



Código: PES_3.5 IE 01	Página 1 de 117
Fecha de Emisión: Enero 2014	Fecha de Revisión: 25 de Febrero de 2016
	Nº de Revisión: 1
Elaboró: M.C. Rey Manuel Quintana Martínez	
Aprobó: Secretaría Académica	

EJEMPLOS DE MATERIAL DIDACTICO



Universidad Autónoma de Chihuahua
Facultad de Zootecnia y Ecología



Manejo de cuencas hidrológicas

Elaboró: *M.C. Rey Manuel Quintana Martínez*

ENERO 2014





El curso de Manejo de Cuencas Hidrológicas es parte del programa de Ingeniero en Ecología de la Facultad de Zootecnia y Ecología Universidad Autónoma de Chihuahua.

Este material es propiedad del maestro titular M.C. Rey Manuel Quintana Martínez.

-Elaborado: Agosto del 2001

-Actualización a petición de la academia febrero 2014

Chihuahua, Chih. México.

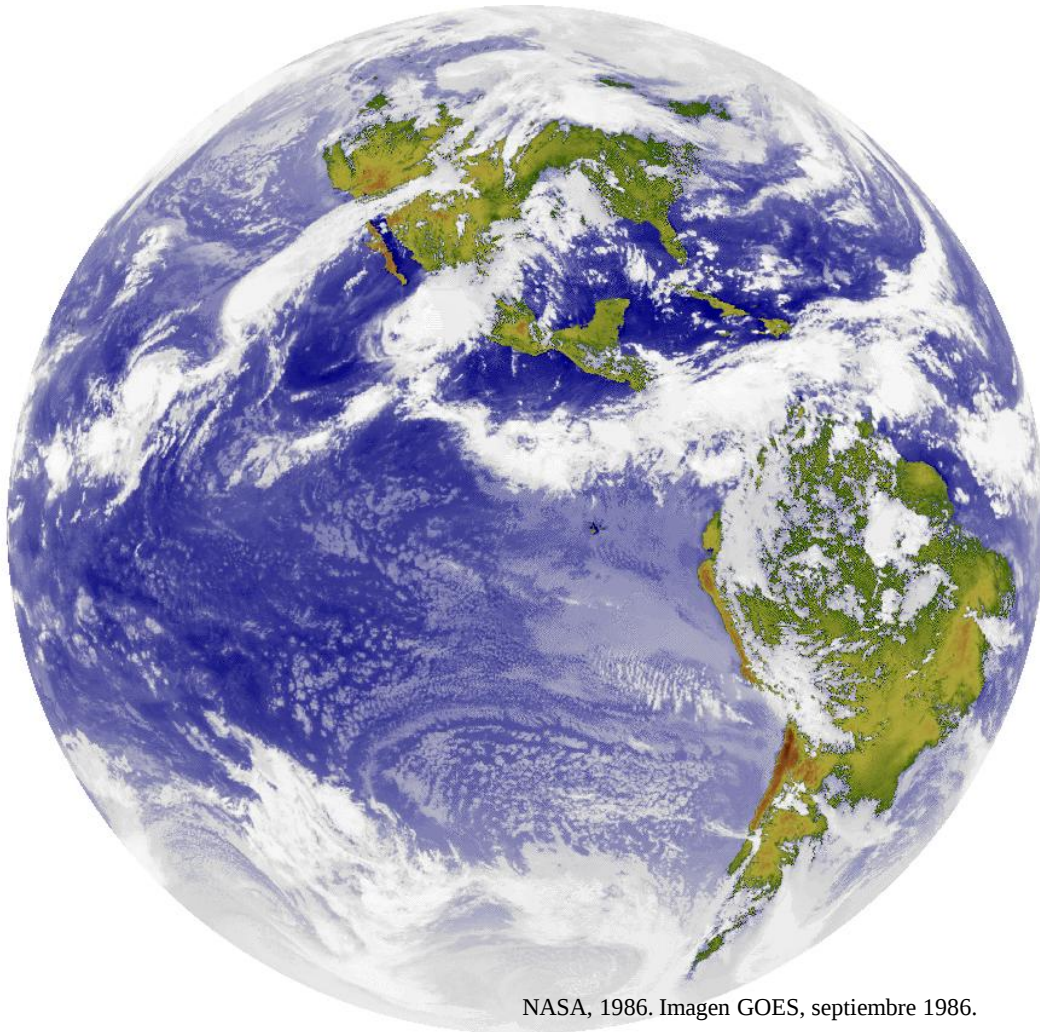




Contenido

Introducción a la hidrología -----	1
Ciclo hidrológico	
Balance de agua	
Geomorfología fluvial -----	6
Cuenca hidrológica	
Regiones hidrológicas en México	
Características físicas de la cuenca	
-Área	
-Índices de forma	
-Elevación media	
-Pendiente media	
-Sistema de drenaje	
Precipitación -----	20
Humedad atmosférica	
Enfriamiento del aire y precipitación	
Tipos de lluvia	
Monitoreo de la lluvia	
Lluvia promedio en una cuenca	
Frecuencia de lluvia	
Evapotranspiración -----	28
Concepto de evaporación	

Monitoreo de la evaporación	
Concepto de transpiración	
Infiltración	32
Proceso de infiltración	
Monitoreo de la infiltración en un sitio	
Índice de infiltración en una cuenca	
Esguerrimiento superficial en la cuenca	37
Concepto de esguerrimiento	
Volumen de esguerrimiento	
Histograma de esguerrimiento	
Monitoreo del esguerrimiento	
Sedimentación y calidad de agua	39
Concepto de sedimentación	
Monitoreo de la sedimentación	
Calidad de agua	
Intercepción de la lluvia	42
Componentes de la intercepción	
Bibliografía	



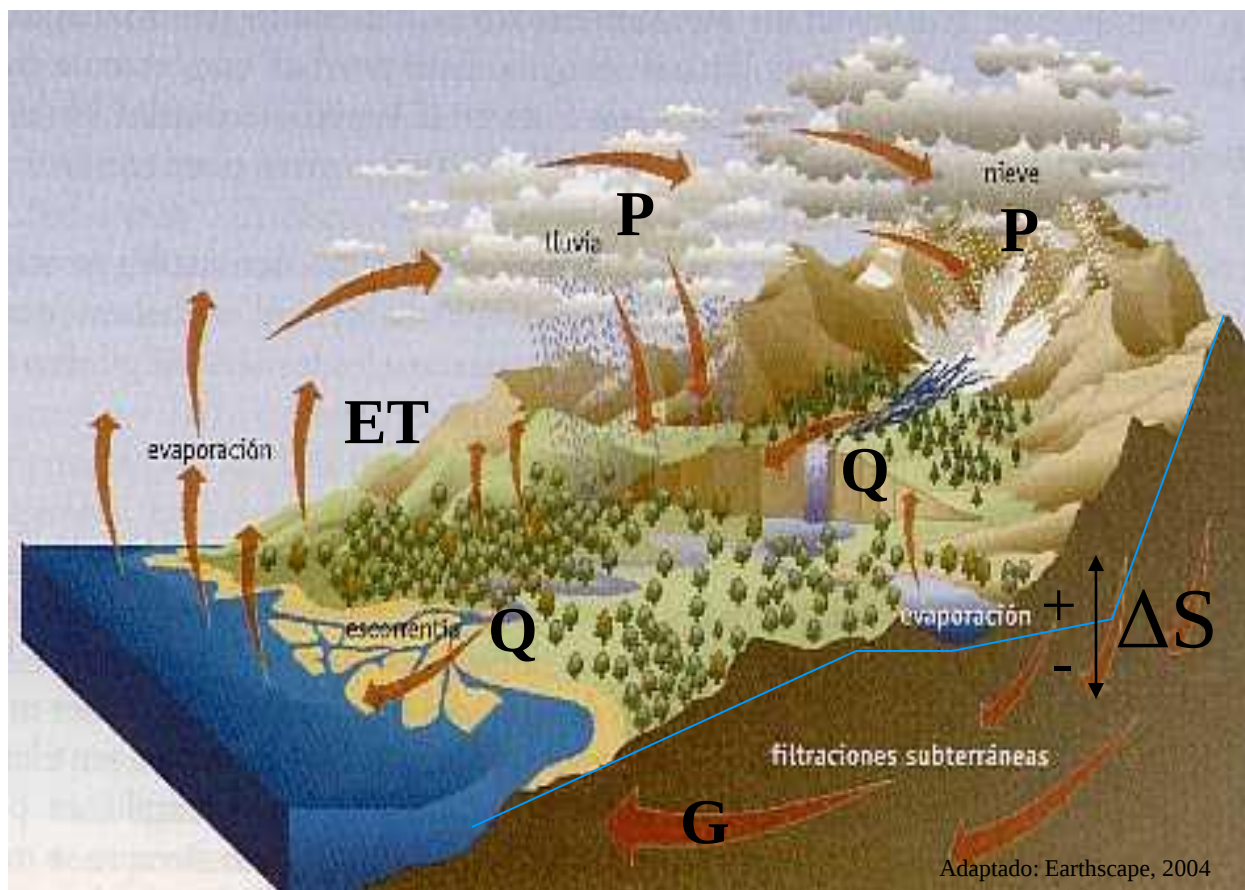
Hidrología

*“La dinámica
del agua
en la
Cuenca”*

NASA, 1986. Imagen GOES, septiembre 1986.

El tratado del ciclo del agua en la tierra y su dinámica en los continentes se conoce como **Hidrología**. La **cuenca** hidrográfica es la unidad fisiográfica funcional en la cual se analiza la interacción de los procesos hidrológicos (**lluvia, evapotranspiración, escurrimiento, Infiltración e interceptación**) con los demás componentes bióticos y abióticos del medio. Las cuencas han sido desarrolladas por el intemperismo a través de millones de años en la litosfera.

Ciclo hidrológico



El agua es la sustancia mas extensamente distribuida en el medioambiente terrestre. El agua se encuentra en forma de liquido, hielo y vapor. El liquido forma océanos, mares, lagos, ríos y manto subterráneo que se distribuye en la litosfera y el suelo. El estado sólido se encuentra como hielo y nieve en los polos y regiones alpinas principalmente. Cierta cantidad de agua se encuentra como vapor en la atmósfera que formara eventualmente gotas y cristales. Es mínima la parte de agua que se localiza como parte de los minerales terrestres.

El agua en la naturaleza es muy dinámica y se encuentra constantemente cambiando e sus tres estados. Por esta razón es difícil poder calcular con toda exactitud su volumen. Sin embargo la ciencia **hidrología** ha propuesto el modelo de balance hídrico en una cuenca y en un embalse, con los cual es posible predecir y calcular a cada una de sus variables:

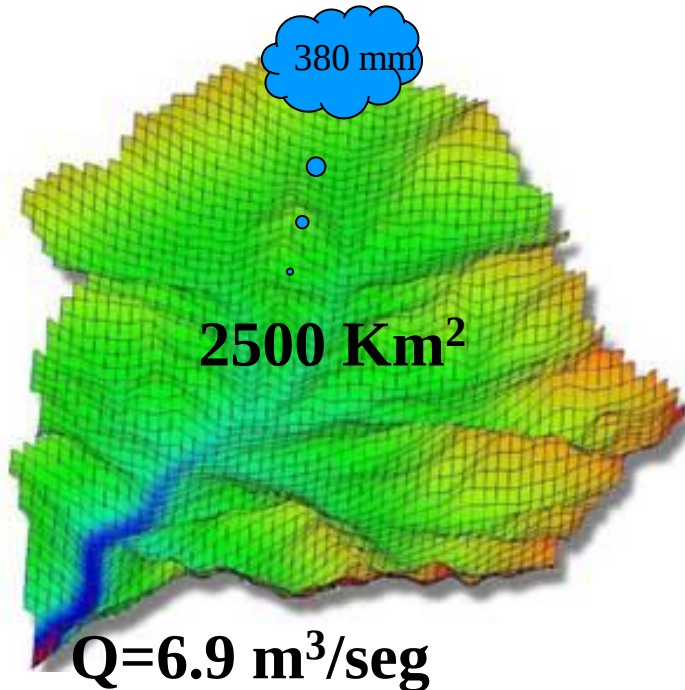
$$P - Q - G - E - T = \Delta S$$

CUENCA

$$I - Q = \Delta S$$

EMBALSE

Como se puede observar en la ecuación la precipitación (P) es el único aporte de agua a una cuenca hidrológica, distribuyéndose este aporte en los componentes de: escurrimiento superficial (Q), infiltración y flujo subterráneo (G), la transpiración (T) y la evaporación (E). El cambio en la recarga (ΔS) dependerá del balance de las todas las variables y su valor podrá ser positiva si el nivel de agua en la cuenca o embalse se incrementa o bien negativo si este se disminuye. La variable (I) es la entrada de agua de un embalse (lago, laguna, represa etc.).



A) Por ejemplo la cuenca del río Chuvíscar con un área de 2500 Km^2 recibe en un año dado 380 mm de lluvia (P). El gasto promedio (Q) monitoreado en el río fue de $6.9 \text{ m}^3/\text{seg}$. Estime en centímetros la cantidad de agua en la cuenca que se involucra en los procesos combinados de evaporación (E), transpiración (T) e infiltración al manto subterráneo (G). A cuanto equivale el gasto de escurrimiento (m^3/seg) en lamina expresada en (cm). Calcule el coeficiente de escurrimiento (%).

Ecuación de balance: $ET + G = P - Q - \Delta S$

El cambio en la recarga en un año es despreciable $= 0$

$$ET + G = 38 \text{ cm} - Q$$

$$ET + G = 38 \text{ cm} - 8.7 \text{ cm} = 29.3 \text{ cm}$$

$$Q = (6.9 \text{ m}^3/\text{seg} \times 3600 \text{ seg/hr}) (24 \text{ hr/dia}) (365 \text{ dia/año}) / (2500 \text{ Km}^2) (1000 \text{ m/Km}^2)^2$$

$$Q = 0.087 \text{ m} (100 \text{ cm/m}) = 8.7 \text{ cm}$$

$$\text{El coeficiente de escurrimiento es} = (8.7 \text{ cm} / 38 \text{ cm}) 100 = 22.9\%$$

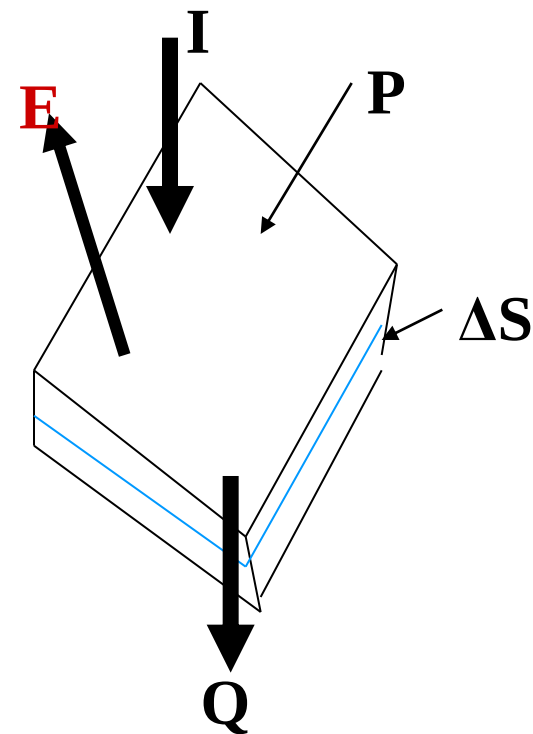
Si el coeficiente de escurrimiento fuera mayor al 30%, entonces se tiene a la cuenca del río Chuvíscar en proceso de desertificación. El valor obtenido indica que su potencial hidrológico es moderadamente regular y puede ser mejorado en el corto plazo (5 a 15 años).

B) En un embalse (represa, lago, laguna) de 40.47 hectáreas durante el mes de agosto se tiene una entrada (I) de $0.14 \text{ m}^3/\text{seg}$, y $0.12 \text{ m}^3/\text{seg}$ de salidas (Q); el incremento en el volumen de la presa fue de 5.3 ac-ft (acres-pies). Un pluviómetro aledaño a la presa registro en el mes 1.1 cm de lluvia. Si en el embalse la infiltración es despreciable; determine el valor estimado de la lamina (cm) de evaporación que en el cuerpo de agua ocurre durante el mes indicado.

Según la ecuación de entradas y salidas se tiene:

$$E = I - Q + P - \Delta S$$

Es importante tomar en cuenta que el cambio en la recarga es positivo, por esta razón se resta en la ecuación. O bien es agua que no se evaporó.



$$I = (0.14 \text{ m}^3/\text{seg} \times 3600 \text{ seg/hr}) (24 \text{ hr/día}) (30 \text{ día/mes}) / (0.4047 \text{ Km}^2) (1000 \text{ m/Km})^2$$

$$I = 0.90 \text{ m} (100 \text{ cm/m}) = 90 \text{ cm}$$

$$Q = (0.12 \text{ m}^3/\text{seg} \times 3600 \text{ seg/hr}) (24 \text{ hr/día}) (30 \text{ día/mes}) (100 \text{ cm/m}) / (0.4047 \text{ Km}^2) (1000 \text{ m/Km})^2$$

$$Q = 0.76 \text{ m} = 76 \text{ cm}$$

$$P = 1.1 \text{ cm}$$

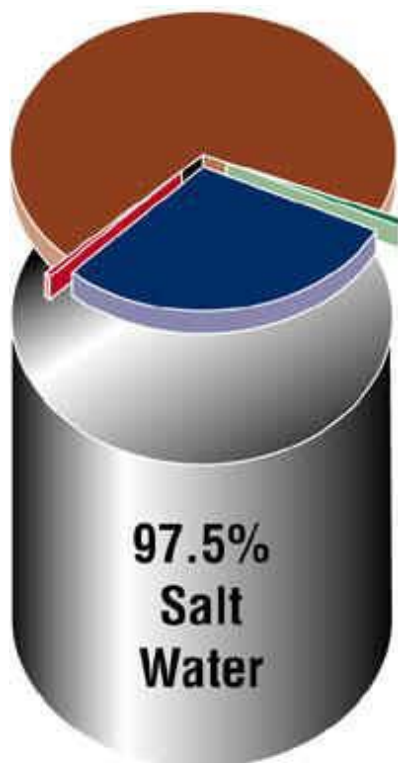
$$\Delta S = (5.3 \text{ ac-ft}) (12 \text{ pulg./ft}) / (40.47 \text{ ha.}) (2.471 \text{ ac/ha.}) = 0.636 \text{ pulg.} = 1.62 \text{ cm}$$

$$E = 90 \text{ cm} - 76 \text{ cm} + 1.1 \text{ cm} - 1.62 = 13.48 \text{ cm}$$

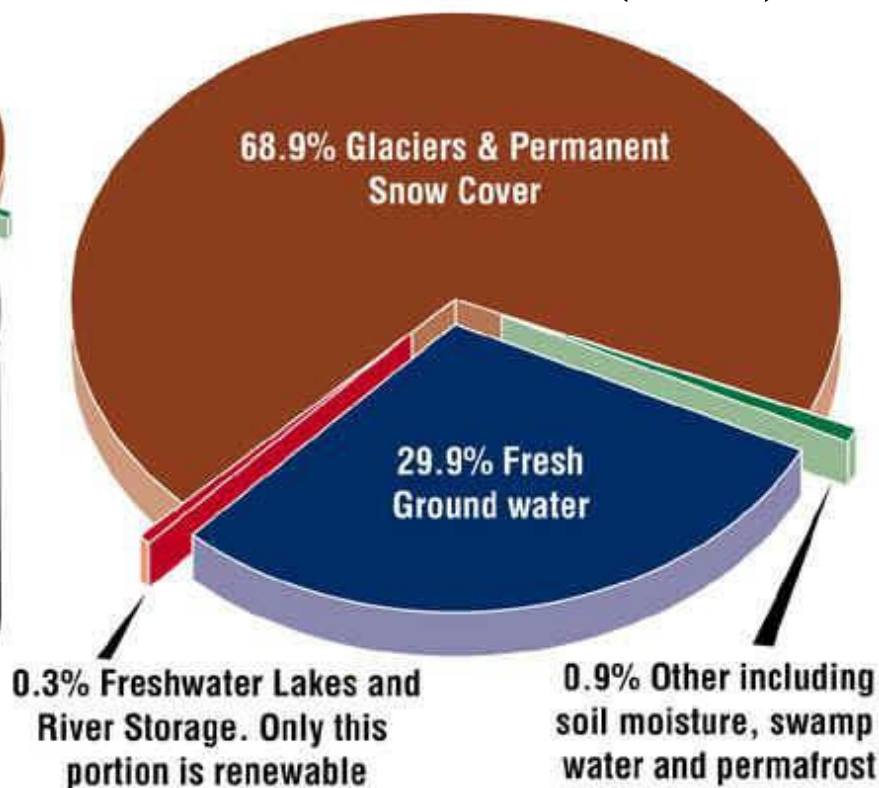
Balance global de agua

Es común que el total de agua estimada en la tierra se asocie a la hidrosfera. Esta es la llamada agua libre que se encuentra en un volumen de **1386** millones de kilómetros cúbicos aproximadamente, de los cuales el **97.5%** es agua salada y el **2.5%** agua dulce. La mayor parte del agua dulce se encuentra como hielo en las zonas polares (68.7%), el 29.9% como manto subterráneo, .9% como humedad de suelo y agua congelada en el subsuelo y solo el .3% corresponde a los cuerpos de agua superficial en lagos y sistemas de ríos en las cuencas.

AGUA TOTAL

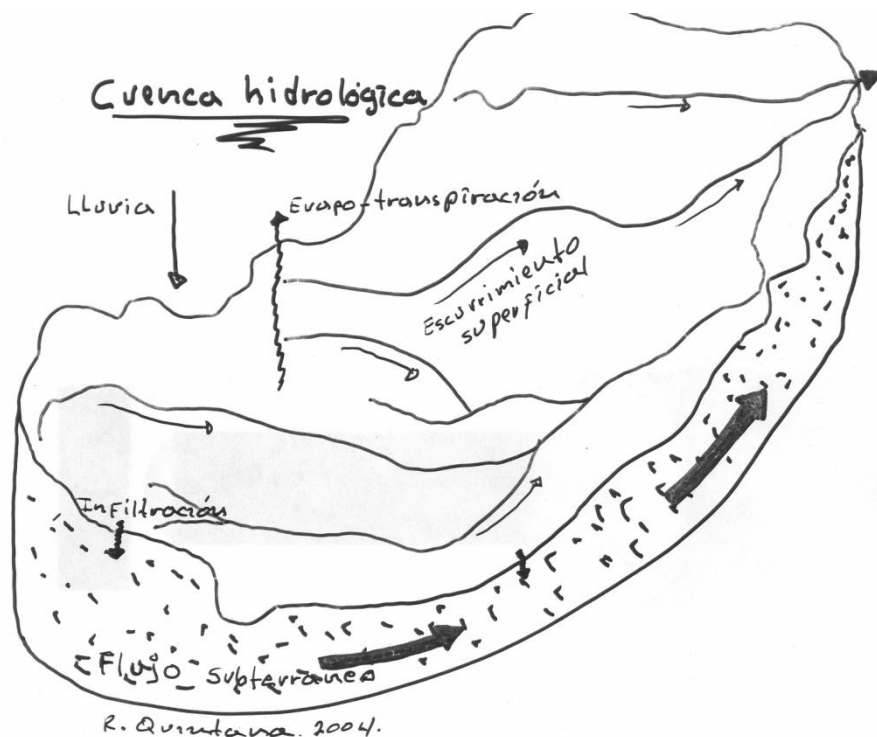


AGUA DULCE (2.5%)



Solo el 0.3% del agua es fácilmente disponible para las actividades del hombre, además indispensable para los ecosistemas.

Geomorfología fluvial



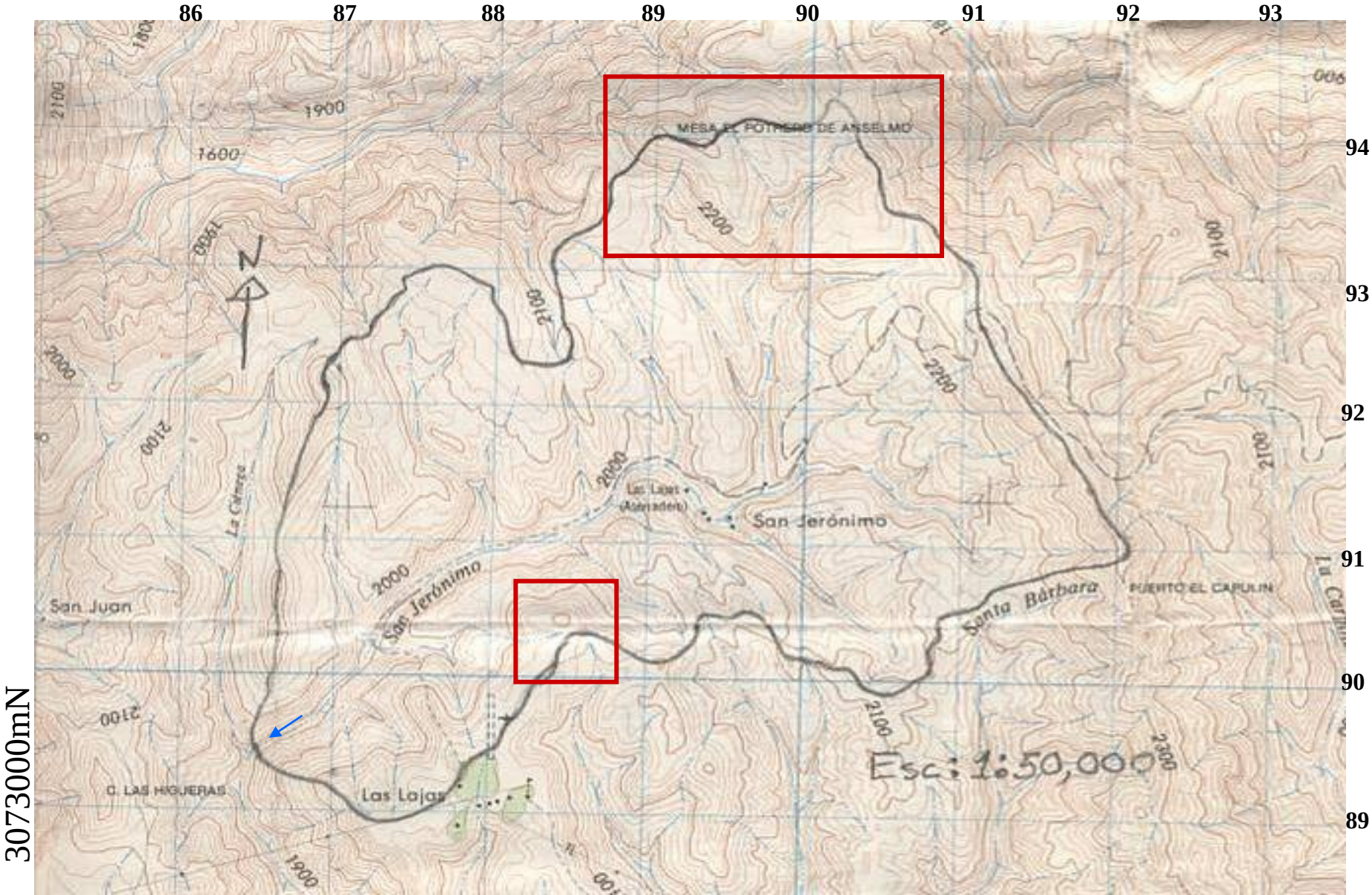
Cuenca hidrográfica

La estructura geológica y la acción de los agentes erosivos físicos, químicos, fluviales y eólicos han sido los responsables de la formación de las cuencas (Campos, 1987).

Cuenca hidrográfica.- Área drenada por un sistema de corrientes los cuales conducen el escurrimiento de toda el área hacia un punto de salida

Parte-aguas.- Línea hipotética del contorno de una cuenca hidrográfica que la separa de las adyacentes y distribuye el escurrimiento en el sistema de cauces que confluyen hacia la salida.

Delimitación hipsométrica de una cuenca hidrográfica



3073000mN

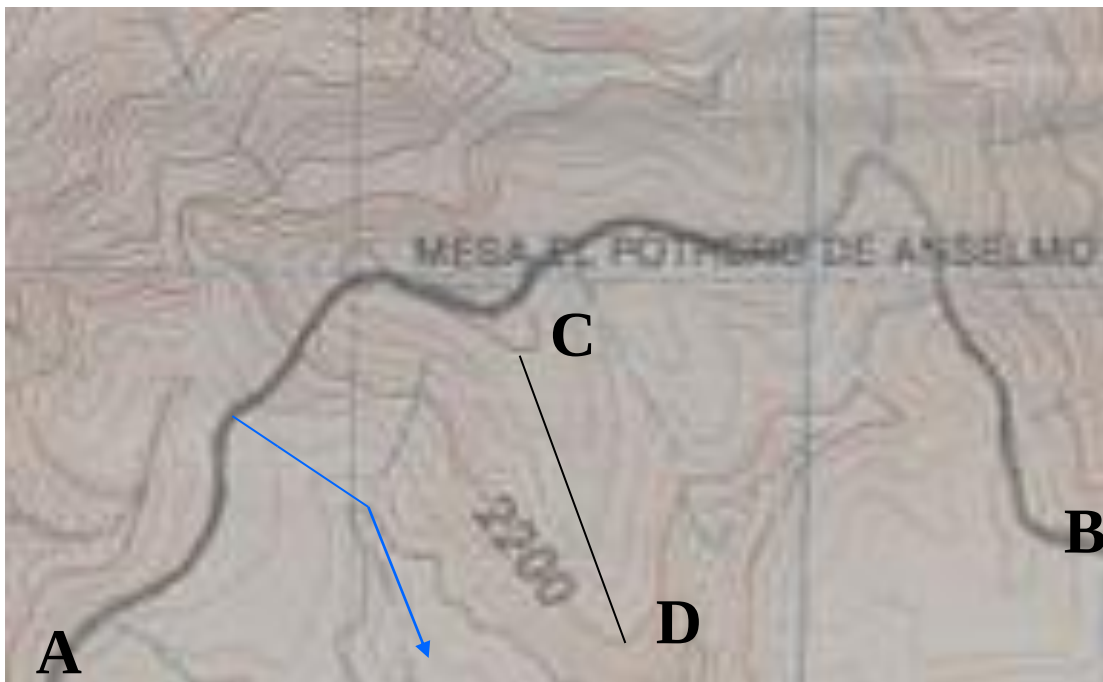
763000mE

Escala: 1: 50,000 Equidistancia entre curvas hipsométricas 20 m

Uruachic G12B19
CHIHUAHUA

Interpretación hipsométrica en la cartografía

Las líneas hipsométricas o curvas de nivel representan la secuencia de puntos con la misma elevación respecto al nivel medio del mar en un documento **ortogonal (plano)** de la superficie terrestre. En el esquema se muestra la sección **AB** del parte-aguas de la cuenca. Observe como esta línea debe ser trazada por la parte más alta del relieve y no cortara a ninguna corriente (arroyo) excepto en el limite de la cuenca que se haya definido en la parte mas baja de esta. En este mapa con escala 1:50,000 las líneas hipsométricas están trazadas con una equidistancia de 20 m. Observe las corrientes que se resaltan como ejemplo en color azul. Ponga atención en la disposición de la curva de nivel por donde el arroyo baja de la montaña. La inflexión de la línea hacia las cumbres es un indicador de la baguada.



A continuación se indica el segmento **CD** para que se **construya el perfil topográfico** tomando en cuenta las variables de diferencia de elevación y distancias en la horizontal. Este trabajo lo debe realizar usando una hoja de papel milimétrico.

Comente con el profesor las posibles aplicaciones practicas de la cuenca y las formas mas apropiadas para trazar el parte-aguas. La lectura hipsométrica se practicará en la delimitación de la cuenca que se seleccione para la practica del curso. Recuerde que los mapas ortogonales son representaciones planas de la superficie terrestre y por tanto toda medida lineal será respecto a la horizontal; por esto es necesario aplicar el concepto de pendiente, a fin de calcular si se requiere la distancia real..

Vertientes hidrográficas de México

La marcada diferencia entre algunas regiones de la plataforma litosférica desde el punto de vista geológico han dado origen a las vertientes hidrográficas donde se encuentran los interfluvios en el país. México cuenta con sistemas exorreicos y endorreicos, como es la vertiente del Pacífico y Golfo, y el sistema de lagunas interiores de Chihuahua respectivamente.

Grandes Cuencas Hidrológicas de la República Mexicana



Características Físicas de la Cuenca

La geomorfología de la cuenca se caracteriza principalmente por los parámetros de: Superficie, índice de forma, sistema de drenaje que contempla orden de corrientes, densidad y frecuencia de canales; y la hipsometría que se define por pendiente media y la elevación media.

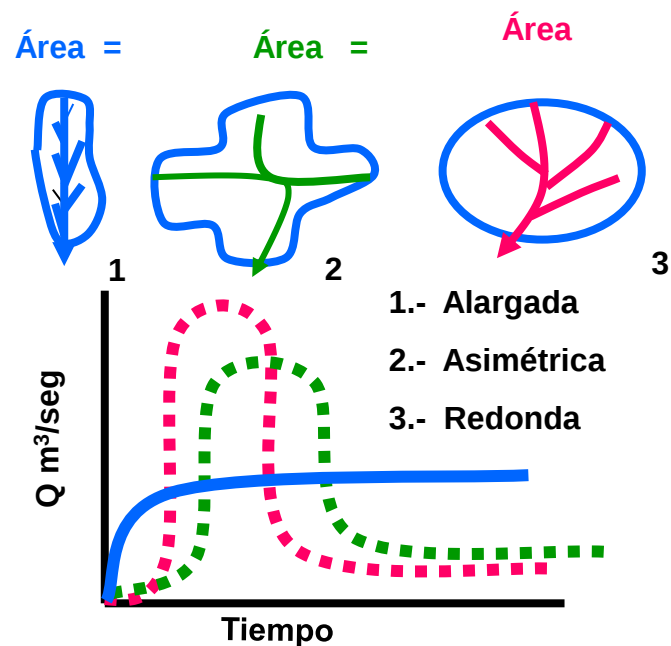
Superficie de la cuenca.- Es el área de la cuenca que se tiene hasta el parte-aguas y se expresa en Km², hectáreas, acres; en el caso que esta variable se refiera a la superficie a la escala del mapa entonces se puede presentar en las unidades de cm², m², pulg.² etc.

La medida de esta variable se realiza generalmente con un planímetro, red de puntos o bien si se tiene la cartografía en formato digital las medidas se realizan mediante el SIG utilizado.

Clasificación general de la cuenca según la superficie:

Unidad hidrológica	Área (Km ²)	# de orden
Microcuenca	10-100	1,2,3
Subcuenca	101-700	4,5
Cuenca	> 700	6 o mas

Forma de la cuenca.- La forma de la cuenca es desarrollada principalmente en función de las condiciones geológicas. Se han reconocido las formas **alargadas, redondas y asimétricas**. Esta característica influye en el comportamiento hidrológico de tal forma que los hidrogramas de escurrimiento son diferenciados en sus tiempos de concentración y la energía cinética que este presenta. Discuta según la gráfica como la forma influye en las condiciones ecológicas y de uso en el área. Las cuencas alargadas mantienen agua superficial en su canal principal por mas tiempo.



Coefficiente de compacidad.- Se llama coeficiente de Gravelius (**Cc**) al cociente adimensional entre el perímetro (**P**) de la cuenca y la circunferencia (**Pc**) de un círculo con igual área (**A**) de la cuenca.

$$C_c = P/P_c$$

Cc (valores)	Forma de la cuenca
1.0 a 1.25	REDONDA
1.26 a 1.50	OBLONGA (asimétrica)
1.51 a 1.75	ALARGADA

Relación de elongación.- El índice de Shumm (**Re**) se define como el cociente adimensional entre el diámetro (**D**) de un círculo que tiene igual área (**A**) que la cuenca y la longitud (**Lc**) de la misma. La (**Lc**) se define como la mas grande dimensión de una línea paralela al cauce principal desde su salida hasta el parte-aguas.

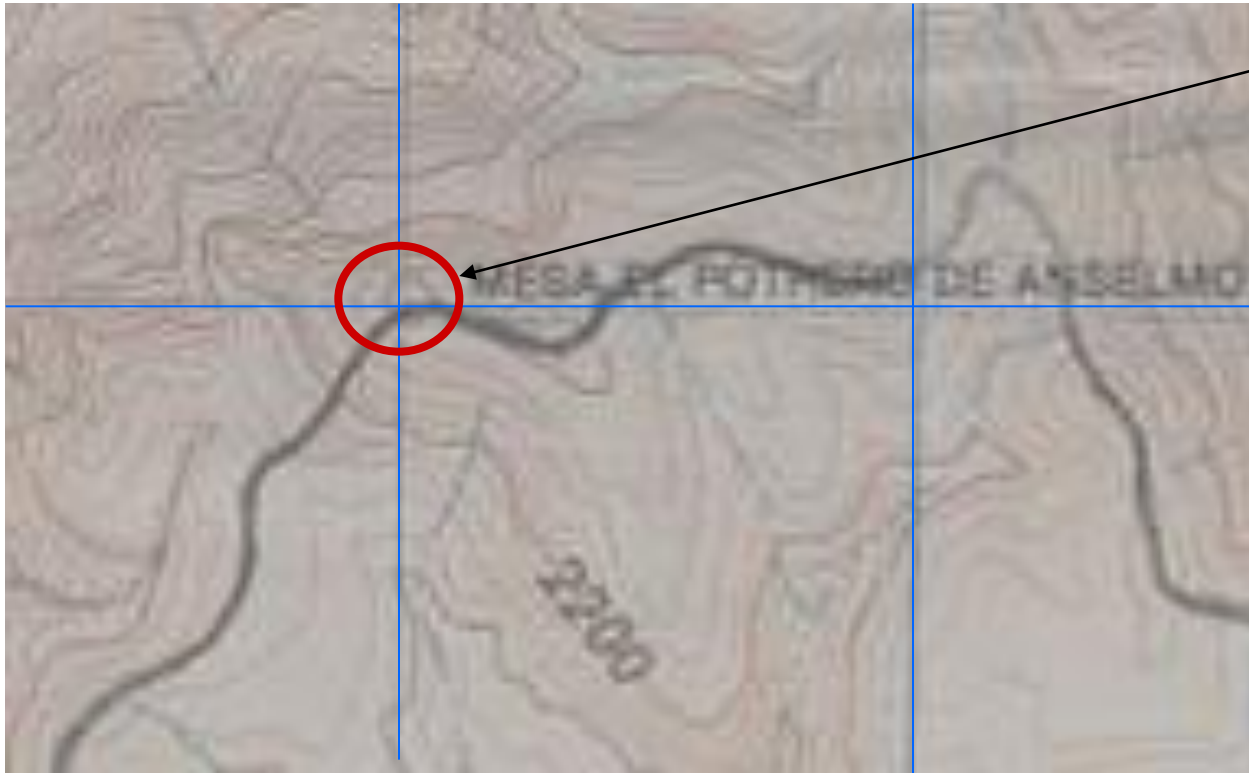
$$R_e = D/L_c$$

Re (valores)	Forma de la cuenca
1.0 a 0.75	REDONDA
0.74 a 0.50	OBLONGA
< de 0.49	ALARGADA

Elevación media de la cuenca.- La variable elevación media de la cuenca tiene una relación muy alta con la ocurrencia de la precipitación y así mismo con otras variables hidrológicas tales como el tiempo de concentración del escurrimiento y la energía cinética

Estimación de la elevación media usando malla de cuadros

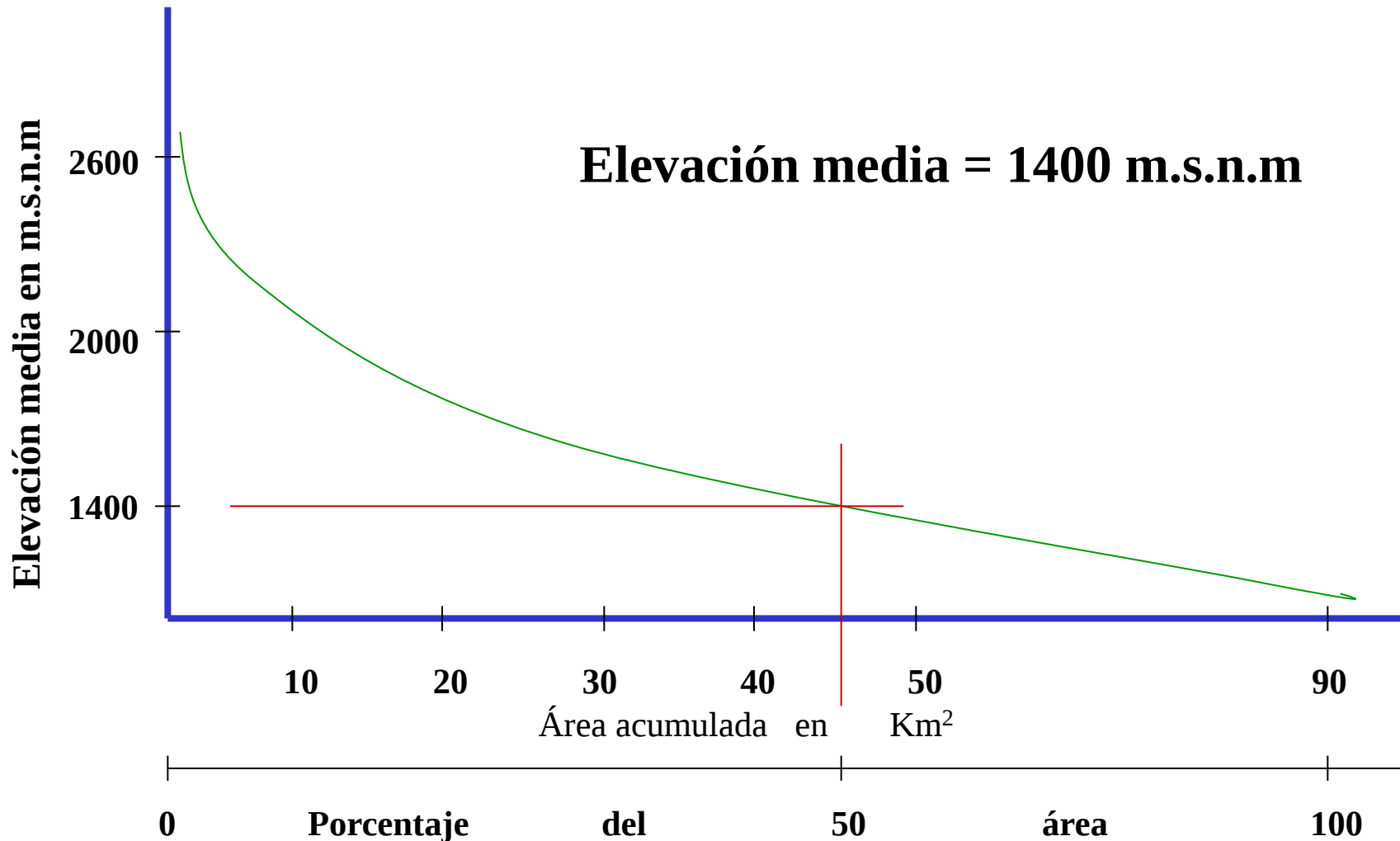
Del orden de 100 intersecciones que queden comprendidas dentro de la cuenca, la elevación será el promedio aritmético de la elevación muestreada por las intersecciones que estén dentro de la misma. Puede ser utilizada una malla de puntos para definir los datos de elevación



En esta intersección la elevación tiene un valor de 2300 msnm. Se recomienda que el muestreo sea de 100 intersecciones. Recuerde que en este mapa la equidistancia entre curvas es de 20 m.

Estimación de la elevación media mediante la curva hipsométrica

A partir de la curva se estima la elevación media de una cuenca, definiendo la cota correspondiente al 50% del área de la zona de drenaje en estudio.



Pendiente media de la cuenca.- La pendiente tiene un efecto sobre los procesos hidrológicos de la cuenca. Las áreas mas pendientes generan escurrimientos erosivos y generalmente bajo condiciones de uso racional las plantas que en estas zonas se presentan han desarrollado su morfología para retener a el agua de lluvia (Por ejemplo los pastos amacollados respecto a los de talla media). Por otra parte es común que las regiones de la cuenca con mayores pendientes se definan como áreas de recarga básica, pues es aquí donde llueve mas.

El tiempo de concentración y su influencia en las máximas crecidas es determinado en gran medida por la pendiente media; por esta razón es importante contemplar a este parámetro según se ubiquen los pueblos y/o infraestructura que puede ser inundada.

Existen dos técnicas para determinar a la pendiente media de una cuenca; el método de Alvord y el de Horton.

Formula de Alvord:

$$Sc = D (L) / A$$

Sc = Pendiente media de la cuenca (%)

D = Equidistancias entre curvas de nivel (Km)

L = Longitud de las curvas de nivel en la cuenca (Km)

A = Área de la cuenca (Km²)



Formula de Horton:

Esta técnica utiliza una malla de cuadros y se recomienda que el muestreo sea suficiente en el número de líneas en X, Y. Estadísticamente se recomienda que se definan como mínimo 16 cuadros para superficies Hasta de 250 Km².

$$S_x = n_x (D) / L_x$$

$$S_y = n_y (D) / L_y$$

Donde:

S_x, S_y = Pendiente parcial de la cuenca en cada sentido X.Y.

n_x, n_y = Número total de intersecciones y tangencias de las líneas de la maya de cuadros con las líneas hipsométricas.

L_x, L_y = Longitud total de las líneas de la malla en el sentido X, Y dentro de la cuenca (Km).

D = Equidistancia entre las curvas de nivel (Km)

Los pendiente promedio se define:

$$S_c = (S_x + S_y) / 2$$



Clasificación de las cuencas según la pendiente promedio de sus laderas.

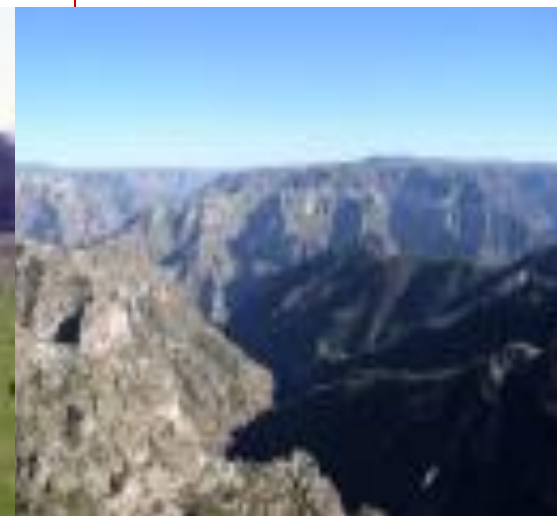
PEND. MEDIA (%)	TIPO DE RELIEVE	SIMBOLO
0-3	Plana	P1
3-7	Suave	P2
7-12	Mediano	P3
13-35	Accidentada	P4
36-50	Fuerte	95
51-75	Muy fuerte	P6
> 75	Muy escarpada	P7



Desierto

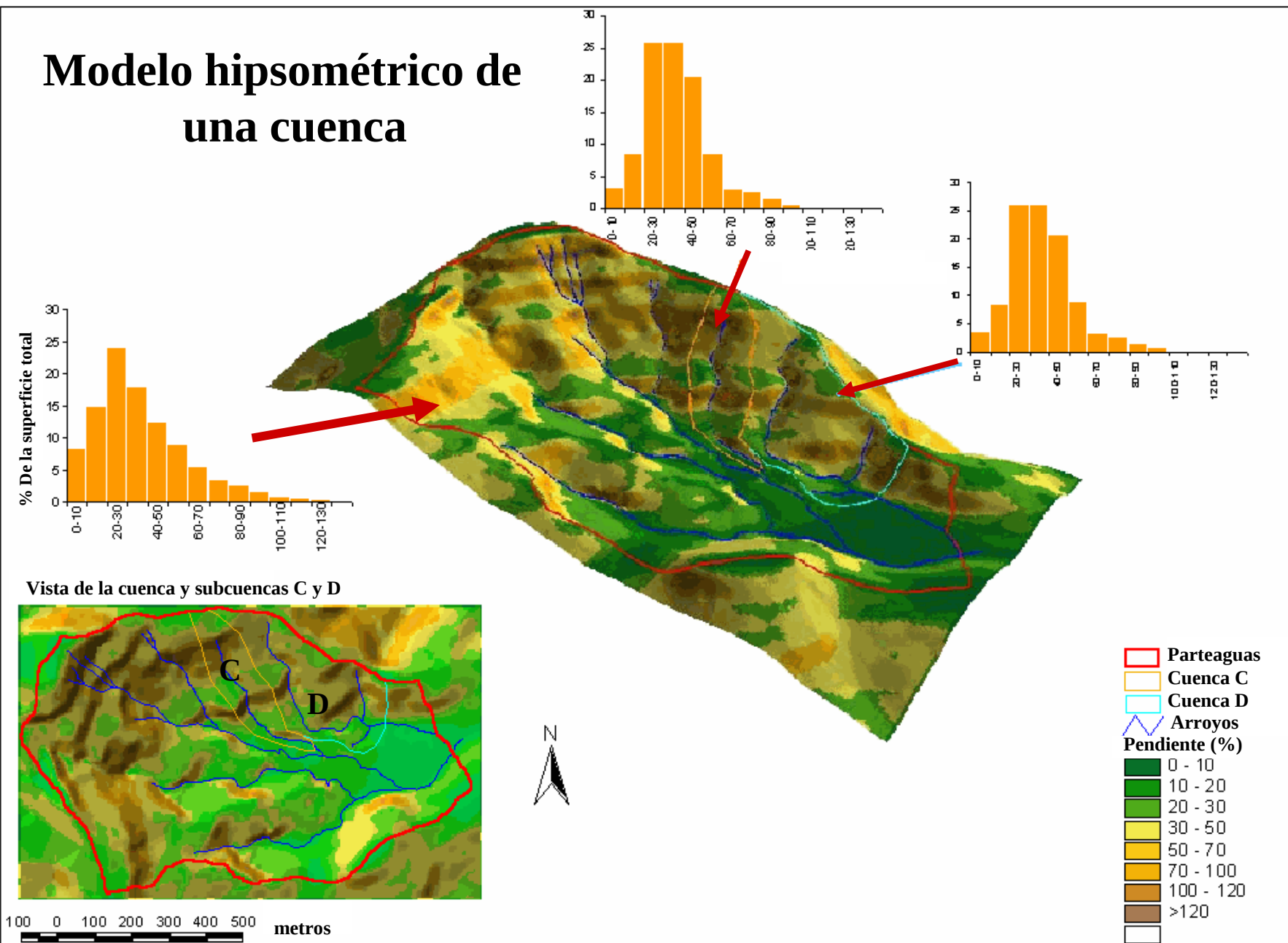


Pastizales



Sierra

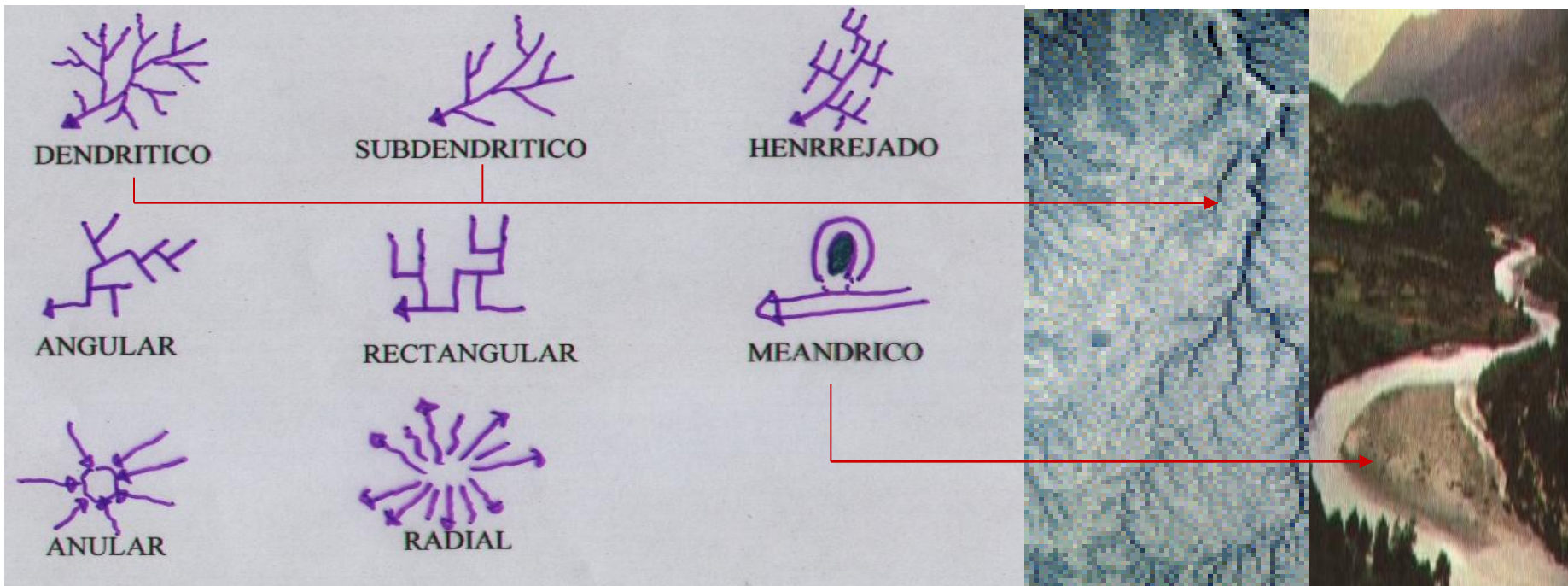
Modelo hipsométrico de una cuenca



Sistema de drenaje.- Se define como el conjunto de ríos y arroyos por el cual fluye el escurrimiento superficial y sub-superficial de manera temporal o permanente. Las principales características en un sistema de drenaje son: Tipo de corrientes, modelo de drenaje, orden de corrientes y densidad de drenaje.

Tipos de corrientes.- Se identifican a las corrientes **perennes**, **intermitentes** y **efímeras** según si el escurrimiento se presenta durante todo el año, durante una parte del año o solo después de una tormenta, respectivamente.

Modelo de drenaje.- La combinación de aspectos de clima y geología dan oportunidad a un proceso de erosión particular, mismo que permitirá el desarrollo de un dado modelo de drenaje. Los modelos de drenaje pueden conducir el escurrimiento en las modalidades de endorreicas, cuando el producto del escurrimiento se concentra en una depresión y no tiene salida del continente y exorreicas cuando existe salida al mar.



Orden de corrientes.- La clasificación del grado de ramificación o bifurcación que el sistema de corrientes de una cuenca presenta se denomina orden de corrientes; existen los criterios de **Horton** y **Strahler** para este ordenamiento., el primero asigna el orden numero 1 a los arroyos mas pequeños que no están ramificados, el orden 2 a las corrientes que solo tienen ramificaciones o tributarios de primer orden, el orden 3 a los que solo tienen tributarios de ordenes inferiores y así sucesivamente; en el segundo criterio se asume que los menores ordenes son los arroyos no ramificados y pequeños que al confluir derivan a un cauce de orden 2, y si se da la confluencia progresiva de dos canales con el mismo orden estos generan a el orden inmediato superior



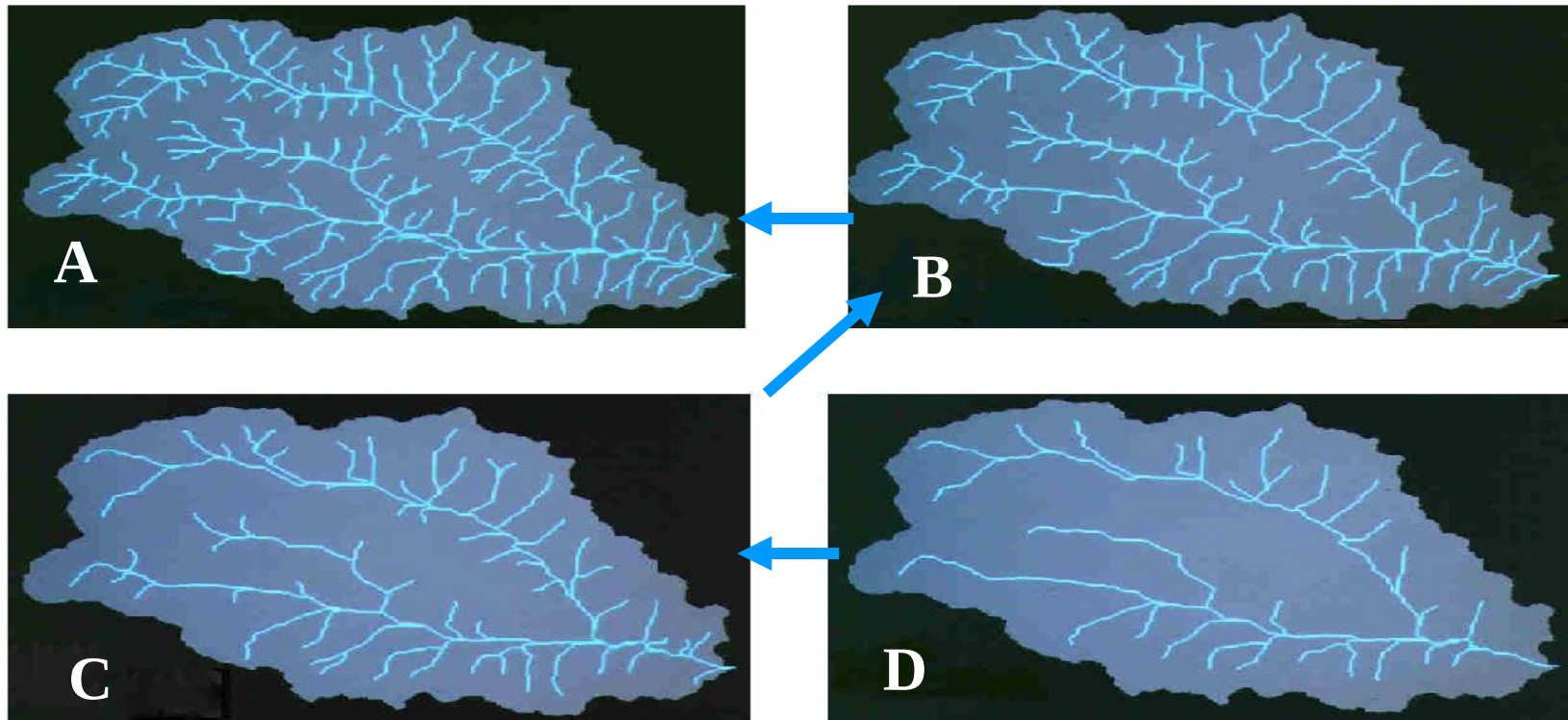
HORTON



STRAHLER

Densidad de drenaje.- La densidad de drenaje (Dd) se define como la longitud total (L) de los cauces dentro de la cuenca en kilómetros, dividido por el área total (A) de drenaje en kilómetros cuadrados. En las figuras A,B,C,D observamos diferentes densidades de drenaje, en la primer cuenca se tiene la mayor longitud de canales por unidad de superficie respecto a la ultima.

$$Dd = \sum_{k=1}^k \sum_{u=1}^u L_u / A_u = \sum L / A \quad (\text{km/km}^2)$$



Precipitación

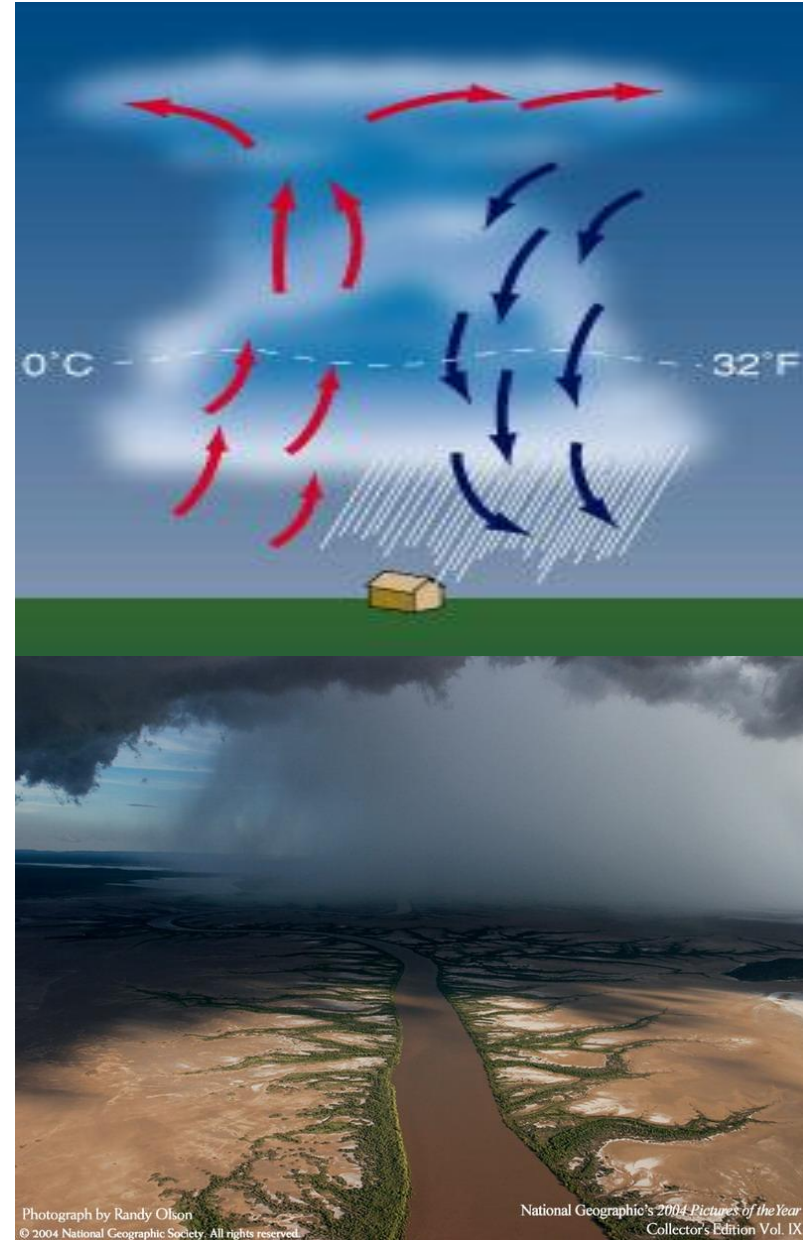
Se ha definido como la caída de agua (agua, granizo, agua nieve y nieve) desde la nube hasta la superficie de la tierra. El contenido de humedad en la atmósfera depende de la evaporación de los cuerpos de agua (ríos, lagos etc.) así como de la transpiración de los seres vivos; Sin embargo la fuente principal de humedad es el océano. El sol es la energía básica para evaporar, proporcionando **200 cal/cm²** de un total recibido en un día soleado de **400 cal/cm²**.

Enfriamiento del aire y precipitación

El proceso fundamental de enfriamiento del aire es el fenómeno denominado elevación y expansión adiabática de las moléculas del aire, lo cual facilita la condensación del vapor de agua y por tanto la precipitación (*Wallace y Hobbs, 1977*).

La expansión adiabática separa las moléculas.

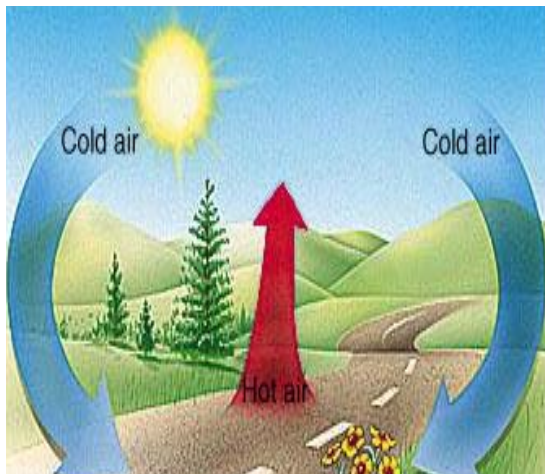
La condensación se da por la disminución de la fricción y la temperatura.



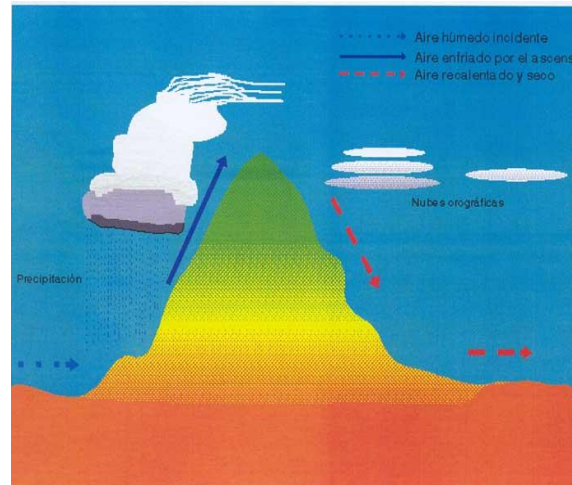
Tipos de precipitación

La precipitación es clasificada de acuerdo al factor que propicia el movimiento vertical de la masa de aire (*Branson, et al. 1982*).

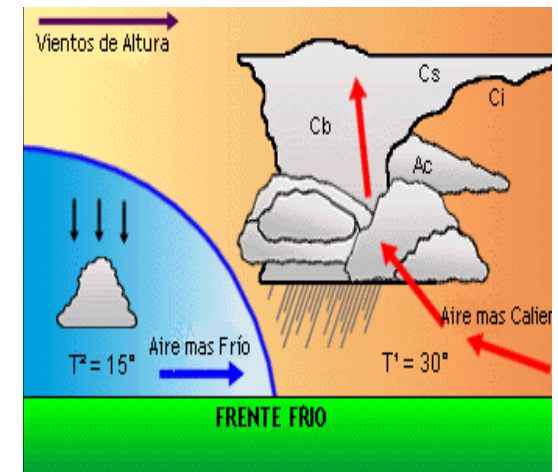
- a) **Convectivo.-** La diferencia de temperatura entre la masa de aire cerca del suelo y la que esta en altura causa cambios en la densidad del los estratos de la atmósfera (a mayor temperatura, menor densidad). El aire mas denso baja y el mas calido sube; este fenómeno se conoce como movimiento convectivo.
- b) **Orográfica.-** El aire calido y húmedo localizado cerca de la superficie terrestre se encuentra con una barrera orográfica y asciende. Este proceso inicia la expansión adiabática y disminuye su temperatura causando la formación de nubes.
- c) **Frontal.-** Masas de aire calido que provienen de la zona intertropical se encuentran con masas de aire frío que provienen de los polos, causando un ascenso del sistema calido. Estos sistemas provocan zonas de lluvia muy extensas (hasta 1000 Km) con precipitaciones frías en la parte mas al norte y calidas hacia el sur.



a



b



c

Técnicas para medir la precipitación

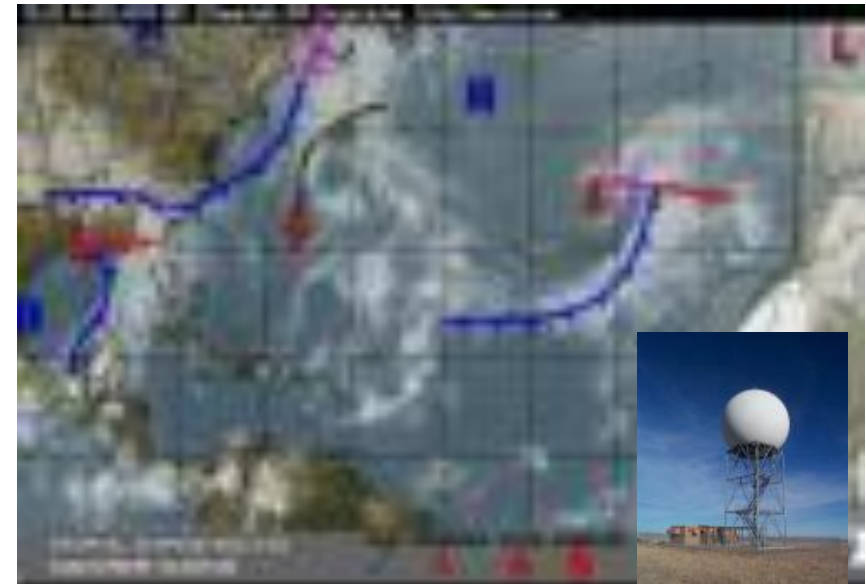
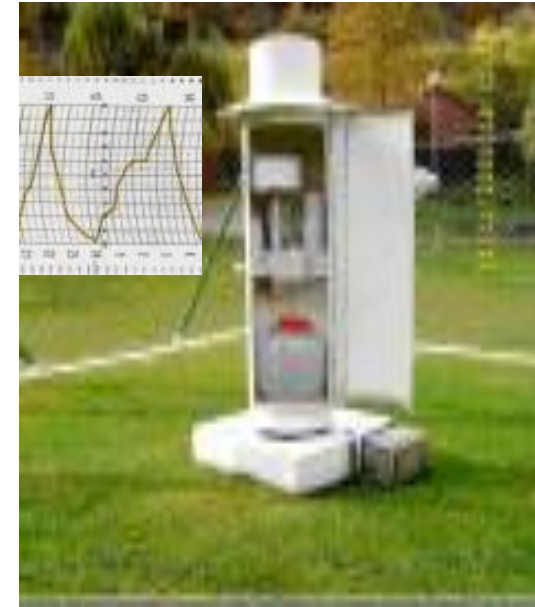
Las técnicas mas comunes para evaluar a la precipitación en zonas áridas y semiáridas se fundamentan en el monitoreo espacial de los eventos de lluvia para así estimar a la variable en una área determinada.

Pluviómetro.- Realiza el muestreo de la lamina de lluvia ocurrida en una área determinada (milímetros, centímetros , pulgadas etc.).

Pluviógrafo.- Grafica al muestreo de lluvia a través del tiempo. Esta técnica además de calcular a la lamina nos permite conocer a la intensidad de la lluvia (mm/hr, cm/hr etc.) y la duración (minutos, horas, días etc.).

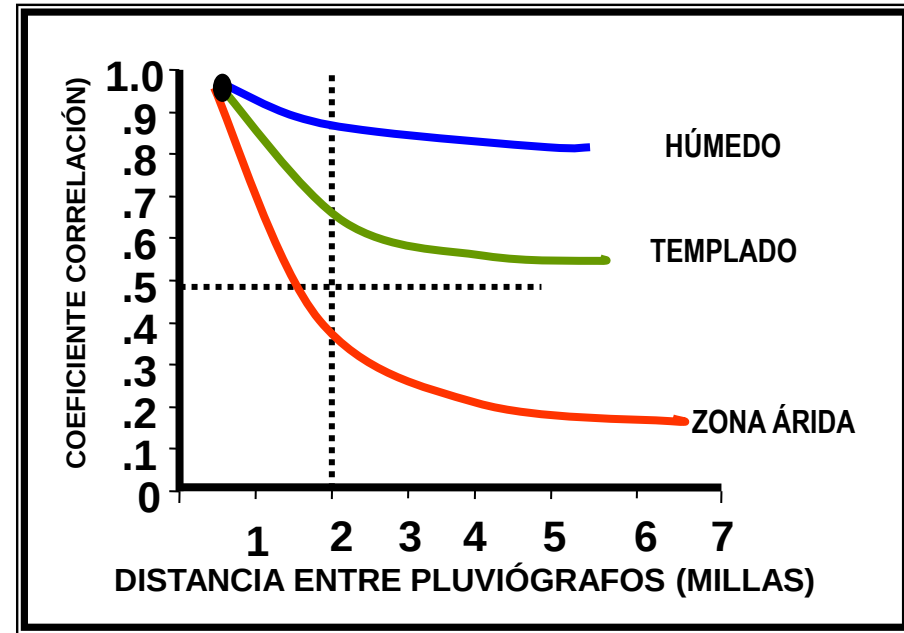
Telemetría.- Determina la distribución de la lluvia en una zona o región de interés.

Radar meteorológico.- Muestra a la cobertura de nubes y la posibilidad de lluvia a nivel local, regional e incluso a nivel continental o hemisférico.



Distribución de pluviógrafos y pluviómetros

La estimación de la lluvia para una zona se fundamenta en la distribución y distanciamiento de los equipos de tal forma que los datos no sean extrapolados a lugares sin monitoreo. Se recomienda para tener al menos una probabilidad del 50% de éxito en la estimación de la lluvia promedio que los monitores estén a 3 km uno del otro; sí se necesita un 80% de veracidad en la estimación la distancia entre pluviómetros o pluviógrafos debe ser entre 1.5 a 2 km.



Métodos para estimar la precipitación media en una área

Los métodos utilizados para calcular la precipitación media en una área de interés que tiene un sistema de monitoreo son la media aritmética, por líneas isoyetas y los polígonos de Thiessen; el primer procedimiento es el menos completo ya que no permite ponderar los cálculos por la superficie asignada a cada dato medido, el segundo es una técnica que permite involucrar a la distribución espacial; sin embargo cuando no se cuenta con el mapa de isoyetas construido bajo la supervisión de un meteorólogo los resultados no son muy aceptables, el ultimo método indicado es el mas versátil ya que se basa en polígonos regulares que analizan a la distribución espacial.

Media aritmética.- Se suman los valores de precipitación de cada una de las estaciones dentro del área de interés o bien dentro de la cuenca, dividiendo a dicha sumatoria entre el numero de estaciones consideradas. Solo se recomienda cundo se tiene una zona con topografía plana y con pluviómetros uniformemente distribuidos.

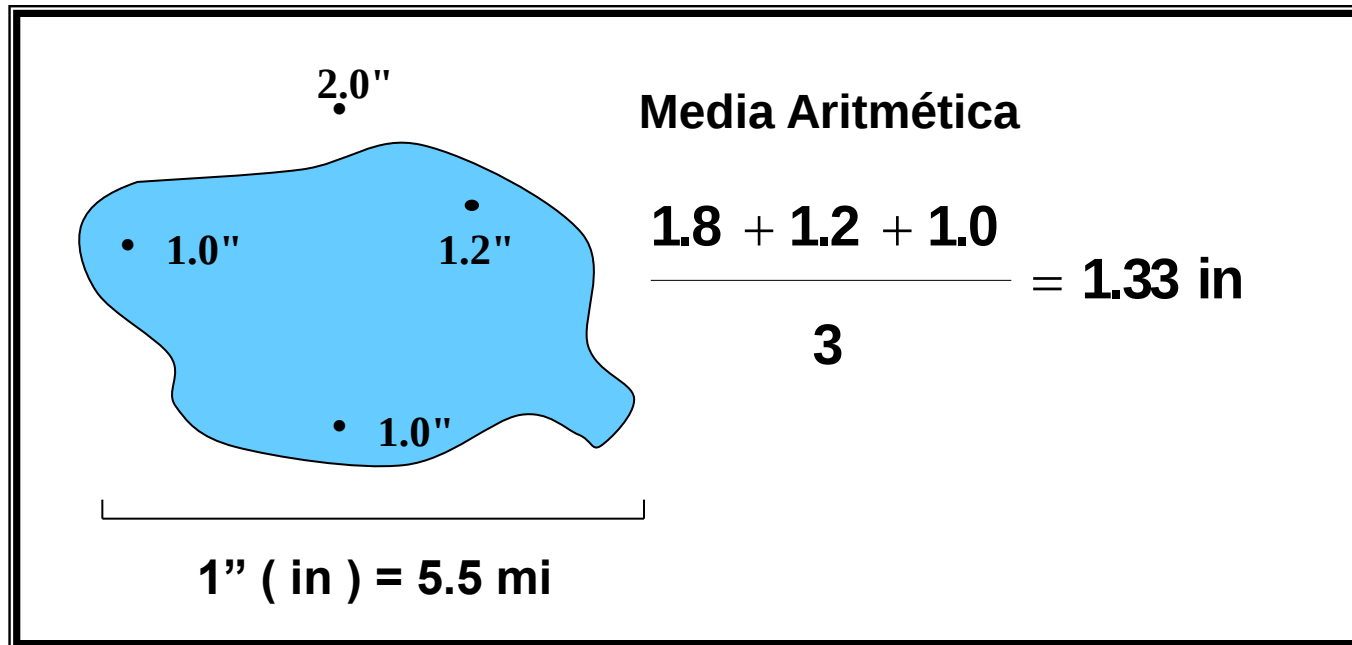
$$P_m = (p_1 + p_2 + p_3 + p_n) / n$$

Donde:

P_m = Precipitación media en la cuenca (mm, cm, pulgadas)

P_n = Datos de lluvia en cada estación dentro de la cuenca (mm, cm, Pulgadas)

n = Número de estaciones de monitoreo de lluvia



Método de las isoyetas.- Se miden las áreas comprendidas entre dos líneas isoyetas sucesivas dentro del parte aguas de la cuenca y se multiplica por la precipitación media entre isoyetas. La suma de estos productos dividido entre la superficie total de la cuenca calcula a la precipitación media.

$$P_m = \sum (A_i/A) P_i$$

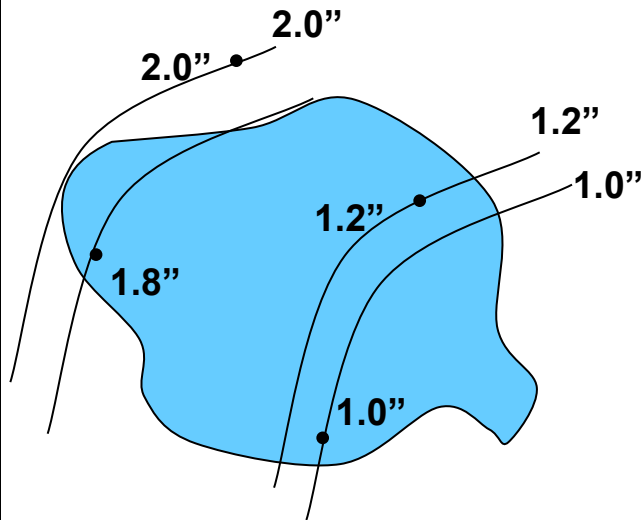
Donde:

P_m = Precipitación media en la cuenca (mm, cm, pulgadas)

A_i = Área entre cada dos isoyetas dentro del parte aguas de la cuenca (km² , cm²)

A = Área total de la cuenca (km² , cm²)

P_i = Precipitación media entre cada dos isoyetas (mm, cm, pulgadas). Se calcula promediando los datos de lluvia de las isoyetas.



Isoyetas

<i>Isoyetas</i> (in.)	<i>A_i</i> (mi ²)	<i>P_i</i> (in)	<i>A_i x P_i</i> (in — mi ²)
2.0	5.1	1.9	9.69
1.8	9.82	1.5	14.7
1.2	3.11	1.1	3.41
1.0	5.6	0.5*	2.8

23.6

30.6

Promedio de lluvia = $30.6/23.6 = 1.30$ in.

* Estimado

Polígonos de Thiessen.- Consiste en ubicar en un mapa las estaciones pluviométricas con respecto a la cuenca en estudio. A continuación se forman triángulos con las estaciones mas próximas; las líneas de enlace entre los puntos deben tener ángulos menores a 90 grados. Trazando las **mediatrices o bisectrices** perpendiculares a cada lado de los triángulos formados se definen así polígonos alrededor de cada estación.

$$P_m = \sum (A_i/A) P_i$$

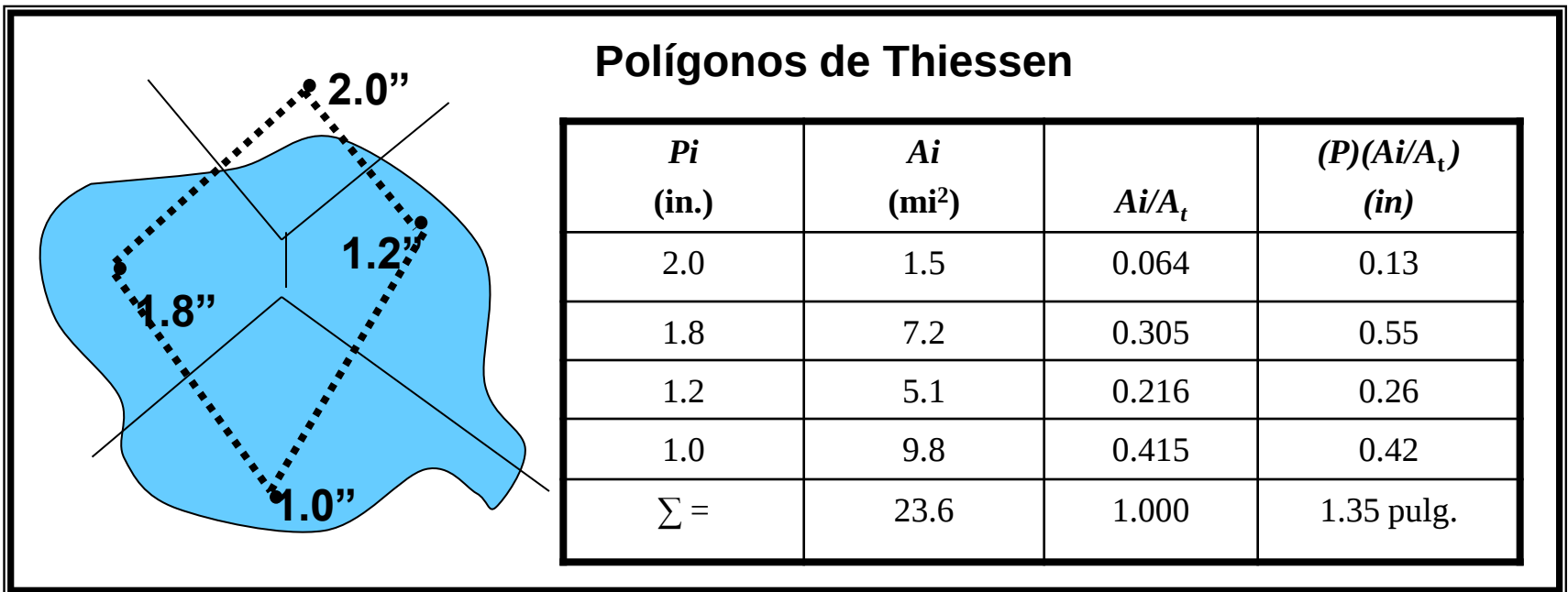
Donde:

P_m = Precipitación promedio en la cuenca (mm, cm)

A_i = Área del polígono de cada una de las estaciones i dentro del parte aguas de la cuenca (km^2 , cm^2)

A = Área total de la cuenca (km^2 , cm^2)

P_i = Precipitación registrada en la estación " i " durante la tormenta analizada (mm, cm)



Frecuencia de lluvia

Periodicidad media estadística en años (2,5,10,15,50,100 etc.) con que se puede presentar una tormenta.

$$F = t/m \text{ o } n/m$$

Donde:

n o t = numero total de años registrados

m = numero de orden de la lluvia

El procedimiento de calculo de la frecuencia requiere de la tabulación de los valores de intensidad máxima ó laminas de lluvia en los diferentes años, ordenar los valores anteriores de mayor a menor y aplicar la formula.

Año	Lamina de lluvia	Numero de orden	Lamina de lluvia ordenada	Periodo de retorno
2000	355	1	980	6
2001	420	2	680	3
2002	405	3	420	2
2003	390	4	405	1.5
2004	680	5	390	1.2
2005	980	6	355	1

Si observamos, la mas alta lamina registrada durante el año 2005 es la que tiene la mas baja posibilidad de ocurrir al menos durante los próximos 6 años; Sin embargo la lamina ocurrida en el año 2000 es la que puede tener recurrencia cada año.

Evaporación

Es el proceso por el cual el agua pasa de su estado liquido al gaseoso y se incorpora a la atmósfera. Este proceso es muy importante en la naturaleza y en el ciclo del agua ya que potencialmente hasta el 70 % del promedio anual de lluvia en una cuenca determinada en las zonas áridas y templadas puede ser retornada a la atmósfera; sin embargo existen grandes diferencias entre regiones en cuanto a la magnitud de este fenómeno, siendo en las regiones desérticas donde alcanza mayor magnitud (Brutsaert, 1982; Hargraeves y Samani, 1982). Desde el punto de vista físico la vaporización de un cuerpo de agua depende del diferencial de la presión de vapor (es) en las moléculas de la superficie libre del liquido respecto a la presión de vapor (ea) en las moléculas de la masa de aire sobre la fase liquida.

$$E = C \left(\frac{es - ea}{H} \right)$$

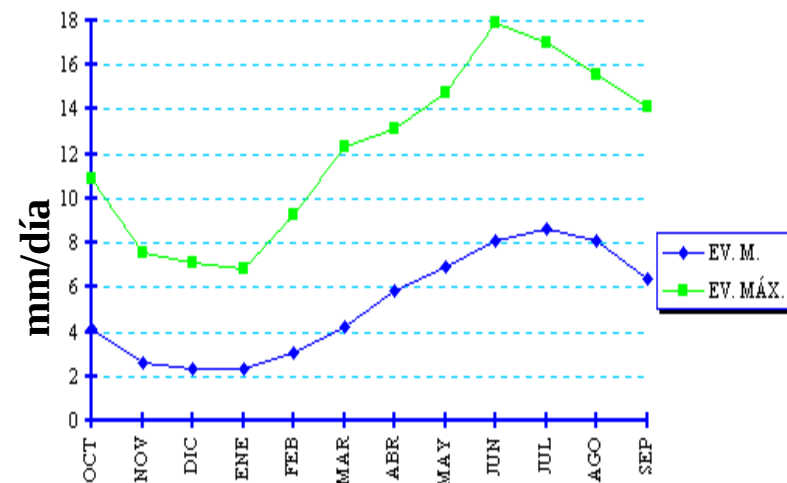
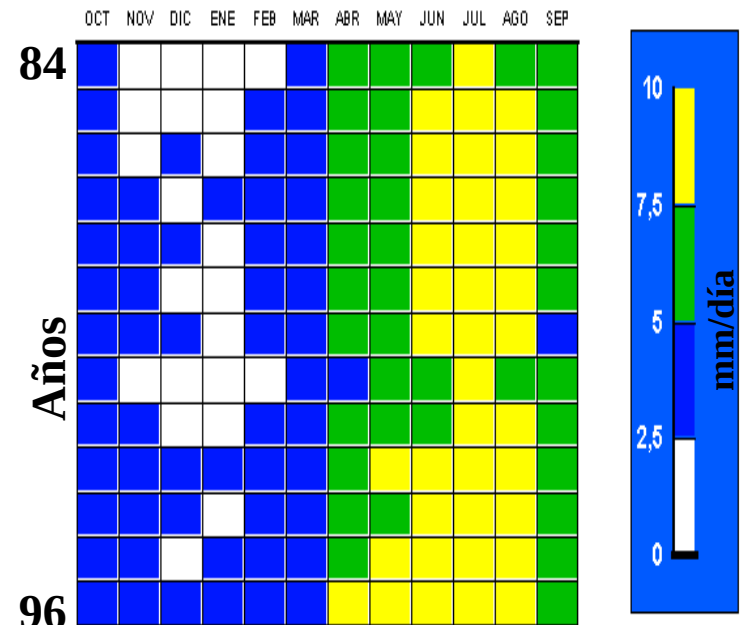
Donde:

H= Presión total (aire mas vapor de agua) en mb o mmHg

C= Constante que toma en cuenta otros factores que influyen en la evaporación (0.6-0.8).

es= Presión de vapor de saturación en mb o mmHg

ea= Presión de vapor del aire en mb o mmHg



Métodos mas comunes para calcular a la evaporación

Balance de agua en un cuerpo de agua o una cuenca.- Se basa en el análisis de la formula empírica de balance de agua. Este método es muy simple; sin embargo esta sujeto a los errores de medida de sus variables de entradas (I), salidas (Q) y precipitación (P).

$$E = -\Delta S + I + P - Q - GW$$

Donde:

E= lamina de evaporación (cm, mm, pulgadas etc.).

ΔS = cambio en la recarga

I= entradas (cm, mm, pulgadas etc.).

Q= salidas (cm, mm, pulgadas etc.).

P= precipitación (cm, mm, pulgadas etc.).

GW= movimiento subterráneo (cm, mm, pulgadas etc.).

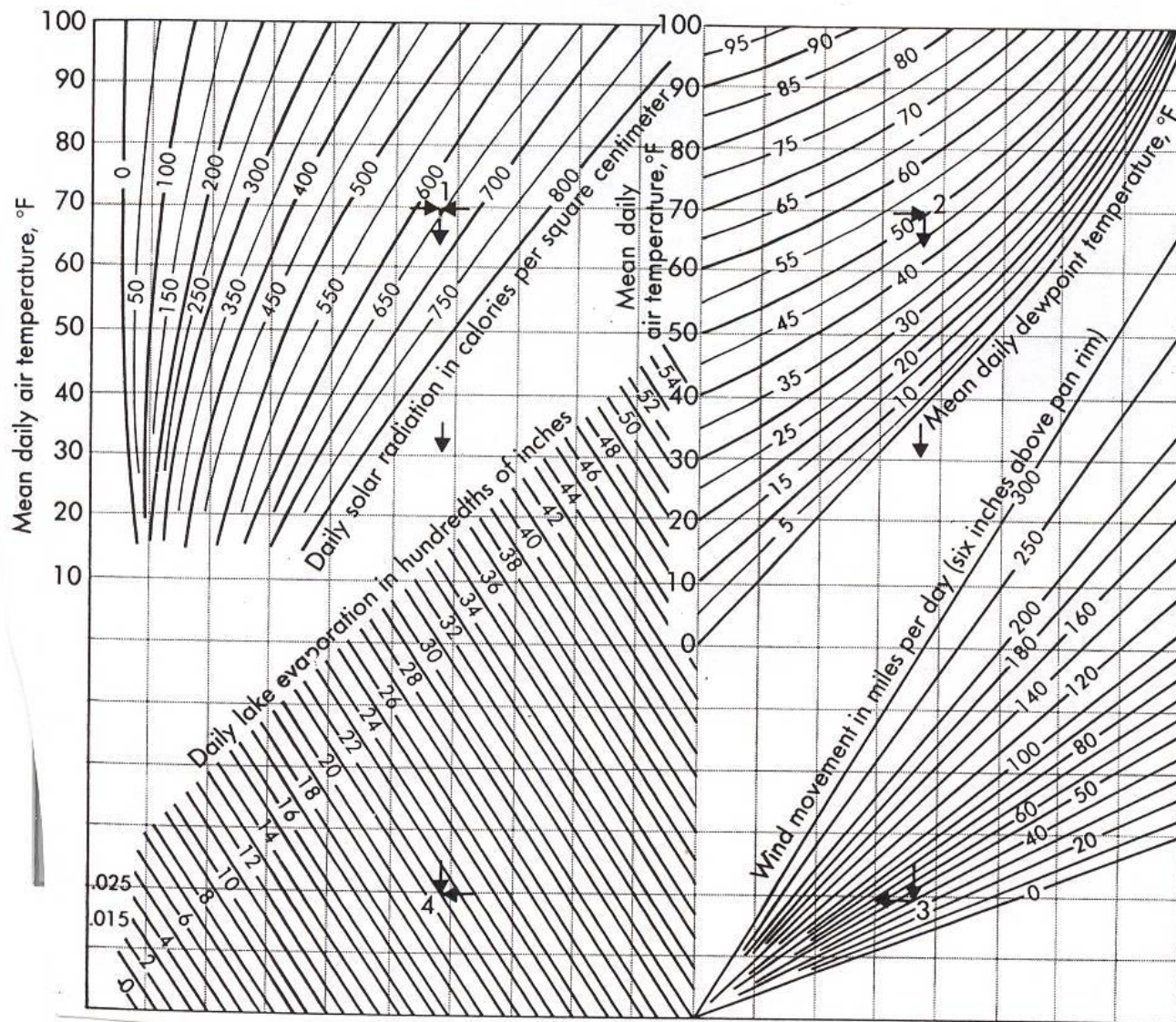
Método combinado de regresión.- Mediante el conocimiento de la relación de las principales variables que generan a la evaporación se definen las magnitudes de esta correlación para de esta manera construir modelos predictivos que estimen a la variable; Los parámetros mas comunes usados son la temperatura media al día, la radiación solar, la temperatura media al día sobre la superficie libre del liquido y la velocidad del viento promedio al día a 30 centímetros sobre la fase liquida (Kohler et al 1955).

Esta técnica tiene la ventaja de permitir al investigador tomar los datos en el sitio además de ser tan precisa como confiables sean los datos tomados.

Para un lago la temperatura media del día fue de 70 °F. La radiación solar medida fue de 650 langley/día (1 langley= 1 cal/cm²). La temperatura media sobre la superficie del lago fue de 50 °F, y la velocidad media del viento a 6 pulgadas sobre el lago fue de 40 millas/día. Usando el nomograma para estimar evaporación defina cual fue la lamina en cm y pulgadas perdida al día del lago por este proceso.

Observando el **punto 1** en la figura 1.12 (Adaptado de Kohler et al. 1955) ubicamos a la temperatura de 70 °F y la radiación solar es de 650 langley/día. El **punto 2** muestra la intersección de las temperaturas 50 °F y 70 °F. Una línea vertical del punto 2 hasta la intersección de la curva de velocidad del viento 40 millas/día marca el **punto 3**. El **punto 4** será localizado con la intersección de la línea horizontal trazada del punto 3 con la línea vertical que parte del punto 1; donde la evaporación calculada es de 0.22 pulgadas ó 0.56 cm.





Infiltración

El proceso de infiltración ha sido estudiado y definido como el mecanismo mediante el cual el agua se mueve dentro del suelo sujeta a las fuerzas de gravedad y capilaridad. Para un determinado tipo de suelo la curva de infiltración muestra a la máxima velocidad de infiltración respecto al tiempo, definiéndose así a la capacidad de infiltración, misma que se alcanza en el momento en que ocurre el escurrimiento superficial y por tanto existe lluvia en exceso (Branson, et al. 1982).

Ecuación para estimar la tasa de infiltración

El concepto hidrológico de la capacidad de infiltración es empírico, basado en la observación de este fenómeno en el suelo. Horton (1940) propuso la formula sustentada en el supuesto que la intensidad de la lluvia (i) es mayor a la intensidad de infiltración (f) en un tiempo dado.

$$f = f_c + (f_0 - f_c)e^{-kt}$$

Donde:

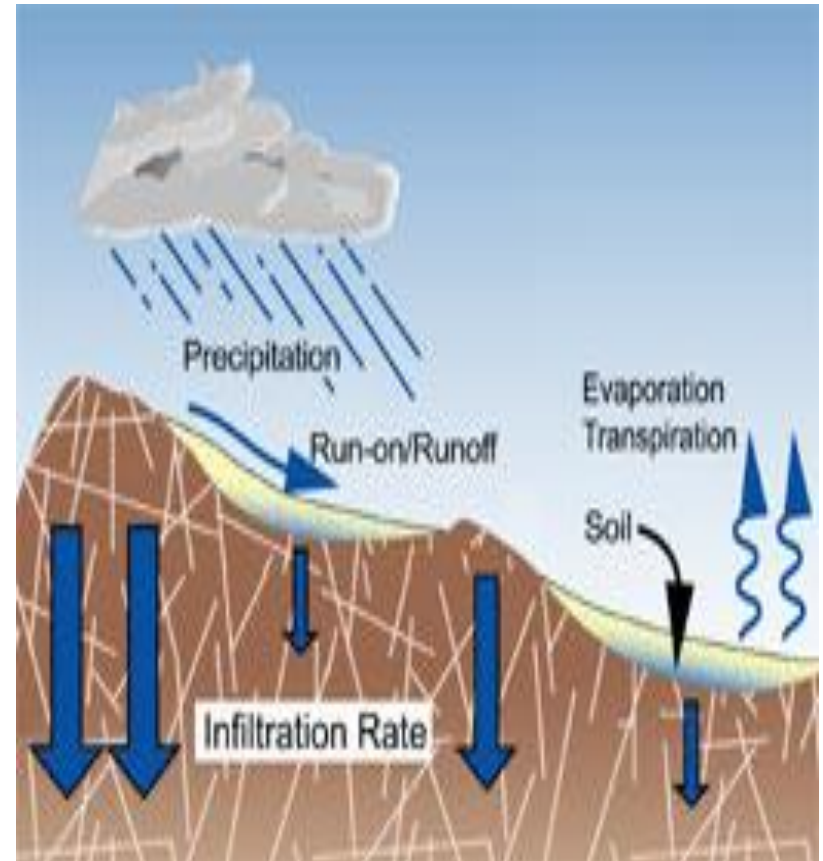
f = capacidad de infiltración (cm/hr, pulgadas/hr)

f_0 = capacidad inicial de infiltración (cm/hr, pulgadas/hr)

f_c = capacidad final de infiltración (cm/hr, pulgadas/hr)

k = constante empírica (hr⁻¹)

t = tiempo (hr)



Métodos para medir la capacidad de infiltración en un sitio y una cuenca

Son varias las técnicas para evaluar a la infiltración en un sitio determinado; sin embargo no todas son igualmente precisas. Las mas comunes son el **simulador de lluvias y el índice de infiltración ($\theta\Phi$)**. Los anteriores métodos son utilizados regularmente en ecosistemas naturales planos o con pendiente regular (Rawls, et al. 1983). El primer método permite evaluar a un sitio definido, mientras que el segundo cuando se quiere conocer la tasa de infiltración en una cuenca en general.

Simulador de lluvia

Esta técnica permite simular a la lluvia que regularmente se presenta en un lugar determinado. Utiliza áreas de muestreo en donde se tienen las condiciones de vegetación y suelo presentes en el ecosistema. Las variables que el simulador permite conocer y controlar son:

$$F = P - Q - S - E$$

F = Lámina de infiltración (mm, cm, pulgadas etc.).

P = Lámina de lluvia aplicada (mm, cm, pulgadas etc.).

Q = Lámina de escurrimiento superficial (mm, cm, pulgadas etc.).

S = Lámina de intercepción (mm, cm, pulgadas etc.).*

E = Evaporación (mm, cm, pulgadas etc.).*

*Estas variables son despreciables o controladas.



Tabla de datos para el calculo de la intensidad de infiltración cuando se usa un simulador de lluvia aplicando una intensidad de precipitación constante.

Tiempo(t) (min)	Lamina aplicada(LA) (cm)	Lamina escurrida(LE) (cm)	Lamina infiltrada(LI) (cm)	f (cm/hr)
5	.92	.27	.65	7.8- fo
10	1.80	.80	1.00	6.0
15	2.75	1.80	0.95	3.8
20	3.66	2.90	0.76	2.3
25	4.58	3.90	0.68	1.6
30	5.50	4.75	0.75	1.5- fc

Intensidad de lluvia aplicada= 11 cm/hr (Zaragoza, 1995)

$LA = (11 \text{ cm/hr}) t / 60$

$LI = LA(\text{cm}) - LE(\text{cm})$

$f = (LI(\text{cm}) / t(\text{min})) \cdot 60$

Donde (f) es la intensidad de infiltración

Valores típicos de los parámetros fc, fo y k para el modelo de Horton (Rawls et al., 1976)

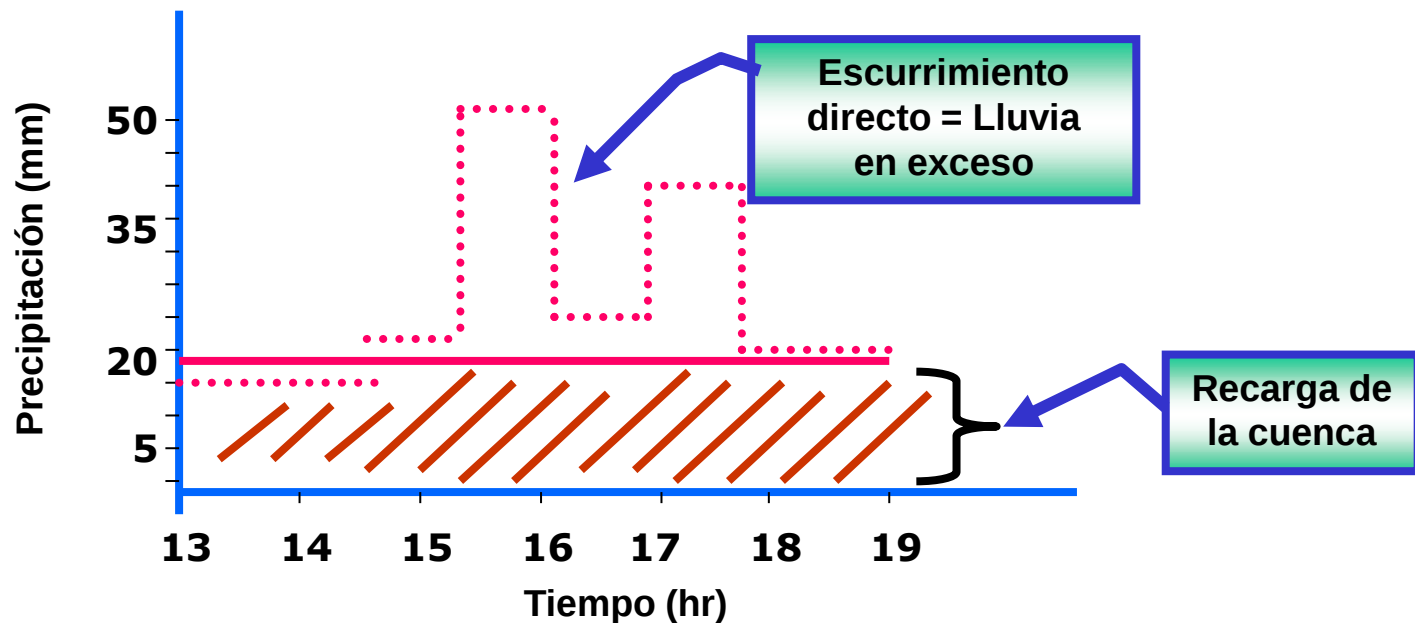
Tipo de suelo	fc Pulgadas/hr	fo pulgadas/hr	k hr
Limo arenoso (De planos)	1.4	19.00	38.29
Arcillo limoso	1.77	14.77	19.64
Limo arcilloso	2.63	3.47	1.40
Arcillo limo arenoso	2.43	6.24	4.70
Limo arenoso (De laderas)	1.73	11.34	7.70
Arenoso	1.80	23.01	32.71

Cuando los hidrogramas son analizados y es posible conocer y diferenciar a la masa de lluvia de la masa de escurrimiento entonces se define al índice de infiltración (ϕ). Este índice no es constante, sino que varía con la duración e intensidad de la lluvia; sin embargo se puede expresar un valor promedio en tormentas de larga duración ocurridas en una cuenca determinada (Bedient y Huber, 1992).

$$\phi = \frac{\text{Recarga de la cuenca}}{\text{Duración de la lluvia}}$$

Este índice bajo cualquier circunstancia nos da una idea del volumen infiltrado en la cuenca, pero no incluye el volumen interceptado y almacenado en depresiones.

Una cuenca de 150 km² presentó un escurrimiento directo de 45.4 mm cuando recibió una tormenta de 151 mm, la cual se distribuyó de la siguiente manera:



Total de Lluvia = 151 mm

Total de horas de lluvia = 6 hrs

Recarga en la cuenca= Lluvia(151mm) – Escurrimiento superficial(45.4mm)= 105mm

$$\Phi \text{ Phi} = 105\text{mm}/6\text{hr} = 17.6 \text{ mm/hr}$$

Observando que la lluvia ocurrida durante la primer hora no es en exceso; entonces corregimos:

$$\Phi \text{ Phi} = (105.6\text{mm} - 13\text{mm}) / 5\text{hr} = 18.52 \text{ mm/hr}$$

Problemas propuestos

1.- Una cuenca presenta un $f_0 = 7.8 \text{ cm/hr}$ y una $f_c = 1.5 \text{ cm/hr}$; sus suelos están distribuidos en una 60 % limo arcillosos con una k de 1.4 y un 40 % arcillo limo arenoso con una k de 4.7. Utilizando la ecuación de Horton calcule el valor de f a los tiempos de 7 min., 14 min., 40 min., 1.5 hr., 3 hr. Y 8 hr. Grafique la curva de infiltración y estime el volumen de infiltración en el indicado lapso de tiempo.

2.- Una área de drenaje con 200 km^2 recibe un evento de lluvia de 160 mm y el escurrimiento directo fue de 68.5 mm. Calcule el índice ϕ en mm/hr, si tomamos en cuenta la distribución de la lluvia (mm); grafique al exceso de lluvia.

Hora	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18
Lluvia	14	8	13.8	60.3	30	20	13.9

Esgurrimiento superficial

Cuando la intensidad de la lluvia excede a la capacidad de infiltración el agua acumulada en la superficie del suelo inicia su movimiento horizontal y origina al esgurrimiento superficial. Varios hidrólogos asumen que la cantidad del esgurrimiento depende en primer termino de las características de la lluvia; sin embargo consideran que intervienen otros factores tales como el tipo del suelo, pendiente, estado de uso del suelo, cubierta vegetal, características geomorfológicas de la cuenca etc. (Frasier, et al. 1996).

Una de las formulas mas simples para el análisis de esta variable es conocido como el método racional el cual calcula a el máximo volumen posible de esgurrimiento (Q) en metros cúbicos.

$$Q = CPA$$

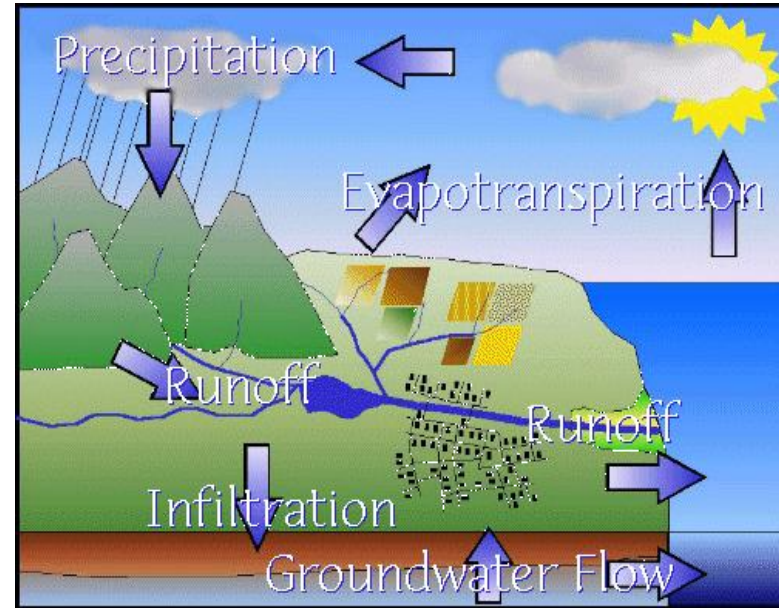
Donde:

C = Coeficiente de esgurrimiento que varia con el tipo de uso de suelo (usualmente con valores de 0.002 a 0.8)*

P = Lamina de lluvia promedio (metros).

A = Área de la cuenca o área de captación en metros cuadrados.

*Consultar tablas de coeficientes



Coeficientes de escurrimiento en cuencas según el uso del suelo

CODIGO DE USO	DESCRIPCIÓN DEL USO DE SUELO	VALOR DE C
1	Cuerpos de agua	0.002
2	Residencial	0.400
3	Urbano	0.702
4	Suelo delgado rocosos	0.802
5	Bosque	0.151
6	Pastizal Herbáceas Arbustos	0.251
7	Agricultura	0.405
8	Jardines y parques	0.202
9	Humedales	0.052

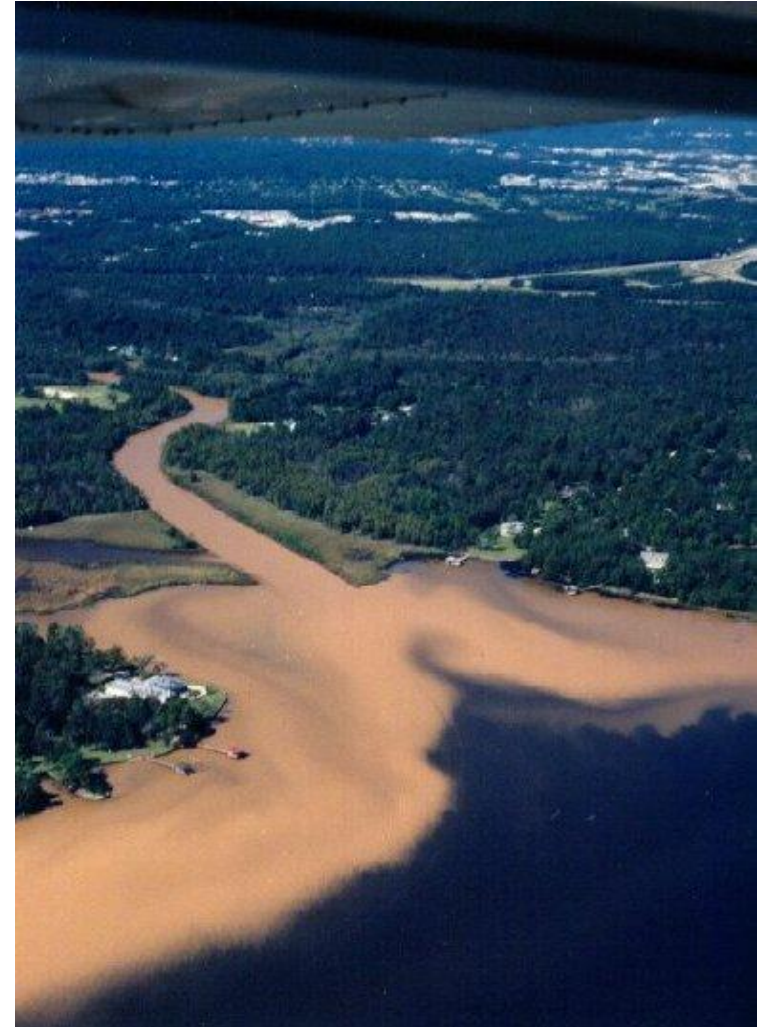
Problemas propuestos

Una cuenca tiene una superficie de 40,000 m². El 40% de su área es pastizal, un 35% bosque, 5% urbano y 20% chaparral. Calcule el volumen de escurrimiento en m³ si ocurre una lluvia promedio anual de 480 mm .

Sedimentación

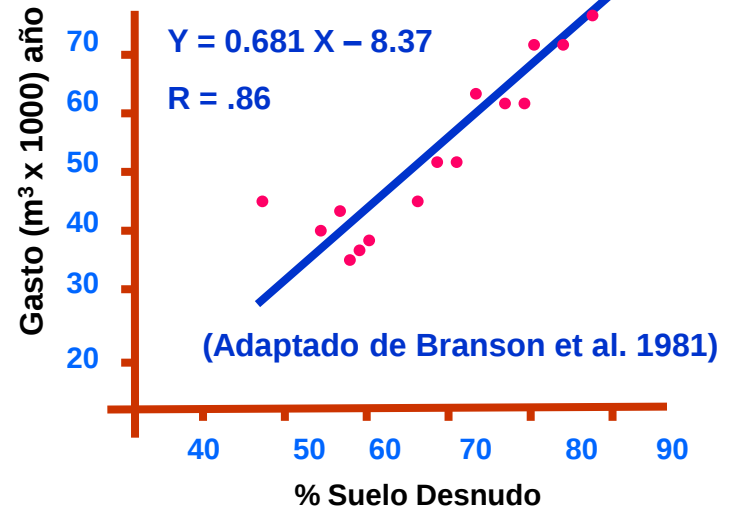
La sedimentación es el proceso que transporta y suspende a el suelo en el agua de escurrimiento directo o escurrimiento base de una cuenca. Se definen los componentes de la sedimentación como total de sólidos suspendidos (TSS). El TSS es conocido como la parte de suelo removida y transportada en suspensión por un determinado tiempo; siendo depositado como sedimentos en las depresiones del área de drenaje o bien en el océano.

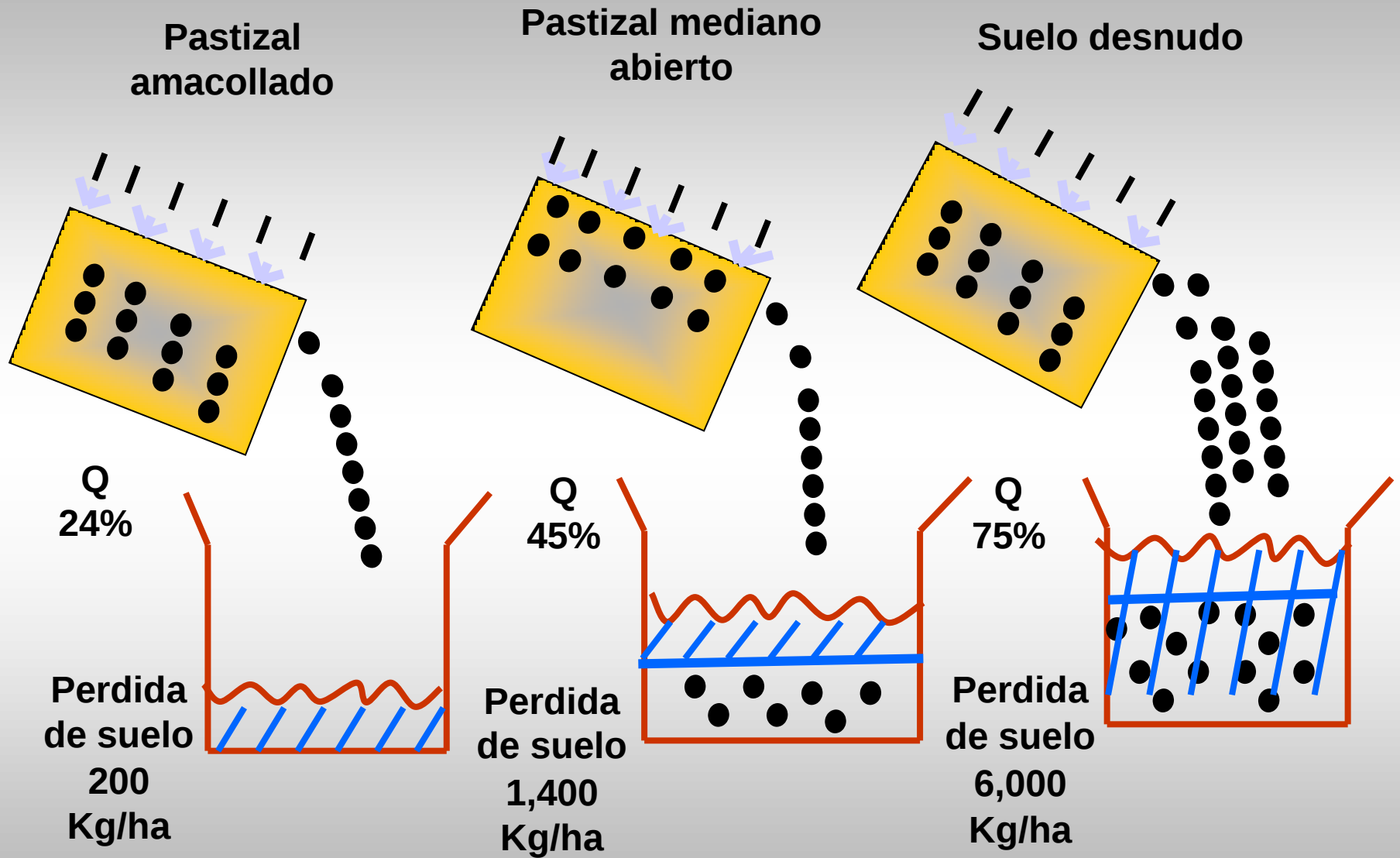
La sedimentación en una cuenca es definido básicamente por la magnitud del escurrimiento superficial, el cual será incrementado en la medida que la **cubierta vegetal** disminuye y las tasa de infiltración es menor (Gutiérrez, et-al. 1990; Enríquez, 1994). En lugares con una cubierta vegetal pobre (menos del 10 %) el escurrimiento se presente con valores hasta del 73 %. Como se observa en la grafica el nivel de escurrimiento superficial es muy favorecido por el incremento de suelo desnudo en la cuenca.



Las mas severas causas de erosión a nivel mundial ha sido el **sobrepastoreo**, siendo este factor el que genera los mas severos niveles de perdida de suelo. El pastoreo reduce la capacidad de infiltración debido a la perdida de los materiales protectores del suelo en su superficie así como a el efecto de la compactación. Son diversos los investigadores que han llegado a concluir que el sobrepastoreo presenta un efecto negativo en el nivel de infiltración y favorece a la sedimentación (*Dormaar y Willmas, 1998, Weltz y Wood, 1996, Thurow et al. 1991*). En general se ha definido que el uso excesivo de la cubierta vegetal en una cuenca afecta a la condición hidrológica.

La mejor forma de conservar el suelo y el agua es usando racionalmente la cubierta vegetal.





(Adaptado de Holechek et al. 2003)

Intercepción de la lluvia

Proceso por el cual la precipitación es detenida y retenida por la vegetación y se pierde por evaporación antes de alcanzar el suelo (*Branson, et al. 1981*). Los principales factores que afectan a la intercepción son la capacidad de almacenamiento por la vegetación y la oportunidad de evaporación.

Componentes de la intercepción

1.- Pérdida bruta por intercepción, es la cantidad de agua que es retenida por la superficie de las plantas y posteriormente es evaporada o retenida por las mismas (Ib).

2.- Pérdida neta por intercepción, es la parte de la precipitación retenida y evaporada por la planta, pero que no tiene efecto en el consumo del agua (In).

3.- Precipitación no interceptada, es la parte de la precipitación que alcanza el suelo directamente o a través de la vegetación o por goteo de las hojas ramas y tallos (Pn).

4.- Flujo por los tallos, es la cantidad de agua de lluvia que escurre a lo largo de las ramas y luego por el tronco a la superficie del suelo (Ft).

$$Ib = P - Pn - Ft$$

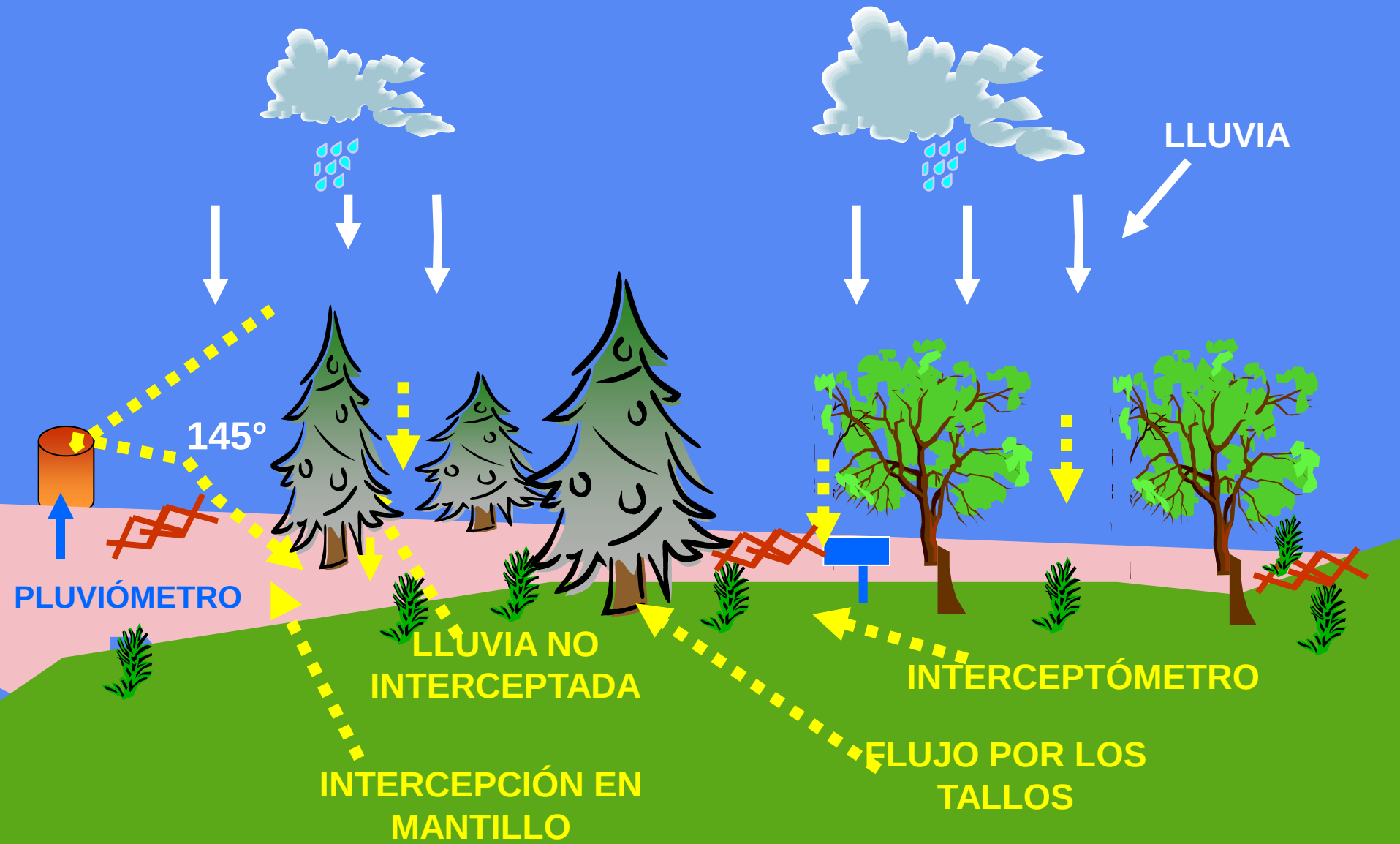
Donde:

Ib = Intercepción bruta en milímetros

P = precipitación en milímetros

Pn = precipitación no interceptada en milímetros

Ft = Flujo por los tallos en milímetros



Ejemplo:

Si en un bosque de encinos se presenta una precipitación de 25 mm y el diámetro de copas es de 4.5 metros; que cantidad de agua fluye por sus tallos.

$$\text{Volumen} = (\pi (4.5)^2 / 4) 0.025\text{m} = 0.398 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen por los tallos} = (0.398 \text{ m}^3) 0.05 = 0.0199 \text{ m}^3 = 20 \text{ lt.}$$

$$\text{Intercepción bruta} = (0.398\text{m}^3) .20 = 0.0796 \text{ m}^3 = 79.6 \text{ lt.}$$

Tipo de Bosque	Intercepción Bruta (%)	Intercepción Neta (%)	Flujo por Tallos(%)
Encino	20	15	5
Alamo	15	10	5
Abeto	35	32	3
Pino	32	29	3
Mantillo (Pino-Encino)	2-4	----	-----

Adaptado de Holechek y Pieper, 1989)

FLOW CONVERSION

UNIT	m ³ /s	m ³ /day	ℓ/s	ft ³ /s	ft ³ /day	ac-ft/day	gal/min	gal/day	mgd
1 m ³ /s	1	8.64 × 10 ⁴	10 ³	35.31	3.051 × 10 ⁶	70.05	1.58 × 10 ⁴	2.282 × 10 ⁷	22.824
1 m ³ /day	1.157 × 10 ⁻⁵	1	0.0116	4.09 × 10 ⁻⁴	35.31	8.1 × 10 ⁻⁴	0.1835	264.17	2.64 × 10 ⁻⁴
1 liter/s	0.001	86.4	1	0.0353	3051.2	0.070	15.85	2.28 × 10 ⁴	2.28 × 10 ⁻²
1 ft ³ /s	0.0283	2446.6	28.32	1	8.64 × 10 ⁴	1.984	448.8	6.46 × 10 ⁵	0.646
1 ft ³ /day	3.28 × 10 ⁻⁷	0.02832	3.28 × 10 ⁻⁴	1.16 × 10 ⁻⁵	1	2.3 × 10 ⁻⁵	5.19 × 10 ⁻³	7.48	7.48 × 10 ⁻⁶
1 ac-ft/day	0.0143	1233.5	14.276	0.5042	43,560	1	226.28	3.259 × 10 ⁵	0.3258
1 gal/min	6.3 × 10 ⁻⁵	5.451	0.0631	2.23 × 10 ⁻³	192.5	4.42 × 10 ⁻³	1	1440	1.44 × 10 ⁻³
1 gal/day	4.3 × 10 ⁻⁸	3.79 × 10 ⁻³	4.382 × 10 ⁻⁵	1.55 × 10 ⁻⁶	11,337	3.07 × 10 ⁻⁶	6.94 × 10 ⁻⁴	1	10 ⁻⁶
1 million gal/day (mgd)	4.38 × 10 ⁻²	3785	43.82	1.55	1.337 × 10 ⁵	3.07	694	10 ⁶	1

VOLUME CONVERSION

UNIT	ml	liters	m ³	in ³	ft ³	gal	ac-ft	million gal
1 ml	1	0.001	10 ⁻⁶	0.06102	3.53 × 10 ⁻⁵	2.64 × 10 ⁻⁴	8.1 × 10 ⁻¹⁰	2.64 × 10 ⁻¹⁰
1 liter	10 ³	1	0.001	61.02	0.0353	0.264	8.1 × 10 ⁻⁷	2.64 × 10 ⁻⁷
1 m ³	10 ⁶	1000	1	61,023	35.31	264.17	8.1 × 10 ⁻⁴	2.64 × 10 ⁻⁴
1 in ³	16.39	1.64 × 10 ⁻²	1.64 × 10 ⁻⁵	1	5.79 × 10 ⁻⁴	4.33 × 10 ⁻³	1.218 × 10 ⁻⁸	4.329 × 10 ⁻⁹
1 ft ³	28,317	28.317	0.02832	1728	1	7.48	2.296 × 10 ⁻⁵	7.48 × 10 ⁶
1 U.S. gal	3785.4	3.785	3.78 × 10 ⁻³	231	0.134	1	3.069 × 10 ⁻⁶	10 ⁶
1 ac-ft	1.233 × 10 ⁹	1.233 × 10 ⁶	1233.5	75.27 × 10 ⁶	43,560	3.26 × 10 ⁵	1	0.3260
1 million gallons	3.785 × 10 ⁹	3.785 × 10 ⁶	3785	2.31 × 10 ⁸	1.338 × 10 ⁵	10 ⁶	3.0684	1

AREA CONVERSION

UNIT	cm ²	m ²	km ²	ha	in ²	ft ²	yd ²	mi ²	ac
1 cm ²	1	0.0001	10 ⁻¹⁰	10 ⁻⁸	0.155	1.08 × 10 ⁻³	1.2 × 10 ⁻⁴	3.86 × 10 ⁻¹¹	2.47 × 10 ⁻⁸
1 m ²	10 ⁴	1	10 ⁻⁶	10 ⁻⁴	1550	10.76	1.196	3.86 × 10 ⁻⁷	2.47 × 10 ⁻⁴
1 km ²	10 ¹⁰	10 ⁶	1	100	1.55 × 10 ⁹	1.076 × 10 ⁷	1.196 × 10 ⁶	0.3861	247.1
1 hectare (ha)	10 ⁸	10 ⁴	0.01	1	1.55 × 10 ⁷	1.076 × 10 ⁵	1.196 × 10 ⁴	3.861 × 10 ⁻³	2.471
1 in ²	6.452	6.45 × 10 ⁻⁴	6.45 × 10 ¹⁰	6.45 × 10 ⁻⁸	1	6.94 × 10 ⁻³	7.7 × 10 ⁻⁴	2.49 × 10 ⁻¹⁰	1.574 × 10 ⁷
1 ft ²	929	0.0929	9.29 × 10 ⁻⁸	9.29 × 10 ⁻⁶	144	1	0.111	3.587 × 10 ⁻⁸	2.3 × 10 ⁻⁵
1 yd ²	8361	0.8361	8.36 × 10 ⁻⁷	8.36 × 10 ⁻⁵	1296	9	1	3.23 × 10 ⁻⁷	2.07 × 10 ⁻⁴
1 mi ²	2.59 × 10 ¹⁰	2.59 × 10 ⁶	2.59	259	4.01 × 10 ⁹	2.79 × 10 ⁷	3.098 × 10 ⁶	1	640
1 ac	4.04 × 10 ⁷	4047	4.047 × 10 ⁻³	0.4047	6.27 × 10 ⁶	43,560	4840	1.562 × 10 ⁻³	1

LENGTH CONVERSION

UNIT	mm	cm	m	km	in.	ft	yd	mi
1 mm	1	0.1	0.001	10 ⁻⁶	0.0397	0.00328	0.00109	6.21 × 10 ⁻⁷
1 cm	10	1	0.01	0.0001	0.3937	0.0328	0.0109	6.21 × 10 ⁻⁶
1 m	1000	100	1	0.001	39.37	3.281	1.094	6.21 × 10 ⁻⁴
1 km	10 ⁶	10 ⁵	1000	1	39,370	3281	1093.6	0.621
1 in.	25.4	2.54	0.0254	2.54 × 10 ⁻⁵	1	0.0833	0.0278	1.58 × 10 ⁻⁵
1 ft	304.8	30.48	0.3048	3.05 × 10 ⁻⁴	12	1	0.333	1.89 × 10 ⁻⁴
1 yd	914.4	91.44	0.9144	9.14 × 10 ⁻⁴	36	3	1	5.68 × 10 ⁻⁴
1 mi	1.61 × 10 ⁶	1.01 × 10 ⁵	1.61 × 10 ³	1.6093	63,360	5280	1760	1

Bibliografía

Bedient, Philip B., Wayne C. and Huber, Baxter E. Vieux. 2011. *Hydrology and Floodplain Analysis* (5th Edition).

Chorley RJ. 1977. Introduction to Physical Hydrology, London, Methuen & Co. Chapter 2.1 The Basin Hydrological Cycle, 27-36.

- Stott TA. 2000. The River and Waterway Environment for Small Boat Users: An Environmental Guide for Recreational Users of Rivers and Inland Waterways, Nottingham, British Canoe Union. Chapter 1.2, 12-16.

- Waugh D. 1990. Geography: An integrated Approach, Walton-on-Thames, Nelson. Chapter 3 Drainage Basins and Rivers, 43-47.

- Kondolf, M. and Piegay, H. (2001) Methods in Fluvial Geomorphology, London, Wiley.

- Brown, A.G. and Quine, T.A. (eds), 1999. Fluvial Processes and Environmental Change. John Wiley and Sons, Chichester, 413 p.

Schumm, S.A. 1977. The fluvial system. N.Y., Wiley.



Universidad Autónoma de Chihuahua

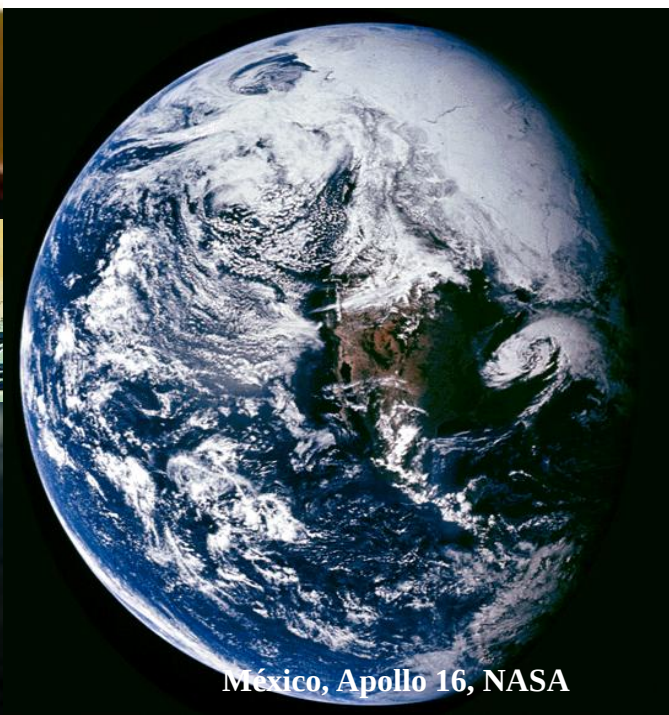
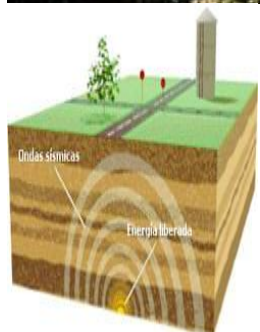
Facultad de Zootecnia y Ecología



Geomorfología

Elaboró: *M.C. Rey Manuel Quintana Martínez*

Enero 2014





El curso de Geomorfología es parte del programa de la carrera de Ingeniero en Ecología de la Facultad de Zootecnia y Ecología Universidad Autónoma de Chihuahua.

Este material es propiedad del maestro titular M.C. Rey Manuel Quintana Martínez.

-Elaborado: Agosto del 2001

-Actualización a petición de la academia en febrero 2014.



Chihuahua Chih. México



Contenido

Página

Introducción

La ciencia geomorfología y dinámica de la litosfera_____

La vía láctea, el sistema solar, la tierra y su dimensión ecológica_____

Estructura general de la tierra y su relación con la vida

Astenosfera y litosfera_____

Geoformas generales

Geomorfo-ecología general de la tierra_____

Geomorf-ecología general de México_____

Edad de la tierra

Edad geológica de la tierra y su ecología_____

Principales fases continentales y su ecología_____

Rocas y minerales (su importancia ecológica)

Rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas_____

Ígneas extrusivas_____

Metamórficas granulares_____

Algunos elementos y minerales_____

Tectonismo y su relación con la vida

Tectonismo y subducción_____

Movimiento tectónico y continental_____

Movimiento ondulatorio_____

Movimiento fracturado_____

Erosión (intemperismo en la litosfera) y el uso ecológico de

Introducción_____

Intemperismo mecánico_____

Intemperismo químico_____

Erosión fluvial y sistema de drenaje

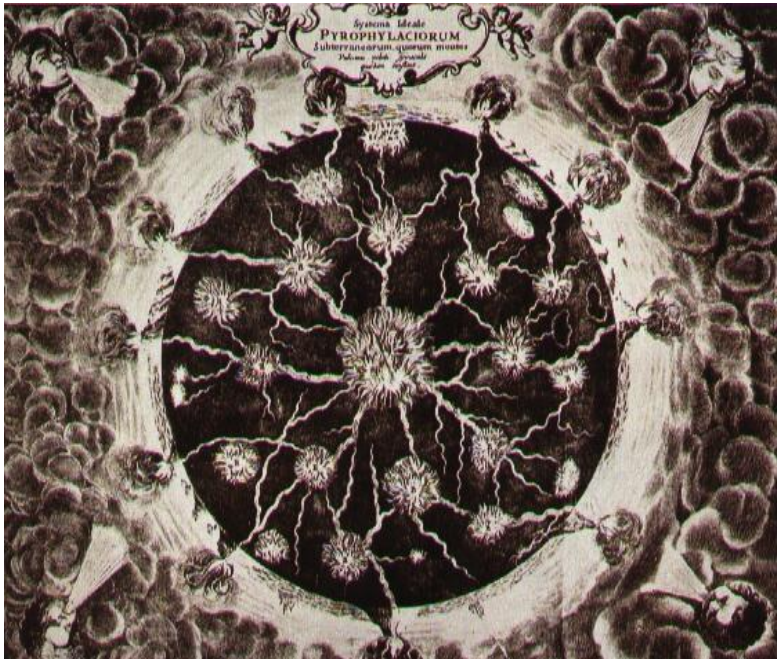
Erosión eólica_____

Glaciación

Introducción (erosión y deposición)_____

Geoformas periglaciares_____

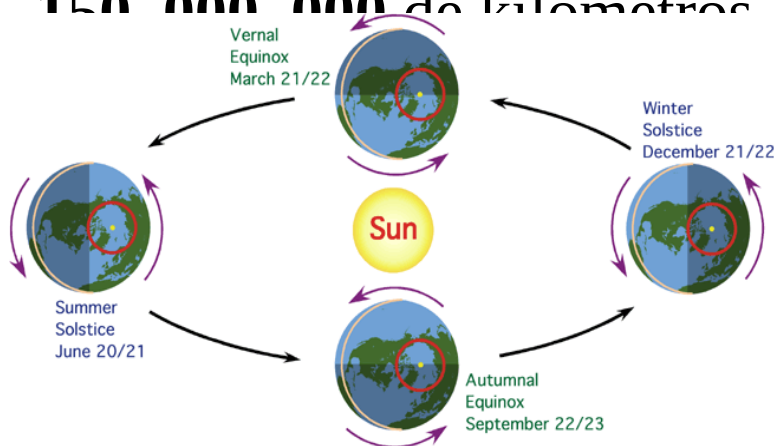
Erosión del mar en el continente



Lamina del National Geographic, 1989

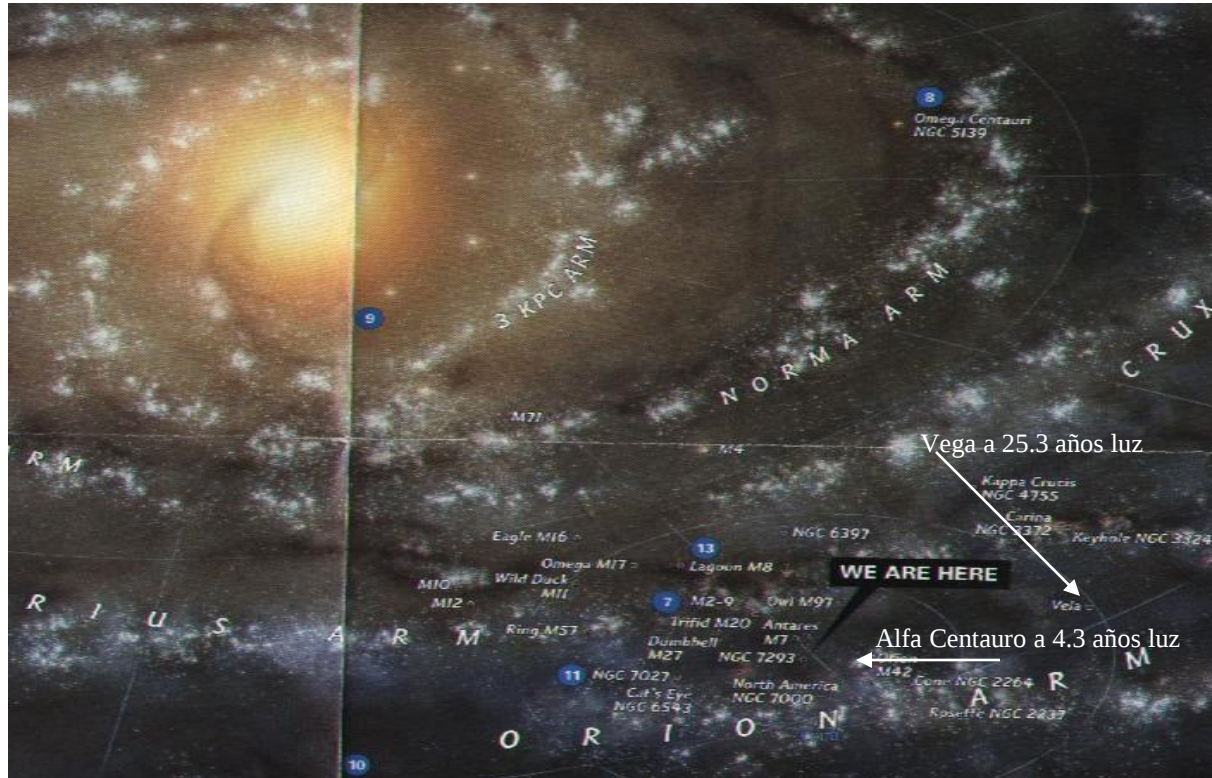
La Ciencia Geomorfología y Dinámica de la litosfera

Ciencia que estudia las **formas** de la superficie terrestre (**litosfera**)
La tierra es el tercer **planeta** desde el sol; la distancia media a nuestro sol es de **150,000,000** de kilómetros. Nuestro planeta tiene, una luna que se encuentra a una distancia media de **384,400** kilómetros.



El movimiento terrestre está dado por la revolución alrededor del sol completada en 365 días y una rotación sobre su propio eje concluida en 24 horas. En promedio, la velocidad de la tierra en el sistema solar es de **28 km/s** y tiene una inclinación de **23.5 grados** en su eje.

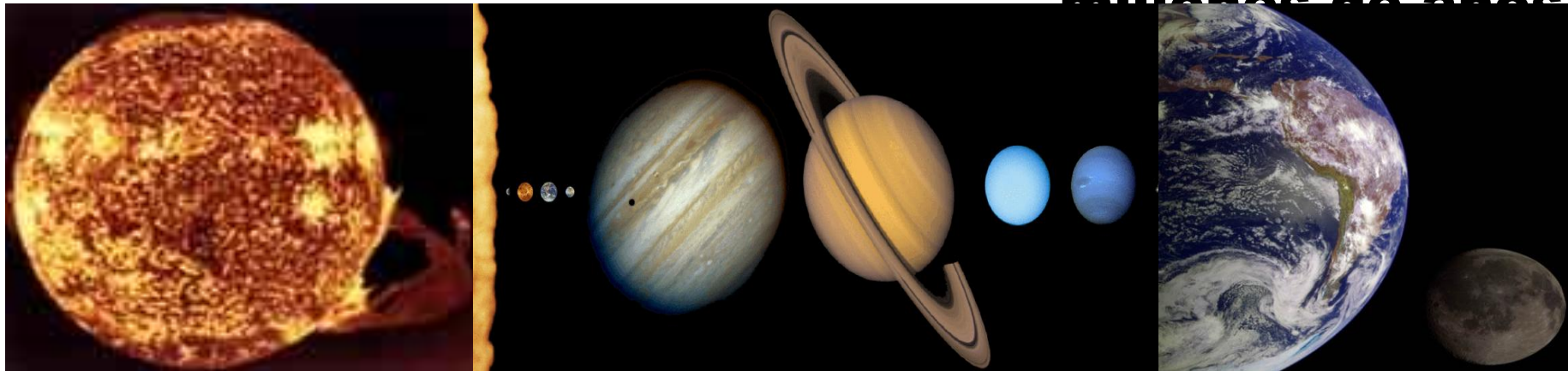
La Vía Láctea, el Sistema Solar, la Tierra y su Dime



Nuestro Sistema Solar se encuentra a 2/3 del centro de la galaxia en el espiral llamado Orión. La Vía Láctea tiene mas de 200 mil millones de estrellas y forma parte de un racimo de 30 galaxias, entre ellas Andrómeda a mas de 2 millones de años luz.

1 año luz = Distancia que recorre la luz a 300,000 km seg. en un año.

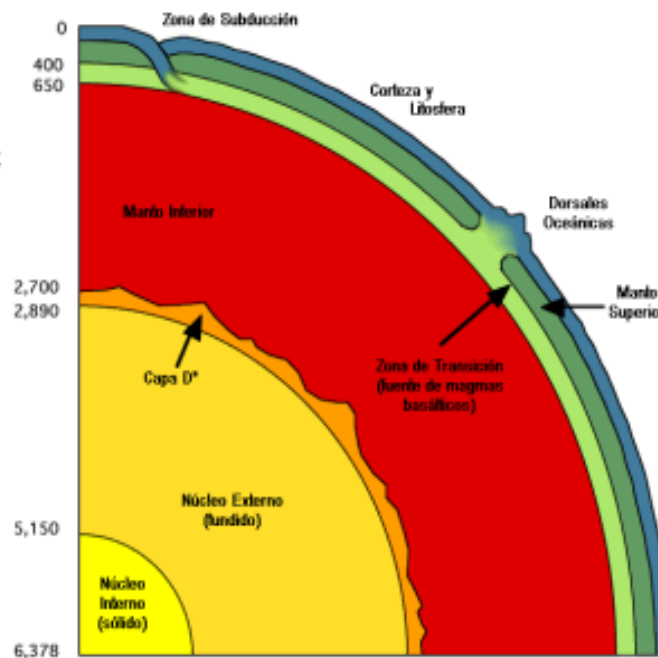
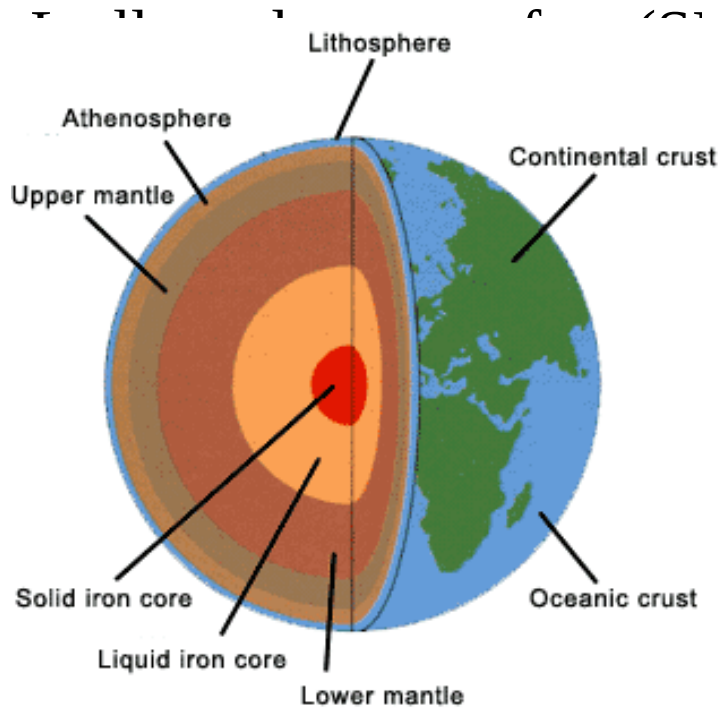
Imágenes adaptadas del National Geographic, 1990



Estructura general de la Tierra y su Relación con la

La tierra se constituye por un núcleo de metales fundidos (fierro y níquel), un manto de basalto liquido (lava) y una litosfera compuesta por rocas sólidas. En conjunto con la fuerza universal de **geomagnetismo** hacen que la litosfera tenga un constante movimiento (tectonismo, subducción, erosión).

El espesor de los componentes núcleo, manto y litosfera es de 3678 km, 2900 km y 6378 km respectivamente. El principal componente de la **astenosfera** y **litosfera** es el oxido de silicio y aluminio respectivamente.

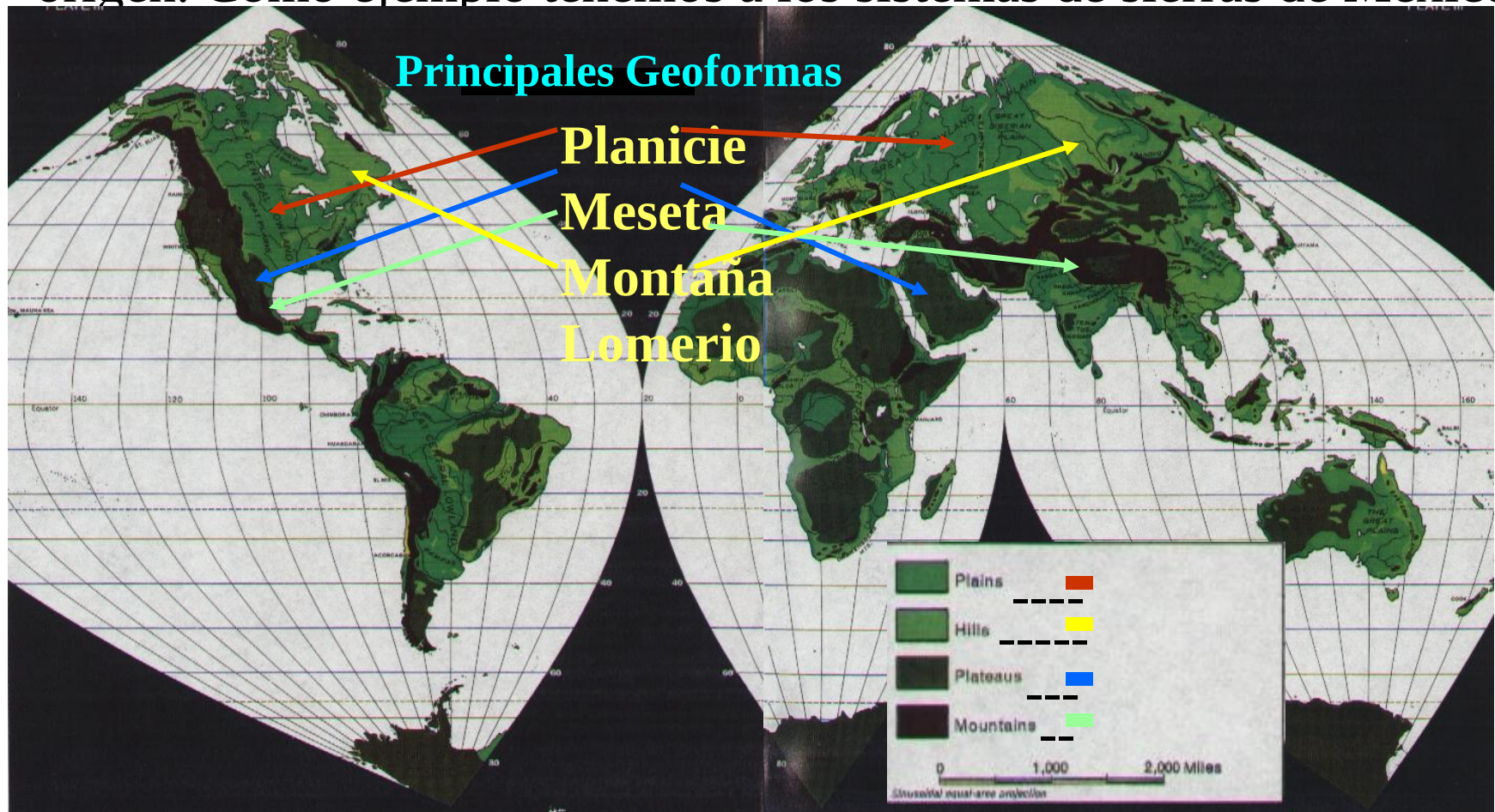


Adaptado de Hamilton, 1997

El manto y sus siglas y sus siglas se debe a la **litosfera** es una capa muy delgada que envuelve a el manto y núcleo. Representa menos de 1/160 del radio terrestre.

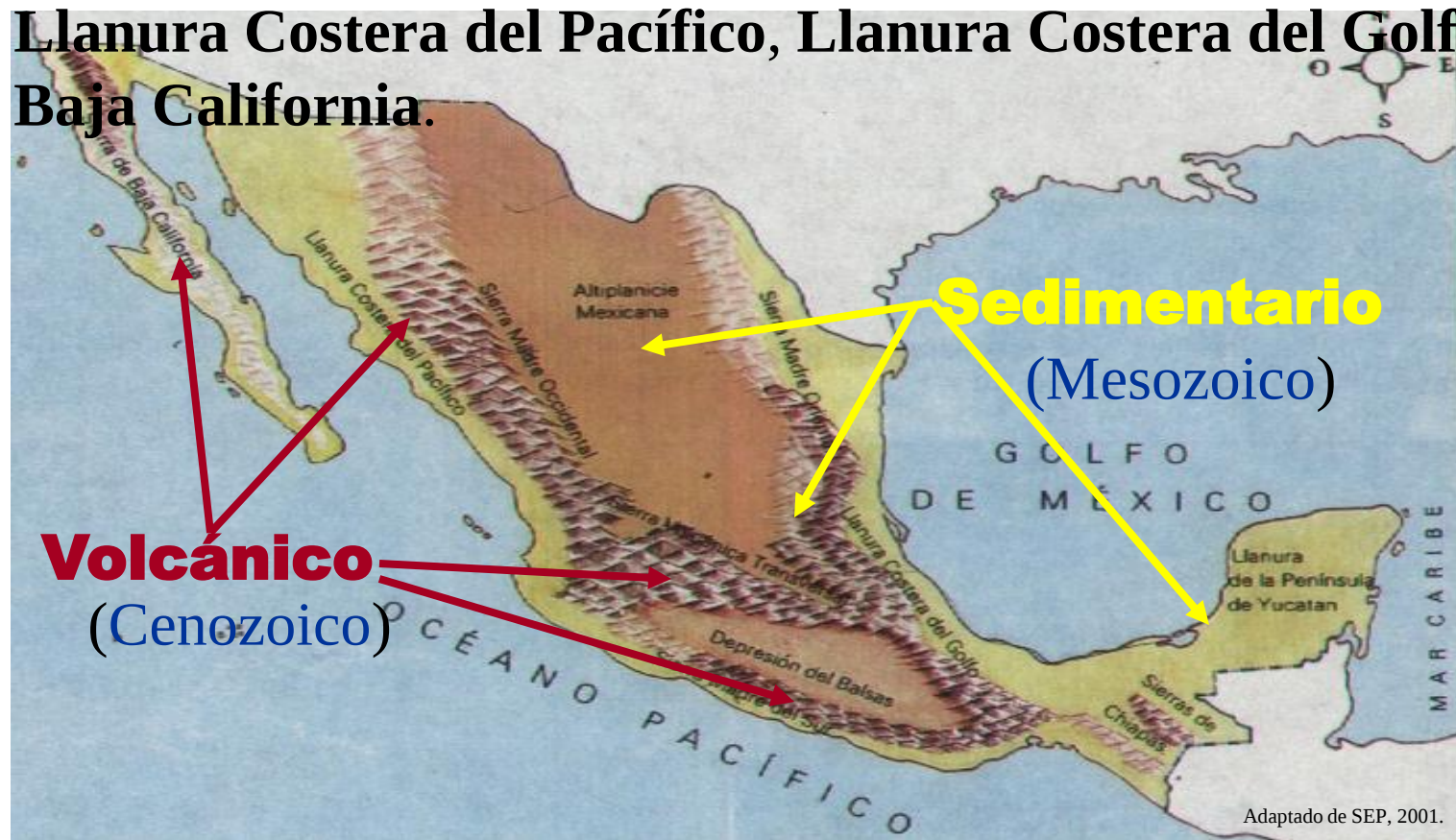
Geomorfo-ecología general de la Tierra

La geomorfología general de la tierra es representada por cuatro tipos denominadas **PLANICIES**, **LOMERIOS**, **MESETAS** y **MONTAÑA** definidas tomando en cuenta la estructura geológica que las constituye y su origen. Como ejemplo tenemos a los sistemas de sierras de México, la



Geomorfo-ecología general de México

La geomorfología de México esta identificada por 9 unidades fisiográficas que se desarrollaron principalmente en un medio marino durante el Mesozoico y la actividad volcánica ocurrida en la era Cenozoica. Estos sistemas se denominan **Sierra Madre Oriental, Eje Neovolcanico Transversal, Sierra Madre Occidental, Llanura Costera del Pacífico, Llanura Costera del Golfo, Península de Baja California y Baja California.**



Edad Geológica

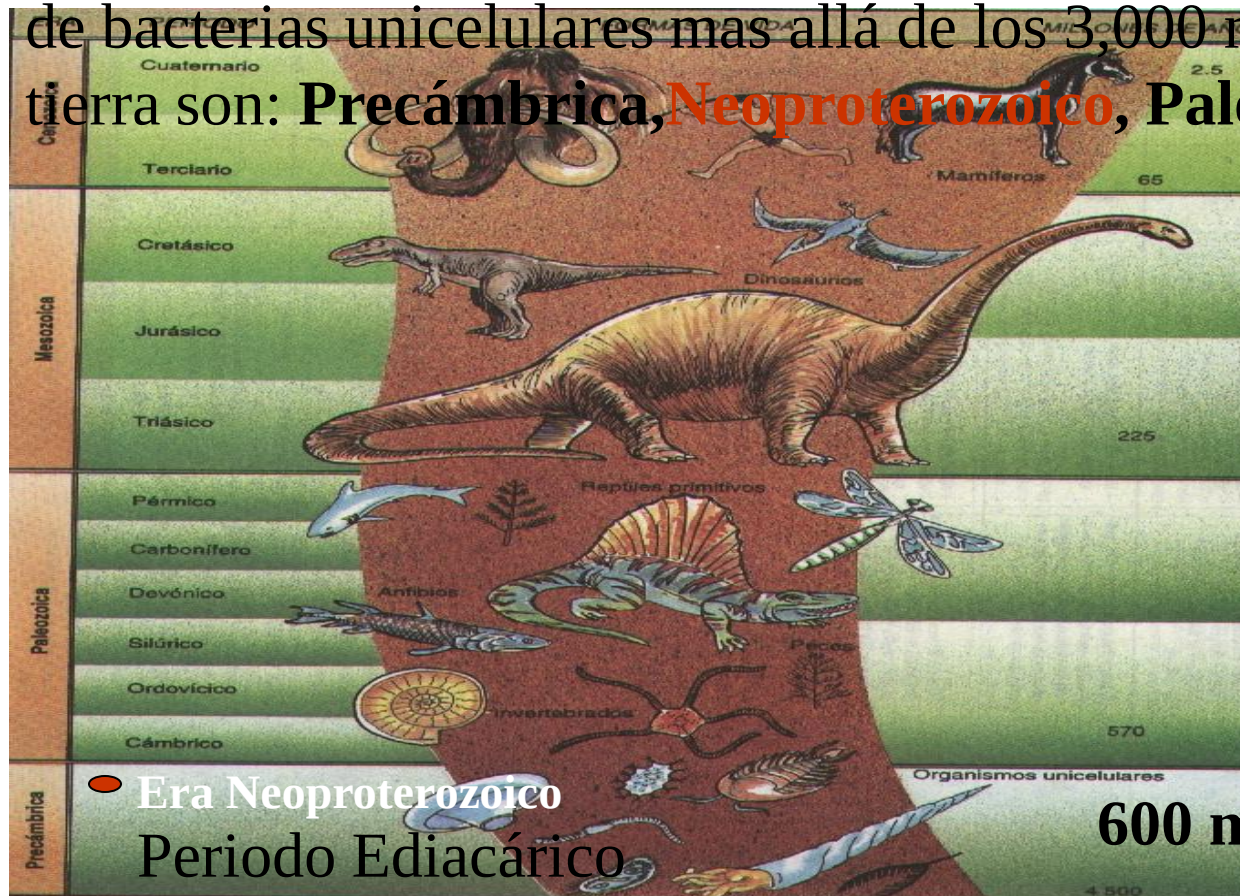
230
millones de años

40
millones de años

Edad geológica de la Tierra y su Ecología

Según las teorías actuales la tierra nació junto con el sistema solar hace millones de años. En ese tiempo el cúmulo de gas y polvo condensa en un disco incandescente que se fue enfriando hasta permitir se originara el fenómeno de la vida. La información de fósiles multicelulares hasta los 600 millones de años; de bacterias unicelulares mas allá de los 3,000 millones de años. En general la historia de la tierra son:

Precámbrica, Neoproterozoico, Paleozoica, Mesozoica y Cenozoica. La forma y tamaño de los individuos existentes en cada era se determina a partir de los fósiles encontrados en las rocas. La prueba del uranio define la edad en millones de años.



La forma y tamaño de los individuos existentes en cada era se determina a partir de los fósiles encontrados en las rocas. La prueba del uranio define la edad en millones de años. Geocronología de Circones, Dr. Samuel Bowring, 2004.

Nueva Era Geológica, NEOPROTEROZOICO.



Fosiles de vida multicelular que se presentaron en la tierra hace 600 ma.

ÁNGELA POSADA-SWAFFORD

GEOLOGÍA

Nueva era geológica

Cambio en el calendario

Por primera vez en 120 años, los científicos han modificado el calendario geológico de la Tierra. Tras más de una década de deliberaciones, la Comisión Internacional de Estratigrafía, oficializó al período Ediacárico (en honor a las

Colinas Ediacara en Australia), una antigua etapa de tiempo que comenzó hace 600 millones de años y terminó hace unos 542 millones de años. El nuevo período forma ahora parte de la era Neoproterozoica, cuando aparecieron en el planeta las primeras formas de vida multicelulares (arriba).

El Dr. Samuel Bowring, geólogo del Instituto Tecnológico de Massachusetts en Cambridge, Estados Unidos, perfeccionó un método de datación de rocas muy antiguas conocido como geocronología de circones.

ERAS DE LA TIERRA

Millones de años atrás	Era	Periodo
10,000 años	CENOZOICA	Cuaternario
1,6		Terciario
5		Neógeno
24		Paleógeno
37	MESOZOICA	Cretácico
58		
65		
142		
206	PALEOZOICA	Jurásico
248		Triásico
290		Pérmico
354		Carbonífero
417	NEOPROTEROZOICO	Devónico
443		Silúrico
495		Ordovícico
545		Cámbrico
600		Ediacárico

“Muy poco tiempo antes del Cámbrico la evolución animal progresaba a buena marcha y producía criaturas como estos fósiles en Terranova”, concluye Bowring.
—Ángela Posada-Swofford

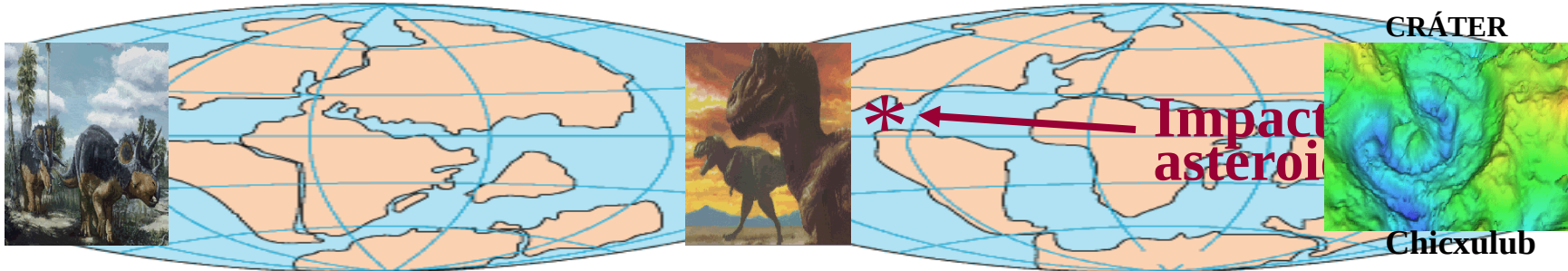
Principales fases continentales y su Ecología

Las fases evolutivas de los continentes son reconocidas por el estado de fósiles, la similitud de características entre organismos y las formaciones extraordinarias ocurridos (impactos asteroides-cráter de Chicxulub). De los periodos geológicos las siguientes etapas en la disposición contin



PERMICO (Pangea)
225 millones de años

TRIASICO (Mar de Tethys)
200 millones de años



JURASICO (Mar de Tethys)
135 millones de años

CRETACICO (Subatlantica)
65 millones de años

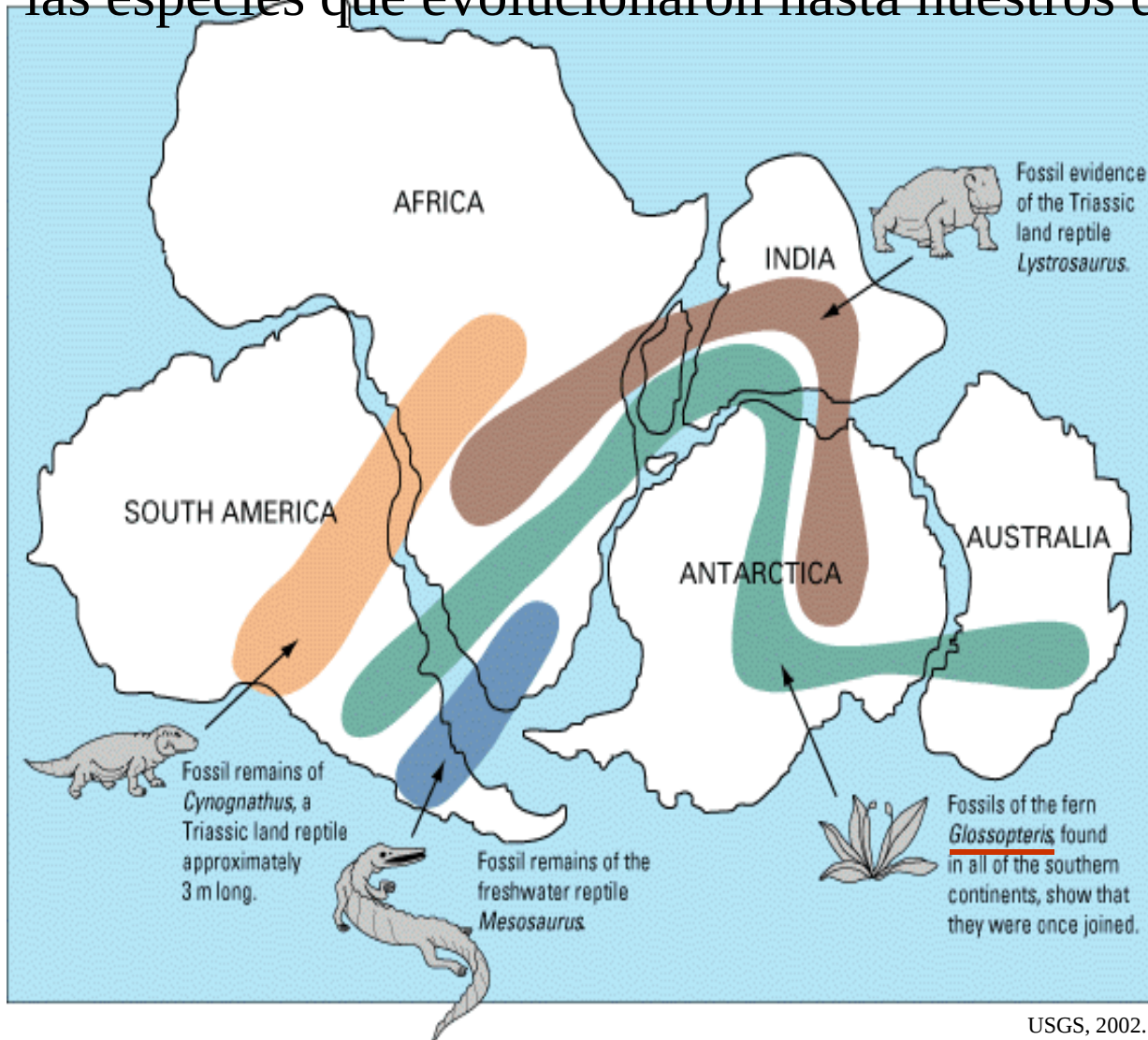


DISPOSICION ACTUAL

Continentes, mares al inicio del periodo cretácico.



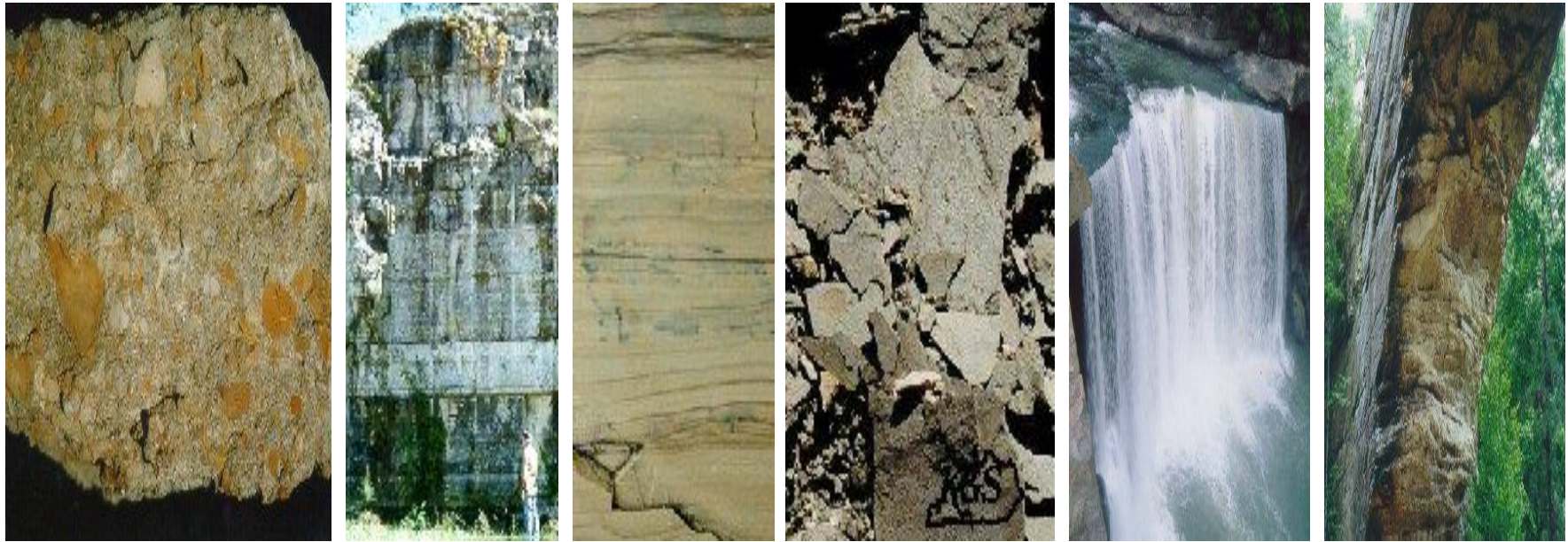
La similitud de organismos en los diferentes continentes que actualmente muestra la disposición continental hacia el Paleozoico; además explica las especies que evolucionaron hasta nuestros días (vg. Los camélidos)



USGS, 2002.

Los fósiles de plantas **Glossopteris** ha sido encontrado desde el sur australiano hasta el sur americano. Esta planta primitiva vivía en geoformas de planicie durante la Pangea.

Rocas y Minerales (su importancia ecológica)



Los minerales son la parte constitutiva de las rocas. Una roca se compone de elementos relativamente estables que el hombre ha encontrado en la superficie.

Las rocas se clasifican en tres grandes grupos; **ígneas**, **sedimentarias** y **metamórficas**.

Rocas ígneas.- Son rocas formadas por lava que al enfriarse rápidamente forman las ígneas extrusivas. Cuando el magma se enfría lentamente en el interior de la corteza a altas presiones se originan las ígneas intrusivas. Existen también las rocas plutónicas. Las intrusivas se forman más lentamente, a mayor presión y profundidad de las extrusivas.

Rocas sedimentarias.- El intemperismo de todas las rocas genera gravas y arenas.

Rocas Ígneas Extrusivas

Estas rocas que se forman en la superficie de la litosfera y el enfriamiento relativamente rápido, están representadas por la [obsidiana](#), conocida como rojo o negro; en México abunda donde las secuencias volcánicas son una [riolita \(rhyolita\)](#) de color gris claro que representa en general a las rocas finas; es desconocido el origen de estos términos pero es posible que se refiera al patrón con que se disponen sus componentes de micas, feldespatos, cuarzo y riolitas de cuarzo o calcárea; según sea la abundancia de óxido de silicio. El [basalto](#) es la roca volcánica más reciente pues se origina en las lavas.

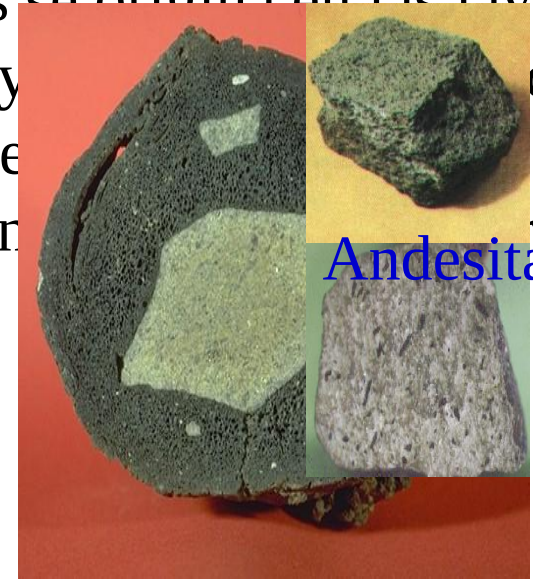


Obsidiana



Riolita, cerro las
Escobas, chih., Mex.

Riolita (falsita)

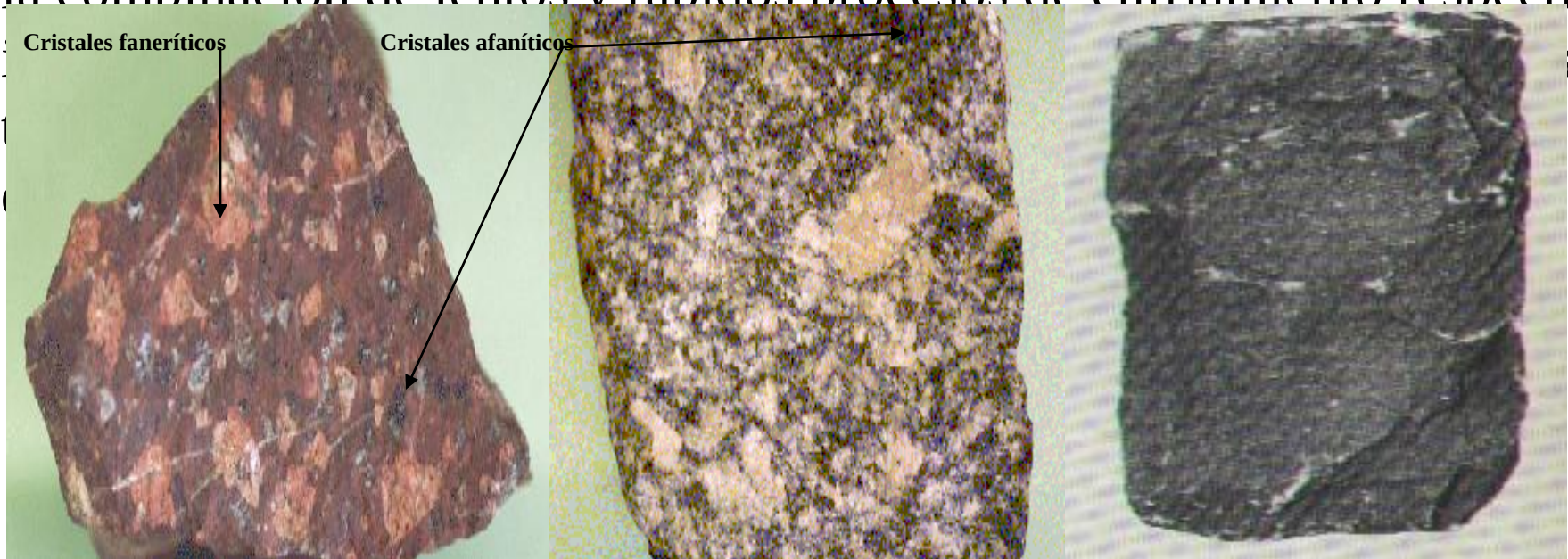


Andesitas

Basalto

Rocas Ígneas Intrusivas

Su lento proceso de formación en el interior de la litosfera les ha permitido desarrollar minerales en estructura **fanerítica** “phaneritica”. El contenido de cristales es una muestra del enfriamiento lento en profundidad; el ejemplo mas común son los llamados **porfiris** (porphyry) que contienen a el feldespato, cuarzo, y otros minerales en un estado de **phenocrysts**. La **riolitas porfiri** y **granito porfiri** son ejemplos que tienen fases de cristalización faneríticas (1-10 mm) y **afanítica** “aphanitic” la combinación de lentos y rápidos procesos de enfriamiento respectivamente.



Cristales faneríticos

Cristales afaníticos

Porfiri riolitico

Porfiri granítico

Diabasa

Rocas Ígneas Intrusivas-Plutónicas

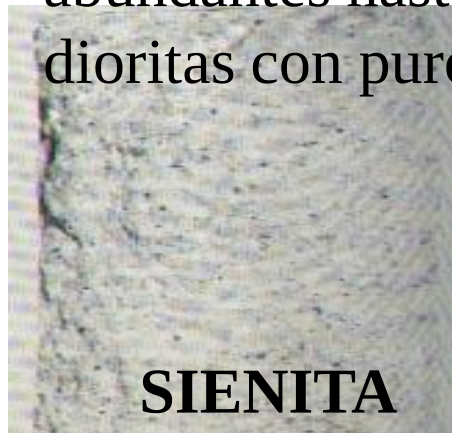


GRANITO

El granito es la roca plutónica representativa. Su composición consta de mica negra, feldespato y cuarzo. Su enfriamiento muy lento da como resultado una **pegmatítica** que presenta cristales muy grandes y apreciables a simple vista. Esta roca es muy dura por lo que ha sido utilizada en la construcción de civilizaciones. En la lamina

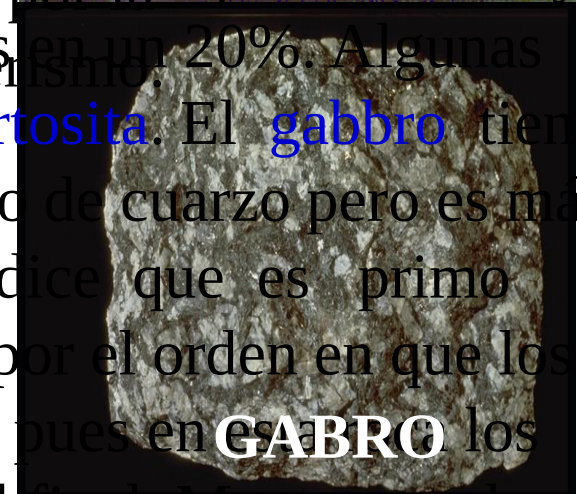


La diorita tiene colores más oscuros que el granito, presentando una estructura típica de caos granítico con feldespatos muy abundantes hasta en un 73% y las micas negras en un 20%. Algunas dioritas con puro feldespato son llamadas anortosita. El gabbro tiene



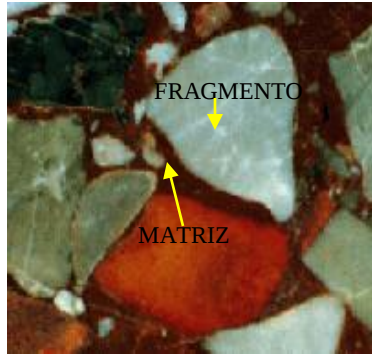
SIENITA

también bajo contenido de cuarzo pero es más gris que la diorita, se dice que es primo de la diabasa a no ser por el orden en que los elementos se integran, pues en el **GABRO** los feldespatos ingresan al final. Monumentales



GABRO

Rocas sedimentarias terrígenas (detritales o clásticas)



Son derivadas de el intemperismo de las rocas ya existe textura **clástica** (fragmentos o triturado de rocas) consisten en:

- 1.- Clástica.- Fragmentos grandes como la arena y la grava.
- 2.- Matricial.- Sedimento fino que rodea a los fragmentos.

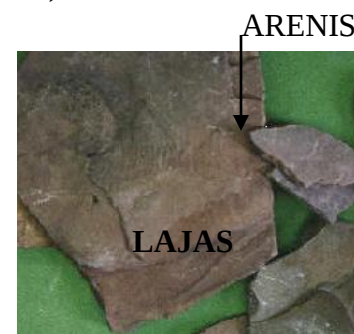
Las rocas sedimentarias **terrígenas** se clasifican según su textura pudiendo ser: **areniscas**, **arcillosas**, **areniscas cementadas**. Minerales que soportan los fragmentos como los óxidos de hierro, sílice y calcita.



Rocas de cieno (la dimensión del grano es de 1/10 a 1.5 mm)



Rocas de arcilla (la dimensión del grano es menor a 1/10 mm)



Rocas sedimentarias evaporativas, carbonatadas y silíceas (químicas/bioquímicas)

Estas rocas han sido formadas por la deposición de componentes en el mar. Los compuestos han pasado del mar a la roca mediante procesos químicos o biológicos (crecimiento del coral). En ocasiones es difícil poder definir si la roca se formó en el mar o en la tierra. En algunos casos, por esta razón, es que se las clasifica como rocas sedimentarias químicas/bioquímicas.



2.- **Carbonatadas**.- Son rocas que se forman por la actividad de organismos acuáticos (crustáceos) con base en las rocas sedimentarias areniscas carbonatadas. La **dolomita** $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$.

3.- **Silíceas**.- Son rocas formadas con base al óxido de silicio cuando algas o radiolarios secretan sílice (por ejemplo, esponjas de biogen). La **diatomita** es un tipo de roca silícea formada por la actividad de diatomeas. Estas rocas están formadas por material orgánico principalmente por fragmentos de **carbón** derivado de los fragmentos posee abundantes minerales, entonces se la clasifica a esta roca como inorgánica.

Rocas Metamórficas en capas (foliadas)

Estas rocas se forman cuando los minerales constitutivos se alinian en capas. Los representantes son: **pizarra**, **filita**, **esquistos**, **gneiss**.



Pizarra



Filita



Esquisto



Gneiss

La **pizarra** es una roca oscura derivada del metamorfismo de la arenisca. Es una roca de textura muy fina; presenta tonalidades que se denominan sombras. No es una casualidad pues los cosméticos para sombra contienen **moscovita** para dar efecto de luces. Los **esquistos** poseen abundantes micas que dan el nombre.

Rocas Metamórficas granulares

El **gneiss** es bandeado por minerales oscuros y claros; por esto los minerales se alinean en bandas. La distribución equidimensional de las partículas de cuarzo y calcita sin foliación da origen a las rocas tipo mosaico, tal es el caso del **mármol**, la **cuarzita** y la **kianita**.



Cuarzita



Mármol



Kianita

Algunos elementos y Minerales

A continuación se mencionan algunos de los mas importantes **elementos** de la naturaleza se presentan en forma de roca:

SULFUROS, SULFATOS, OXIDOS, CARBONATOS, BORATOS, FOSFATOS, SILICATOS.

Debemos recordar que estos son la base para que se integren los diferentes tipos de rocas que anteriormente ya analizamos. Como podemos ver el elemento mas abundante en la corteza terrestre es el oxígeno.



Diamante en una Piroxenita



Calcita transparente y ámbar



Cristal de roca "cuarzo"



Agate de fuego "geoda"



Malaquita



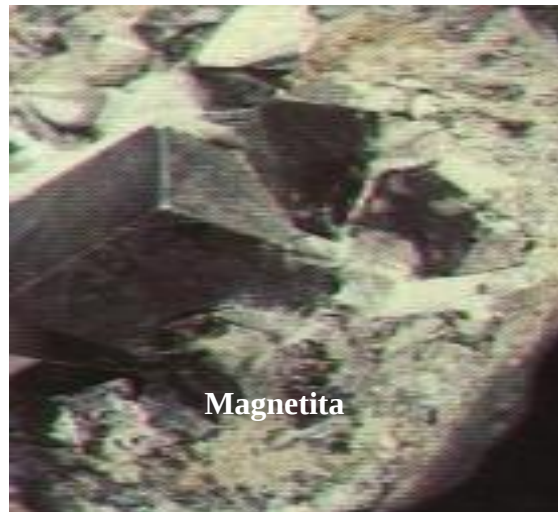
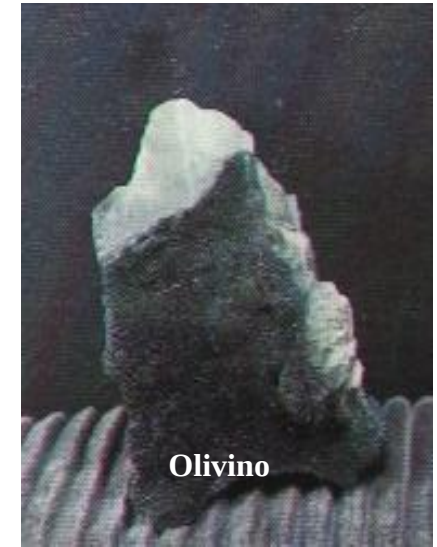
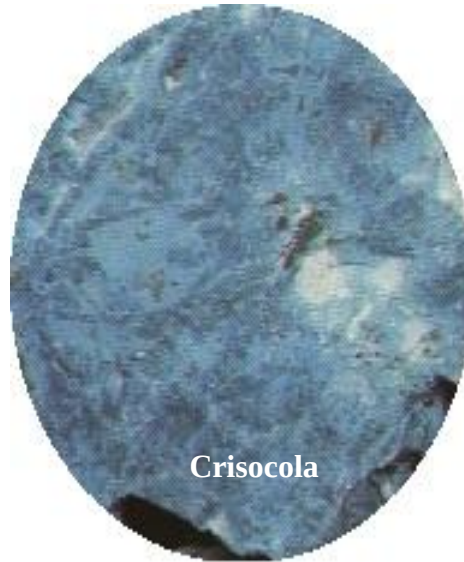
Wulfenita



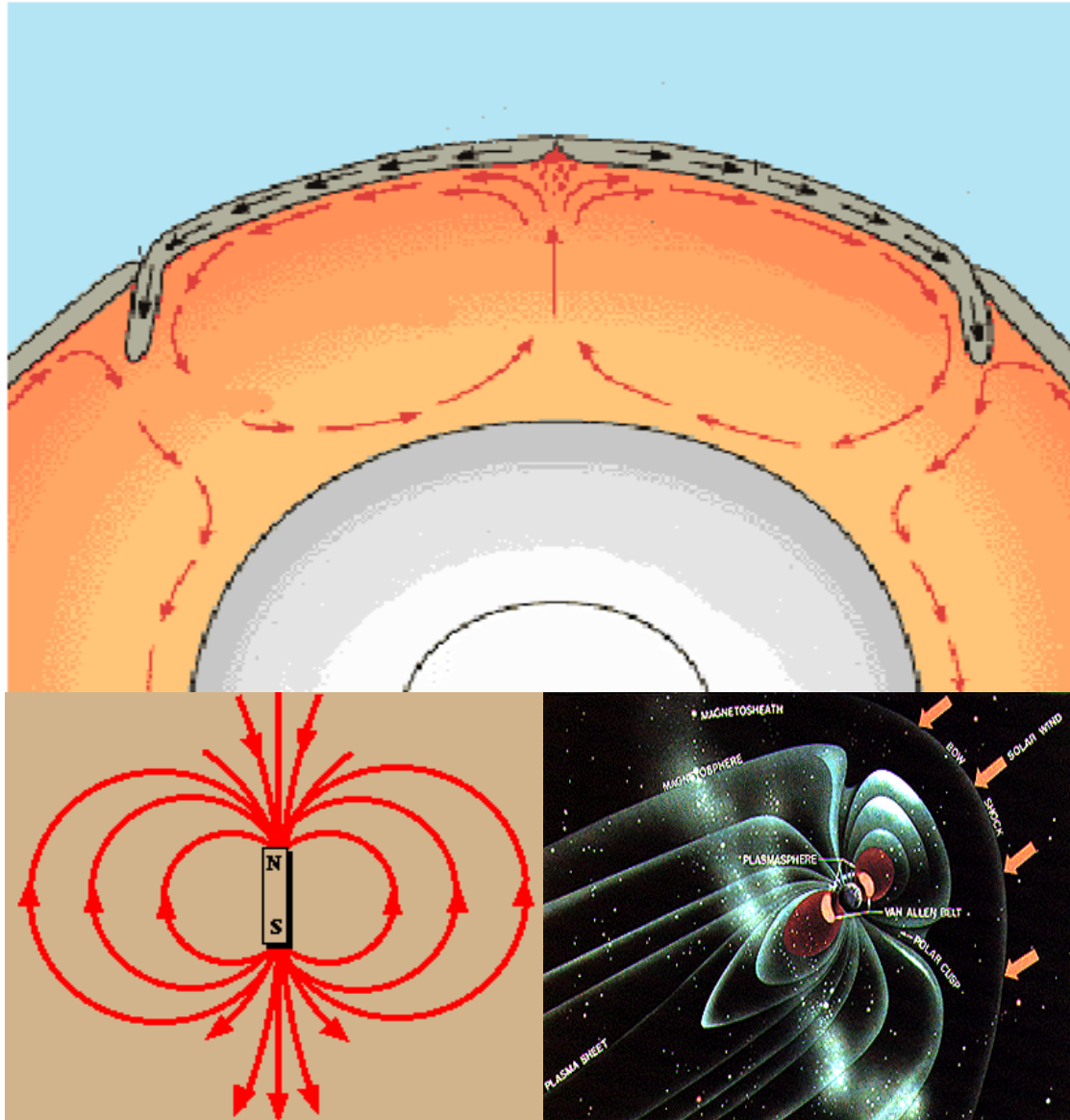
Galena



Topacio



Tectonismo y Movimiento Continental y su relación con la vida



El movimiento de la corteza terrestre como resultado de la fuerza geomagnética que influye y actúa sobre el manto fluido, define al **tectonismo y subducción**. La Tierra es similar a un imán que distribuye sus componentes según sean sus cargas positivas o negativas. En la figura podemos ver la dispersión del viento solar según los polos; norte (+) y sur (-).

Adaptado de U.S.G.S 2002

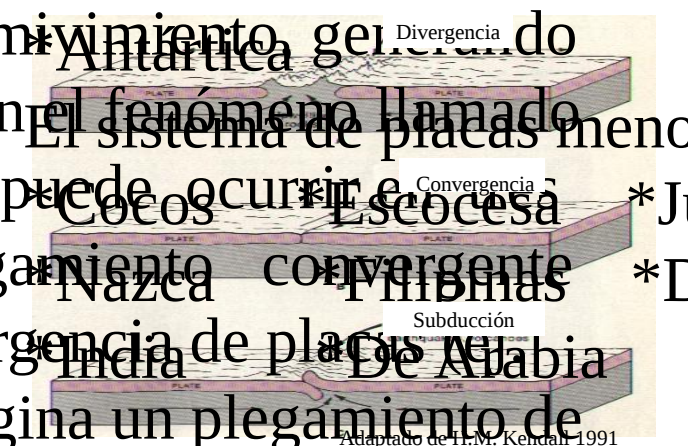
Movimiento de Placas Tectónicas

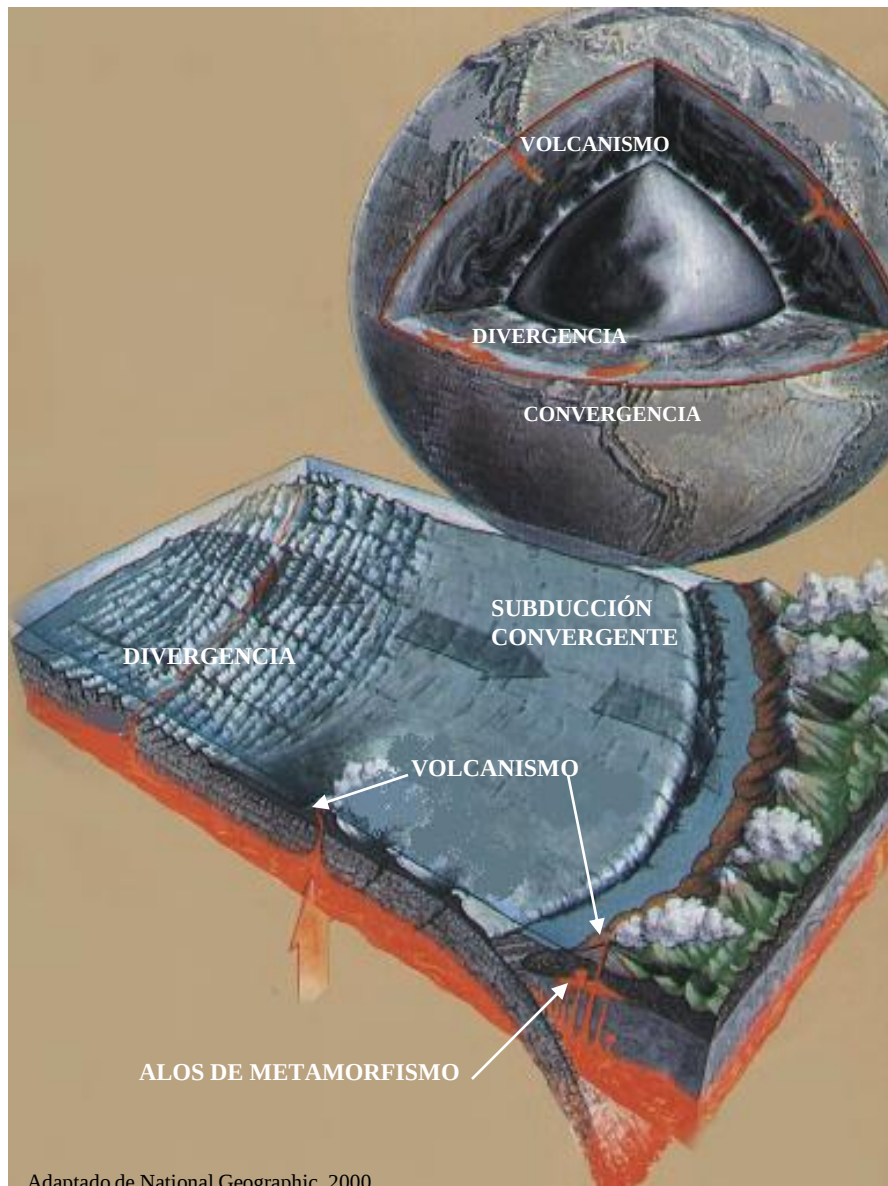


La corteza terrestre no es una sola pieza, sino que está fragmentada en **siete grandes** y **ocho subplacas** continentales. Las placas principales se denominan:

- *Norte-Americana
- *Sur-Americana
- *Pacífico
- *Euro-Asiática
- *Africana
- *Australiana

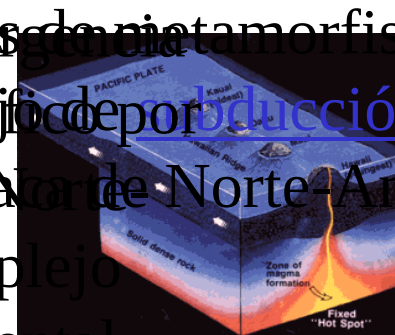
Las placas continentales están en constante movimiento, generando procesos de interacción entre ellas que causan el fenómeno llamado **tectonismo**. La interacción entre las placas puede ocurrir a diferentes niveles; contacto de placas divergente, plegamiento convergente y subducción. El primer caso causa una divergencia de placas (ej. centro del Atlántico), el segundo proceso origina un plegamiento de las rocas convergentes (ej. Himalayas) y por último la **subducción**.





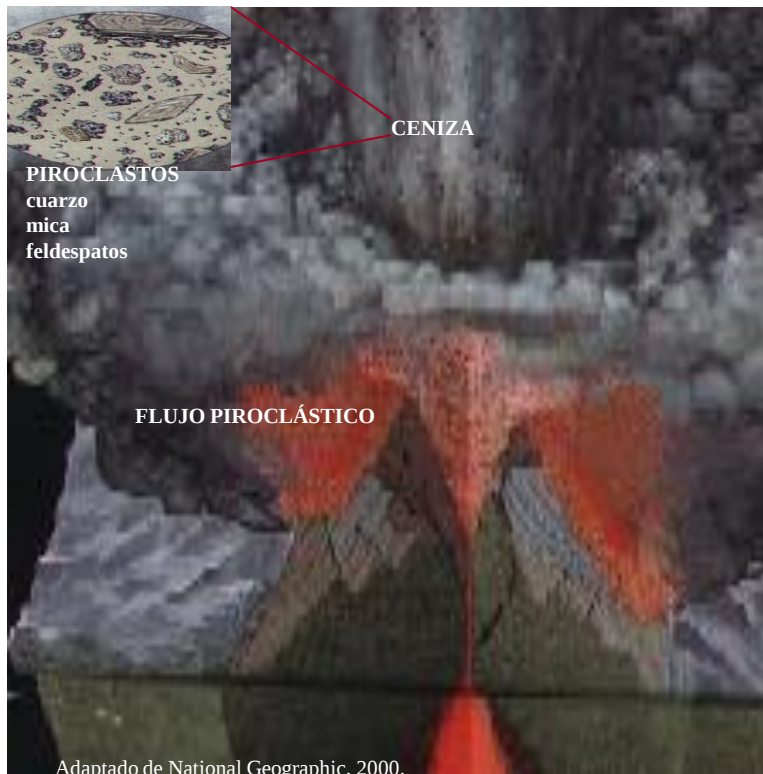
Adaptado de National Geographic, 2000

La fase de subducción entre las placas es la etapa del movimiento continental que tiene el mayor efecto tectónico. En estas regiones se observan el desarrollo de sistemas montañosos, origen volcánico (ej. Los Andes), terremotos, maremotos y abundantes depósitos de cenizas y lavas. En la zona de subducción de la placa del Pacífico por debajo de la placa Norteamericana; el complejo movimiento continental involucra además las zonas de divergencia continua y la consolidación de volcanes. El llamado círculo de fuego se extiende desde Chile hasta Nueva Zelanda.



U.S.G.S., 2002

procesos de fallamiento y destinción también se presentan en algunas regiones como San Andrés (Golfo de California) y la mesa del norte (Chihuahua) respectivamente.

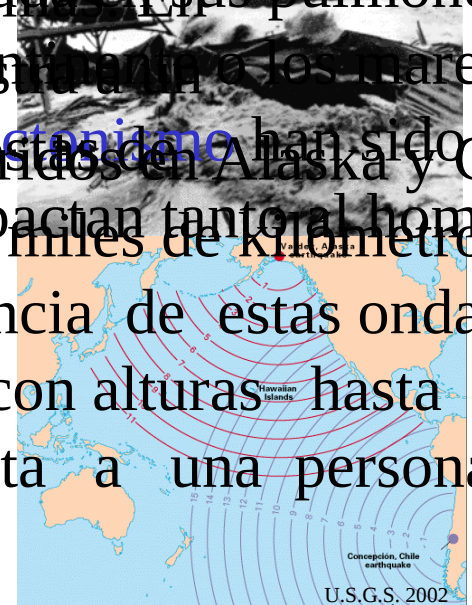


El **volcanismo** presenta un abundante flujo de lava que se depositan en las zonas aledañas a los volcanes. Los basaltos conforman los roqueros que eventualmente con el tiempo propiciarán hábitat para plantas y animales. Sin embargo la ceniza mientras no es depositada en la superficie, esta posee una composición química (rica en feldespato y cuarzo) con fases de cristalización que son dañinas para el hombre y los animales al respirarla y depositarla en sus pulmones.

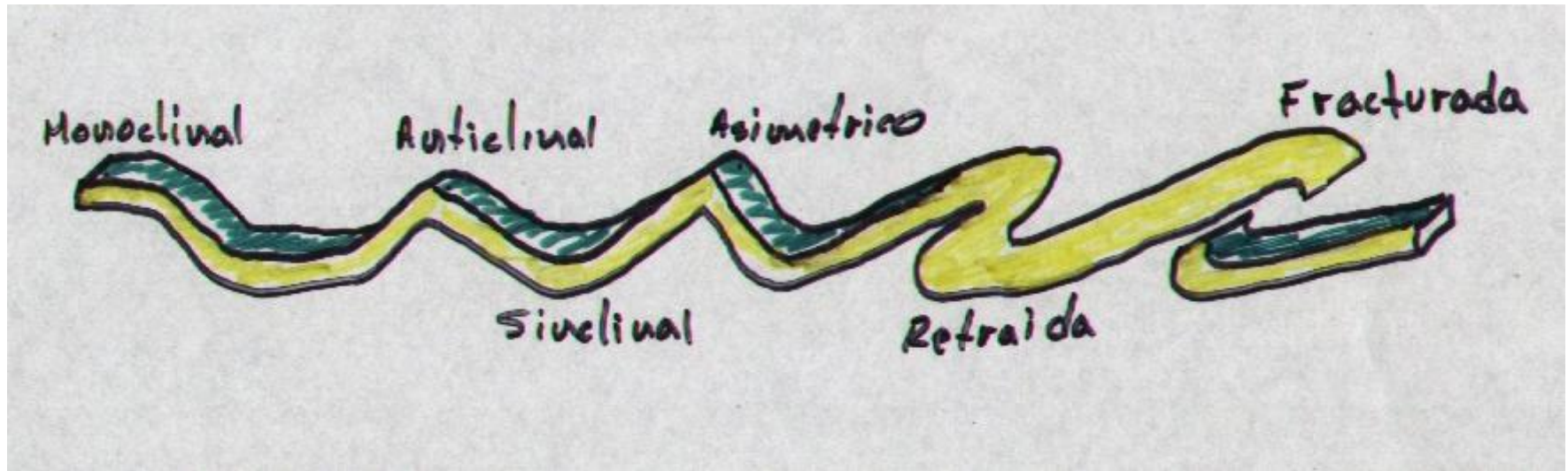
En los últimos años, los terremotos en el cono suramericano han sido por lo general originados por el **tectonismo** que impacta tanto al hombre como a los mares.

Hawai originado por epicentros de terremotos ocurridos en Alaska y Chile. La dispersión de las bandas sísmicas se dispersan a miles de kilómetros, los lugares con costas localizados en la convergencia de estas ondas sísmicas son afectados por oleajes que rompen en la playa con alturas de hasta decenas de metros. En la imagen del maremoto se presenta a una persona que desaparece en el mar.

En general podemos considerar al **tectonismo** como un proceso natural que



Movimiento ondulatorio



El movimiento del manto y particularmente de la **Astenosfera** produce ondulaciones en la Litosfera, generando en ésta un movimiento continuo de naturaleza ondulatoria.

Los pliegues se caracterizan por las disposiciones que se describen a continuación:



Los pliegues se caracterizan por las disposiciones que se describen a continuación: Cuando el pliegue presenta una simetría de los estratos con cierta frecuencia esta disposición degenera en fallas al producirse el estiramiento y fracturas de las ramificaciones. Los monoclinales existen regularmente en las sierras volcánicas de gran altitud y particularmente se presentan frecuentemente en las sierras de gran altitud.

Anticlinal



Disposición **convexa** de la roca debido a una divergencia en la línea de intersección. Los flancos son convergentes.

Isoclinal (asimétrico)



Disposición **asimétrica** de la roca, donde sus flancos se aproximan al paralelismo.

Sinclinal



Disposición **cóncava** de la roca. Los flancos son convergentes.

Retraída y fracturado



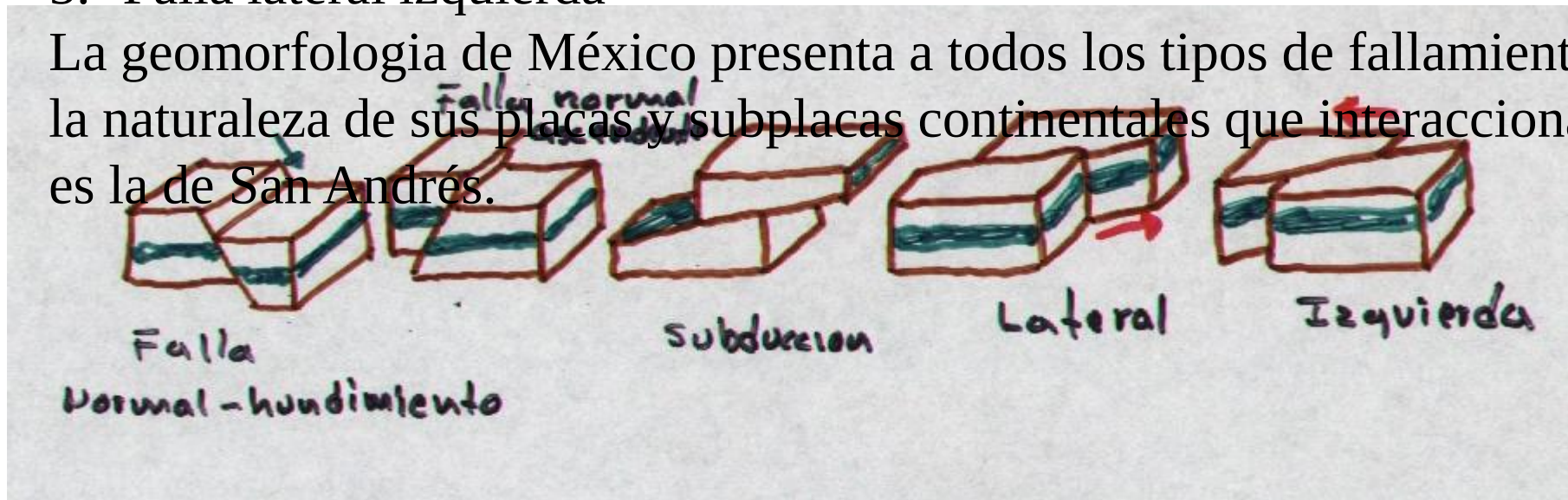
La retracción de la roca genera es la disposición final de la onda.

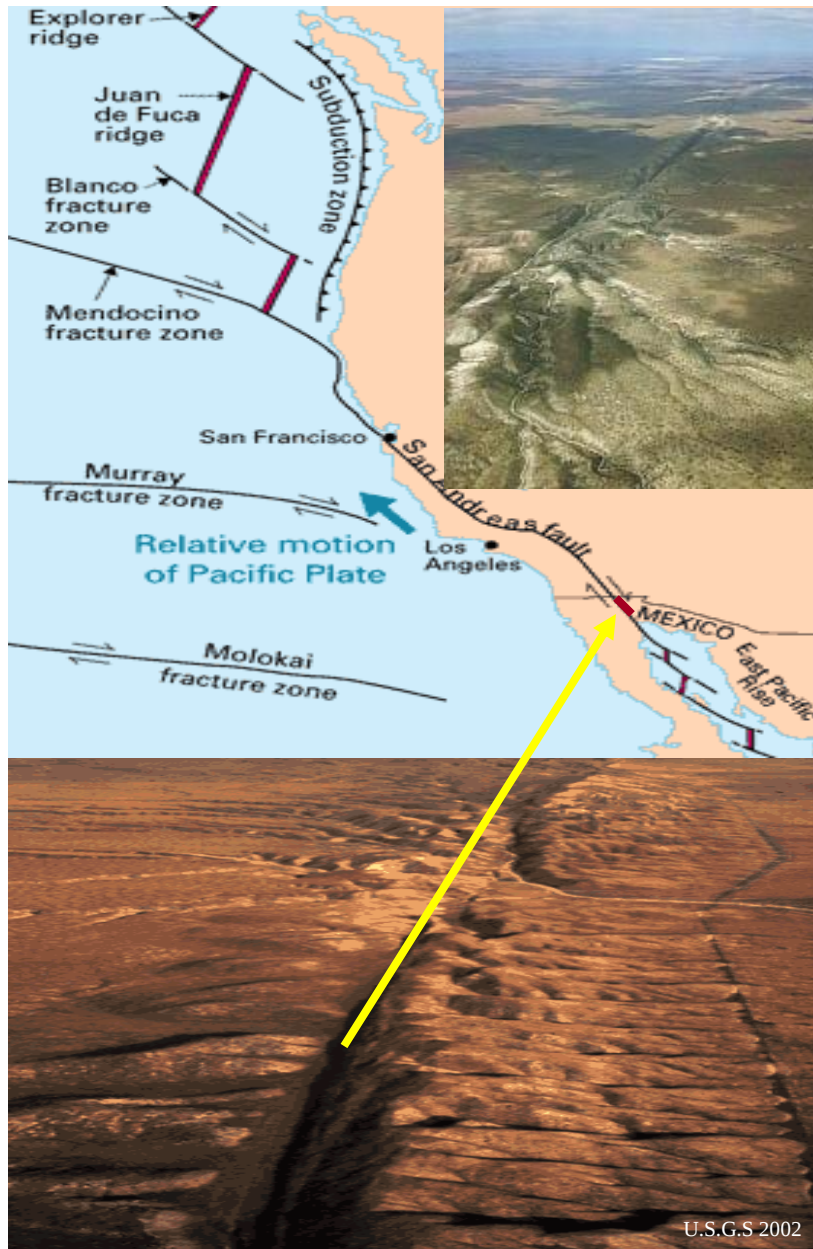
Movimiento fracturado

El conjunto de fuerzas tectónicas y movimiento ondulatorio resultan en un tipo de fallamiento es muy diverso, pudiendo encontrar sistemas locales continentales (ej. Falla de San Andrés). Los tipos más comunes de fallamiento son:

- 1.- Falla normal con hundimiento
- 2.- Falla normal ascendente
- 3.- Falla superior por subducción
- 4.- Falla lateral diestra
- 5.- Falla lateral izquierda

La geomorfología de México presenta a todos los tipos de fallamientos, la naturaleza de sus placas y subplacas continentales que interaccionan es la de San Andrés.

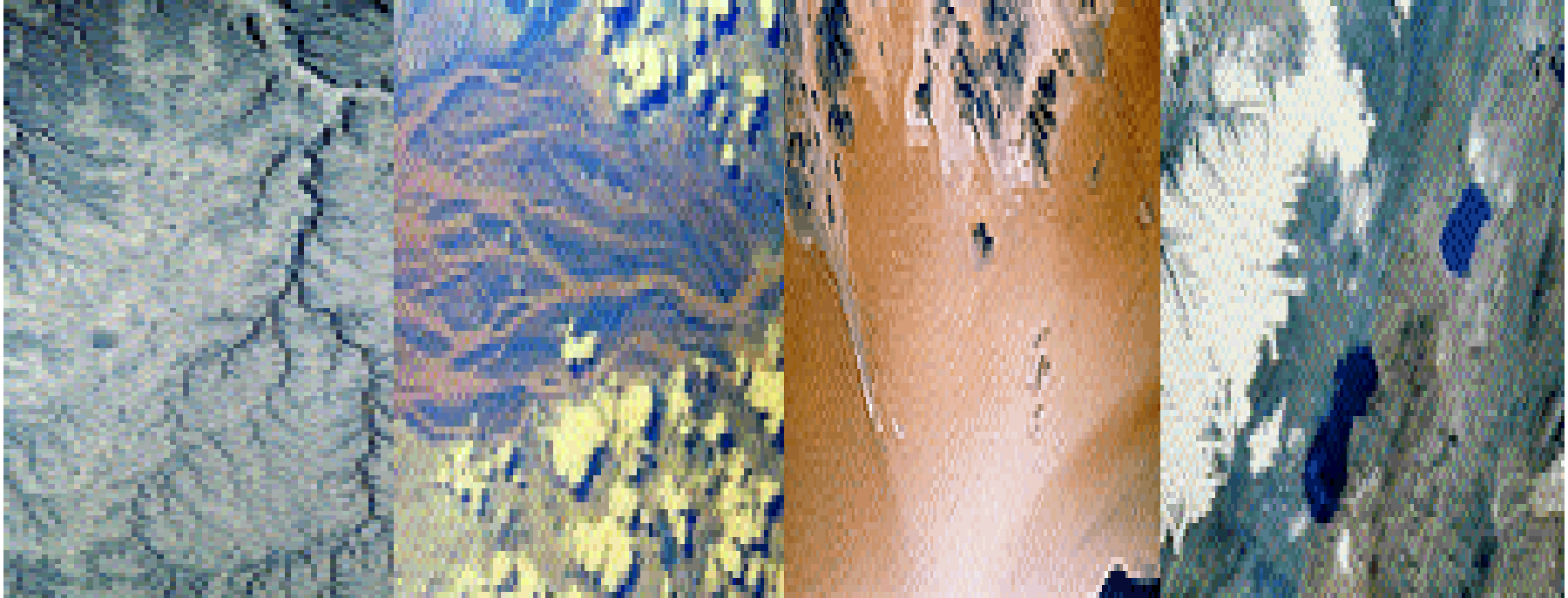




Se observa al la falla de San Andrés desde Alaska hasta su encuentro con el Golfo de Baja California. En el continente se presenta en forma de zanjas o fisuras que van desde unos cuantos centímetros (10 cm) hasta varios metros (mas de 4 m). Su movilidad se ha estimado en aproximadamente .78 grados/ millón de años. En esta latitud esta medida angular equivale aproximadamente a 245 Km.

— Segmento de la falla que se mu
imagen.

Erosión (Intemperismo en la Litosfera) y el uso racional - ecológico de la geoforma.



En la primer parte de este curso se analizó el conjunto de procesos internos de la tierra que definen a la [dinámica geomorfológica](#); a continuación trataremos el proceso llamado [INTEMPERISMO](#) que da forma a la litosfera en su superficie. El termino más común que se asocia con el moldeado superficial de las geoformas es [EROSIÓN](#); siendo el intemperismo [mecánico](#) y [químico](#) las formas más básica y constante que actúan sobre las rocas.

En general además de los dos procesos básicos indicados, en la tierra se presentan tambien como agentes erosivos el [interfluvio](#) de los ríos, el [viento](#) y los [glaciares](#)(hielo).

Intemperismo Mecánico

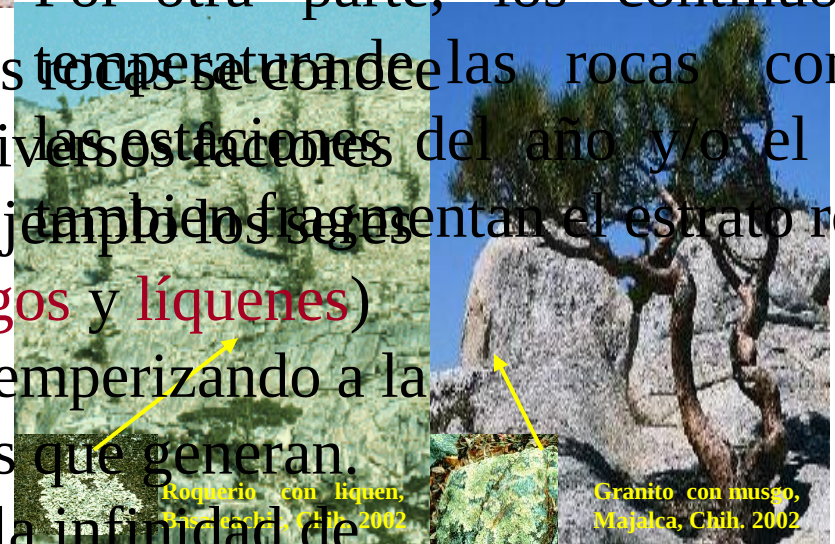
El **intemperismo** físico de las rocas es causado por los procesos de cristalización y actividad orgánica; en este último es donde se encuentra



Talud, Majalca Chih. 2002

Roca fracturada, Teseachic, Chih. 2001

El efecto de los seres vivos sobre las rocas se conoce como la erosión orgánica; existen diversos factores que componen a este proceso; por ejemplo los seres microscópicos (**algas, hongos, musgos y líquenes**) han estado por millones de años intemperizando a la roca debido a los residuos orgánicos que generan. También es importante indicar que la infinidad de



Roquerío con líquen,
Majalca, Chih. 2002

Granito con musgo,
Majalca, Chih. 2002



El proceso de **cristalización** es un fenómeno que produce el intemperismo de las rocas en la tierra este proceso físico-químico en los compuestos **carbonatos** y **cloruros** también se presenta en elementos y compuestos orgánicos e inorgánicos. Debemos recordar que la cristalización está presente en el cuarzo, feldespato y en las rocas ígneas en general como las riolitas y granitos. En este caso se muestra a el carbonato de calcio formando cristales de calcita de tal forma que el intemperismo en parte

Intemperismo Químico

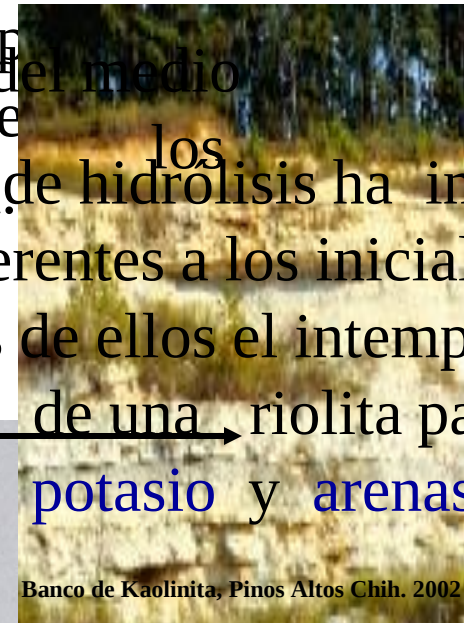
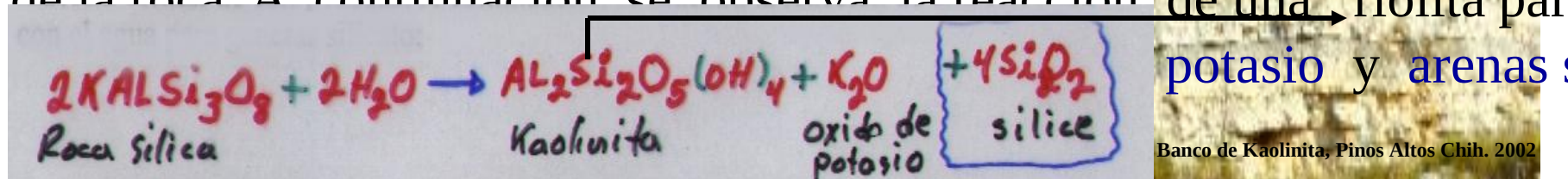
Los procesos de **solución**, **hidrólisis**, **carbonatación** y **oxidación** en las rocas son procesos químicos. Son variadas las formas como se expresan estos fenómenos; se pueden distinguir con relativa facilidad las reacciones químicas que se producen. El bióxido de carbono sobre una cantera y el ion bicarbonato aparece como



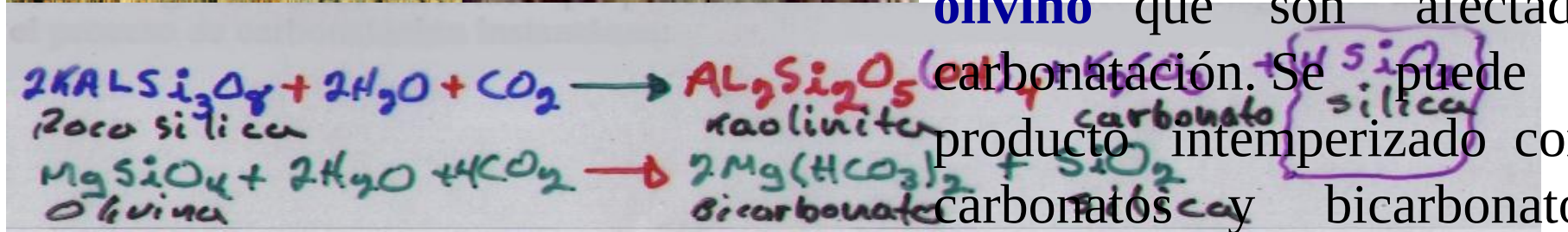
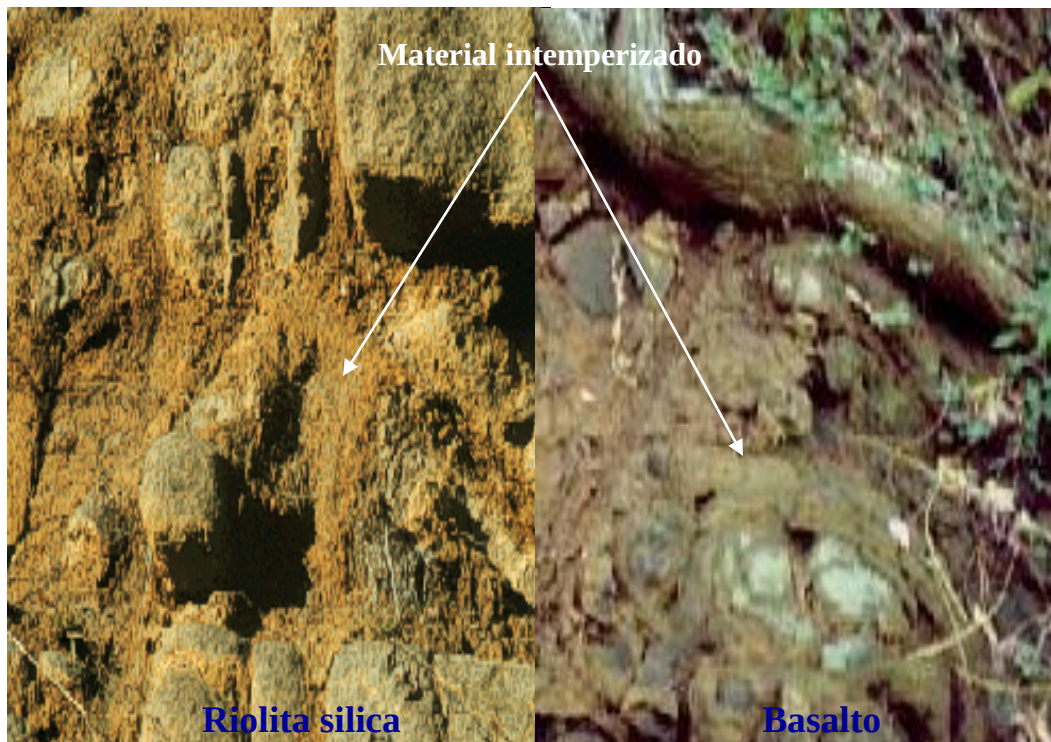
El producto de las sales de calcio en solución con facilidad en las formaciones de el caso de las estalactitas y estalagmitas, torre y foliadas respectivamente que en las cavernas de Nombre de Dios Chih.

sedimentarias evaporíticas. Cuando el agua del medio ambiente (agua freática) acarrea los elementos de las rocas entonces se dice que la fase de hidrólisis ha iniciado y luego se evapora.

Los productos de la reacción serán compuestos diferentes a los iniciales por lo general son más simples y propician algunos de ellos el intemperismo de la roca. A continuación se observa la reacción de una riolita por



potasio y arenas silíceas.



En la tierra el fenómeno de la carbonatación ocurren sí en las rocas que disponen de agua y bióxido de carbono. Los productos finales en el ejemplo en la imagen se muestran en la roca **riolita silica** y **olivino** que son afectados por la carbonatación. Se puede observar el producto intemperizado como carbonatos y bicarbonatos.

entre las porciones de las rocas.

La carbonatación es una de las formas de erosión en las rocas más perjudiciales para las estructuras del hombre. En la antigüedad las construcciones de granito se desmoronaron por este proceso. Actualmente en la era del concreto los ingenieros enfrentan retos por vencer, pues si en las rocas naturales actúa, en el concreto también.

Erosión Fluvial y Sistema de Drenaje



Cascada de Cusarare, Chih. 2003

El movimiento del agua en la superficie terrestre posee **energía cinética** capaz de tallar a la roca y transportar al suelo generando de esta manera a la llamada **erosión fluvial** en las cuencas hidrológicas (interfluvios). El producto de este proceso de sedimentación es la

relaciona con el nivel de consolidación que dicha geoforma ha alcanzado y de esta manera se encontraran en la misma los hábitat tanto para plantas como animales. Los dos sistemas de ordenamiento buscan asignar a cada canal el número que según

confirmación en los continentes que tienen aluviales, lagos, deltas. La carga interfluvio se



U.S.G.S. 2002



b) **Patrón de drenaje.**- Tomando en cuenta la forma que presenta el sistema en alguno de los patrones de drenaje conocidos. En la figura se muestran los patrones más comunes. Generalmente la forma que adquieren un con tipo de roca que existe en el lugar así como al patrón de fracturación que el patrón **dendrítico** se desarrolla en lugares donde se tienen rocas con fracturación desordenada; este sistema es abundante en México. Los

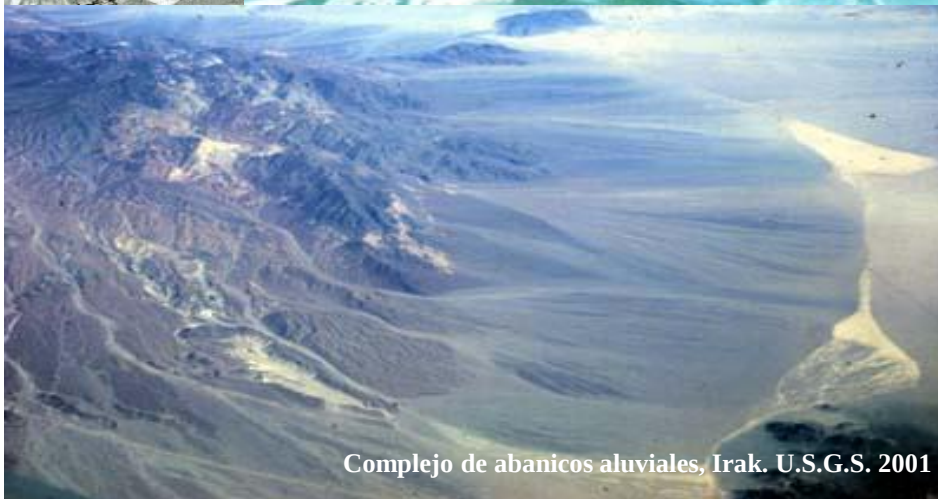
c) **Abanico aluvial y llanura de inundación.**- Cuando una cuenca de montaña deposita el suelo arrastrado por el escurrimiento superficial (sedimentos aluviales). Estas geomorfologías se estructuran en abanicos aluviales y llanuras de inundación.

representa un habitat muy importante para muchas especies de aves, mamíferos etc. En la imagen se aprecia el abanico aluvial de Sta. Clara Chihuahua; en éste encontramos especies de aves rapaces como el águila aplomado entre otras. Por otra parte, las llanuras de inundación son geomorfologías que consolidan acuíferos donde se reserva agua freática para la agricultura de la cuenca.

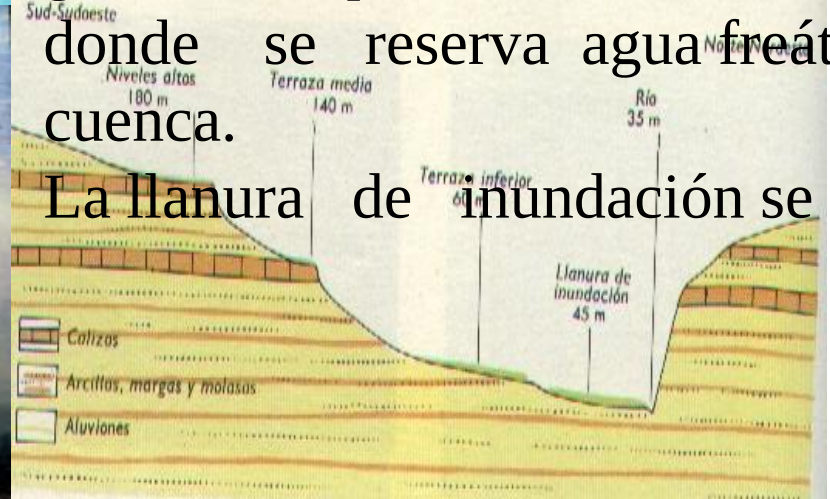
La llanura de inundación se localiza en la zona de



Abanico aluvial del cañón de Sta. Clara y llanura de inundación Encinillas, Chih. 1999.

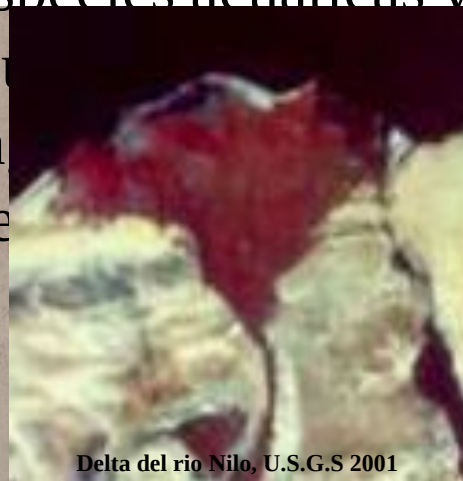
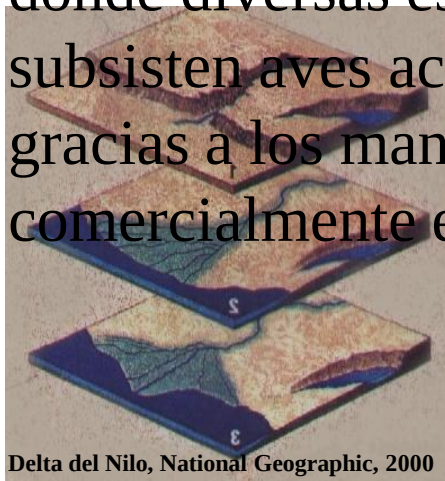


Complejo de abanicos aluviales, Irak. U.S.G.S. 2001



más próxima a una ribera. Es común que después de un abanico aluvial, la dinámica de la ribera de un río en conjunto con el depósito de sedimentos contribuya a la formación de las llanuras inundables. Por su naturaleza estas geoformas constituyen una infraestructura ya que su dinámica hidrológica puede afectar en gran medida a la actividad humana.

f) Deltas: El hombre las utiliza para la agricultura y como fuente de agua. Este tipo de corrientes se encuentran en el río Amazonas, Valle de la Chorrera, Valle de los Pájaros, etc. depositan conformando a las geoformas llamadas deltas. Estas estructuras se encuentran en ríos más antiguos con facilidad aunque algunas corrientes más jóvenes también forman deltas. Se observan a los deltas del río Nilo, Balsas y el Amazonas, donde se ve la disposición delta que les da su nombre. Los hábitats de estos deltas son donde diversas especies acuáticas y terrestres han evolucionado: por ejemplo, en el Amazonas subsisten aves acuáticas y peces gracias a los manglares que son comercialmente explotados.



Erosión eólica



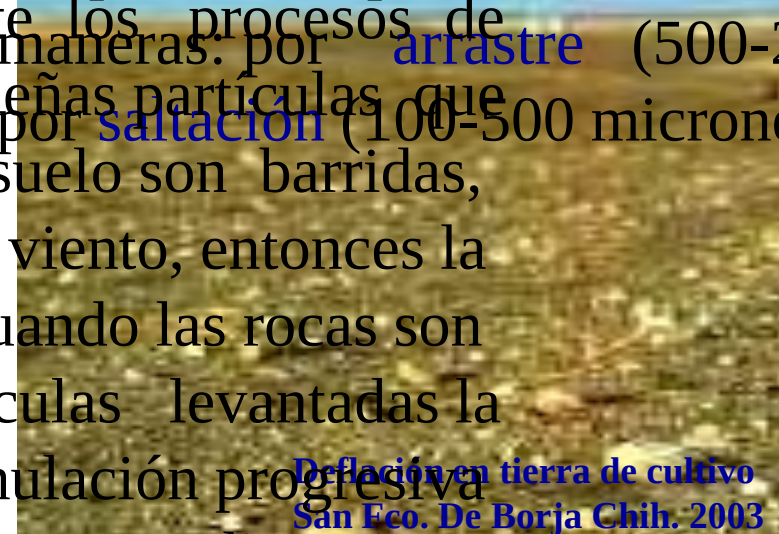
Tormenta de tierra, El Charco Chih. 2003

En el transcurso de millones de años, la Tierra ha estado constantemente erosionando la litosfera terrestre. El viento es un agente de intemperismo particularmente en zonas áridas y es responsable del transporte y de grandes volúmenes de material. El desarrollo típico de paisajes eólicos

(menos de 100 micrones).

transporta a las partículas básicas de tres maneras: por **arrastre** (500-2000 micrones), por **saltación** (100-500 micrones)

La erosión eólica se ejerce mediante los procesos de **deflación** y **abrasión**. Cuando las pequeñas partículas que se encuentran en la superficie del suelo son barridas, arrastradas o levantadas por el viento, entonces la deflación está presente; sin embargo cuando las rocas son golpeadas y talladas por las partículas levantadas la abrasión eólica está actuando. La acumulación progresiva del material removido por el viento se disposita e



Deflación en tierra de cultivo
San Edo. De Borja Chih. 2003

Dunas litorales



Son estructuras que se forman por la acción del viento de alta mar sobre el caso se genera una progresión de las partículas de arena de la zona de alta velocidad por lo cual estas geoformas son muy dinámicas y específicas.

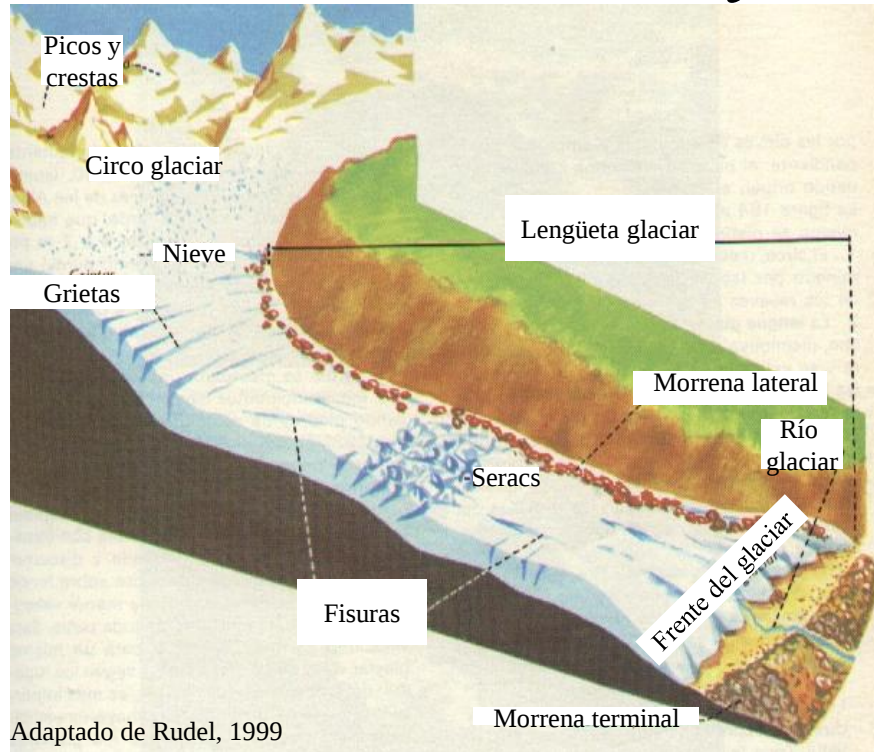
Dunas continentales

a ecosistemas o poblados aledaños.



Son geoformas comunes en los climas desérticos y se constituyen por la acción del viento. Su estabilidad depende de los vientos dominantes. Se forman en lagunas y en llanuras con escasa vegetación. Ocasionalmente se observan

Glaciación (erosión y deposición)



Adaptado de Rudel, 1999



U.S.G.S. 2002

El agua en su estado sólido (hielo y nieve) presenta una acción de fractura. Este proceso se conoce como **erosión glaciar**. Los glaciares han existido en la Tierra a través del tiempo, en algunas ocasiones su dinámica de **avance** y retroceso crea estructuras producto de la dinámica glaciar. Por ejemplo hace miles de años hubo una glaciación y desde entonces los glaciares han venido retrocediendo. Los glaciares crean estructuras glaciares en las sierras como **picos**, **crestas** y **circos**. Estas estructuras se forman por la acción del agua congelada: a veces todo el material traspasa y se deposita en forma de morrena.

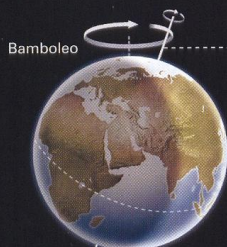
M A R C A S E N E L T I E M P O

¿Está finalizando un ciclo antiguo?

Ritmos astronómicos que afectan el clima >>>>>>

■ La Tierra en el espacio

La órbita de la Tierra alrededor del Sol y su orientación en el espacio cambian de manera regular. Se cree que esos ritmos juntos ayudan a definir el momento de las glaciaciones al afectar la distribución de la luz solar sobre la superficie del planeta. Durante los últimos 2.5 millones de años, la Tierra ha estado pasando por ciclos fríos y cálidos cada 41 mil años. Hace casi un millón de años, estos ciclos comenzaron a durar unos 100 mil años.



Bamboleo

Ciclos de 19 mil y 23 mil años

El inclinado eje giratorio de la Tierra se bambolea como un trompo inestable, haciendo poco a poco casi un círculo completo en el espacio.

Inclinación del eje

Ciclo de 41 mil años

La inclinación del eje giratorio aumenta y después vuelve a disminuir.

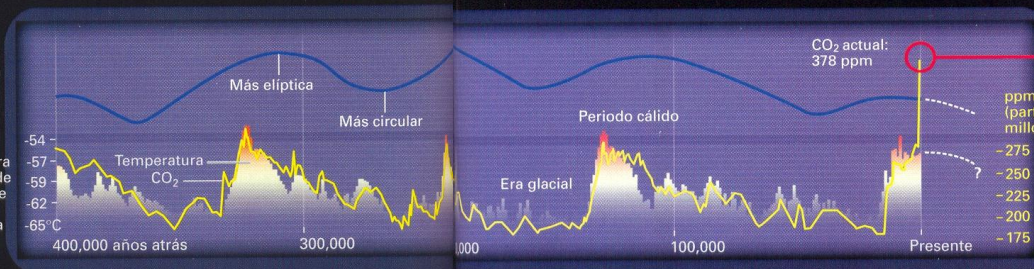

Órbita más elíptica
Órbita más circular

Ciclo de 100 mil y 400 mil años

La órbita de la Tierra alrededor del Sol se expande y se contrae entre trayectorias más circulares y más elípticas.

Desviación en la forma de la órbita de la Tierra

Temperatura promedio de la superficie de hielo de la Antártida (menos °C)



Los modelos por computadora y los datos históricos y astronómicos sugieren que la Tierra podría estar en un periodo interglacial extendido. El aumento de CO₂ en la atmósfera podría calentar aún más el planeta.

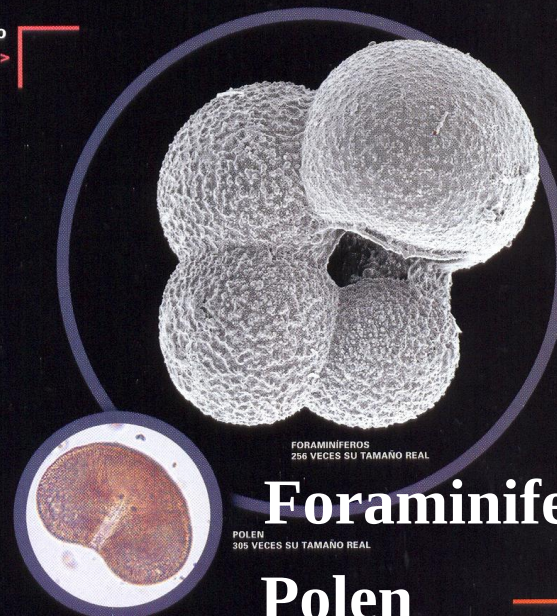
Los fósiles: clave del cambio climático del pasado >>>>>>

■ Vida marina antigua

Mediante las conchas fosilizadas de microorganismos marinos llamados foraminíferos, hallados en los sedimentos del lecho marino, se puede rastrear la temperatura del agua y el clima de millones de años atrás.

■ La vida vegetal antigua

Los granos fósiles de polen son un registro de las plantas antiguas: un indicador del clima. Este grano de picea, de 20 mil años de antigüedad, proviene de Oregon, EUA.


FORAMINÍFEROS
256 VECES SU TAMAÑO REAL

POLEN
305 VECES SU TAMAÑO REAL

Foraminíferos Polen

Cambios pasados

National Geographic, septiembre 2004

ILUSTRACIÓN POR SW INFOGRAPHIC, JUAN VELASCO, CICLOS ASTRONÓMICOS: JAMES ZACHOS, UNIVERSITY OF CALIFORNIA, SANTA CRUZ, Y ANDRÉ BERGER, UNIVERSITÉ CATHOLIQUE DE LOUVAIN, LOUVAIN LA NEUVE, BELGICA; FORAMINÍFEROS: BRIAN T. HUBER, SMITHSONIAN INSTITUTION, POLEN: CHRISTY BIRLES, UNIVERSITY OF OREGON. DATOS DEL NÚCLEO DE HIELO DE LA ANTÁRTIDA: PETIT ET AL., NATURE, 3 DE JUNIO DE 1999. DATOS DEL CO₂ ACTUAL: C.D. KEELING, SCRIPPS INSTITUTION OF OCEANOGRAPHY

CÍCLOS DE HIELO Y CAMBIOS CLIMÁTICOS EN LA TIERRA

El bamboleo y los cambios en la elipse terrestre han sido los responsables de las frías en la tierra.

M A R C A S E N E L T I E M P O

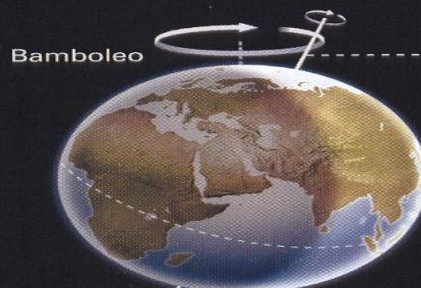
¿Está finalizando un ciclo antiguo?

Ritmos astronómicos que afectan el clima >>>>>>

■ La Tierra en el espacio

La órbita de la Tierra alrededor del Sol y su orientación en el espacio cambian de manera regular. Se cree que esos ritmos juntos ayudan a definir el momento de las glaciaciones al afectar la distribución de la luz solar sobre la superficie del planeta. Durante los últimos 2.5 millones de años, la Tierra ha estado pasando por ciclos fríos y cálidos cada 41 mil años. Hace casi un millón de años, estos ciclos comenzaron a durar unos 100 mil años.

■ Un núcleo de hielo de 400 mil años de antigüedad, extraído en la Antártida, sugiere un vínculo entre las glaciaciones y los ritmos astronómicos. Durante las glaciaciones, los niveles de CO₂ disminuyen.



Bamboleo

Ciclos de 19 mil y 23 mil años

El inclinado eje giratorio de la Tierra se bambolea como un trompo inestable, haciendo poco a poco casi un círculo completo en el espacio.

Inclinación del eje

Ciclo de 41 mil años

La inclinación del eje giratorio aumenta y después vuelve a disminuir.



Órbita más circular

Órbita más elíptica

Sol

Tierra

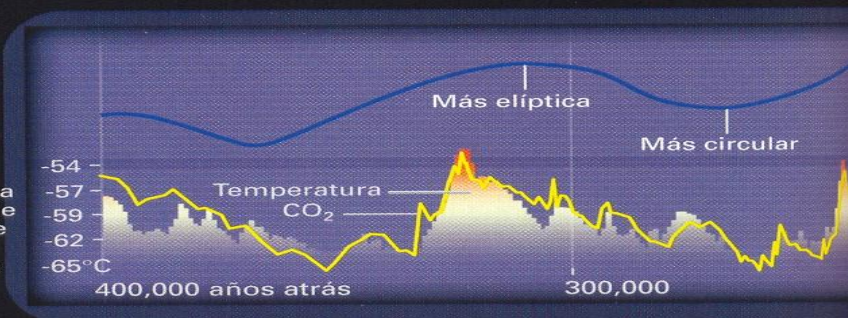
FUERA DE ESCALA

Ciclo de 100 mil y 400 mil años

La órbita de la Tierra alrededor del Sol se expande y se contrae entre trayectorias más circulares y más elípticas.

Desviación en la forma de la órbita de la Tierra

Temperatura promedio de la superficie de hielo de la Antártida (menos °C)



■ Cambios pasados

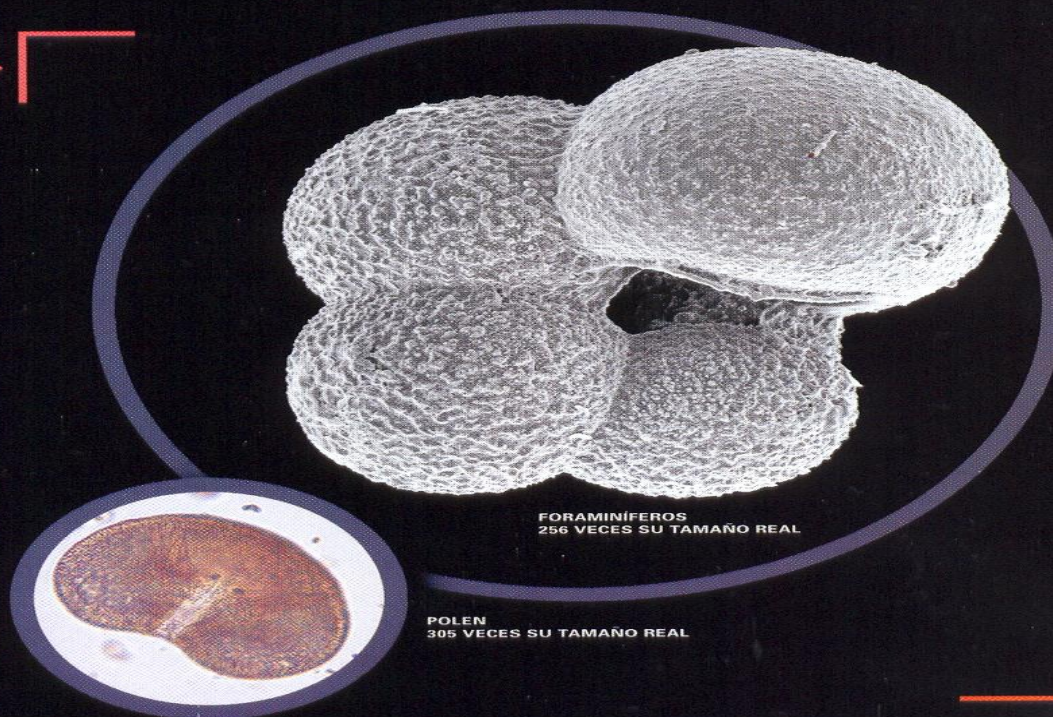
Los fósiles: clave del cambio climático del pasado >>>>>>

■ Vida marina antigua

Mediante las conchas fosilizadas de microorganismos marinos llamados foraminíferos, hallados en los sedimentos del lecho marino, se puede rastrear la temperatura del agua y el clima de millones de años atrás.

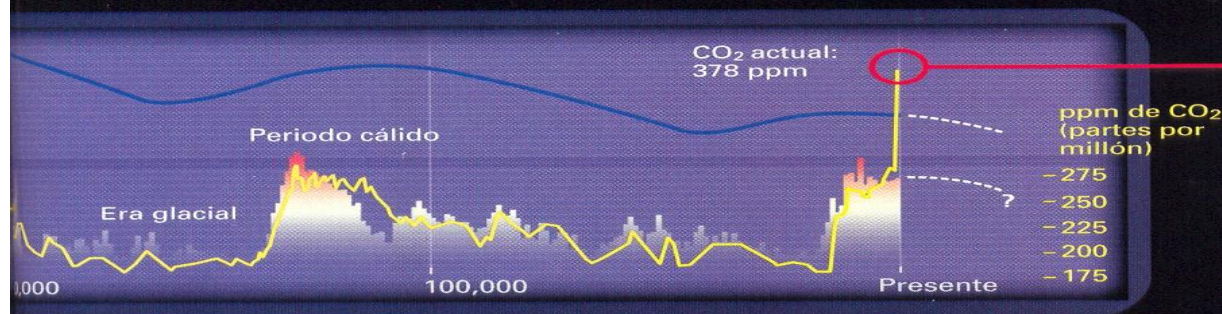
■ La vida vegetal antigua

Los granos fósiles de polen son un registro de las plantas antiguas: un indicador del clima. Este grano de picea, de 20 mil años de antigüedad, proviene de Oregon, EUA.



FORAMINÍFEROS
256 VECES SU TAMAÑO REAL

POLEN
305 VECES SU TAMAÑO REAL



Los modelos por computadora y los datos históricos y astronómicos sugieren que la Tierra podría estar en un periodo interglacial extendido. El aumento de CO₂ en la atmósfera podría calentar aún más el planeta.

ILUSTRACIÓN POR 5W INFOGRAPHIC. JUAN VELASCO, CICLOS ASTRONÓMICOS: JAMES ZACHOS, UNIVERSITY OF CALIFORNIA, SANTA CRUZ, Y ANDRÉ BERGER, UNIVERSITÉ CATHOLIQUE DE LOUVAIN, LOVAIN LA NUEVA, BÉLGICA. FORAMINÍFEROS: BRIAN T. HUBER, SMITHSONIAN INSTITUTION. POLEN: CHRISTY BRILES, UNIVERSITY OF OREGON. DATOS DEL NÚCLEO DE HIELO DE LA ANTÁRTIDA: PETIT ET AL., NATURE, 3 DE JUNIO DE 1999. DATOS DEL CO₂ ACTUAL: C.D. KEELING, SCRIPPS INSTITUTION OF OCEANOGRAPHY

Geoformas periglaciares



La dinámica de un glaciar funciona como una pala de arrastre que produce el producto de la fracturación y tallado de las rocas que se depositan formando geoformas **periglaciares**:

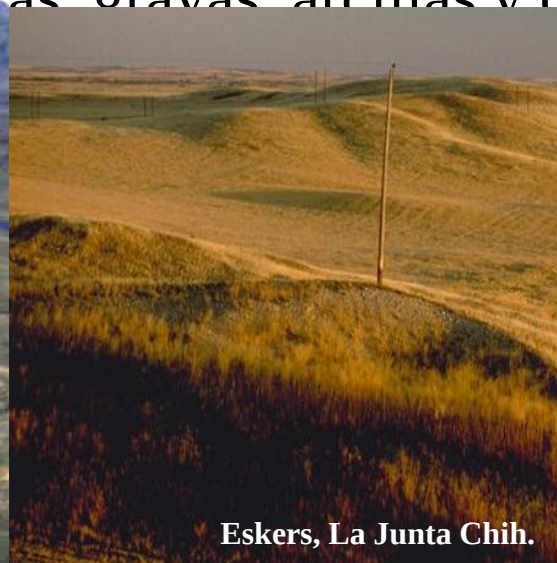
Morrenas.- Son estructuras que se integran por fragmentos de roca, arena y arcilla. A los lados, al frente y al fondo del glaciar se denominan morrenas laterales, morrena frontal y morrena de fondo, respectivamente. Ocasionalmente el material de estas geoformas contiene

Drumlins.-Son geoformas que se identifican como lomas altas y aisladas que se forman al derretirse un seracs (témpano de hielo) que ha quedado estacionario. Durante el proceso de deshielo y acarreo de gravas, arenas y arcillas se depositan sobre el témpano y por el deshielo es ocupado por los materiales arrastrados; finalmente al avanzar el témpano de hielo lentamente se conforma un drumlins.

Kames y Kettles.- Cuando el témpano de hielo es pequeño (menor a 100 metros) el proceso de deshielo y acumulación de material arrastrado origina una forma redondeada y rápida entonces en lugar de un kame o en su caso de un drumlins se origina una forma redondeada llamada kettle. En general estas geoformas incluyendo a los drumlins están bien terminados de arenas, gravas, arcillas y caliches.



Morrenas y drumlins, valle del Papigochic Chih.



Eskers, La Junta Chih.



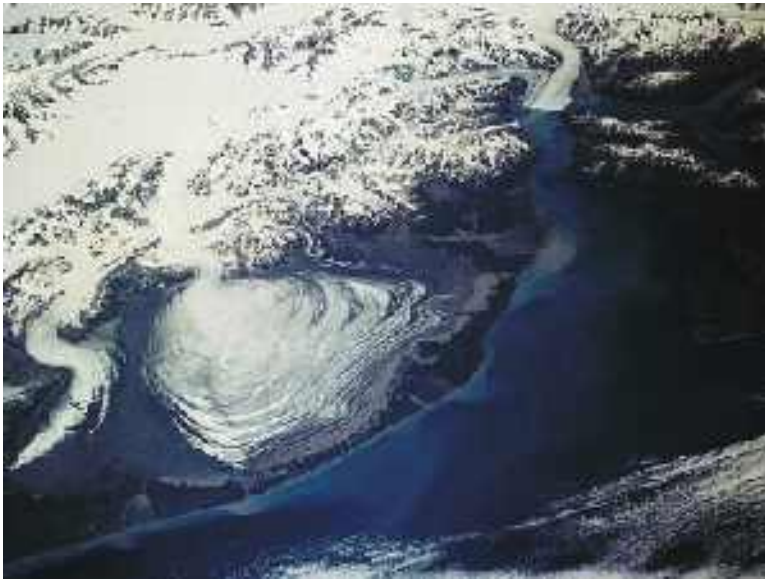
Kames y Kettles, Alberta Canada.



La consolidación de un Drumlin, Esker o Kame es muy similar. En la imagen se puede observar la disposición de materiales de arrastre y en la parte más baja al caliche. Las Morrenas son algo parecidas en su estructura, solo que además cuentan con fragmentos de piedra de forma irregular.



Glaciar en la franja marginal de Groenlandia. Observe los acumulados de erosión glaciar que consolidan las geoformas de morrenas, drumlins y eskers



Glaciar pie de monte (Alaska)



Glaciar de ladera



Glaciar (Blanco) de valle o alpino 1991 (Francia)

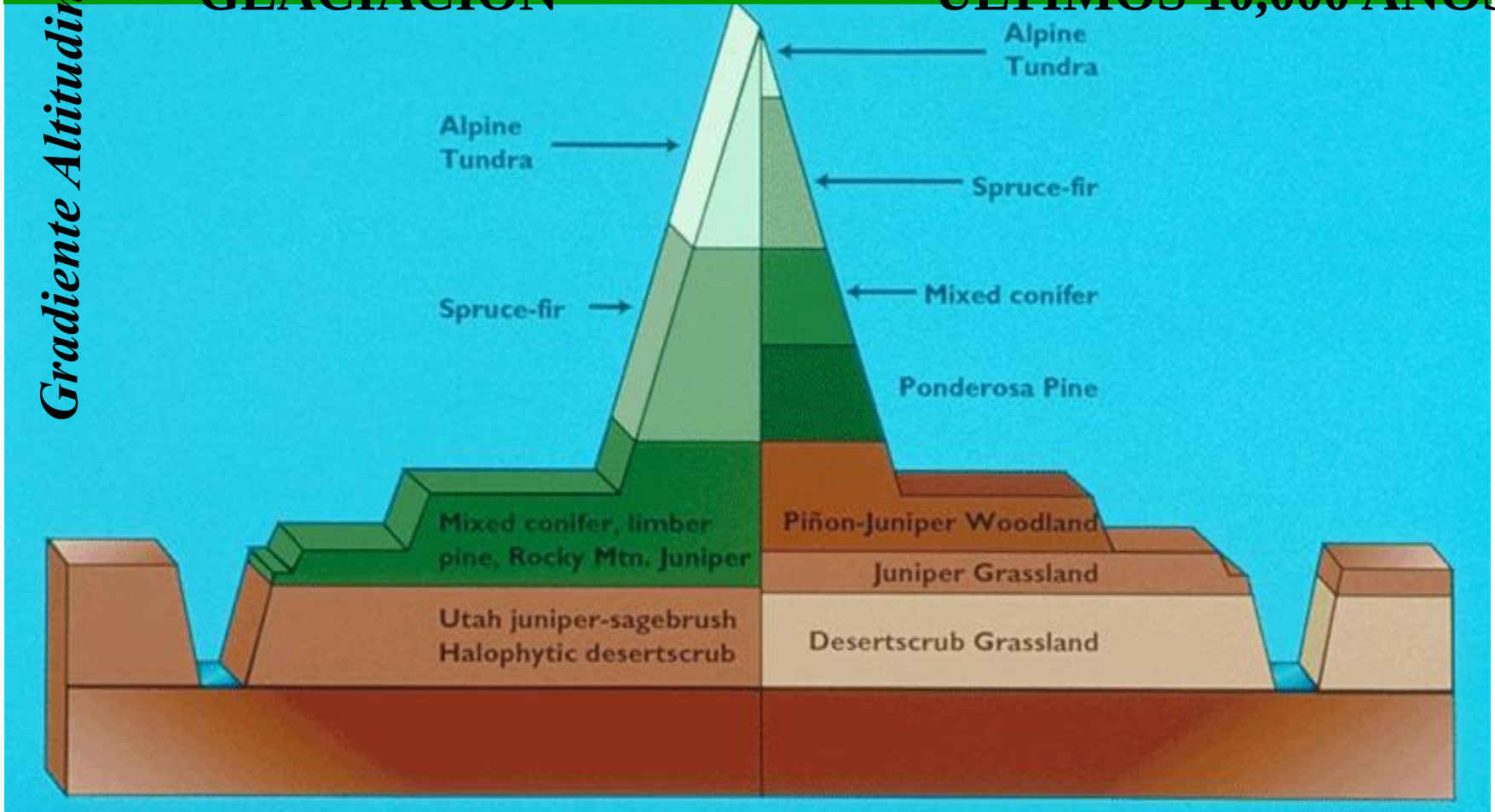


Galciar (Blanco) de valle o alpino 1999 (Francia)

Cambio de la Vegetación en la Última Glaciación

GLACIACIÓN ← / → ULTIMOS 10,000 AÑOS

Gradiente Altitudinal



Adaptado: <http://club.telepolis.com/nachoben/TrydacnaTelepolis/geologia/geomorfologia>

Erosión del Mar en el Continente



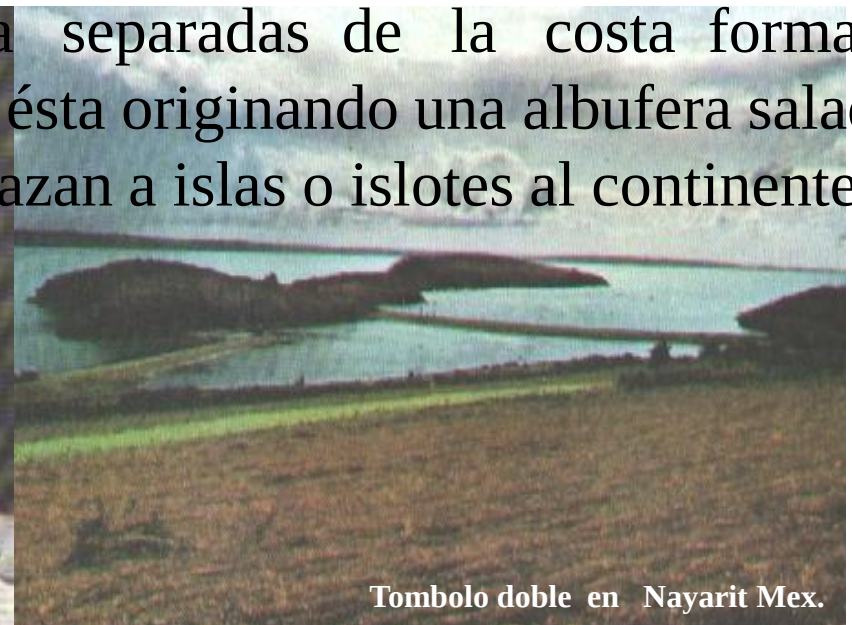
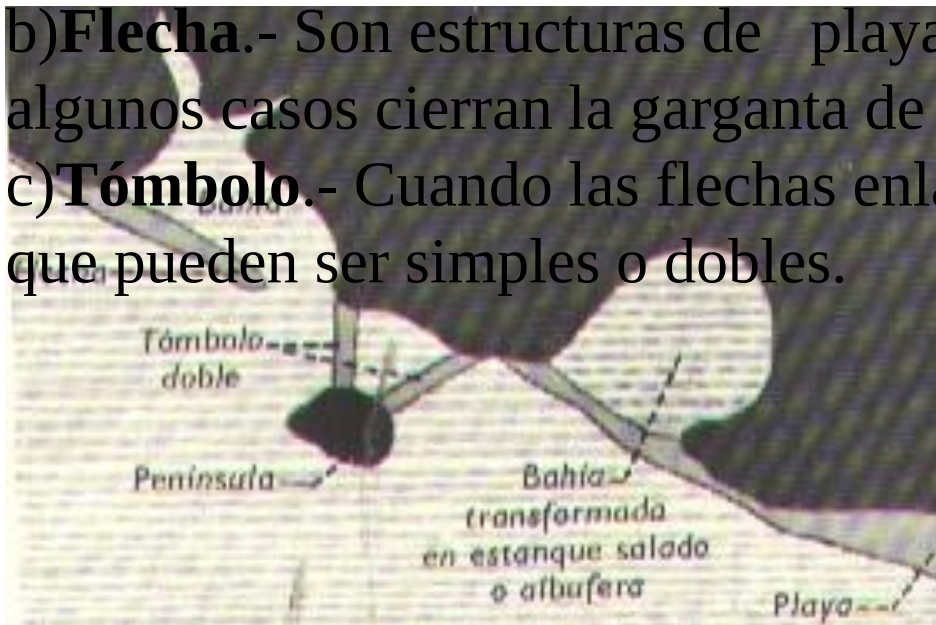
La **erosión marina** es originada por la fuerza del oleaje sobre las rocas del litoral. El viento que interacciona con la superficie del mar, aunque ocasionalmente causa maremotos que afectan en los litorales. Dependiendo del tipo de roca, el derrumbe en los acantilados costeros; por ejemplo las rocas calcáreas son moldeadas de diferente manera. Los granitos forman acantilados en las costas del Océano Pacífico, mientras que las rocas sedimentarias forman barreras suaves en el litoral del Golfo de México.

Geoformas de playa, flecha y tómbolo

a) **Playa.**- Los materiales que se ubican entre el acantilado y el mar. La estructura de esta geoforma está dada por **cieno**, **arena**, **grava** y **guijarros** con características físico-químicas. Los lodos más finos y ricos en materia orgánica se localiza en la parte más baja de la playa, justamente a la orilla del mar. Los conchales son ubicados en las partes altas, precisamente donde se define la línea de marea. Las constituidas por granos de cuarzo, restos conchíferos o derrumbes de rocas. En el litoral del Golfo de México los granos de la playa son de conchas antiguas y las arenas son de origen ígneo.

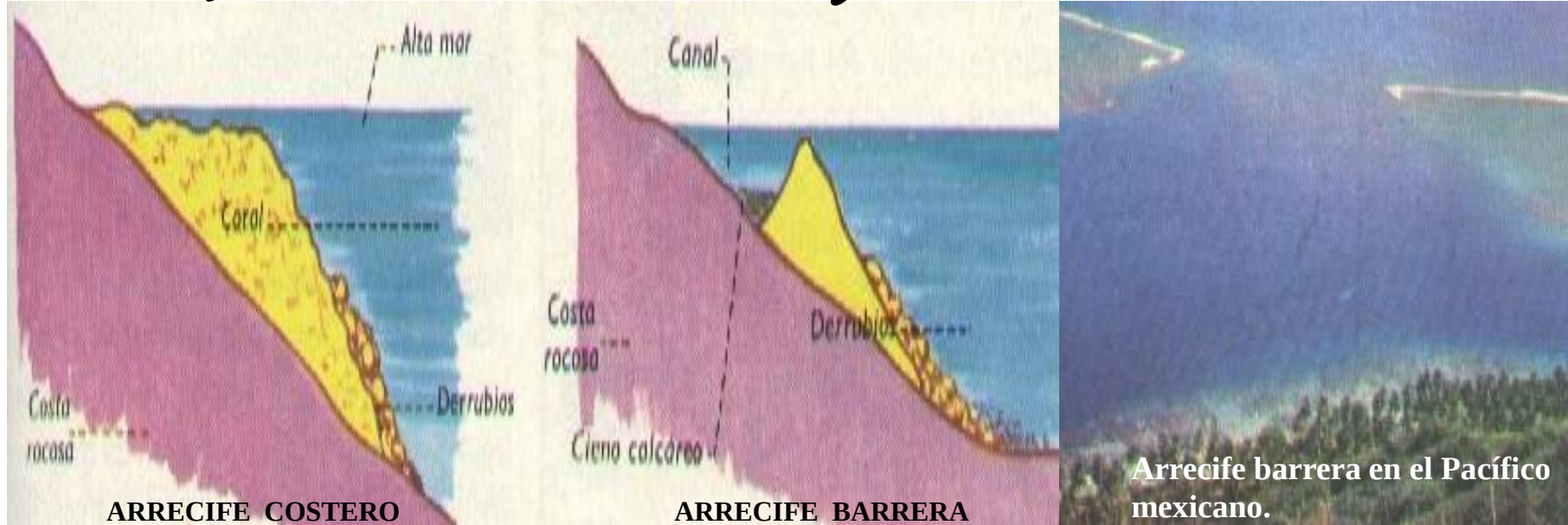
b) **Flecha.**- Son estructuras de playa separadas de la costa formadas por arena. En algunos casos cierran la garganta de ésta originando una albufera salada.

c) **Tómbolo.**- Cuando las flechas enlazan a islas o islotes al continente e islas. Pueden ser simples o dobles.



Tómbolo doble en Nayarit Mex.

Arrecifes barrera, costero y atolón



El desarrollo de **comunidades de coral** en el mar poco profundo de coralinos a través del tiempo. En los litorales orientales de Australia son las más grandes del mundo y constituyen la estructura viva que puede ser vista desde la Luna y posiblemente más lejos. Los bancos de coral según su ubicación forman geofomas que se describen a continuación:

Arrecife barrera.- Son macizos de coral que emergen del mar cerca de la costa formando una verdadera barrera con apariencia de roca. Se localizan a distancias que varían desde unos pocos metros hasta kilómetros de la costa. Observe el arrecife de la imagen que se ubica cerca de Bahía de Banderas.

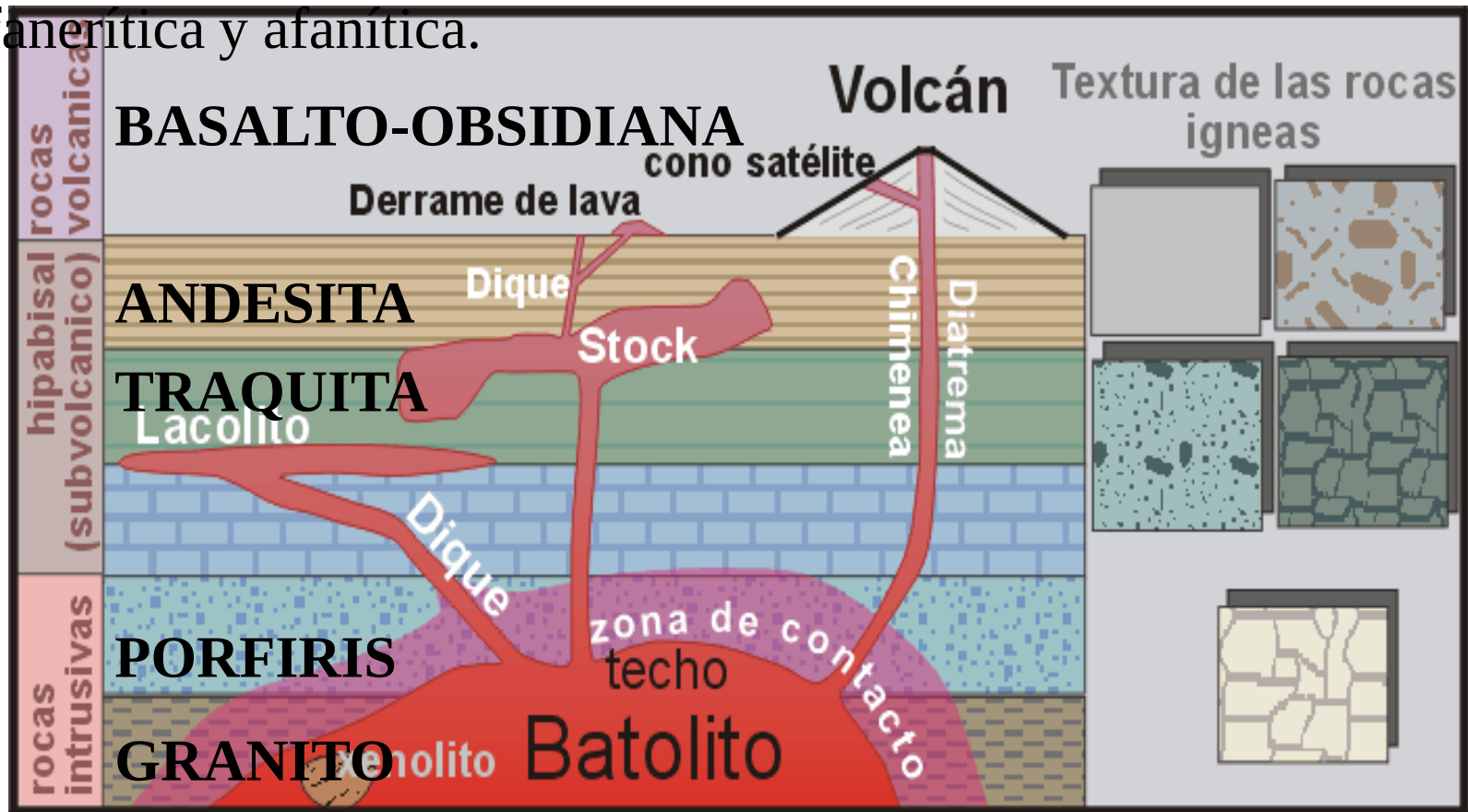
Arrecife costero.- Se forman por colonias de coral a distancias de 30 a 100 metros de la costa.

Atolón.- Son islas de forma anular que se forman de coral y tienen en su interior una laguna conectada al mar. En ocasiones estas estructuras presentan varios arrecifes. Una vez avanzada de un arrecife barrera o costero puede llegar a conformar a un atolón. En un atolón se consolida un ecosistema de vegetación costera que propicia la vida de peces, mariscos y moluscos; por ejemplo en las costas mexicanas de Campeche y Yucatán las ostras y abulones son abundantes, aunque actualmente el desarrollo turístico está destruyendo a los estuarios y manglares de la costa.

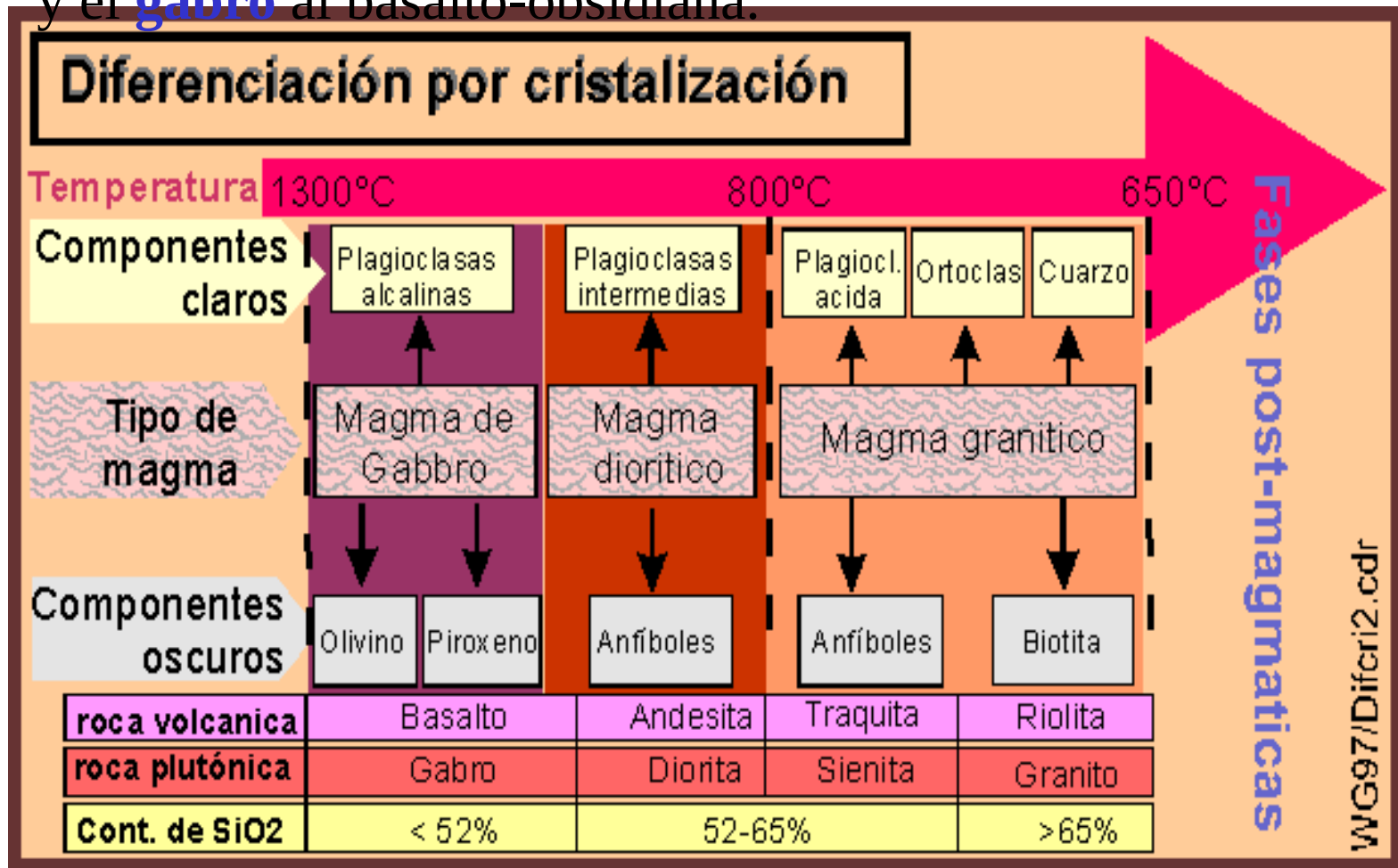


Anexos

Origen de las rocas igneas y su textura.- Según la profundidad las con textura y estructura de sus agregados minerales diferentes; por ejemplo como el **granito** presentan cristales pegmatíticos, mientras que en los fanerítica y afanítica.



Familia de rocas magmaticas.- Como se observa el **granito** en la **volcanica** origina a las riolitas, la **sienita** a la traquita y domita, la **gabro** al basalto-obsidiana.



Aplicación de diatomeas en la energía solar

El nuevo sistema se basa en diatomeas vivas, que son unas muy pequeñas algas unicelulares, estas se encuentran depositadas en unas nano estructuras específicas para garantizar su funcionalidad. Se les permite asentarse en una superficie de vidrio conductor transparente y, a continuación, se extrae las condiciones de vida del material orgánico, dejando atrás los pequeños esqueletos de las diatomeas para formar una plantilla.

A partir de ahí, se utiliza un agente biológico para introducir solubles de titanio en muy pequeñas cantidades, las nano partículas de dióxido de titanio crean una fina capa que actúa como los semiconductores para el colorante sensibilizado en los dispositivos de las células solares. Estos pasos hubiesen sido difíciles de lograr con los métodos convencionales, sin embargo, han sido fácilmente realizados a través de la utilización de estos sistemas biológicos naturales, utilizando materiales sencillos y poco onerosos.

Más que los materiales en una simple capa plana, **los diminutos orificios en los depósitos de diatomeas parecen aumentar la interacción entre los fotones y el tinte para promover la conversión de la luz en electricidad**, y mejorar el proceso de producción de energía.

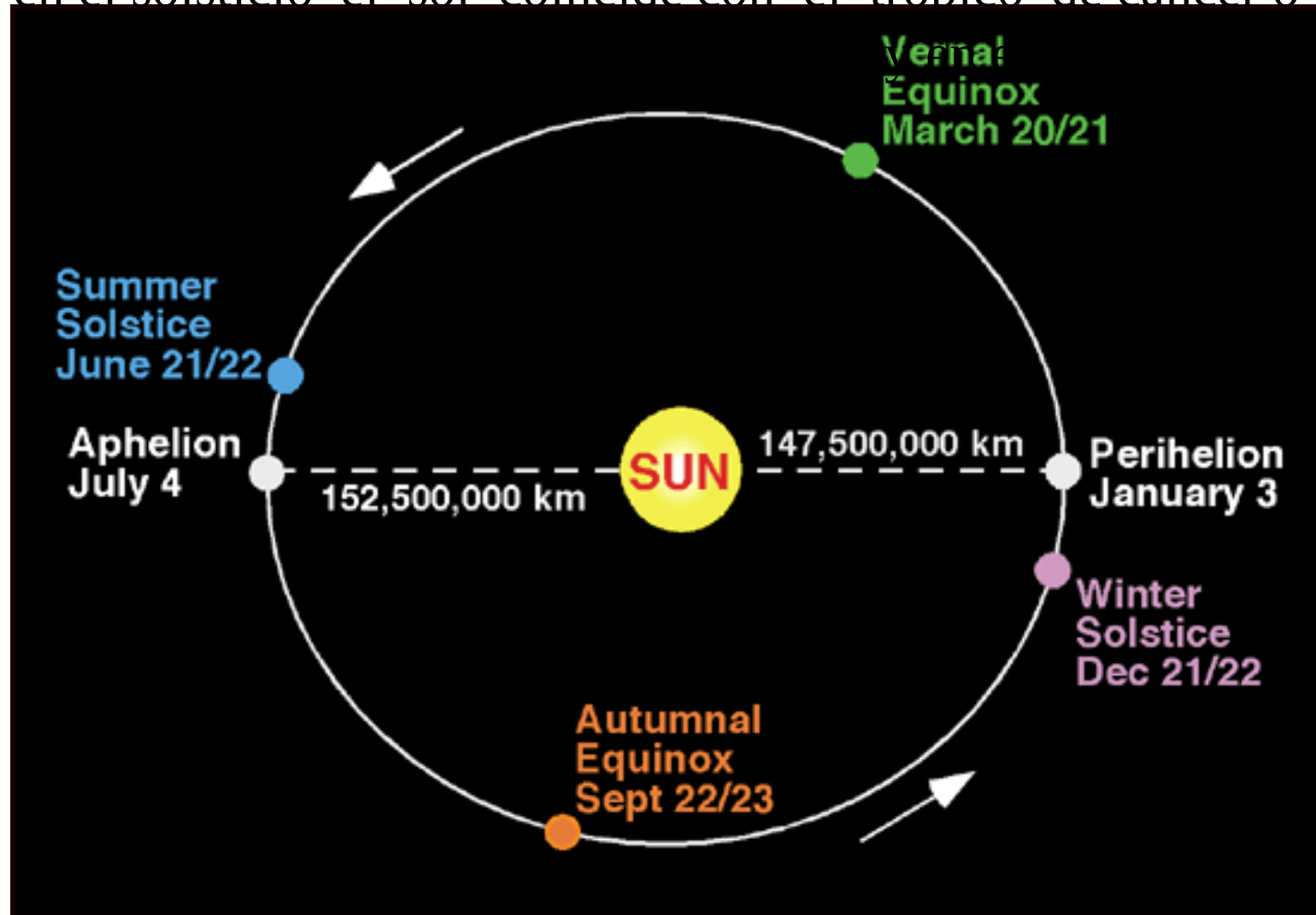
Fuente: Universidad Estatal de Oregón 2013



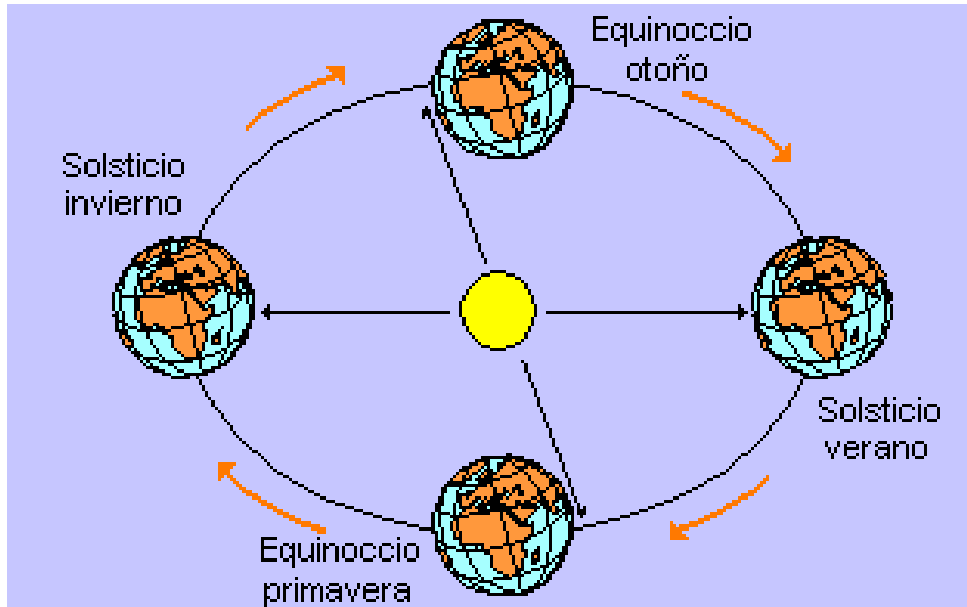
Diatomita fósil

Ubicación de los equinoccios, solsticios, afelio y perihelio en la órbita terrestre

En el equinoccio el sol está sobre el ecuador y el día y la noche tienen la misma duración.
En el solsticio el sol coincide con el trópico de cáncer o de capricornio.
El afelio es el punto de la órbita más alejado del sol y el perihelio es el punto más cercano.

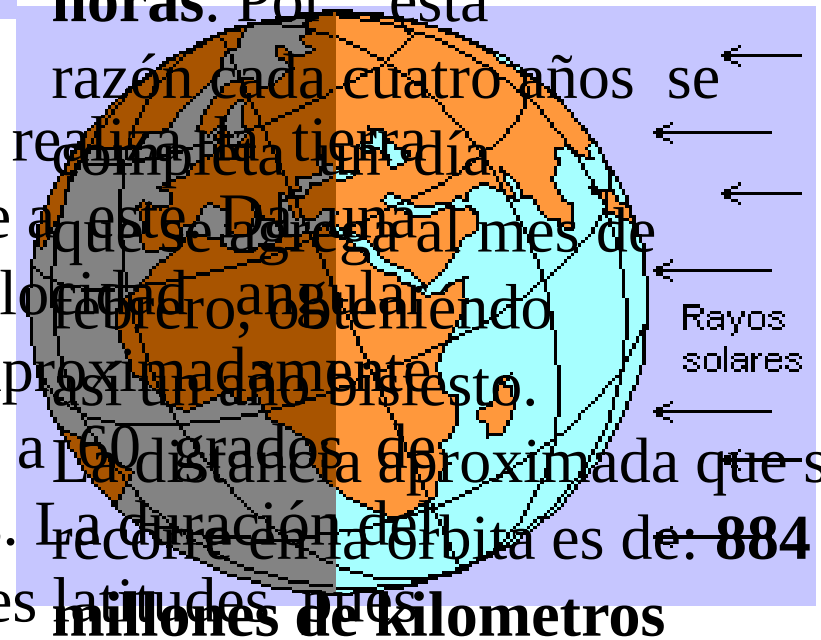


Traslación y rotación terrestre



La traslación es el movimiento que realiza la Tierra alrededor del sol a una velocidad promedio de **28 Km/seg.** Da una vuelta completa en **365 días y 6 horas.** Por esta

La rotación es el movimiento que realiza la tierra girando sobre su propio eje de oeste a este. Da una vuelta completa en 24 horas. La velocidad angular de un punto sobre el ecuador es de aproximadamente **1,700 Km/hora**, de **850 Km/hora** a 60 grados de latitud norte ó sur y **nula** en los polos. La duración del día y la noche no es igual en diferentes latitudes.



Enlaces (Links) de interes para el curso

[http://www.geologia.unam.mx/igl/index.php/difusion-y-divulgacion/212-carta-geologica-de-la-republica-mexicana.](http://www.geologia.unam.mx/igl/index.php/difusion-y-divulgacion/212-carta-geologica-de-la-republica-mexicana)

http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/141/htm/sec_6.htm

<http://www.journals.unam.mx/index.php/geofisica/article/view/39495>

http://www7.uc.cl/sw_educ/geografia/geomorfologia/html/3_3_2.html

<http://www.nhc.noaa.gov/satellite.php>

<http://www.goes.noaa.gov/>



Bibliografía

Barbara W. Murck; B.J. Skinner y S.C. Porter. 1995. Environmental Geology. John Wiley and Sons Inc. New York E.U.A.

Comisión Nacional del Agua. Servicio meteorologico. 2010. Consultado en agosto 2012 en: <http://www.cna.gob.mx/portal/switch>.

Geomorfologia. 2002.Consultado en junio y septiembre 2002 en: <http://club.telepolis.com/nachoben/TrydacnaTelepolis/geologia/geomorfologia>.

.

Hamilton, R.L. 2010. El interior de la tierra y la tectónica de placas. Consultado en enero 2013, en:

National Geographic News. 1989, 1990 y 2013. Consultado en:

<http://news.nationalgeographic.com/news/environment.html>

Portal SEP, Bibliotecas. 2012. Consultado en julio 2012 en:

http://www.sep.gob.mx/wb2/sep/sep_bibliotecas.

Pough H.F. 1999. Rocks and Minerals. Roger Tory Peterson field guides. Cuarta edición.

The easton press, Norwalk Connecticut.

Rice, R.J. 1989. Fundamentals of Geomorphology. Segunda Edición. Logman Cientific and Technical.

Rudel, A. 1999. Geología (las ciencias naturales). Segunda edición. Montaner y Simons.

Barcelona España