9 columnas de 20' de longitud, para su identificación se emplean dos dígitos, el primero corresponde al renglón y el segundo a la columna, cada celda así definida, corresponde con una carta a escala 1:50,000 (Fig. 15).

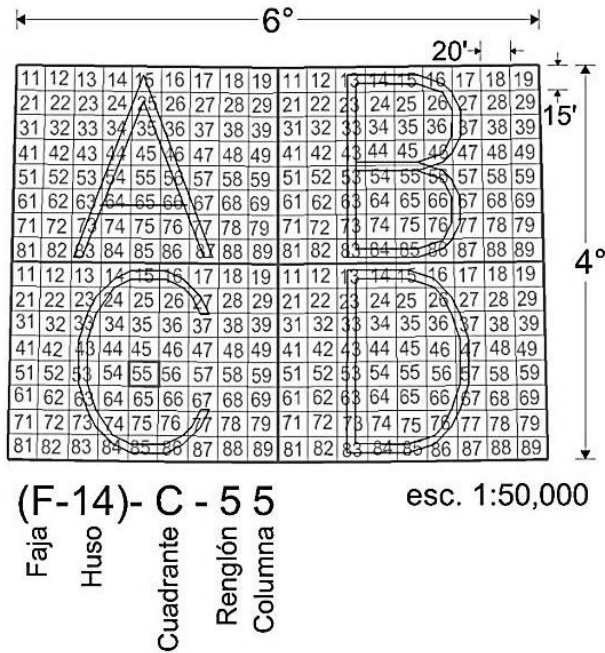


Fig. 15 Sistema Cartográfico U.T.M. a escala 1:50,000. La clave alfanumérica que identifica a cada carta se compone con: letra de la faja, el número de huso, el cuadrante que resulta de dividir en cuatro regiones la faja de 4°, el renglón de los ocho en que se divide el cuadrante y la columna de las nueve en que se divide el cuadrante Tomado de Silva-Romo y Mendoza Rosales, 2011. La carta F-14-C-55 corresponde con el área comprendida entre las coordenadas 20°45' a 21°00' N y 100° 20' a 100°40' Oeste.

2.2 FORMAS DE REGIONALIZACIÓN GEOGRÁFICA DE MÉXICO

El espacio físico de algún lugar o área se puede caracterizar en atención a sus distintos atributos geográficos tales como geología, morfología, fisiografía, climas, etc.; así, las Provincias Fisiográficas describen los rasgos orográficos e hidrográficos principales de una región, las Provincias Geológicas en cambio, consideran la conformación de las rocas de esa región, esto es, sus características geológicas como: litología, edad, y los procesos que le dieron origen.

En este subcapítulo aprenderemos algunas formas en las que se ha caracterizado el territorio mexicano, la fisiográfica y la geológica, junto a estas formas se presentará el mapa respectivo a cada caracterización.

2.2.1 Provincias Fisiográficas

Las *Provincias Fisiográficas* fueron acuñadas de acuerdo a las características físicas presentes en una región tales como la orografía y la hidrografía. La Dirección General de Geografía del I.N.E.G.I. determinó una división en 15 regiones fisiográficas las cuales se pueden ver en la Figura 16.

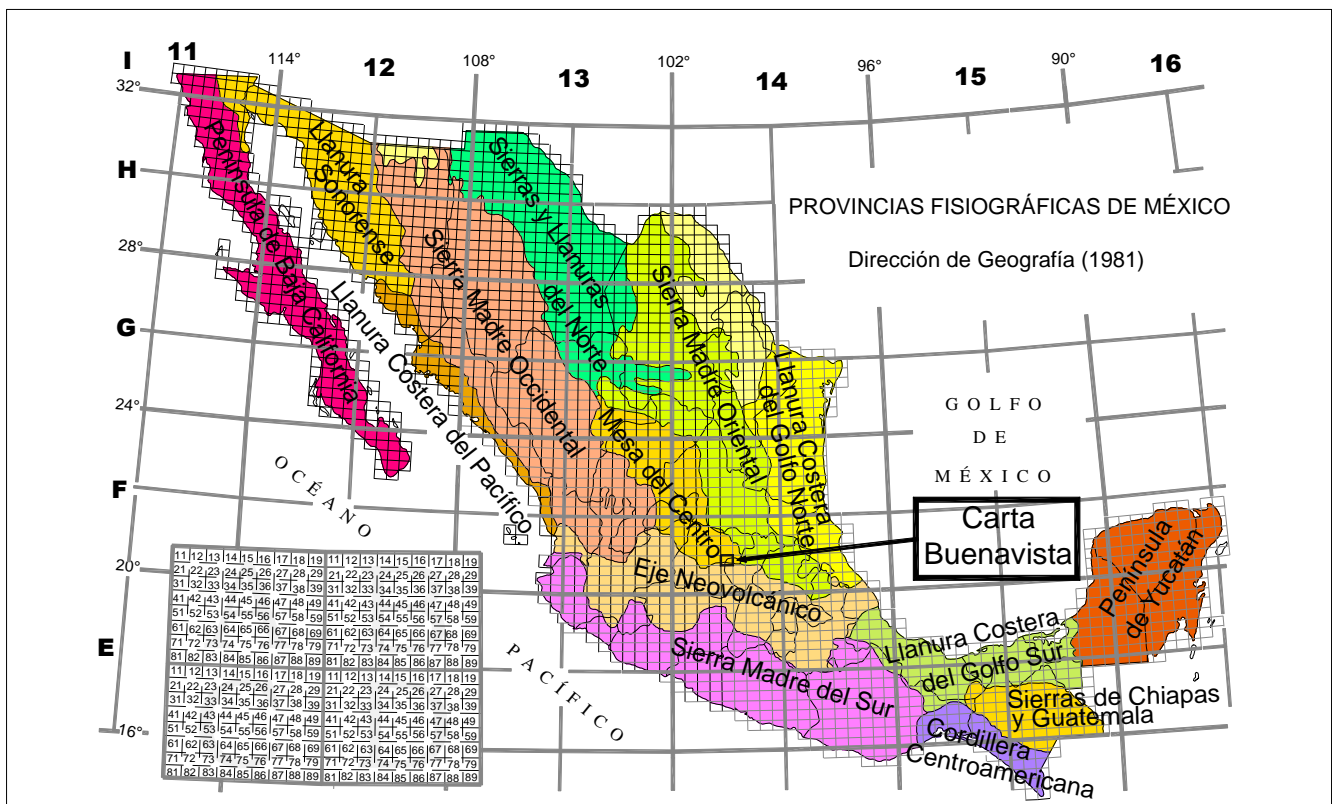


Fig. 16 Provincias Fisiográficas de México. Tomado de I.N.E.G.I. (2014).

2.2.2 Provincias Geológicas

La definición de *provincia geológica* que fue adoptada para construir el modelo para la geología es la siguiente (Ortega-Gutiérrez *et al.* 1992): "Provincia geológica es toda parte cartografiable de la superficie sólida del planeta, de centenares a millones de kilómetros cuadrados de extensión caracterizada por sus rocas, sus estructuras y por una secuencia de eventos tal que integre una historia evolutiva singular diferente a la de las áreas adyacentes, de las cuales está separada por límites estratigráficos, tectónicos o por ambos".

Según Ortega-Gutiérrez *et al.* (1992), una característica distintiva de la geología de México es la distribución asimétrica de las provincias en cuanto su origen, ya que en la mitad oriental del país están concentradas las provincias sedimentarias (de origen superficial), en tanto que en la mitad occidental están localizadas las provincias magmáticas y metamórficas (de origen profundo) (ver Fig. 17). Esta dicotomía de la geología mexicana se explica por el carácter pasivo que ha tenido la margen oriental de México desde el Jurásico, en contraste con lo convergente y activo que ha sido, desde la misma época, su margen occidental. Como consecuencia de esta historia geológica contrastante, las riquezas metálicas del país están concentradas en la mitad occidental de su territorio, mientras que las energéticas de origen superficial (petróleo, gas y carbón), están localizadas en la mitad oriental.

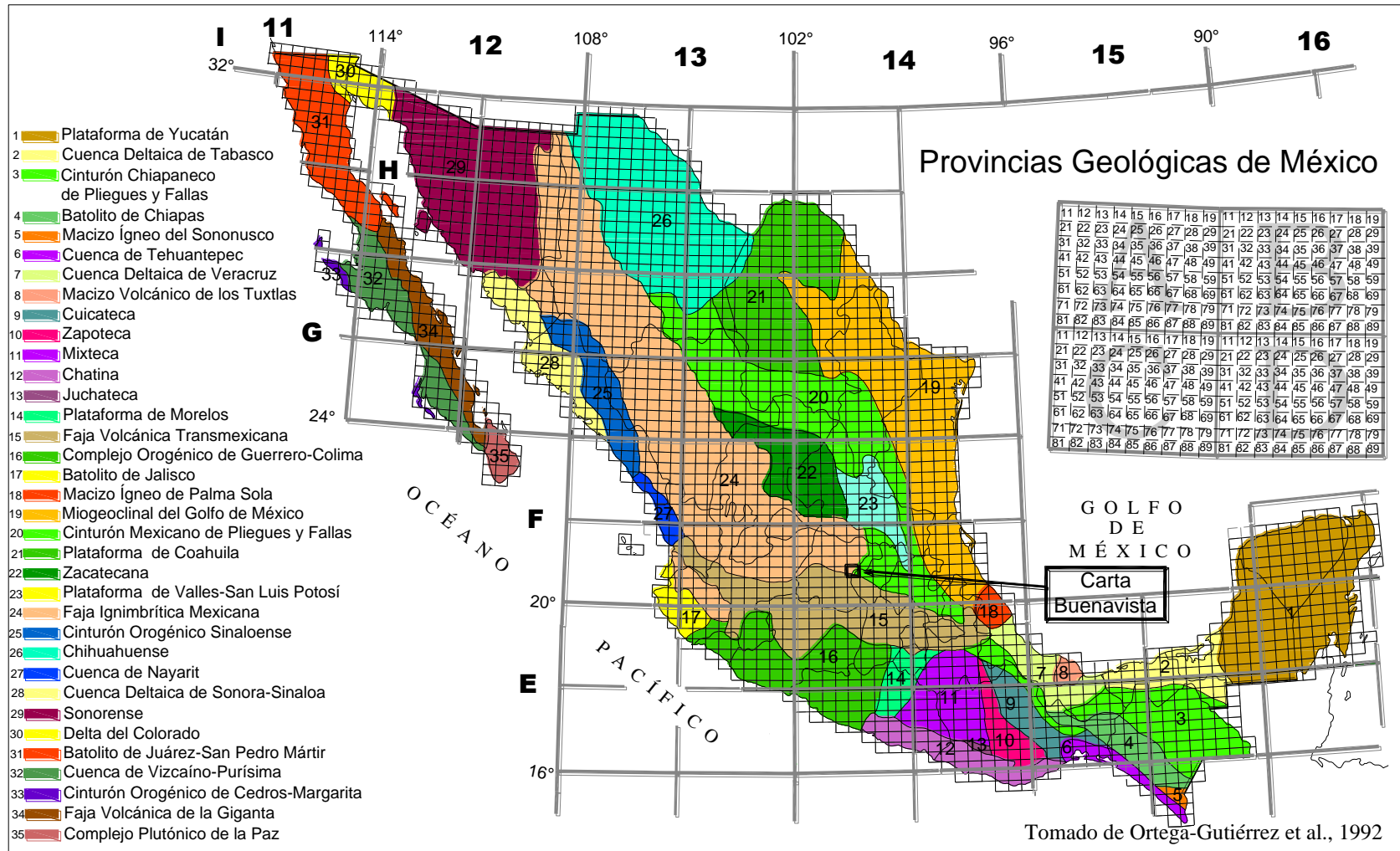


Fig. 17 Provincias Geológicas de México. Tomado de Ortega-Gutiérrez et al., 1992.

3. CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DE LA CARTA BUENAVISTA F14-C55

En los capítulos anteriores bosquejamos primero los conceptos necesarios para entender los procesos geológicos en la naturaleza y después, las disciplinas útiles para el fin de un estudio cartográfico-geológico, en este capítulo conoceremos la forma real en que un profesional presenta los resultados de un estudio de este tipo.

La finalidad del trabajo cartográfico-geológico consiste en caracterizar el área de estudio en cuanto a la litología, estratigrafía y geología estructural. Esta información es recopilada en el trabajo previo a la campaña de campo y el trabajo geológico de campo, donde se analizan e interpretan de acuerdo al criterio del geólogo para que al final, los resultados se puedan sintetizar en un mapa. Este mapa está compuesto por formas de expresión escrita, ---además de las comunes letras y números--- tales como signos geológicos, signos topográficos, áreas pigmentadas y líneas con diferente tipología.

La información que se presenta en los subcapítulos siguientes es un breve resumen de las características físicas, geográficas y geológicas de la zona en cuestión; primero ubicaremos la carta geográficamente, después describiremos la fisiografía regional, la geología regional, la estratigrafía y para finalizar la geología estructural, por último se presentará el mapa geológico.

3.1 LOCALIZACIÓN Y VÍAS DE ACCESO

La Carta Topográfica BUENAVISTA F14-C55 a escala 1:50,000 (Fig.18) editada por el I.N.E.G.I., abarca una superficie de 884 km² aproximadamente y se encuentra en la parte meridional entre los Estados de Querétaro y Guanajuato, al centro de México.

Las zonas urbanas de mayor población cercanas a dicha carta son: San José Iturbide al noreste, San Miguel de Allende al oeste y Santa Rosa Jáuregui al sur.

Las vías terrestres que atraviesan esta carta son la carretera federal número 57 libre y de cuota que comunica de sur a norte a las ciudades de Querétaro y San José Iturbide, y la carretera federal número 111 libre que comunica de sureste a noroeste las ciudades de Querétaro y San Miguel de Allende.

3.2 FISIOGRAFÍA REGIONAL

El paisaje que ofrece el espacio geográfico delimitado en la Hoja Buenavista presenta rasgos que permiten reconocer tres sectores de acuerdo a su fisiografía; si nos imaginamos que estamos observando su paisaje desde un punto de vista cercano al Poblado Buenavista (Fig. 19), veríamos desde ahí hacia el noroeste, el Sector Norte cuyos rasgos orográficos permiten identificar la región denominada Mesa del Centro, así también, hacia el oriente, el Sector Oriente, y al suroeste el Sector Poniente, ambos con sello volcánico de la región Eje Neovolcánico.



Fig. 19 Mapa Esquemático de Sectores. A) Sector Norte; B) Sector Oriente; y C) Sector Poniente.

La Provincia Fisiográfica Mesa del Centro (PFMC) (Fig. 20) es una planicie relativamente alta donde predominan moderadas elevaciones, casi siempre inferiores a los 600 m (Nieto-Samaniego *et al.*, 2005), el Sector Norte está en el límite sur de esta provincia y se observa como una meseta muy erosionada, con una geometría, si se puede decir así, anular irregular, contrastado por diferentes morfologías al interior, donde sobresalen por su elevada pendiente los cerros El Macho y La Margara, cuyas morfologías se pueden asemejar a dos conos con la punta truncada o achatada. El tipo de drenaje¹ que domina el interior de esta

¹ *Drenaje*. Es la configuración que adopta la topografía cuando escurre el agua pluvial en una región determinada, producto de las características de las rocas y de la geometría de la región.

meseta es de tipo dendrítico², los extremos de este sector en comparación no presentan ningún patrón de drenaje.

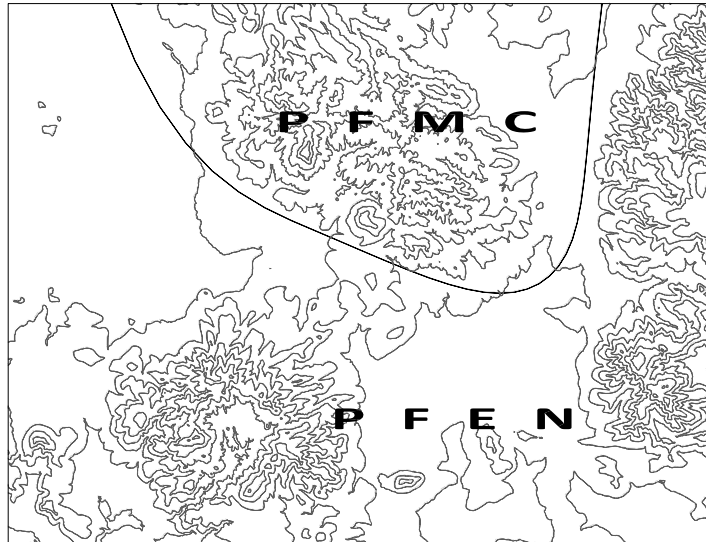


Fig. 20 Mapa Esquemático de Provincias Fisiográficas en la Carta Buenavista. PFMC) Provincia Fisiográfica Mesa del Centro; PFEN) Provincia Fisiográfica Eje Neovolcánico.

Debajo del Sector Norte, los otros dos sectores se encuentran dentro de La Provincia Fisiográfica Eje Neovolcánico (PFEN), la cual se extiende de costa a costa en la parte central de México como una franja o cinturón, cuyas medidas alcanzan los 1,000 km de longitud y un ancho variable entre 50 y 200 km aproximadamente (Szyrkaruk y Graduño-Monroy., 2004). Dicha región volcánica está conformada por diversos tipos de volcanes que matizan el paisaje con variadas formas y tamaños, por ejemplos, los domos volcánicos y volcanes escudo son de tamaño pequeño en comparación con algunos grandes estratovolcanes. El Sector Poniente presenta una morfología de cono achatado también, de base circular y con un diámetro que mide alrededor de 14 km. En su parte central se observa un hueco o caldera³ de unos 30m. de profundidad, donde se encuentran anidados los poblados La Joya y Charape de La Joya. La orografía de este sector está cortada por pequeñas cañadas; los canales del drenaje temporal se pueden ver con un patrón radial.

² *Dendrítico*. Patrón de drenaje que forma un entramado, como el de un árbol.

³ *Caldera*. Una caldera, en geología es una gran depresión volcánica en forma más o menos circular. Ciertas calderas son resultado de explosiones que destruyen el volcán en erupción, otras se forman cuando la cámara subterránea de magma, vacía tras erupciones sucesivas, no puede soportar más el peso de la mole volcánica situada encima y se derrumba.

El Sector Oriente define una meseta alargada de altura uniforme, la cual está cortada por numerosas cañadas profundas. Las serranías presentan 700 m de altura en promedio y sus laderas se observan muy empinadas. La extensión de este sector abarca casi todo el ancho de la hoja, desde el poblado del Pinto al sur, hasta San José Iturbide en el otro extremo.

3.3 GEOLOGÍA REGIONAL

En cuanto al marco geológico de la Carta Buenavista se reconocen rasgos que corresponden a dos provincias geológicas; el Sector Norte corresponde a la región de la Faja Ignimbrítica Mexicana, mientras que el Sector Poniente y el Sector Oriente se encuentran dentro de la región denominada Cinturón Volcánico Mexicano.

La Provincia Geológica Faja Ignimbrítica Mexicana (PGFIM) (Fig. 21) es una región montañosa al oeste de nuestro país en la que predominan escarpes con diversas formas y elevaciones, estas montañas se caracterizan por presentar grandes espesores de un tipo de roca volcánica llamada ignimbrita cuyo nombre se refiere al proceso que las forma: a través del asentamiento de material piroclástico y su posterior consolidación. Con aproximadamente 300,000 km² de área, 1,600 km de longitud y 250 km de anchura (Ortega-Gutiérrez *et al.*, 1992), es la región más grande de rocas ignimbríticas de México y del Continente Americano. La composición de estas rocas tiene ---además de otros componentes--- alto contenido en sílice por lo que son llamadas rocas ácidas.

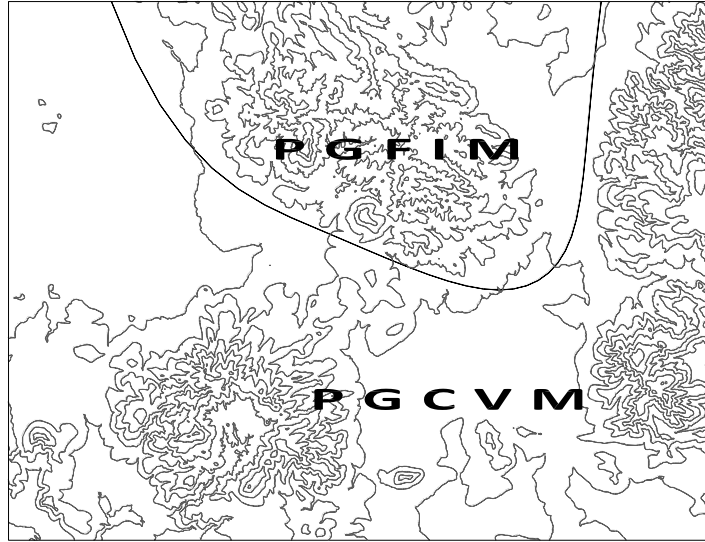


Fig. 21 Mapa Esquemático de Provincias Geológicas en la Carta Buenavista. PGFIM) Provincia Geológica Faja Ignimbrítica Mexicana; PGCVM) Provincia Geológica Cinturón Volcánico Mexicano.

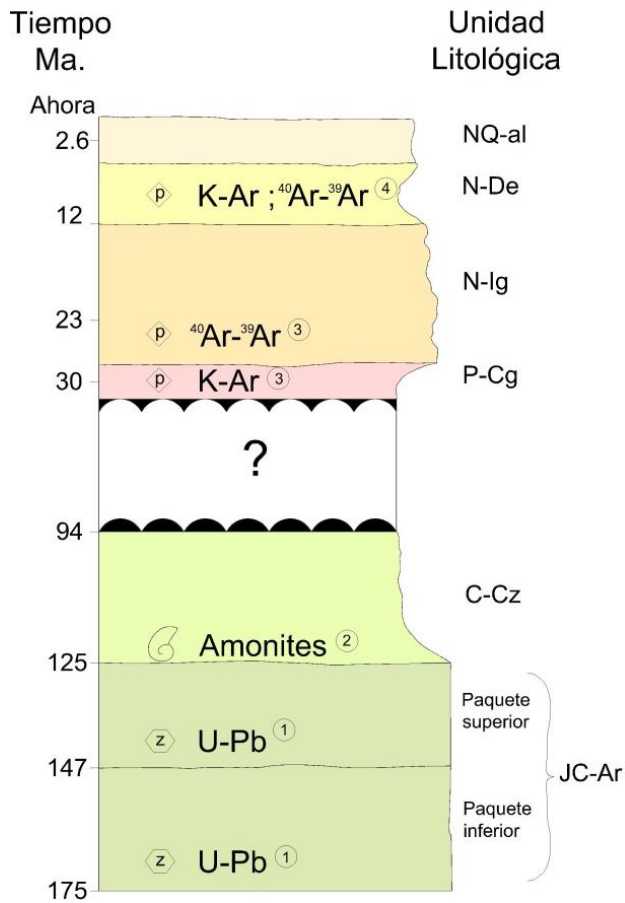
La Provincia Geológica Cinturón Volcánico Mexicano (PGCVM) por su parte constituye una de las cadenas volcánicas más complejas del cinturón Circum-pacífico debido a sus particularidades en relación a otras cadenas dentro de las cuales Ferrari (2000) distingue las siguientes: 1) la orientación este-oeste, oblicua respecto a la trinchera océano-continente, en el Pacífico Mexicano; 2) la variabilidad del ancho de la cadena el cual llega a ser en algunas partes de 100 km de diferencia; 3) los cambios en el estilo y composición del volcanismo dominante durante su formación, paso de ser ácida a intermedia-básica; y 4) la evolución tectónica que tuvo y que no se ha podido entender bien hasta el momento.

3.4 ESTRATIGRAFÍA

La estratigrafía de la región se distingue por la abundancia de rocas volcánicas de la era Cenozoica, desde el Oligoceno medio hace 30 Ma., hasta el Plioceno hace 8 Ma aproximadamente, sólo el área central del Sector Norte contiene evidencias de rocas más antiguas pertenecientes a la era Mesozoica, hace 200 Ma, esta área se le ha considerado parte del Terreno Guerrero (Campa *et al.*, 1983; Centeno-García *et al.*, 1993) al cual se

le puede llamar basamento mesozoico. Las unidades o paquetes de rocas que se describen a continuación están en orden cronológico, de la más antigua a la más reciente y su configuración espacial se puede ver en el mapa geológico (Anexo).

Unidad Areniscas, lutitas y calizas del Cretácico Inferior (JC-Ar) (Fig. 22), está formada por dos paquetes de rocas sedimentarias de modesta a intensamente deformadas, las cuales se encuentran cortadas por numerosas fallas normales con orientación noroeste-sureste y norte-sur, dichas fallas han producido un sistema estructural complejo caracterizado por fosas y pilares tectónicos que complica la reconstrucción estratigráfica de estos paquetes, es por esto que se agrupó en una sola unidad, estos paquetes son: 1) el paquete inferior lo conforma una sucesión de arenisca y lutita principalmente, junto con escaso conglomerado y caliza, las rocas dominantes están compuestas casi de puro cuarzo y moscovita, esta unidad aflora en su mayor parte todo el lado occidental y en las vertientes de los arroyos principales del lado oriental; presenta una coloración gris metálico a blanco al fresco y ocre a marrón a la intemperie; su edad promedio se ha calculado del Jurásico entre edades que varían de 147 ± 2 y 175 ± 3 Ma. (Palacios-García, 2013); 2) el paquete superior está compuesto por areniscas, lutitas y escaso conglomerado, cuyos sedimentos en su mayoría son de origen volcánico, comprobable por el alto contenido de cristales de feldespatos; este paquete queda expuesto en los niveles topográficos superiores de los cerros que conforman el lado oriental de la unidad, el lado occidental de este paquete ya se ha erosionado quedando en exposición únicamente el paquete inferior; las areniscas presentan un color marrón a la intemperie y gris al fresco; su edad se ubica en los rangos de 128 ± 2 a 174 ± 3 Ma de acuerdo a fechamientos en circones detríticos por el método de Uranio-Plomo (U-Pb) (Palacios-García, 2013).



1. Palacios-García, 2013
2. Chiodi *et al.*, 1988
3. Cerca-Martínez *et al.*, 2000
4. Pérez-Venzor *et al.*, 1996 y Váldez-Moreno *et al.*, 1998

Fig. 22 Columna Estratigráfica local.

Unidad Calizas, Margas y lutitas del Cretácico (C-Cz), está formada por rocas sedimentarias como calizas de grano fino, marga, lutita y pedernal; sobreyace a la unidad anterior (JC-Ar) y su disposición forma un anillo burdamente concéntrico; las calizas tienen colores oscuros al fresco y grises a la intemperie, el pedernal es de color negro. Alaniz-Álvarez *et al.* (2001) han correlacionado estas rocas con las calizas expuestas en el área de San Miguel de Allende, las cuales contienen amonites del Cretácico Superior (Chiodi *et al.*, 1988).

Unidad de derrames de lava, conglomerado y tobas del Paleógeno (P-Cg), consiste principalmente de lavas, conglomerado y contiene algunas tobas. Esta unidad se encuentra: 1) sobreyaciendo al basamento

mesozoico al sur del Sector Norte en contacto por falla; y 2) en las coronas de los cerros El Macho y La Margara. La coloración de estas rocas es obscura; con muestra en mano se observan muchos pedazos de cristales y roca embebidos en una matriz obscura. La edad que le asigna Alaniz-Álvarez *et al.* (2001) es del Oligoceno medio basada en los fechamientos de K-Ar (Potasio-Argón) de la Andesita El Cedro al suroeste de San Miguel de Allende (30.6 ± 0.4 Ma y 30.7 ± 0.6 Ma.), reportados por Cerca-Martínez *et al.* (2000).

El paquete denominado Ignimbritas del Neógeno (N-Ig) está compuesto por rocas piroclásticas de composición ácida (ignimbritas). Las rocas presentan una coloración rosácea; con muestra en mano se pueden ver los cristales de cuarzo y feldespato potásico. Cerca-Martínez *et al.* (2000) fecharon rocas pertenecientes a esta unidad en la Mesa San José de Allende en las inmediaciones de Guanajuato, reportando una edad de 23.0 ± 0.3 Ma con el método Argón-Argón ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$) en plagioclasa. Esta unidad sobreyace a la unidad C-Cz y a la unidad N-De (descrita más adelante) y se le puede observar: 1) en el Sector Norte: en las partes topográficas altas al oriente y en toda la parte norte; y 2) en el Sector Oriente: en la parte central.

Se considera como Rocas volcánicas del Neogeno (N-De) a los productos volcánicos de composición básica e intermedia provenientes de los estratovolcanes La Joya, Palo Huérfano y San Pedro ubicados en la parte sur de la Sierra de Guanajuato. La Joya tiene un desnivel de 550 m y los derrames tienen espesores menores que 70 m (Váldez-Moreno *et al.*, 1998). Esta unidad yace discordantemente sobre las rocas mesozoicas (Alaniz-Álvarez *et al.*, 2001); su edad corresponde al Mioceno medio ya que las edades reportadas por diferentes autores varían de 12.1 para el volcán Palo Huérfano (Pérez-Venzor *et al.*, 1996) con el método K-Ar en plagioclasa y de 9.9 ± 0.4 Ma para el volcán La Joya (Váldez-Moreno *et al.*, 1998) con el método $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ en plagioclasa.

Se denomina depósitos continentales del Neógeno-Cuaternario (NQ-al) al paquete compuesto por sedimentos aluviales y lacustres que rellenan las depresiones en toda el área de estudio, dichos depósitos sedimentarios constituyen el relleno de cuencas continentales.

3.5 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

La caracterización geológica estructural básica de la carta consiste en: 1) un anticlinal conformado entre las dos unidades centrales del Sector Norte, delimitado por fallas normales; y 2) una falla regional normal que limita al Sector Oriente y se extiende hacia el sur de la carta.

Las fallas Los Cuarzos y Buenavista (Fig. 23) ubicadas en los flancos noreste y suroeste del Sector Norte respectivamente, son fallas normales que delimitan un mismo bloque de techo, a este tipo de estructura se le llama pilar tectónico. La Falla Los Cuarzos abarca desde los poblados de San Antonio del Varal en un extremo, hasta La Luz en el otro; por su parte, la Falla Buenavista se extiende desde Corral Piedras de Arriba, hasta El Arquito de Buenavistilla; estas fallas tienen una orientación general noroeste-sureste y pertenecen al Sistema de Fallas Taxco-San Miguel de Allende que es el límite que separa las Provincias Fisiográficas Mesa del Centro y la Sierra Madre Oriental.

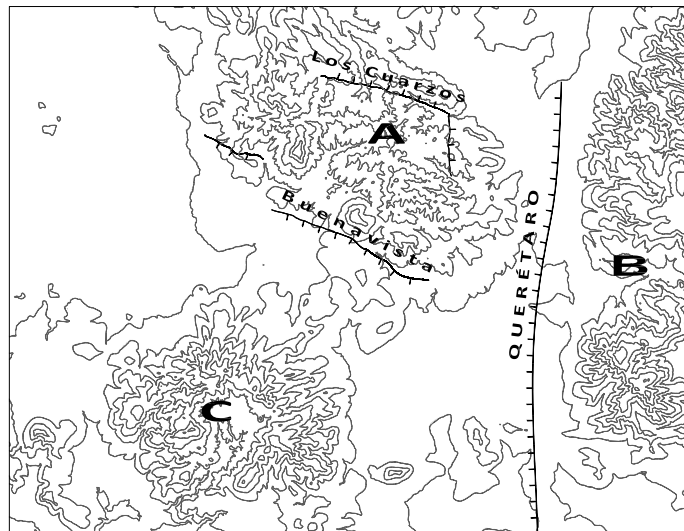


Fig. 23 Mapa esquemático de fallas y sectores. A) Sector Norte; B) Sector Oriente; y C) Sector Poniente. También se puede apreciar las fallas Los Cuarzos y Buenavista

La Falla Querétaro (Alaniz-Álvarez, *et al.*, 2001) es una falla tipo normal con orientación norte-sur, muy cerca del Sector Oriente; su longitud es de 22 km aproximadamente; esta falla es un segmento de una falla más grande con 61 km de largo la cual cruza toda la ciudad de Querétaro, al sur.

4. SUGERENCIAS PARA EL USO DE ESTE TRABAJO

Este trabajo está pensado para ayudar a comprender algunos temas del curso de Geografía que están contemplados en los programas de estudio de esta asignatura para el nivel medio (S.E.P., 2005) referentes a: 1) El Espacio geográfico y los mapas y 2) Los Componentes principales del Sistema Terrestre; así mismo, puede servir como una guía básica sobre conceptos geológicos y cartográficos.

Este capítulo trata algunas sugerencias didácticas dirigido a los profesores de esta asignatura con su grupo de alumnos con el objetivo de poner en práctica los conceptos geológicos aquí tocados, así como las descripciones de las unidades hechas en el capítulo anterior.

Es recomendable que el profesor motive a sus alumnos con el desarrollo de algunos experimentos asociados a las ciencias de la Tierra, por ejemplo los descritos en la serie “Experimentos simples para entender una Tierra complicada” de Alaniz-Álvarez y Nieto-Samaniego (2008) dividido en cinco volúmenes: 1. La presión atmosférica y la caída de los cuerpos, 2. La luz y los colores, 3. ¡Eureka! Los continentes y los océanos flotan, 4. El clima pendiente de un hilo y 5. La Tierra y sus ondas.

Si la escuela cuenta con un medio de transporte terrestre como camión de autobús, combi o vagoneta, se sugiere llevar a los alumnos a un recorrido geológico general por carretera. Durante el recorrido de éste, se recomienda ir describiendo las características morfológicas ---teniendo en consideración que se encuentra a una distancia lejana ya que se está viendo desde la carretera--- por donde se esté pasando, como pueden ser: la pronunciación y formas que adopta el relieve en cada sector descrito, si es de poca o mucha pendiente, los tipos de rocas a los que está asociado este relieve (si son de tipo ígneo o sedimentario), el tipo de vegetación que presenta (si permite el desarrollo de plantas), en general, todas aquellas características que puedan servir de ayuda para identificar cada sector; junto con lo anterior, se puede jugar a identificar los elementos orográficos mayores, los cerros El Macho y La Margara o el volcán La Joya.

Se han seleccionado dos puntos en la carta en donde se podrá hacer una visita. Se seleccionaron los lugares de visita por varias razones, porque son puntos de fácil acceso, por la cercanía entre ellos ---lo que permite que el tiempo en llegar de uno a otro sea más corto--- y porque en sus inmediaciones se pueden

observar las unidades de rocas más antiguas (descritas en Estratigrafía del capítulo anterior). En estos puntos se propone hacer dos actividades: 1) compartir con los alumnos una plática sobre geología tomando como ejemplos didácticos el registro geológico que se puede observar en las rocas; y 2) obtener una muestra de roca de cada unidad geológica golpeándola con un marro de acero, esto último con la finalidad de hacer una colección de muestras.

El primer punto se encuentra en las cercanías del lugar Charape de los Pelones, al sureste del Sector norte; para llegar ahí se puede ir por la carretera federal de cuota número 57 -- La Española -- Puerta de Española -- Charape de los Pelones -- Punto Uno. De la carretera federal no. 57 hacia San José Iturbide, aproximadamente a la altura del kilómetro 44 se toma el camino de terracería hacia el poblado de La Española, después de pasar la curva donde está una loza de concreto grande, ---una cancha de basquetbol--- el cerro que se observa al fondo de las casas, hacia la derecha, pertenecen a la unidad N-Ig, esta unidad se observa arriba de la unidad C-Cz como se muestra en la Foto 4 que aparece en la siguiente página. Más adelante, cuando se juntan las colinas por este camino, justo después de pasar el arroyo por un puente pequeño de metal, se encontrará una bifurcación del camino hacia el noroeste, se continúa por el camino de la izquierda hasta llegar al final de éste, ahí se puede dejar el vehículo y continuar caminando hacia el noroeste. El Punto Uno se encuentra a unos 300 m hacia el noroeste, ahí se encontrará un paisaje como el de la Foto 5, este paisaje configura la intersección de dos fallas regionales, los cerros de enfrente configuran una falla con dirección norte-sur, y los cerros de la izquierda configuran otra falla con dirección este-oeste, hacia el fondo del paisaje se encuentra la unidad JC-Ar. Las rocas blancas en las zonas topográficas superiores de las colinas anteriores ---las cuales se pueden identificar con un relieve tendido--- son rocas de la unidad C-Cz. Si se continúa caminando por las vertientes de los arroyos de la zona JC-Ar, encontrarán el paquete inferior de esta unidad la cual contiene numerosas estructuras sedimentarias, macroscópicas y microscópicas.

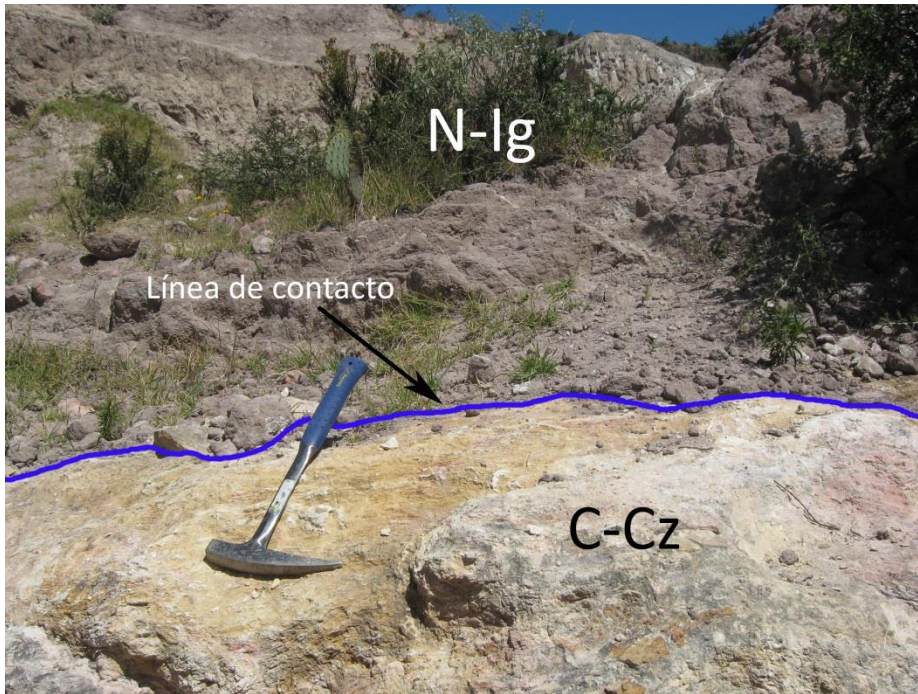


Foto 4. Contacto entre la Unidad N-Ig y C-Cz.



Foto 5. Punto Uno.

El segundo punto se encuentra cerca del poblado Moral Puerto de Nieto, al sur del Sector Norte; para llegar ahí se puede ir por la carretera federal 111--Puerto de Nieto -- Moral Puerto de Nieto -- Punto Dos. De la carretera federal no. 111 hacia San Miguel de Allende, a la altura del poblado Santos Marías se debe de tomar el camino de terracería que conduce a Puerto de Nieto, llegando ahí se atraviesa el poblado con dirección hacia el noreste hasta llegar a otro camino de terracería que continúa hacia Moral Puerto de Nieto, en este tramo del camino se podrán distinguir claramente cerro La Margara hacia el norte (ver Foto

6) y cerro El Macho hacia el este; se recomienda dejar el transporte en el último poblado y de ahí continuar a pie. El Punto Dos se encuentra en la vertiente del arroyo hacia el Sur, a 200 m más o menos desde el límite sureste del poblado; durante todo ese recorrido, se podrá ver los derrames de lava de la unidad P-Cg en la vertiente del arroyo, arriba de estos, en contacto discordante, se podrán ver los conglomerados como se muestra en la Foto 7.



Foto 6. Cerro La Margara.



Foto 7. Contacto entre los derrames de lava y el conglomerado, ambos de la Unidad P-Cg.

5. CONCLUSIONES

Se cumplió el objetivo de hacer un trabajo general sobre la geología para dar énfasis en la definición de algunos conceptos y explicación de fenómenos geológicos con fines pedagógicos y con esto, se aportó con material didáctico escrito para la enseñanza en el nivel medio.

La cartografía a detalle del Sector Norte se ha hecho solamente para la parte oriental de este sector (consultar Palacios-García, 2013), en la región comprendida entre los poblados de La Española y El Chupadero (Agua Zarca) y es complicada desde el punto de vista estructural, sin embargo, para los fines de este trabajo no se consideró necesaria esa información y es por eso que se agrupó en una sola unidad, la Unidad JC-Ar.

Se comprendió la importancia de explicar temas específicos de Geología de manera clara y sencilla evitando caer en los tecnicismos del área con la finalidad de hacerlo entendible al resto de las personas que no tienen los conocimientos de Geología.

Los aspectos del espacio geográfico desde la perspectiva de las Ciencias de la Tierra son fundamentales para una buena educación, esta información debería estar contemplada en los programas de estudio de Geografía de nivel básico e intermedio.

INDICE DE TÉRMINOS

- Bloque de piso, p. 40
Bloque de techo, p. 40
Caldera, p. 57
Cartografía, p. 44
Ciclo de las rocas, p. 34
Ciclo hidrológico, p. 33
Ciclo tectónico, p. 34
Contacto geológico, p. 45
Continuidad lateral, p. 38
Cristalización fraccionada, p. 22
Dendrítico, p. 57
Deriva continental, p. 15
Dorsales oceánicas, p. 15
Drenaje, p. 56
Eón, p. 12
Epicentro, p. 19
Erosión, p. 28
Estratigrafía, p. 37
Falla, p. 40
Foliación, p. 32
Fósiles índices, p. 10
Fractura, p. 40
Geomorfología, p. 42
Hipocentro, p. 19
Horizontalidad original, p. 38
Isostasia, p. 16
Litificación, p. 28
Márgenes convergentes, p. 17
Márgenes divergentes, p. 17
Márgenes tectónicos, p. 17
Márgenes transformantes, p. 19
Metamorfismo de contacto, p. 31
Metamorfismo regional, p. 32
Meteorización, p. 27
Mineral, p. 20
Pangea, p. 14
Placas tectónicas, p. 16
Pliegue, p. 41
Principios estratigráficos, p. 38
Provincias fisiográficas, p. 50
Provincias geológicas, p. 51
Radioactividad, p. 11
Roca, p. 20
Rocas ígneas plutónicas, p. 21
Rocas ígneas volcánicas, p. 21
Rocas sedimentarias, p. 26
Rocas sedimentarias bioquímicas, p. 27
Rocas sedimentarias clásticas, p. 27
Rocas sedimentarias químicas, p. 27
Rocas metamórficas, p. 30
Sección geológica, p. 46
Superposición, p. 38
Trincheras, p. 15
Zonas paleo-geográficas, p. 10

6. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

- ArcGIS Resources (2014). *Georreferenciación y sistemas de coordenadas*. <<http://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n0000000s000000.htm>> [Consulta: Mayo, 2014]
- Alaniz-Álvarez, S.A., Nieto-Samaniego, A.F., Reyes-Zaragoza, M.A., Orozco-Esquivel, M.T., Ojeda-García, A.C. y Vassallo, L.F. (2001). Estratigrafía y deformación extensional en la región San Miguel de Allende-Querétaro, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 18(2), 129-148.
- Alaniz-Álvarez, S.A. y Nieto-Samaniego, A.F. (2008). *Serie: Experimentos Simples para entender una Tierra complicada*. Universidad Nacional Autónoma de México. Centro de Geociencias. Juriquilla, Querétaro.
- Campa, M.F. y Coney, J. (1983), Tectono-stratigraphic terranes and mineral resource distributions of México. *Canadian Journal of Earth Sciences*. 20, 1040-1051.
- Centeno-García, E., Ruiz, J., Coney, J., Patchett, J. y Ortega-Gutiérrez, F. (1993), Guerrero terrane of México: its role in the southern Cordillera from new geochemical data. *Geology*, 21, 419-422.
- Cerca-Martínez, L.M. Aguirre-Díaz, G.J. y López-Martínez, M. (2000). The geological evolution of the southern Sierra de Guanajuato; a documented example of the transition from the Sierra Madre Occidental to the Mexican Volcanic Belt. *International Geology Review*, 42, 131-151.
- Comisión Internacional de Estratigrafía (IUGS) (2013). *Tabla Crono-estratigráfica Internacional*. <<http://www.stratigraphy.org/ICSchart/ChronostratChart2013-01Spanish.pdf>> [Consulta: Mayo, 2014]
- Ferrari, L. (2000). Avances en el conocimiento de la Faja Volcánica Transmexicana durante la última década. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 53(1), 84-92.
- Fritz, W.J. y Moore, J.N. (1988). *Basics of physical stratigraphy and sedimentology*. U.S.A.: John Wiley & Sons, Inc.
- Instituto Nacional de Geografía, Estadística e Informática (2003). CARTA TOPOGRÁFICA 1:50 000; BUENAVISTA F14C55; GUANAJUATO Y QUERÉTARO.
- Instituto Nacional de Geografía, Estadística e Informática (2014). *Geografía; Temas: Recursos Naturales; Fisiografía; Carta fisiográfica*. <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclnat/fisiografia/carta_fisiografica.aspx> [Consulta: Mayo, 2014]
- Leet, L.D. y Judson, S. (2004). *Fundamentos de Geología Física*. México, D.F.: Editorial Limusa, S.A. de C.V.

- Miyashiro, K. (1973). *Metamorphism and metamorphic belts*. Allen and Unwin, London. In: Frey, M. (1987). *Low temperature metamorphism*. Blackie & Son Limited. Published in U.S.A. by Chapman and Hall; New York.
- McConnell, D., Steer, D., Knight, C., Owens, K. y Park, L. (2008). *The Good Earth. Introduction to Earth Science*. Boston: Mc Graw Hill. Higher education.
- Murck, B.W. y Skinner, B.J. (1999). *Geology Today: Understanding our Planet*. New York: John Wiley & Sons. Inc.
- Nieto-Samaniego, A.F., Alaniz-Álvarez, S.A. y Camprubí í Cano, A. (2005). La Mesa Central de México: estratigrafía, estructura y evolución tectónica cenozoica. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 57(3), 285-318.
- Ortega-Gutiérrez, F., Mitre-Salazar, L.M., Roldán-Quintana, J., Aranda-Gómez, J.J., Morán-Zenteno, D., Alaniz-Álvarez, S.A., y Nieto-Samaniego, Á.F. (1992). Carta Geológica de la República Mexicana, 5ª ed. *México: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología; y Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal, Consejo de Recursos Minerales*, mapa con texto explicativo, escala 1:2'000,000, 74 p.
- Palacios-García, N.B. (2013). *Análisis petro-tectónico de la sucesión mesozoica de la Sierra de los Cuarzos, centro de México: Reconocimiento de un depósito sintectónico relacionado con la acreción del terreno Guerrero*. Tesis de Grado inédita, Maestría en Ciencias de la Tierra (Estratigrafía), Posgrado en Ciencias de la Tierra, U.N.A.M., México, D.F. Instituto de Geología.
- Pérez-Venzor, J.A., Aranda-Gómez, J.J., McDowell, F. y Solorio- Munguía, J.G. (1996). Geología del volcán Palo Huérfano, Guanajuato, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 13(2), 174-183.
- Press, F. y Siever, R. (1986). *Earth*. U.S.A.: W.H. Freeman and Company.
- Secretaría de Educación Pública. Dirección General de Desarrollo Curricular de la Subsecretaría de la Educación Básica (2005). Educación Secundaria. Geografía. Programa de Estudio. Versión preliminar para la primera etapa de implementación, 2005-2006 [en línea]. México, D.F. Secretaría de Educación Pública <<http://educacionespecial.sepdf.gob.mx/escuela/documentos/CurriculumBasica/Secundaria/Programa/PGeografia.pdf>> [Consulta: Noviembre ,2013]
- Scotese, C. R. (2002). *Atlas of Earth History; Volume 1. Paleogeography*. PALEOMAP Project. Arlington, Texas. <<http://www.scotese.com/earth.htm>> [Consulta: Febrero, 2013].
- Silva-Romo, G., Mendoza-Rosales, C.C. y Campos-Madriral, E. (2006). *Elementos de cartografía geológica*. México: Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.

- Silva-Romo, G. y Mendoza-Rosales (2011). Proyección Universal Transversa de Mercator (UTM). In: Silva-Romo, G., Mendoza-Rosales, C.C. (Eds.). *Manual para el trabajo geológico de campo*. Universidad Nacional autónoma de México, Facultad de Ingeniería.
- Szynkaruk, E. y Graduño-Monroy V.H., Bocco, G. (2004). Active fault systems and tectono-topographic configuration of the central Trans-Mexican Volcanic Belt. *Geomorphology*, 61, 111-126.
- Valdéz-Moreno, G., Aguirre-Díaz, G.,J. y López-Martínez, M. (1998). El volcán la Joya, Estados de Querétaro y Guanajuato -- Un estratovolcán miocénico del cinturón volcánico mexicano. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*,15(2), 181-197.