UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO

Campus Guanajuato
División de Ingenierías

MANUAL DE PRÁCTICAS DE SEDIMENTOS Y ROCAS SEDIMENTARIAS SILICICLÁSTICAS

MARÍA JESÚS PUY Y ALQUIZA
RAÚL MIRANDA AVILÉS

ÍNDICE

Página

Introducción	4
Práctica No. 1: Muestreo de Sedimentos Fluviales	5
Práctica No. 2: Análisis de Carbonatos, Silicatos y Materia Orgánica en los Sedimentos	8
Práctica No. 3: Análisis Granulométrico de los Sedimentos	10
Práctica No. 4: Descripción de Rocas Sedimentarias	27
Práctica No. 5: Rocas Sedimentarias Siliciclásticas: Clasificación e Identificación	29
Práctica No. 6: Estructuras Sedimentarias y Ambientes de Depósito	46
Práctica No.7: Estructuras Sedimentarias y Análisis de Paleocorrientes	48
Práctica No.8: Perfiles Sedimentológicos	50
Práctica No.9: Análisis Composicional de Pelitas	55
Práctica No.10: Rocas Sedimentarias Carbonatadas: Clasificación e Identificación	57
Práctica No.11. Ambiente Depositacional y Evolución de las Rocas Sedimentarias.	68

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

Tabla 1. Características recomendadas del muestreo de sedimentos fluviales en función de la escala de trabajo
Figura 1. Toma de muestras de sedimentos fluviales a distintas escalas (A-C) para la definición de un blanco (B-C) y su posterior caracterización de detalle (D)
Figura 2. Muestreo superficial
Tabla 2. Numeración y abertura de tamices
Tabla 3. Hoja de registro
Figura 3. Gráfico de la curva granulométrica
Tabla 4. Cálculo de módulo de finura
Tabla 5. Datos porcentuales granulométricos por fracciones para muestras de cuatro secciones
Tabla 6. Datos de mediana y percentil 1 (C) en valores φ para los intervalos I, III y IV
Figura 4. Gráfico donde se muestra la clasificación de la curva de frecuencia
Tabla 7. Fórmulas para el cálculo de los parámetros estadísticos.f, porcentaje en peso; m, punto medio de cada intervalo de clase; x, media; σ, selección; φ xx, tamaño de grano (phi) para el percentil delxx % de la curva acumulativa.
Figura 5. Distribución de la curva de frecuencia mostrando tipos de selección y sesgo
Figura 6. a) Curva que muestra un sesgo positivo; b) simétrico y c) distribución negativa
Tabla 8. Valores para selección, sesgo y agudeza (McManus, 1988)
Tabla 9. Escala de tamaño de grano (Udden, 1914; Wentworth, 1922
Figura 7. A) Forma de grano después de Tucker, 1991 y B) Forma degrano después de Pettijohn et al. 1987
Figura 8. A) Tabla usada para la estimación de la selección (Harrell,1984); B) (Fichter y Poché,1993
Tabla 10. Componentes de las rocas sedimentarias siliciclásticas(Fichter y Poché, 1993
Figura 9. Identificación de rocas siliciclásticas: textura y composición
Figura 10. Tabla de Madurez
Figura 11. Identificación de rocas siliciclásticas: textura y composición (Fichter, Farmer y Clay, 1991
Figura 12. Formato de datos para rocas siliciclásticas (Fichter y Poché,1993)
Figura 13. Porcentaje de abundancia
Tabla 11. Sección IV
Tabla 12. Signos de senos y cosenos según cuadrante y definición del rumbo de buzamiento a partir de los valores calculados
Tabla 13. Composición de las pelitas de la sección (Es: Esmectita, I: Illita, Cl: Clorita, K: Caolinita, I/S: InterestratificadosIllita/Esmectita, IC: Índice de Cristalinidad de Illita
Tabla 14. Datos sobre textura, estructuras y composición de las muestras del intervalo
Tabla 17. Composición modal de las psefitas de la sección IV. (1) Metros a la base del Intervalo. (LA = líticos volcánicos ácidos, LB = líticos volcánicos básicos, LS =

líticos sedimentarios, Qz = cuarzo, F = feldespatos, CS = clasto-sostén, MS = matriz-sostén
Tabla 18. Composición modal de las arenas de la sección IV. Las cantidades representan puntos contados al microscopio (Qm = Cuarzo monocristalino, F = feldespatos, Qp = cuarzo policristalino, Lv = líticos volcánicos)
Tabla 19. Datos de orientación de las capas entrecruzadas de la sección IV
Tabla 20. Composición de las pelitas de la sección (Es: esmectita, I: illita, Cl: clorita, K: caolinita, I/S: interestratificadosillita/esmectita, IC: índice de cristalinidad de illita)
Tabla 21. Datos sobre textura, estructuras y composición de las muestras del intervalo I
Tabla 22. Clasificación de carbonatos (descrita en Ham, W.E. (ed.),1962).
Tabla 23. Tamaño de aloquímicos (adaptado de Folk, 1962. En W.E. Ham (ed), 1962
Tabla 24. Formato de datos para rocas carbonatadas (Fichter y Poché,1993)
Figura 14. Clasificación textural de sedimentos carbonatados. (Adaptado de Folk, R.L.,1962)
Tabla 25. Clasificación de ambientes y procesos de depósito (Fichter y Poché, 1993)
Figura 15. Distribución de los ambientes de depósito (Fichter y Poché,1993).
Figura16. Ciclo de Wilson (tomado de Fichter y Poché, 1993
Figura 17. Sistema dominado por carbonatos (Fichter y Poché, 1993)
Figura 18. Estructuras sedimentarias, (tomado de Fichter y Poché, 1993
Figura 19. Secuencia de Bouma(tomado de Fichter y Poché, 1993
Figura 20. Régimen de flujo y estructuras sedimentarias (Fichter y Poché, 1993)
Figura 21. Estructuras sedimentarias como resultado de cambios en la energía y dirección de flujo (tomado de Fichter y Poché, 1993
Figura 22, 23,23ª,23b,23c .Estructuras sedimentarias, secuencias sedimentarias y ambientes de depósito (tomado de Fichter y Poché,1993).
Figura 24. Mapa de *facies*(tomado de Fichter y Poché, 1993
Figura 25. Proyección estereográfica
Figura 26. Histograma circular
Figura 27. Columna estratigráfica
Figura 28. Simbología, perfil, litología, estructuras primarias
Figura 29. Simbología
Figura 30. Clasificación granulométrica de los sedimentos epiclásticos
Figura 31. Clasificación de sedimentos con participación de la fracción psefítica (Folk *et al*., 1970)
Figura 32. Clasificación de sedimentos (Folk *et al*. ,1970)
Figura 33. Clasificación de sedimentos (Dott (1964) modif. Pettijohn*et al*. (1972)
Figura34. Diagramas QFL y QmFLt de discriminación tectónica de áreas de aporte (Dickinson*et al*., 1983)
Figura 35. Diagrama ternario
Figura 36. Diagrama de Roser &Korsch (1986)
Figura 37. Diagrama de Bhatia y Crook (1986)

INTRODUCCIÓN

La mayoría de los cursos de sedimentología se focalizan en la composición, característica y origen de sedimentos y rocas sedimentarias. Los rasgos texturales (tamaño, forma y distribución) son conceptos muy importantes para el análisis e interpretación de los sistemas de transporte de sedimentos así como la historia depositacional. Por ejemplo, las rocas sedimentarias siliciclásticas que presentan una abundancia de granos del tamaño de las arenas o gravas se infiere que fueron depositadas en ambientes de alta energía, comparados con aquéllas que presentan granos del tamaño de las arcillas. La distribución del tamaño de grano de los sedimentos se usa no solamente para interpretar el modo de transporte y ambiente depositacional, sino también para categorizar y clasificar las rocas siliciclásticas (Folk, 1951).
Los sedimentos son depósitos que se forman en la superficie de la tierra y en el fondo del mar. La formación de sedimentos en grandes partes depende de acciones físicas y químicas presentes en la transición roca-atmósfera y roca-agua. Los procesos sedimentológicos ocurren sin la acción de altas presiones y temperaturas, empiezan con la desintegración de una roca sólida y su transporte, y terminan con la depositación y diagénesis.

En este manual se expone una serie de prácticas en torno a las rocas sedimentarias y a los sedimentos que fortalece las materias de Sedimentología, Estratigrafía y Petrología Sedimentaria.

Objetivos:
1. Dar a conocer al estudiante las diversas técnicas que existen para el análisis e interpretación de sedimentos y rocas sedimentarias en el laboratorio.
2. Introducir al estudiante en los conceptos estadísticos de la sedimentología.
3. Facilitar el pensamiento crítico y cuestionamiento de la literatura científica.
4. Familiarizar al estudiante con las palabras técnicas referentes al tema tanto en el idioma inglés como en el español.

I. PRÁCTICA NO. 1: MUESTREO DE SEDIMENTOS FLUVIALES

I.1. Introducción

Los ríos generalmente presentan un amplio rango de tamaños de partículas en los materiales del lecho, pudiéndose encontrar desde partículas muy finas (limos y arcillas) hasta piedras y rocas de gran tamaño. Adicionalmente, los ríos presentan una variación espacial y temporal en la composición del material del lecho a causa de diferentes factores, tales como el régimen de caudales y las tasas asociadas al transporte de sedimentos, los aportes de los ríos tributarios y, en ocasiones, la intervención del hombre.

La caracterización de los materiales del lecho de un cauce permite obtener y estimar información para estudios hidráulicos, sedimentológicos, morfológicos y ambientales. Factores como la rugosidad del cauce, el transporte del sedimento, los procesos de erosión y sedimentación dependen de las características y distribución del tamaño del material del fondo.

En todo proceso analítico, la toma de muestras es fundamental. Se han establecido varias técnicas para el muestreo de sedimentos tomando en cuenta las características físicas del medio, como son la profundidad, la granulometría del fondo, la posibilidad de penetración de los equipos de muestreo, la presencia de plantas y de piedras grandes, etc. Con base en ello, la selección del equipo de muestreo depende de las características del medio a muestrear, al igual que el tipo de muestra que se necesita.

I.2. Objetivo

El alumno aprenderá a realizar el muestreo de sedimentos en ríos.

Nota: Esta práctica se complementará con la No.3 del presente manual.

I.3. Materiales

1. Mochila, lápiz, colores, goma, sacapuntas, libreta de campo
2. Cámara fotográfica
3. Bolsas de plástico
4. Malla 50x50 cm
5. Marcadores
6. Pala

I.4. Obtención de muestras

Para la obtención de muestras en río es necesario tomar en cuenta:

a) La escala de trabajo, que está representada por la tabla siguiente:

Escala	**Longitud mínima del cauce a muestrear**	**Número de puntos de muestreo por km^2**
1: 200.000	0.8 km	1.7-2.1
1: 100.000	0.4 km	4.0-5.0
1: 50.000	0.2 km	8.5-14.0
1: 25.000	0.1 km	18.0-32.0

Tabla1. Características recomendadas del muestreo de sedimentos fluviales en función de la escala de trabajo, Http://www.uclm.es/users/higueras/MGA/Tema00_Intro.htm.

b) Sectores del río con diferentes características morfológicas (tramos rectos, sinuosos, pendientes altas o bajas), además de la longitud del río.
c) Si la granulometría del material del fondo presenta variaciones a lo largo del río.
d) La naturaleza de las unidades de roca que corta el río (Fig.1), ya que ciertos tipos litológicos pueden ser ricos o extremadamente ricos en un determinado metal, y por lo tanto, dar lugar a falsas anomalías, (http://www.uclm.es/users/higueras/MGA/Tema00_Intro.htm). Por ejemplo, si estamos estudiando cromo y el río en un sector corta rocas de composición peridotítica, es posible que obtengamos una anomalía basada solamente en el valor de fondo de estas rocas, que no tenga nada que ver con la fuente industrial del metal.
El clima y la fisiografía son factores importantes a considerar, ya que pueden afectar seriamente la movilidad de un determinado elemento. A pesar de que parece en principio una contradicción, la prospección geoquímica de sedimentos fluviales puede ser de gran interés en regiones áridas y semiáridas, ya que las precipitaciones pueden ser muy intensas, aun cuando sean esporádicas, lo cual posibilita en ocasiones fuertes tasas de remoción del regolito, y por lo tanto, una fuerte movilización de los elementos químicos ligados a éste.

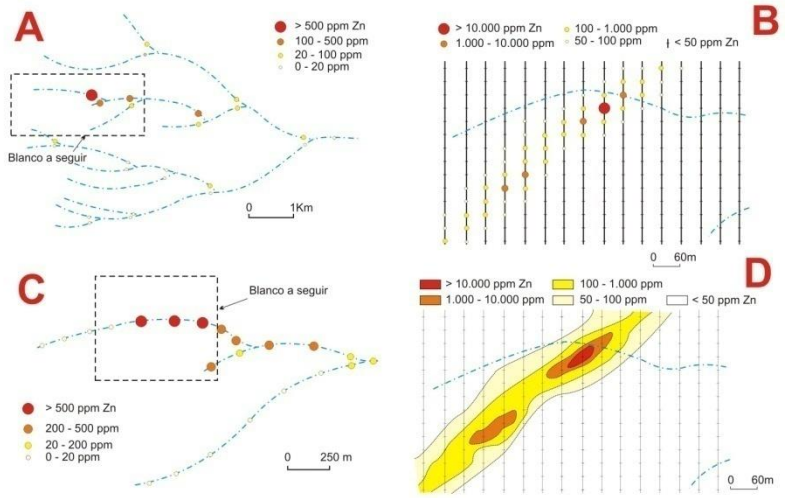


Figura 1. Toma de muestras de sedimentos fluviales a distintas escalas (A-C) para la definición de un blanco (B-C) y su posterior caracterización de detalle (D),http://www.uclm.es/users/higueras/MGA/Tema00_Intro.htm.

I.5. Muestreo superficial del material grueso por el método de malla

Se seleccionarán sitios representativos tomando en cuenta los diferentes tamaños de materiales encontrados en el lecho del río. Se ubicará un marco como referencia de escala, de 50x50 cm o de 100x100 cm según el tamaño del sedimento (Fig.2), teniendo en cuenta el criterio de Diplas y Fripp (1992), de acuerdo con el cual el área muestreada debe ser mayor o igual a 100 $(Dmax)^2$. Se tomarán fotografías digitales normales al lecho, para evitar distorsión en la escala.

Figura 2. Muestreo superficial

Para el muestreo de la capa subsuperficial se colectarán muestras volumétricas de dicha capa y se analizarán en laboratorio mediante tamizado mecánico (análisis de frecuencia por peso) y se utilizará el método de frecuencia por número, que relaciona el área total ocupada por un material de un tamaño preestablecido con el área total del muestreo. Esto con la finalidad de obtener las curvas granulométricas.

I.6. Bibliografía

American Society for Testing and Materials, (1978). Standard methods of sampling aggregates. ANSI/ASTM D75-75

British Standards Institutions (BS), (1975). Brithis standard methods for sampling and testing of mineral aggregates, sand and fillers. Part I. Sampling, size, shape and clasifications, BS812 Part: 1975.

Church, M., McLean, D.G., Wolcott, J.F., (1987). River bed gravels: samppling and analysis. Inc C.R Thorne , J.C. Bathurst, R.D. Hey (eds.). Sediment Transport in GravelBedRivers, Jonh Wiley and Sons, Chichester, 43-88

Fripp, J. B., Diplas, P., (1993). Surface sampling in gravel streams. Journal of Hydraulic Enginering, ASCE, 119(4), 473-490.

http://www.uclm.es/users/higueras/MGA/Tema00_Intro.htm(junio, 2007).

Simons D.B. y Senturk, F., (1983). Sediment Transport Technology.

Universidad del valle – corporación autónoma regional del valle del cauca cvc., (1980). Estudio Morfológico del Río Cauca I, Informe Técnico de Avance, Cali.

Universidad del valle – corporación autónoma regional del valle del cauca cvc., (2000). Proyecto Modelación del Río Cauca, Informe Final Caracterización del Río Cauca Tramo Salvajina- La Virginia, Volumen 1, Cali.

Van Rijn, L. C., (1993). Principles of Sediments Transport in Rvers, Estuarios, Coastal Seas and Oceans. AquaPublications, TheNetherlands.

Vide, J.P., Ingeniería Fluvial, (1997). Técnicas de muestreo, 15-35, España.

II. PRÁCTICA NO. 2: ANÁLISIS DE CARBONATOS, SILICATOS Y MATERIA ORGÁNICA EN LOS SEDIMENTOS

II.1. Introducción

Los sedimentos están compuestos por tres tipos de materiales: partículas de rocas, minerales provenientes del rompimiento de rocas pre-existentes; partículas producidas por la actividad vital de plantas y animales; y cristales precipitados de soluciones saturadas en o cerca de la superficie de la Tierra.

II.2. Objetivo

Realizar el análisis de carbonatos, silicatos y materia orgánica de sedimentos recolectados en ríos.

II.3. Análisis de carbonatos

Consiste en una valoración por retroceso que se realiza mediante ataque ácido. Se emplea ácido clorhídrico en exceso, el cual expulsa el dióxido de carbono producido en la reacción mediante ebullición y se valora el ácido que queda sin reaccionar con una disolución de hidróxido de sodio, en presencia del indicador fenolftaleína.

II.3.1. Materiales y reactivos

1. Bureta de clase A de 25 ml
2. Erlenmeyer de clase A de 100 ml
3. Balanza de precisión, trípode y mechero Bunsen
4. Ácido clorhídrico de 0.5 N (Scharlau),
5. Hidróxido de sodio de 0.25 N (Panreac),
6. Indicador fenolftaleína.

II.3.2. Procedimiento

Se pesan 0.5 gramos de sedimento seco en un Erlenmeyer y se añaden 25 ml de HCL 0.5N y 20 ml de agua. Se calienta suavemente en el mechero Bunsen hasta expulsar todo el dióxido de carbono y luego se aumenta el fuego para que la disolución hierva durante tres minutos. Una vez enfriado se valora el exceso de ácido con una disolución de NaOH 0.25N. Este parámetro se ha analizado en cada muestra por duplicado.

II.4. Análisis de silicatos

La determinación de sílice en los sedimentos se lleva a cabo por doble insolubilización con HCL y evaporación a sequedad, precipitando de esta forma el SIO2 hidratado (Kolthoff, *et al,* 1979).

II.4.1. Materiales y reactivos

- Horno de calcinación
- Baño de arena
- Balanza de precisión
- Cápsula y crisol de porcelana
- Papel de filtro
- Ácido clorhídrico

II.4.2.Procedimiento

Se pesa un gramo de sedimento seco en una cápsula y enseguida se pone en digestión con 20 ml de ácido clorhídrico diluido (1:1) en baño de arena aproximadamente 24 horas para insolubilizar la sílice a una temperatura de 110°C. Se humedece la masa de nuevo con 20 ml de ácido clorhídrico diluido (1:1) y se deja unos diez minutos aproximadamente. A continuación se añaden 20 ml de agua, se filtra y se lava varias veces el material filtrado con agua para eliminar totalmente el exceso de ácido. Finalmente se coloca el papel filtro en un crisol previamente pesado y se calcina en un horno a 1050 °C. Se enfría en desecador y se pesa, repitiendo la operación hasta que haya constancia de peso. El ensayo se realiza en cada muestra por duplicado en dos días distintos.

II.5. Análisis de materia orgánica

En los sedimentos, la materia orgánica se determina por la pérdida de peso que se produce al calcinar la muestra entre 400°C y 600°C (Dean, 1974: Peiro, 1988).

II.5.1.Materiales

1. Horno de calcinación
2. Crisol de porcelana
3. Balanza de precisión

II.5.2.Procedimiento

Se pesa un gramo de sedimento en un crisol de porcelana previamente tarado y se coloca en un horno de calcinación a 550°C durante treinta minutos. Se enfría en desecador y se pesa, repitiendo la calcinación hasta alcanzar un peso constante. El ensayo se realiza por duplicado en dos días distintos.

II.6. Bibliografía

Arribas, M. E. (1982):" Petrología y Sedimentología de las facies carbonáticas del Paleógeno de la Alcarria (Sector NW)". Estudios Geol., 38:27-41.

Aurelio Boza Carbonell, Juan Jiménez, Isel Cortes, Instituto de Materiales y Reactivos, Universidad de La Habana, La Habana, Cuba.

Guía para la acreditación de laboratorios de ensayos no destructivos, 1996. G-CSM-01, Rev. 2.

ISO/DI 5721-1, 1991. Accuracy. (Trueness and precisión of measurement method and results). A basic method for determination of repeatability and reproducibility of a standard measurement method.

Koltoff, I. M. y Sandell, E, B.,1990. Textbook of Quantitative Inorganic Analysis.

Willard H., Mernt L., Dean J., Settle F. 1988. Instrumental Methods of Analysis. SéptimaEdición, Cap. 13, Ed. J. Wiley and Sons, New York.

Wetzel, R.G. y Likens, G.E, 1991. Limnological analysis. Second Edition. Springer-Verlang. New-York.

III. PRÁCTICA NO. 3: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS SEDIMENTOS

III.1. Introducción

Existe una gran variedad de técnicas que incluyen histogramas y gráficos de probabilidad que permiten analizar la distribución del tamaño de grano de una población de sedimentos. Para determinar la distribución de tamaños de una población como ésta es utilizado el análisis o prueba de tamices, que se lleva a cabo cerniendo los agregados a través de una serie de tamices normalizados y numerados, dispuestos en orden decreciente.

Uno de los elementos importantes a considerar para el análisis granulométrico es conocer las escalas granulométricas, las cuales son consideradas como subdivisiones arbitrarias de una sucesión continua de tamaños de grano. Estas subdivisiones se realizan para estandarizar la terminología sedimentológica y para simplificar los análisis estadísticos de los sedimentos.

Para que la escala granulométrica sea útil en estadística, debe ser una escala regular, cuyos términos mantengan una relación simple entre sí. Una relación lineal primaria sería inapropiada, ya que si, por ejemplo, tomáramos el milímetro como unidad, la arcilla, el limo y casi toda la arena deberían colocarse en una clase y solo la arena gruesa y la grava serían subdivisibles. En cambio una escala geométrica es la más apropiada, pues da origen a unidades más pequeñas para las partículas menores, y más grandes para las mayores. Al graficar, se hace sobre una escala logarítmica, pues de esta manera todos los intervalos geométricos quedan igualmente espaciados.

ESCALA PHI:	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
ESCALA en mm:	8	4	2	1	1/2	1/4	1/8	1/16

III.2. Objetivos

Estudiar las técnicas para determinar el tamaño de las partículas sedimentarias.Aunado a este objetivo, se deben cumplir los dos siguientes:

- Realizar representaciones gráficas de datos granulométricos y analizar dicha información para llegar a conclusiones útiles en cuanto a la determinación del medio de transporte, ambiente de sedimentación, mezcla de poblaciones, etc.
- Analizar un sedimento proporcionado por el profesor. Se aplicará el método de tamizado, se realizará el análisis granulométrico y se calcularán parámetros estadísticos.

III.3. Materiales

1. Un juego de tamices normalizados
2. Un Rotap (vibrador mecánico)
3. Balanza de precisión
4. Horno de secado con circulación de aire y temperatura regulable
5. Vaso de precipitado de 250 ml o conos de papel
6. Escobillas, brochas, folders, lápiz, borrador, marcador permanente
7. Hojas de registro

III.4. Preparación de la muestra

Los pasos a seguir dependerán del grado de consolidación de las muestras. En general la rutina a seguir es la siguiente:

1. Cuarteo
2. Separación mecánica o
3. Separación química
4. Secado y pesado de la muestra

Si en la muestra se observa una gran variedad de tamaños (gravas, arenas, arcillas), el tamaño de la muestra será de 200 grs. Para muestras en donde la composición dominante es de arenas, su tamaño será de 100 grs. Si la muestra esta húmeda se seca el material, ya sea a temperatura ambiente o bien dentro de un horno a una temperatura inferior a 40°C. Una vez seca, se homogeniza cuidadosamente el total de la muestra y se reduce por cuarteo una cantidad de muestra, según la variedad de tamaño de grano que presente.

III.4.1.Cuarteo

El cuarteo tiene como objetivo obtener una porción representativa de todas las características originales de la muestra. Se hace un montículo de muestra sobre una superficie limpia y con una espátula o cuchara se divide en cuatro porciones iguales. Se retienen dos cuartas partes (guardando el resto de la muestra) y se repite con ella la operación hasta conseguir aproximadamente el peso de material requerido. La cantidad exacta de material a usarse dependerá fundamentalmente del tamaño y selección de los sedimentos. Con base en Carver(1971) se pueden sugerir los siguientes pesos: grava fina: 500 grs, arena gruesa: 200 grs, arena mediana: 100 grs, arena fina: 25-50 grs, fracción menor: 5-25 grs.

III.4.2.Separación mecánica

En el caso de tener una roca consolidada o semiconsolidada se debe efectuar la separación de los elementos, para permitir el análisis de la misma. Generalmente se realiza una separación parcial antes del cuarteo y otra posterior a él, para eliminar todos los grumos y obtener los clastos individuales. Para ello los pasos a seguir son los siguientes:

- Se seca el sedimento al aire libre o a 40ºC en horno.
- Se desagregan todos los grumos inicialmente con los dedos para luego usar un pilón de madera o goma en un mortero de porcelana (también puede usarse un rodillo de madera), ejerciendo presión para separar los granos sin que se rompan los clastos (ya que si no es así formarían parte de un intervalo granulométrico de menor tamaño).

III.4.3. Separación química

Cumplidos los pasos anteriores se efectúa la separación química de la muestra, o sea la eliminación de los materiales cementantes. Los ensayos que se realizan deben efectuarse en orden estricto, ya que de no hacerse así podrían producirse efectos contrarios a los buscados, debido a que los reactivos utilizados pueden reaccionar con subproductos. El orden establecido es el siguiente:

a) Eliminación de materia orgánica (con peróxido de hidrógeno, H_2O_2)

b) Eliminación de carbonatos (con ácido clorhídrico, HCl)

Con la finalidad de cuantificar el grado de reactividad de la muestra, debe tomarse una pequeña cantidad de la misma para efectuar pruebas con distintos reactivos. Si las reacciones son positivas, se hacen luego con el resto de la muestra

cuarteada. En caso de ser negativa una prueba, se pasa a la siguiente, de acuerdo al orden establecido.

Es importante recordar que se debe tomar el peso seco de la muestra antes y después de cada ensayo para cuantificar.

a) ¿POR QUÉ EL INCISO a)? ¿DE DÓNDE VIENE LA CLASIFICACIÓN? Eliminación de la materia orgánica

Con este procedimiento rara vez se elimina completamente la materia orgánica, pero aun así es muy útil para dispersar el sedimento. Si hay poca materia orgánica, se coloca la muestra (previamente pesada) en un recipiente y se le agregan 100 ml de peróxido de hidrógeno al 6% (20 vol.) lentamente y con agitación constante. Se repite esta operación hasta que cese el burbujeo. Se cubre enseguida el recipiente y se calienta a 40ºC por espacio de 1 hora. Luego se filtra, se seca y se calcula la materia orgánica por diferencia de peso. Si hay mucha materia orgánica presente, se añade agua oxigenada al 40 %, muy despacio, agitando al mismo tiempo y hasta que se detenga el burbujeo. Luego se calienta a 40ºC durante 10 minutos, evitando pérdidas de material por excesiva violencia del burbujeo. Se evapora hasta que se forme una pasta delgada, sin llevar a la sequedad.

Posteriormente, se agregan entre 10 y 30 ml de agua oxigenada 30% y se cubre con un vidrio de reloj, calentándola una temperatura de entre 40 y 60ºC durante 1-12 horas. Este procedimiento debe repetirse hasta que se haya removido toda la materia orgánica. Finalmente, se da un pequeño hervor para remover el exceso de agua oxigenada (controlando el pH que debe ser entre 6 y 7).

b) Eliminación de cemento y clastos carbonáticos ¿Y EL INCISO?

El ataque se realiza con HCl, teniendo en cuenta que afecta también a los componentes fosfáticos y sulfuros (no se recomienda si se deben efectuar estudios mineralógicos). Se coloca la muestra en un Erlenmeyer y se le agregan 25 ml de agua destilada, agitando para mezclar. Se añade lentamente HCl 10% hasta que se detenga la efervescencia. Si el material carbonatico es abundante se producirá un gran volumen de líquido.

Entonces se podrá agregar lentamente ácido concentrado, extrayendo (de ser necesario) el líquido por medio de un sifón. Posteriormente se calienta a 80-90°C y se le agrega HCl hasta obtener un pH de 3,5 a 4 y se le mantiene en ese valor. Si hay mucho carbonato, los iones de Ca disueltos interferirán con la dispersión de la muestra, con la remoción de la materia orgánica con agua oxigenada (por eso se debe eliminar primero) NO SE ENTIENDE y precipitarán como oxalato de Ca en el tratamiento de remoción de los óxidos de Fe. Por lo tanto, se debe lavar la muestra con HCl 0,1%, repitiéndolo 3 o 4 veces. El líquido resultante debe ser analizado para determinar Ca, colocando una pequeña cantidad en un tubo de ensayo en medio alcalino y agregando oxalato de amonio. Si hay Ca se producirá la precipitación de oxalato de Ca (blanco). Finalmente se lava la muestra hasta obtener un pH de 6 a 7.4.

Finalizados los ataques químicos, y luego de haber lavado la muestra hasta obtener pH neutro, se procede a secar y pesar el material dejándolo preparado para comenzar el análisis granulométrico. La muestra se seca en un horno a 40°C

(si no hay arcillas presentes se puede secar hasta los 100°C). Posteriormente se deja expuesta 1 hora a la humedad ambiente para que alcance el equilibrio con la del laboratorio. Luego, se pesa al miligramo anotando el dato con el fin de ser usado posteriormente para los cálculos de porcentajes después del análisis granulométrico.

III.5. Procedimiento para tamizado

El análisis de tamices (Tabla 2) es utilizado para determinar la distribución de tamaños en una muestra de sedimentos. El análisis o prueba se lleva a cabo asegurándose primero que los tamices que se van a utilizar estén limpios, es decir, que no contengan sedimento en la malla. Una vez revisado esto, los tamices se acomodan en el *Rotap* formando una columna en donde el tamiz numero 5 quede en la parte superior y el tamiz 230 en la parte inferior. Si no se puede tamizar la columna completa, se divide en dos partes (del 5 al 40) y (del 41 al 230). Se coloca enseguida una charola abajo del último tamiz. Una vez colocados los tamices se vacía la muestra de sedimento en el tamiz superior (No. 5) y se enciende el *Rotap* durante 7 minutos. Ya que se apagó el *Rotap*, se extrae toda la columna de tamices y se lleva a una mesa. Con cuidado se saca el primer tamiz (No.5), se vacía la muestra en un fólder limpio y se pasa la brocha por el tamiz para que no queden granos en la malla. La muestra que quedó en el fólder se coloca en un vaso ya tarado y se pesa, registrando el peso en una hoja de registro (Tabla 3). El sedimento se vacía en una bolsa o cono de papel en el cual se anota el número de muestra y el número de tamiz. Este procedimiento se sigue para cada uno de los tamices.

Es importante mencionar que el agregado fino será aquél que pase a través del tamiz de 3/8“ y el # 4, y es retenido casi completamente en el tamiz #200. El agregado grueso es el que se retiene en el tamiz #4.

Nota: Hay que evitar el golpeo del contorno superior e inferior de los tamices, ya que al modificar la forma del contorno se dificulta la superposición entre tamices. Para el cálculo de los momentos se ignora el peso original y se toma en cuenta la sumatoria de los pesos obtenidos para cada interval

Tamiz (ASTM)	Abertura real (mm)	Unidades phi	Tipo de material
3”	80		Cantos
2”	50		Cantos
1 ½ “	40		Cantos
1”	25		Cantos
¾”	20		Cantos
3/8”	10		Gravas
N° 4	5		Gravas
N°5	4	-2	Gravas
N°6	3.36	-1.75	Gránulos
N° 7	2.83	-1.5	Gránulos
N°8	2.38	-1.25	Gránulos
N°10	2	-1.0	Gránulos
N°12	1.68	-0.75	Arena muy gruesa
N°14	1.41	-0.5	Arena muy gruesa
N°16	1.19	-0.25	Arena muy gruesa
N°18	1	0	Arena muy gruesa
N°20	0.84	0.25	Arena gruesa
N°25	0.71	0.5	Arena gruesa
N°30	0.59	0.75	Arena gruesa
N°35	0.50	1.0	Arena gruesa
N°40	0.42	1.25	Arena media
N°45	0.35	1.5	Arena media

N°50	0.30	1.75	Arena media
N°60	0.25	2.0	Arena media
N°70	0.21	2.25	Arena fina
N°80	0.177	2.5	Arena fina
N°100	0.149	2.75	Arena fina
N°120	0.125	3.0	Arena fina
N°140	0.105	3.25	Arena muy fina
N°170	0.088	3.50	Arena muy fina
N°200	0.074	3.75	Arena muy fina
N°230	0.0625	4.0	Arena muy fina
N°270	0.053	4.25	Limo grueso
N°325	0.044	4.5	Limo grueso

Tabla 2.Numeración y abertura de tamices

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

HOJA DE DATOS

Proyecto:_____
Ubicación:_____
Fecha de muestreo:_____
Fecha de ensayo:_____

Peso total de la muestra seca: _____
Peso del vaso: _____
Peso del vaso + Peso de la muestra:_____

Criba (")	Peso retenido	%de peso retenido	% de peso retenido acumulado	% que pasa
3"				
2"				
1 ½ "				
1"				
¾"				
3/8"				
Tamiz	Peso retenido	% peso retenido	% peso retenido acumulado	% que pasa
N° 4				
N° 6				
N° 8				
N°10				
N°12				
N°14				
N° 16				
N°18				
N° 20				
N° 25				
N° 30				
N° 35				
N° 40				
N°45				
N°50				
N° 60				
N° 70				
N° 80				
N°100				
N° 120				
N° 140				
N° 160				
N°180				
N° 200				
N° 230				
Charola				

Tabla 3. Hoja de registro

III.6. Cálculos y gráficos

Los cálculos que se obtienen del análisis granulométrico son: Porcentaje retenido en Mallas (%RM), Porcentaje de Pérdida (%P), Coeficiente de uniformidad (C_u), Coeficiente de curvatura (Cc) y Modulo de finura, los cuales son representados en la figura 3.

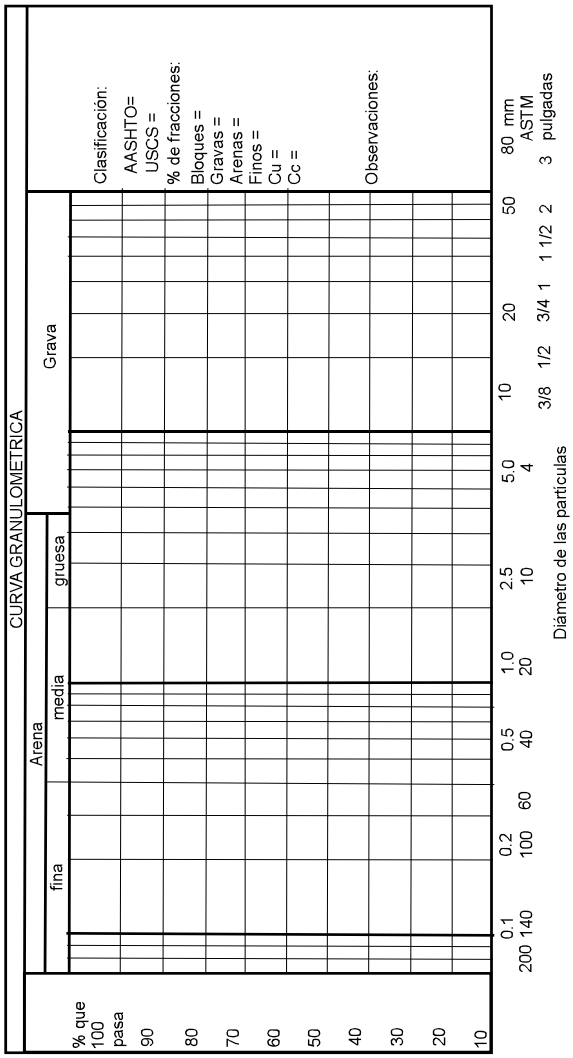


Figura 3. Gráfico para curva granulométrica

1. <u>Porcentaje retenido en mallas (% RM):</u>

%RM = PRM * K / Pt, donde:

PRM= peso retenido en cada malla (grs)

K= porcentaje de muestra que pasó el tamiz 3/8”

Pt= peso de la muestra representativa (grs)

2. <u>Porcentaje de pérdida (%P) :</u>

$\%P = (M_1 – M_2) / M_1 * 100$ (%)

Dónde:

M_1 = peso del material (grava o arena)

M_2 = sumatoria de pesos retenidos (grs)

3. Coeficiente de uniformidad (C_u):

Es una medida de uniformidad (graduación) de la muestra.

$C_u = D_{60} / D_{10}$

Dónde:

D_{60} = tamaño (φ) donde pasa el 60% del material.

D_{10} = tamaño (φ) donde pasa el 10% del material.

Nota: D_{60} y D_{10} se toman de la gráfica acumulativa de frecuencia. Ver sección III.8.

4. Coeficiente de curvatura (Cc):

Es un dato complementario para definir la uniformidad de la curva, mediante la expresión:

$C_c = (D_{30})^2 / (D_{60} * D_{10})$

Dónde:

D_{10} = tamaño (φ) donde pasa el 10% del material

D_{60} = tamaño (φ) donde pasa el 60% del material

D_{10} = tamaño (φ) donde pasa el 10% del material

Nota: D_{60} y D_{10} se toman de la gráfica acumulativa de frecuencia. Ver sección (III.8).

5. Módulo de finura

El módulo de finura describe la finura relativa de la arena; se define como una centésima de la suma de los porcentajes retenidos acumulados hasta el tamiz No. 100 en la prueba de tamices de la arena. Se utilizan seis tamices, el 4, el 8, el 16, el 30, el 50 y el 100. Mientras más pequeño sea el número del módulo de finura, más fina será la arena. Para calcular el módulo de finura (Tabla 4) se deberán tener los datos requeridos:

Tamiz No.	Peso retenido	Porcentaje retenido	Retenido acumulado	Porcentaje pasando
4	A	A / I x 100= J	J	100 - J
8	B	B / I x 100= K	J + K = R	100 - R
16	C	C / I x 100= L	R + L = S	100 - S
30	D	D / I x 100= M	S + M = T	100 - T
50	E	E / I x 100= N	T + N = U	100 - U
100	F	F / I x 100= O	U + O = V	100 - V
200	G	G / I x 100= P	V + P = W	100 - W
Bandeja	H	H / I x 100= Q	W + Q = X	100 - X
	∑ = I	∑ = 100		

Tabla 4. Cálculo del módulo de finura

$$\text{Módulo de finura} = \frac{\sum \%\ \text{Retenido Acumulado (hasta el tamiz \# 100)}}{100}$$

$$= \frac{J+R+S+T+U+V}{100}$$

Nota: El porcentaje retenido en cualquier tamiz no debe sobrepasar del 45%.

III.7. Análisis granulométrico con base en un perfil

III.7.1.Actividades

a) Elaborar un perfil general de la sucesión a escala 1:5000. Ubicar intervalos y muestras.

b) Completar la siguiente tabla (5) de datos granulométricos con los porcentajes acumulativos.

Tamaño	RB4	RC3	23C	40A
φ	%acumulativo	%acumulativo	%acumulativo	%acumulativo
-1.5	5.04			
-1	6.16			
-0.5	23.14			
0	26.57	0.62		
0.5	14.92	1.41		
1	5.57	5.04		0.29
1.5	2.11	5.37		0.38
2	3.11	9.81	0.06	6.63
2.5	4.18	14.87	0.08	38.63
3	4.12	20.65	0.34	45.39
3.5	1.60	13.19	0.43	4.31
4	1.04	10.02	2.11	2.02
4.5	1.99	2.45	4.42	1.80
5	0.18	2.57	27.79	
5.5		6.51	16.77	
6		2.39	16.15	
6.5		1.86	13.43	
7		1.71	4.44	
8		1.14	5.18	
9		0.37	4.43	
10			2.15	
11			2.19	
>11				

Tabla 5. Datos porcentuales granulométricos por fracciones para muestras de cuatro secciones

c) Construir histogramas a 1 φ de los cuatro análisis.

d) Elaborar para cada muestra el correspondiente diagrama de frecuencias acumulativas en papel probabilístico. Definir los valores de los truncamientos y los tipos de segmentos presentes.

e) A partir de los diagramas acumulativos determinar los percentiles para el análisis estadístico gráfico de Folk & Ward (Investigar gráfico).

f) Determinar para cada una de las muestras moda, media, mediana, desviación estándar, asimetría, curtosis y percentil 1. Calificar al sedimento de acuerdo con los valores obtenidos.

g) Representar los datos de la tabla 6 siguiente en un diagrama CM (Passega, 1957, 1964;investigar diagrama). Agrupar dichos datos de acuerdo con el intervalo estratigráfico correspondiente e interpretar los resultados obtenidos.

A		**B**		**c**	
C	M	C	M	C	M
-3.10	2.80	2.20	3.50	3.10	4.20
-2.80	2.30	1.50	3.10	3.20	4.30
-2.50	2.50	1.85	3.60	3.15	5.10
0.70	1.30	3.50	5.20	3.25	5.30
0.80	2.20	1.30	2.40	3.20	6.10
2.00	2.80	3.25	5.30	3.50	4.70
-2.50	- 0.20	1.40	2.60	3.75	5.80
-3.20	0.50	1.40	2.80		
-2.50	-0.80	1.40	3.40		
-2.35	0.50	3.10	4.50		

-2.40	0	3.30	5.50		
-2.00	1.80	2.60	3.80		
-1.00	1.70	1.00	1.80		
-2.50	1.50	3.40	4.70		
		3.20	4.80		
		3.35	5.10		
		1.60	3.30		
		1.80	3.20		
		3.40	5.90		
		3.15	4.30		
		1.20	2.10		
		1.40	2.15		
		2.30	3.75		
		2.90	4.40		
		3.30	5.60		

Tabla 6. Datos de mediana y percentil 1 (C) en valores φ para los intervalos I, III y IV

III.7.2. Análisis de los resultados

a) Comparar los resultados de los análisis granulométricos correspondientes a los distintos intervalos estratigráficos: diseño de histogramas, diagramas acumulativos, valores de parámetros y coeficientes estadísticos. Señalar similitudes y diferencias encontradas.

b) Definir condiciones de fluidez y energía de los agentes de transporte en las distintas secciones estratigráficas según los resultados de los análisis granulométricos. Indicar si se reconocen agentes de transporte en particular.

c) Interpretar los resultados del análisis de conjunto CM y comparar con los obtenidos en el estudio estadístico de muestras individuales.

III.8. Análisis granulométrico de rocas litificadas

Este análisis se realiza mediante cortes delgados de sedimentos cuyo grado de litificación no permite la separación, o donde se sospecha que los clastos pueden desintegrarse y en consecuencia falsear el análisis. Es un procedimiento óptimo para areniscas ricas en cuarzo, con selección de buena a muy buena y esfericidad alta.

a) Método de Chayes: Es un método rápido y mide el diámetro del campo del microscopio (a un aumento determinado) y el conteo del número de granos cortados por las líneas de referencia del microscopio. Luego se divide el doble del diámetro entre el número de granos. Este proceso se repite varias veces hasta que se tenga un número de granos cortados estadísticamente significativos.

$$\text{Granulometría media} = \frac{\Sigma 2\, d/n}{N}$$

Donde n es el número de granos cortados por la línea; d es el diámetro del campo visual del microscopio y N el número total de campos visuales sometidos a conteo. Este método es apropiado para estudios en los cuales se desea tener una idea general sobre la distribución granulométrica, pues ofrece el valor de la granulometría media, pero no se presta para la determinación del grado de selección de los tamaños de las partículas.

b) Método de Friedman Consiste en establecer, en la sección delgada, el eje mayor del clasto ubicado en el cruce de hilos del microscopio. Deben contarse entre 100 y 400 granos en cada sección. El espaciado entre cada punto y entre

cada línea de recuento se establece de manera arbitraria y depende fundamentalmente de la granulometría promedio y del tipo de fábrica.
Existe un error en el sentido de que el eje medido no siempre corresponde al eje intermedio del grano, como en el caso del método de tamizado. Entonces, como en los resultados hay un desvío natural hacia diámetros menores que los reales, Friedman estableció factores de conversión empíricos entre los datos granulométricos en cortes delgados y los obtenidos por tamizado. Esto equivale a transformar las frecuencias numéricas (corte delgado) en frecuencias en peso (tamizado). Los materiales pelíticos no pueden ser sometidos a este método.
Ecuaciones de conversión propuestas por Harrell y Eriksson (1979):
X* (media corregida) = 0,934 X (media en sección delgada) + 0,376
σ* (selección corregida) = 0,880 σ (selección en sección delgada) + 0,122

III.9. Análisis estadístico de los resultados
Todo análisis granulométrico es representado por: histogramas, curvas de frecuencia y curvas acumulativas.

Histograma
Es una representación gráfica de la distribución de frecuencia, siendo la más simple de todas, también denominada pirámide de frecuencia de distribución. Se grafica mediante barras verticales cuya área es proporcional a la cantidad de material de cada clase. Si el ancho de cada intervalo es igual, la altura de las barras es proporcional a la cantidad de material de cada clase. Permite una visualización rápida de las características generales del sedimento, pudiendo observarse su distribución modal, la asimetría y diferencias cualitativas de la curtosis.
El histograma se representa en un sistema de coordenadas cartesianas, en papel milimétrico. En las abscisas se grafican las clases granulométricas en escala phi o Udden-Wentworth y en ordenadas la frecuencia en porcentaje (%).
Curva acumulativa o de frecuencia acumulativa
Es una representación gráfica de la frecuencia granulométrica, cuya construcción puede realizarse a partir de los datos analíticos. Su trazo en papel milimétrico tiene forma de "S" abierta mientras que en papel de probabilidad es una línea recta (si la distribución es logarítmica normal) o casi recta. Para el cálculo de los parámetros estadísticos, por los métodos gráficos, conviene hacerlo en un programa estadístico.
SÍ se quiere llevar a cabo la representación en forma manual, se deberá utilizar papel de probabilidad que es simétrico con respecto al 50% de la frecuencia y cuyos intervalos se van agrandando hacia ambos extremos, sin llegar nunca al 100% o hasta el 0%, pues esos valores quedarían en el infinito. De esta manera, la curva se "estira" logrando representar los extremos de la misma (colas) con mayor definición, otorgándole mayor confiabilidad a los valores extraídos de estos sectores.
Para su construcción, se representan los datos en un sistema de ejes cartesianos. En el eje de ordenadas (probabilístico), se marca el porcentaje en peso (acumulativo) desde 0% hasta 100% y en el eje de abscisas (aritmético), se

marcan los grados de tamaño o escala granulométrica, en milímetros o en escala phi.
En la curva representada en papel de escala aritmética, la moda queda representada en el punto de inflexión. La pendiente general de la curva indica el grado en que los individuos se acercan o alejan del grupo modal. La presencia de irregularidades en la pendiente suave de la curva, puede indicar grupos modales secundarios. Asimismo, el grado aproximado de selección puede verse a partir de la pendiente de la curva y del rango de tamaños que ésta abarca: (A) arena de playa (bien seleccionada, simétrica); (B) till (mal seleccionada); (C) loess (bien seleccionada, asimétrica).
Con papel de probabilidades se visualiza el efecto de la combinación de los métodos de tamizado y pipeteo, con un cambio en la pendiente de la recta. Los cambios de pendiente reflejan, asimismo, la ubicación de la(s)moda(s), como también la asimetría de una distribución. Inman (1949) y luego Moss (1963) correlacionaron el proceso de transporte con la forma de la curva.
Las tres formas principales de transporte de sedimentos (tracción, saltación y suspensión) pueden ser encontradas en una misma muestra como subpoblaciones. El ploteo nos da una curva compuesta de segmentos rectos, donde cada segmento representa una subpoblación. La abundancia relativa de estas subpoblaciones refleja los modos de transporte del medio depositacional.

III.10. Parámetros estadísticos

Existen una serie de parámetros estadísticos que permiten el análisis granulométrico de sedimentos. Las medidas estadísticas son:

1. **Tendencia Central:** es el valor promedio que indica la mayor frecuencia de la población alrededor de una clase o en una de ellas. Las medidas de Tendencia Central incluyen tres parámetros dominados (moda, media y mediana). En sedimentología la moda puede ser definida como la clase granulométrica de mayor representación en el sedimento. La mediana, representa el punto medio de la distribución granulométrica y por lo tanto es el diámetro que deja la mitad (en peso) de la población analizada con tamaños más gruesos y la otra mitad con tamaños más finos. La media es el diámetro promedio de todas las partículas que integran el sedimento. Desde el punto de vista del significado geológico, la tendencia central refleja el tamaño del grano del sedimento. Los factores que controlan este tamaño puede ser: granulometría de la roca original, tipo y longitud del transporte, tipo y energía del ambiente de sedimentación, etc. Las distribuciones bi o polimodales indican ambientes muy particulares (till, diamictitas, etc) o pueden indicar contaminación.
2. **Dispersión- Selección (S_0):** indica la forma en que se distribuyen los individuos de una población alrededor del valor central.
   $S_0 = \sqrt{Q_3 / Q_1}$, donde: S_0 = Selección; Q_3 = valor de los tamaños determinados por la intersección del valor 25% de la curva; Q_1 = valor de los tamaños determinados por la intersección del valor 75% de la curva acumulativa.

Si	$S_0 = 1$	Sedimento perfectamente seleccionado
	$S_0 \leq 2.5$	Sedimento bien seleccionado
	$S_0 \leq 3$	Sedimento medianamente seleccionado

$S_0 \leq 4$ Sedimento mal seleccionado

3. **Desviación Estándar (Std):**

Si	Std	≥ 0.35	Muy bien seleccionado
		0.35 a 0.50	Bien seleccionado
		0.50 a 1	Moderadamente seleccionado
		1.00 a 2.00	Pobremente seleccionado
		2.00 a 4.00	Muy pobremente seleccionado
		> 4.00	Extremadamente mal seleccionado

Desde el punto de vista del significado geológico, la selección depende en gran medida del tiempo de transporte que ha sufrido el sedimento y su extensión. También tiene gran influencia el tipo de ambiente de depositación. En una curva acumulativa, cuanto más vertical sea su trazado, hay una mayor selectividad del medio.

4. **Asimetría (Ska)**: es una medida independiente de la selección e indica predominio de una población con respecto a la otra. La asimetría es un parámetro que relaciona la separación de los extremos (colas) de la población con la media. De esta forma existen dos tipos de asimetría según haya un exceso de partículas gruesas (asimetría negativa) o finas (asimetría positiva).

Medida gráfica: cálculo de la simetría = Sk (sesgo)

$$Ska = \frac{(Q_1 + Q_3 - 2\,Md)}{2}$$

$$\mathbf{Sk} = \frac{\sqrt{Q_1 * Q_3}}{Md^2}$$

Dónde: Ska = asimetría aritmética, si Ska = 0, su simetría es perfecta.

Sk = asimetría geométrica, si Sk = 1, su simetría es perfecta.

Md = mediana

Q_3 = valor de los tamaños determinados por la intersección del valor 25% de la curva;

Q_1 = valor de los tamaños determinados por la intersección del valor 75% de la curva acumulativa.

Desde el punto de vista geológico, la asimetría de una curva de frecuencia es un indicio de la contaminación de un sedimento por otro. Así, las muestras fuertemente asimétricas son el resultado de la mezcla de ambientes sedimentarios. El estudio del grado y sentido de asimetría de una curva de frecuencia permite inferir qué tipo de granulometría es la dominante y cuál es la subordinada en un determinado sedimento.

5. **Agudeza o kurtosis (K):**es la comparación entre la dispersión de la parte central y la dispersión de los extremos en la curva de frecuencia.

Curtosis gráfica: $Ka = \frac{Q_3 - Q_1}{2\,(P10 - P90)}$

Donde, P90 = valor granulométrico correspondiente al porcentaje 90

P10 = valor granulométrico correspondiente al porcentaje 10

Q_3 = valor de los tamaños determinados por la intersección del valor 25% de la curva

Q_1 = valor de los tamaños determinados por la intersección del valor 75% de la curva acumulativa

Con base en la forma de la curva de frecuencia, se puede clasificar en (Fig. 4):

- Platicúrtica, cuando el sedimento está muy disperso (mal seleccionado).
- Normal o Mesocúrtica, cuando el sedimento está poco disperso (bien seleccionado).
- Leptocúrtica, cuando el sedimento está poco disperso (bien seleccionado).

Según Folk y Ward = $K = \frac{(?95 - ?5)}{2.44 (?75 - ?25)}$

Nota: El signo? significa el valor granulométrico correspondiente al porcentaje que indique el número que le sigue al signo de interrogación.

Donde K<	0.67 =	Muy Platicúrtica
	0.67-0.90 =	Platicúrtica
	0.90 – 1.11 =	Mesocúrtica
	1.11 – 1.50 =	Leptocúrtica
	1.50 – 3.00 =	Muy Leptocúrtica
	> 3.00 =	extremadamente Leptocúrtica

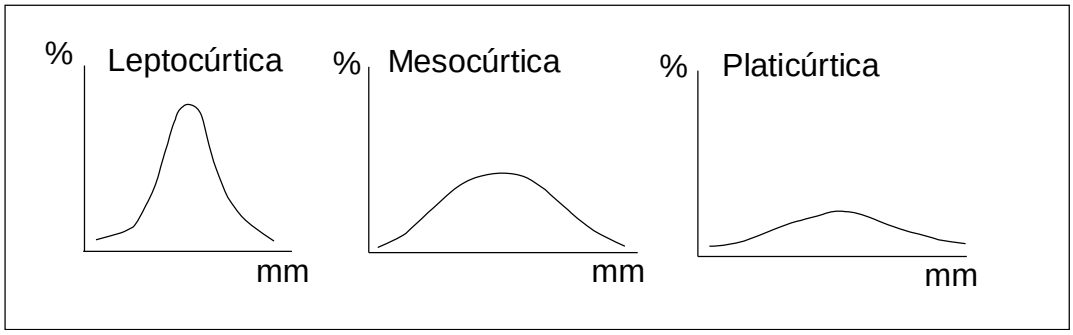


Figura 4. Gráfico donde se muestra la clasificación de la curva de frecuencia.

III.11. Método de momentos

Uno de los métodos usados en el análisis granulométrico es el método analítico de los momentos (Tabla 7).

Los parámetros se calculan a partir de las frecuencias y del valor medio de cada intervalo granulométrico, usando las fórmulas de la tabla 7. Estas medidas se utilizan como complemento de las representaciones gráficas, ya que al no dibujarse la curva no se consigue la sensibilidad suficiente y no se detectan bimodalidades, errores experimentales o mezcla de poblaciones. La ventaja del método de los momentos es que usa toda la distribución de frecuencia y no unos pocos valores.

Parámetros estadísticos	Fórmulas del método de momentos	Fórmulas del método gráfico (de Folk y Ward, 1957)
media (x)	$\frac{\sum f \cdot m}{100}$	$\frac{(\phi 16 + \phi 50 + \phi 84)}{3}$
selección (σ)	$\sqrt[2]{\frac{\sum f \cdot (m - x)^2}{100}}$	$\frac{(\phi 84 - \phi 16)}{4} + \frac{(\phi 95 - \phi 5)}{6,6}$
asimetria (SK_I)	$\frac{\sum f \cdot (m - x)^3}{100 \cdot \sigma^3}$	$\frac{(\phi 16 + \phi 84 - 2.\phi 50)}{2.(\phi 84 - \phi 16)} + \frac{(\phi 5 + \phi 95 - 2.\phi 50)}{2.(\phi 95 - \phi 5)}$
mediana (Md)		$\phi 50$
agudeza (K_G)	$\frac{\sum f \cdot (m - x)^4}{100 \cdot \sigma^4}$	$\frac{(\phi 95 - \phi 5)}{2,44.(\phi 75 - \phi 25)}$

Tabla 7. Fórmulas para el cálculo de los parámetros estadísticos. f, porcentaje en peso; m, punto medio de cada intervalo de clase; x, media; σ, selección; φ xx, tamaño de grano (phi) para el percentil del xx % de la curva acumulativa

Son valores simples que reflejan el tamaño de grano del sedimento e indican la mayor frecuencia de población alrededor de o en un intervalo de clase.

Medidas analíticas

1er Momento: Es la Media Aritmética y equivale al centro de gravedad de la curva.

Medidas Gráficas

Mediana: Es el diámetro correspondiente al 50% de la distribución de las partículas, con lo cual, la mitad de los granos (por peso) son más gruesos y la otra mitad más finos que este valor. Se lee directamente de la curva acumulativa, encontrando la intersección del percentil 50 en la curva acumulativa ($\varphi 50$).

Moda: Es el diámetro de los granos que se encuentran en mayor cantidad. Puede haber una o más modas dando lugar a distribuciones unimodales o polimodales, respectivamente. En este último caso, la más abundante se llama moda principal y la(s) otra(s) moda(s) secundaria(s).

Media: Es el parámetro que más se aproxima al promedio granulométrico de una distribución dada.

Selección: Indica la forma en que se distribuyen los individuos de una población alrededor del valor central. Es una medida matemática del grado de selección de un sedimento. Algunos ambientes se caracterizan por un determinado valor o índice de selección, que es una medida de la uniformidad del tamaño de las partículas. Depende en gran medida del tipo y longitud de transporte que ha sufrido el sedimento. Cuanto más vertical sea el trazado de la curva acumulativa, mayor es la selectividad del medio (Fig. 5).

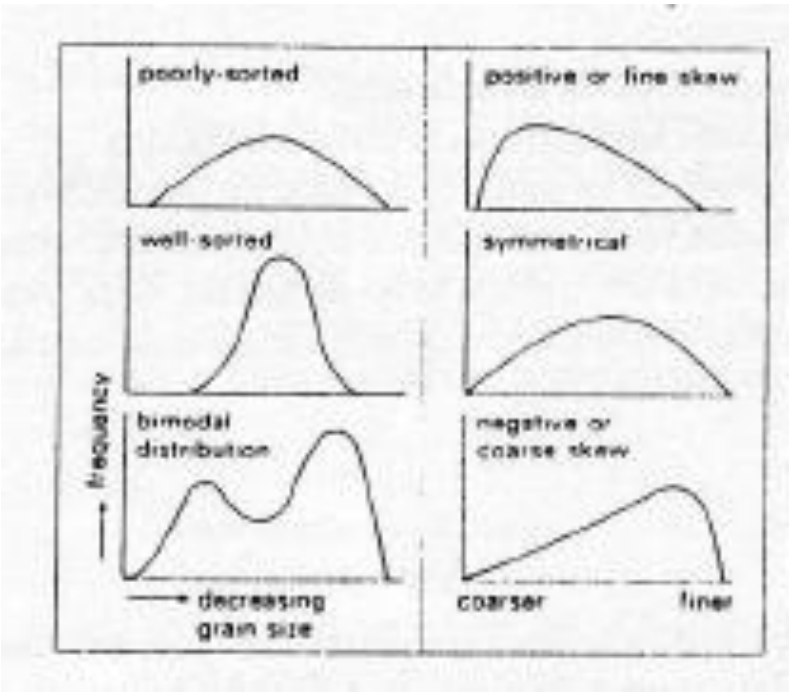


Figura 5. Distribución de la curva de frecuencia mostrando tipos de selección y sesgo.

Medidas Analíticas

2do momento: Es la Desviación Standard (desviación de la curva al valor central (mi).

Medidas gráficas

Se obtienen valores de la curva acumulativa, según los diversos autores (Tabla 7).

Asimetría: Es una medida independiente de la selección e indica predominio de una población respecto a otra. Relaciona el grado de simetría que guarda la granulometría promedio con respecto a las colas de una determinada distribución. Se puede observar cualitativamente en una curva de frecuencia. Analíticamente se obtiene a partir de la fórmula del 3er. momento.

Una curva simétrica tiene simetría 0.00. Valores positivos significa que la cola se halla del lado de los finos, mientras que valores negativos significa que la cola se halla del lado de los gruesos (Fig. 6).

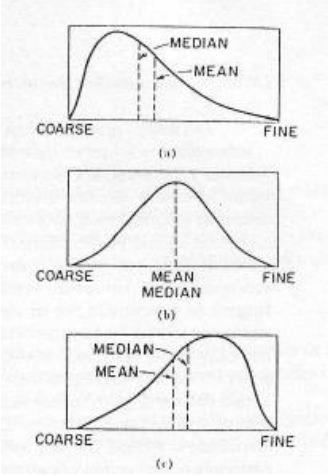


Figura 6. a) Curva que muestran un sesgo positivo; b) simétrico y c) distribución negativa

Además de presentar los valores numéricos para cada uno de los parámetros estadísticos, resulta conveniente utilizar una nomenclatura para describir al sedimento. Existen varias propuestas de nomenclatura para los valores de selección, asimetría y agudeza (Tabla 8), (Trask, 1932; Folk y Ward, 1957; Friedman, 1962; McManus, 1988).

SELECCIÓN		ASIMETRÍA		AGUDEZA	
muy bien seleccionado	< 0,35	asimetría muy positiva	+ 0,3 a +1,0	muy platicúrtico	< 0,67
bien seleccionado	0,35 - 0,5	asimetría positiva	+0,1 a +0,3	platicúrtico	0,67 - 0,90
moderadamente bien seleccionado	0,5 - 0,70	simétrica	+0,1 a -0,1	mesocúrtico	0,90 - 1,11
moderadamente seleccionado	0,7 - 1,00	asimetría negativa	-0,1 a -0,3	leptocúrtico	1,11 - 1,50
pobremente seleccionado	1,00 - 2,00	asimetría muy negativa	-0,3 a-1,0	muy leptocúrtico	1,50 - 3,00
muy pobremente seleccionado	2,00 - 4,00			extremadamente leptocúrtico	> 3,00
extremadamente mal seleccionado	>4,00				

Tabla 8. Nomenclatura para selección, asimetría y agudeza

III.12. Utilización de los parámetros estadísticos

Füchtbauer and Müller (1970) compilaron la información existente sobre los parámetros estadísticos (Parámetros de Trask ,1932) que son una guía para una primera orientación en los diferentes medios sedimentarios:

Ambiente fluvial

a) Canales y point-bar

Selección general >1.2

En ríos entrelazados frecuentemente el valor es >1.3

Asimetría: predominan valores <1

Planicie aluvial

Selección considerablemente >2

Asimetría siempre <1

Ambiente eólico

a) Dunas

Selección, generalmente mejor que 1

Asimetría, similar a 1. Tamaño medio de grano: 0.15-0.35 mm

Loess

Selección, mayor o igual a 1,4

Asimetría, menor que 1 (considerable cantidad de material fino)

Tamaño medio frecuente: 0.62-0.06mm.

Ambiente marino

a) Playa

Selección, generalmente varía entre 1,1-1,23

Asimetría >1

b) Planicie de marea y áreas de plataforma

Selección, generalmente muy pobre

Asimetría <1

c) Marino profundo Son depósitos compuestos de arcillas y limos

III.13. Bibliografía

Folk, R.L., 1966. Areview of grain-size parameters, Sedimentology 6 829:73-93.

Folk, R.L., 1968. Petrology of sedimentary rocks, 2da. edc., Hemphill's Ed. 170 p.

Folk, R.L. y W.C. Ward, 1957. Brazosriverbar: a study in the significance of grain size parameters. Jour. Sed. Petrol.,37 (2): 514-521.
Friedman, G., 1958. Determination of sieve-size distribution from thin-section data for sedimentary petrological studies.
Friedman, G., 1961. Distinction between dune, beach and river sands from the textural. Jour. Sed. Petrol., 31: 514-529.
Friedman, G., 1962. On sorting, sorting coefficients, and the lognormality of grain distribution of sandstones. Jour. Geol., 70 p. 737-753.
Füchtbauer, H. y Müller, G., 1970. Sedimente und Sedimentgesteine. E. Schweizerbart´scheVerlagsbuchhandlung,Stuttgart.
Galehouse, J.S., 1971. Sedimentation analysis. En: Carver, R.E. (Ed.), Procedures in Sedimentary Petrology: New York, Wiley-Interscience: 69-94.
Hand, B., 1967. Differentiation of beach and dune sands, using settling velocities of light and heavy minerals. Jour. Sed. Petrol., 37: 514-521.
Harrel, J.A. y K. A. Eriksson, 1979. Empirical conversion equations for thin-section and sieve derived size distribution parameters. Journal of Sedimentary Petrology 49: 273-280.
Inman, D.L., 1949. Sorting of sediments in the light fluid mechanics, Jour. Sed. Pet. 19: 51-70.
Krumbein, W. y F. Pettijohn, 1938. Manual of sedimentary petrology, Appleton-Century- Crofts Ed., 549 p.
Mason, C.C. y Folk, R.L., 1958. Differentiation of beach, dune and eolian flat environments by size analysis, Mustang Island, Texas. Jour. Sed. Petrol. 28: 211-226.
Mazzoni, M.M., 1973. El uso de las medidas estadísticas texturales en el estudio ambiental de arenas. MuseoLa Plata, Tesis 311.
Moss, A.J., 1963. The physical nature of common sandy and pebbly deposits: Part 2. American Journal of Science 261: 297-343.
Passega, R., 1957. Texture as characteristic of clastic deposition. Am. Asoc. Petrol. Geol. Bull., 41: 1952-1984.
Pettijohn, F.J., 1963. Rocas Sedimentarias. EUDEBA. Buenos Aires.
Reineck, H.E. y I.B. Singh, 1980. Depositional sedimentary environments. Springer-Verlag. Berlín. 549 p.
Rodrigo, L.A. y F. Coumes, 1973. Manual de sedimentología (Técnicas de Laboratorio), Univ. Mayor de San Andrés (UMSA, Bolivia), 151 p.
Spalletti, L.A., 1979. Análisis granulométrico de componentes pesados y livianos en arenas costeras bonaerenses, con especial referencia a los concentrados naturales de minerales pesados. Asoc. Min. Petr. Sed. Rev. 10: 23- 44.
Trask, P.D., 1932. Origin and Environment of Source Sediments in Petroleum. Gulf Publishing Company, Houston, Texas, 324 p.
Visher, 1967. The relation of grain size to sedimentary processes. Am.Assoc. Petrol. Geol. Bull. Vol.51,484 p.
Visher, 1969. Grain size distributions and depositional processes. Journ. Sed. Petrol., 39: 1074-1106.
Wentworth, C.K., 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. Journal of Geology 27: 377-392.

IV. PRÁCTICA NO.4: DESCRIPCIÓN DE ROCAS SEDIMENTARIAS (MUESTRAS DE MANO)

IV.1. Introducción

Las rocas sedimentarias están compuestas principalmente por silicatos derivados del intemperismo de rocas más antiguas. Las areniscas, conglomerados y lutitas son los tipos de rocas sedimentarias siliciclásticas. Este grupo de rocas son de especial interés para los geólogos, ya que proporcionan información sobre la historia de la tierra.

IV.2. Objetivo

El alumno clasificará y determinara los procesos que dieron lugar a la formación de las rocas sedimentarias siliciclásticas.

IV.3. Materiales

Roca sedimentaria siliciclástica, Lupa, lápiz, papel, colores

IV.4. Actividades

1- Describa 3 rocas siliciclásticas distintas, utilizando la guía adjunta para la descripción de Rocas Sedimentarias Epiclásticas/Piroclásticas.

IV.4.1. Guía para la descripción de rocas sedimentarias epiclásticas/piroclásticas

Por cada muestra de mano se procede a la caracterización sedimentológica teniendo encuentra los siguientes aspectos:

- **Textura**

✓**Tamaño de grano** medio y máximo, y selección de la sedimentita, con el auxilio de cartillas comparativas. Se recomienda escala y clasificación granulométrica de UddenWentworth (Pág. 18), y para la selección cartilla de Compton (1962; Pág. 3), basada en los criterios de Folk.

✓ Definir la presencia de matriz en psefitas y psamitas, y su abundancia (textura clasto o matriz soporte).

✓ Apreciar -en forma general- la porosidad de la sedimentita.

✓ Determinar la redondez y esfericidad de los clastos por comparación visual (recomendada la cartilla y valores de Powers, 1982; Pág. 3), en arenas con el auxilio de lupa binocular.

✓ Determinar por último la madurez textural, por combinación de selección y redondez, y con el empleo de los conceptos y límites de Folk (1951; Pág. 3).

- **Composición:** definida megascópicamente en el caso de materiales psefíticos y con la lupabinocular para areniscas y pelitas (epi y piroclásticas).

✓ Determinar tipos de componentes clásticos: líticos (naturaleza), cuarzo, feldespatos, glauconita, fragmentos esqueletales, vidrio volcánico, etc.; también la proporción y tipos de cementos.

✓ La consolidación de las rocas puede ser apreciada con el empleo de una escalarelativa con los siguientes términos: friable, poco consolidada, moderadamente consolidada, consolidada y muy consolidada.

- **Color**

✓ Definir mediante la tabla de colores (Rock Color Chart), e indicar si los mismos son homogéneos o muestran cambios sutiles y cómo se manifiestan.
✓ En caso de impregnación con hidrocarburos indicar su intensidad, sobre la base del grado de pigmentación de la sedimentita.

- **Estructuras sedimentarias**

✓ Definir las estructuras sedimentarias: primarias o mecánicas, químicas y biogénicas.
✓ Para cada caso indicar: denominación, escala o dimensiones, geometría, posición en el estrato, orientación relativa y todo otro rasgo que contribuya a su definición.

V. PRÁCTICA NO.5: ROCAS SEDIMENTARIAS SILICICLÁSTICAS: CLASIFICACIÓN E IDENTIFICACIÓN

V.1. Introducción

Los procesos de transporte y depositación generan una amplia variedad de rocas sedimentarias siliciclásticas y no siliciclásticas, cada una caracterizada por rasgos texturales y estructurales distintivos.Una de las clasificaciones más utilizadas en rocas siliciclásticas es aquella que se basa en la textura.

La textura sedimentaria se refiere a los rasgos que presentan las rocas sedimentarias: tamaño, forma y orientación de los granos individuales del sedimento. Las texturas reflejan la naturaleza del transporte y procesos depositacionales y su caracterización puede ayudar en la interpretación de ambientes antiguos.

El tamaño de grano es un atributo fundamental de las rocas sedimentarias siliciclásticas. La escala del tamaño de grano más usada universalmente por los sedimentólogos es la Udden-Wentworth; con ella, se establece el tamaño de las partículas (Tabla 9).

La forma es otro de los parámetros texturales; se refiere a la configuración de las partículas, que reflejan cambios en sus proporciones (longitud de sus ejes principales) (Fig. 7). La forma es a veces confundida con la redondez, la cual es una medida de picudez de las equinas de los granos.

Otro de los parámetros es la selección. La selección del grano de una población es una medida del rango del tamaño del grano que presenta y la magnitud de la distribución de este tamaño en el promedio general de tamaño. La selección puede estimarse en el laboratorio, usando una lupa de mano, microscopio o con base en una tabla (Fig.8). La expresión matemática de la selección es la

Desviación Estándar.
Cuando las rocas sedimentarias se encuentran compuestas principalmente por partículas derivadas del intemperismo de rocas pre-existentes y rocas volcánicas son llamadas rocas sedimentarias siliciclásticas. A este grupo corresponden los conglomerados, areniscas ylutitas. Si el depósito no estálitificado tendremos gravas, arenas y limo-arcillas.
Los constituyentes mineralógicos principales de las rocas sedimentarias siliciclásticas son el cuarzo, el feldespato, los fragmentos líticos y la matriz. Cada uno de éstos se describe en la tabla 10.

V.2.Diagramas Ternarios

Las rocas sedimentarias siliciclásticas pueden ser clasificadas tomando en cuenta dos de los diagramas ternarios, el de composición y el de textura (Fig.9), los cuales pueden ser usados de manera separada (Por ejemplo, si el diagrama es de textura nuestra roca será una arenisca pero si usamos el de composición será una arcosa), o podemos usar ambos diagramas y tendremos (arenisca –arcosa).
Los diagramas ternarios se usan en muchos aspectos dentro de la geología (clasificación de suelos, de rocas ígneas y de rocas sedimentarias). Estos diagramas ofrecen varias ventajas:

1. Se pueden incorporar tres de los cuatro componentes de la clasificación de rocas sedimentarias (feldespatos, líticos, cuarzo y/o matriz).
2. Facilitan la ilustración y comparación en la composición de todas las rocas sedimentarias intermedias.
3. El nombre de la roca sedimentaria no es nada más descriptivo, se puede identificar con mayor o menor precisión, dependiendo como se desee.
4. Se realiza con ellos la mejor interpretación.
5. El sistema ternario es fácil de usar y modificar según el propósito.

V.3. Lectura de diagramas ternarios

La figura I (Fig.10)¿CUÁLES SON ESTAS FIGURAS A QUE SE HACE REFERENCIA? es un diagrama ternario con ápices A, B, C, los cuales pueden significar composición. La figura II representa la estructura del triángulo, y presenta un punto A, el cual marca una línea vertical; a lo largo de ésta se indican con barras horizontales los porcentajes de A. El punto más cercano a A, marcado con una línea horizontal, indica el 100%, y el más lejano el 0%. En la Figura III el punto B se encuentra en la parte inferior izquierda del triángulo, y los porcentajes están marcados con líneas inclinadas que parten de afuera del triángulo.
En la figura IV la línea C está dividida por barras que indican el porcentaje de abundancia de C y estas barras se extienden afuera de los lados del triángulo.
La Figura I muestra algunos ejemplos con los siguientes porcentajes:

a) 70% A; 10% B; 20% C = 100%
b) 30% A; 35% B; 35% C = 100%
c) 0% A; 70% B; 30% C = 100%

V.4. Objetivos

1. Aprender a identificar los constituyentes mineralógicos de las rocas sedimentarias siliciclásticas.
2. Analizar las rocas sedimentarias siliciclásticas con base en sus propiedades (tamaño de grano, selección de grano, forma de grano, composición visible de los granos, madurez y color).
3. Estimar el porcentaje de abundancia de cada componente mineralógico en el microscopio.
4. Identificar la roca sedimentaria siliciclástica usando diagramas ternarios.

V.5. Materiales

- Roca sedimentaria (conglomerado, arenisca, lutita), o en su caso gravas, arenas y limo-arcillas
- Lupa de mano (10x)
- Ácido clorhídrico diluido al 10%
- Microscopio estereoscópico
- Lápiz de dureza
- Lápiz, colores, borrador, sacapuntas

V.6. Procedimiento

1. Análisis de la roca sedimentaria

Se le proporcionará al alumno una muestra de roca sedimentaria siliciclástica (arenisca, conglomerado o lutita) para su análisis.

El alumno analizará la roca tomando en cuenta:

a. Tamaño de Grano: se basará en la tabla 9

b. Forma del grano: Se basara en la Fig.7.

c. Selección del grano: se basará en la Fig.8.

d. Composición visible de los granos: identificará los componentes de la roca (cuarzo, feldespatos, fragmentos líticos, matriz (limo/arcilla). Usará una lupa de mano o microscopio, examinando solamente la superficie de la roca.

e. Madurez: Utilizará la figura7 para determinar la madurez de la roca.

f. Reacción al ácido: Aplicará una gota de HCL diluido al 10% sobre la roca sedimentaria siliciclástica para ver si reacciona.

g. Color: Observará el color de la roca fresca y de la roca en superficie.

h. Con base en los rasgos texturales y composición (Fig.11), identificará la roca y escribirá su nombre en la figura 12.

Nota: Para mejores resultados el alumno deberá observar primero la roca sin mojarla (seca) y anotar la mayor información posible que observe. Posteriormente la mojará y rectificará la información antes descrita.

Representa en el triángulo adjunto:

1) A: 70-80 %; B: 5 -15%; C: 10-20%

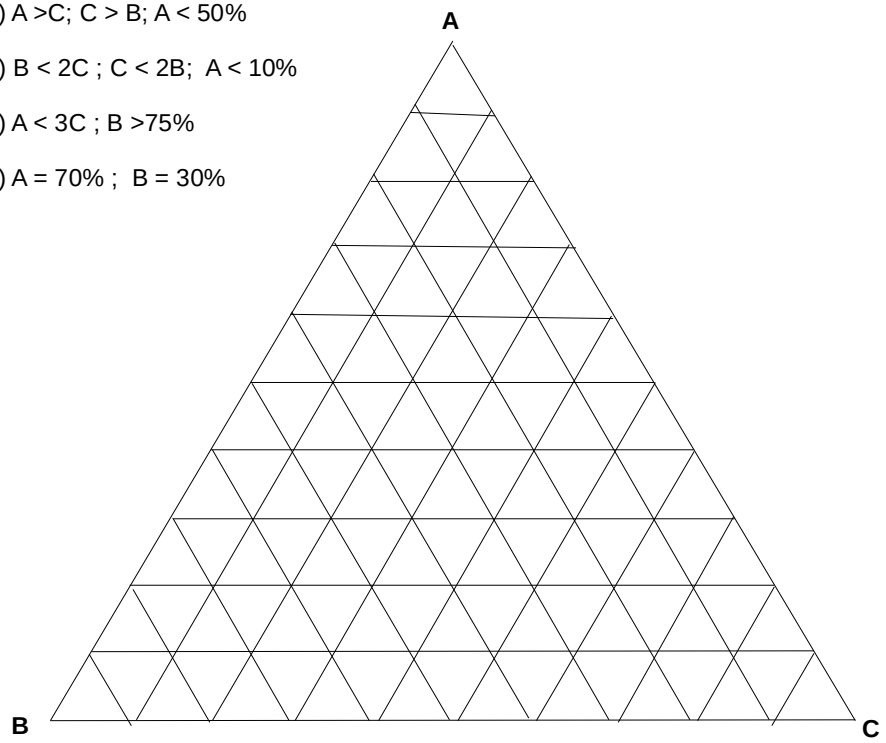
2) A= 15%; B= 40%; C= 10%

3) A >C; C > B; A < 50%

4) B < 2C ; C < 2B; A < 10%

5) A < 3C ; B >75%

6) A = 70% ; B = 30%



Una vez que haya realizado el análisis de la roca sedimentaria siliciclástica, el alumno deberá dirigirse al profesor para que revise su trabajo.

2. Estimación del porcentaje de abundancia de los componentes de la roca sedimentaria

El alumno usará la figura 13, en donde estimará la abundancia de cada componente en el microscopio estereoscópico. Estimará el porcentaje de matriz con muestra de roca seca.

Defina los elementos siguientes:

1) _____

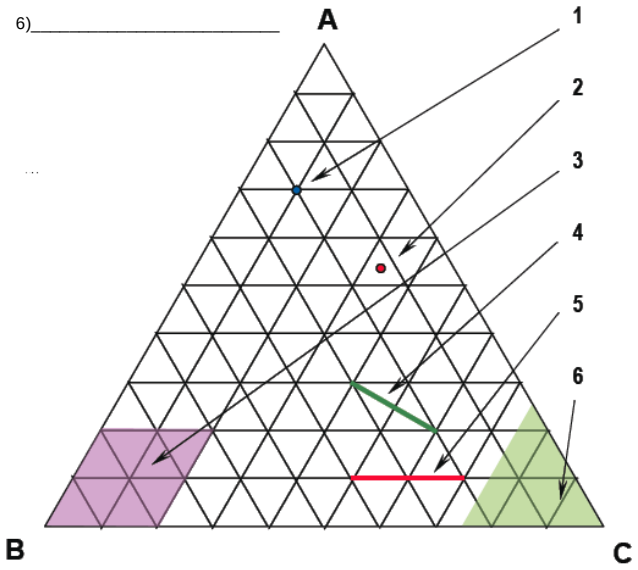
2) _____

3) _____

4)_____

5)_____

6)_____



3. Clasificación de rocas sedimentarias siliciclásticas con base en diagramas ternarios

Tomando como base los datos obtenidos en el análisis de la roca sedimentaria siliciclástica el alumno vaciará los datos en la figura 20. Observando los diagramas determinará el nombre de la roca sedimentaria siliciclástica. Para ello deberá tomar en cuenta la figura 19.

Representa en el triángulo adjunto:

1) A= 55%; B= 25%; C= 20%

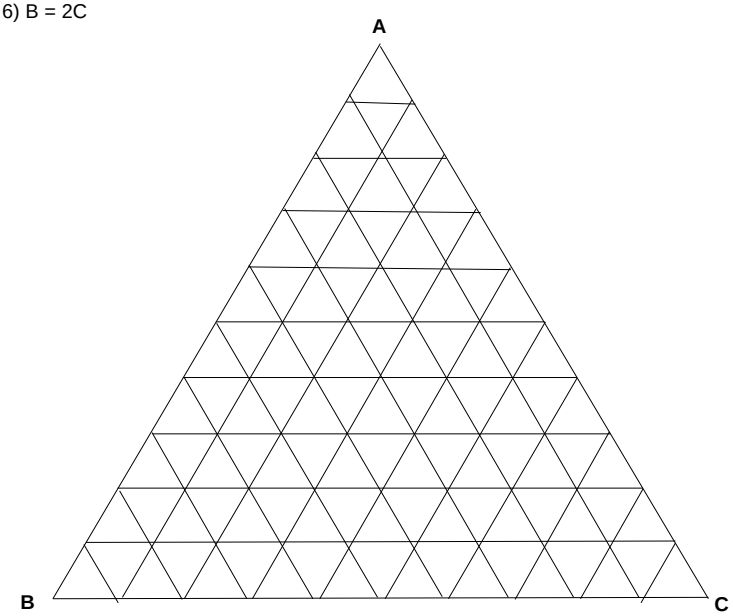
2) A=B; C< 60%

3) C > 75%

4) A= 60% ; B> C

5) A = 22% ; B = 12% ; C= 66%

6) B = 2C



Nota: Enseñe su trabajo al instructor.

Defina los elementos siguientes:

1) _____

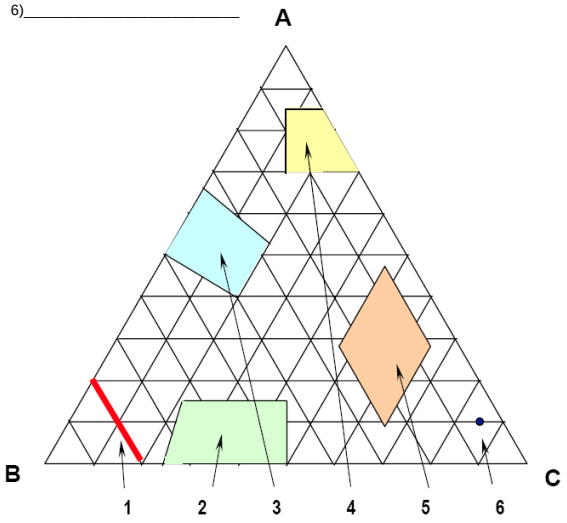
2) _____

3) _____

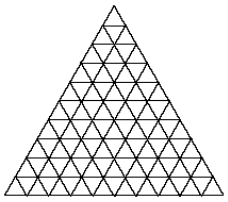
4)_____

5)_____

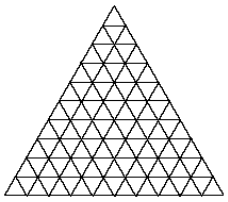
6)_____



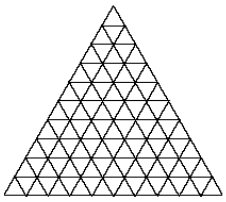
De acuerdo con la clasificación de Folk, dibuja los límites entre areniscas, limolitas y arcillitas (1), señala el campo de las areniscas lodosas (2) y de las lutitas (s.s.) (3).



(1)

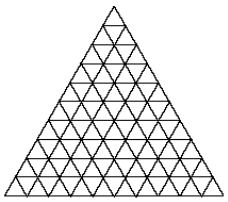


(2)

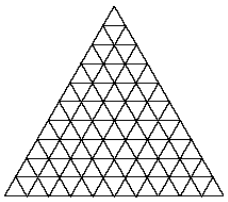


(3)

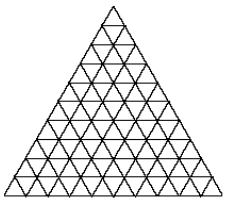
De acuerdo con la clasificación de Pettijohn, dibuja los límites entre ortocuarcitas, arcosas y litarenitas (1), señala el campo de las subarcosas (2) y de las arenitas líticas (3).



(1)



(2)

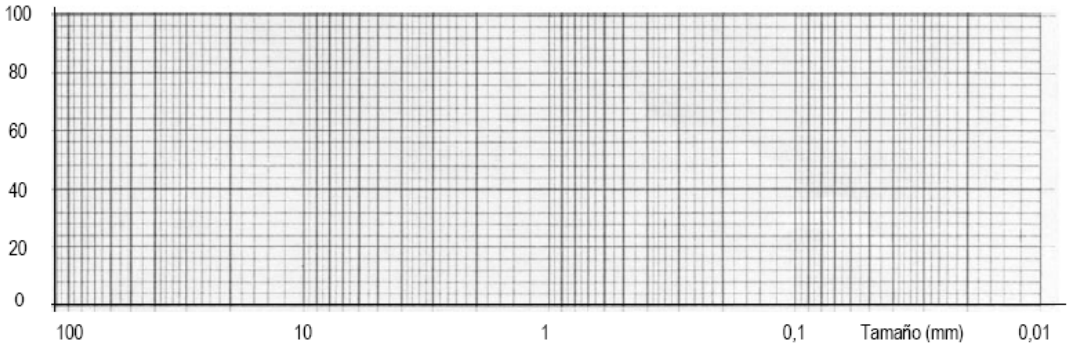


(3)

Se ha realizado el estudio granulométrico de una serie detrítica con los siguientes resultados:

Tamaño Luz de malla (mm)	Muestra A			Muestra B			Muestra C		
	Masa (g)	Masa acumulada (g)	Porcentaje acumulado (%)	Masa (g)	Masa acumulada (g)	Porcentaje acumulado (%)	Masa (g)	Masa acumulada (g)	Porcentaje acumulado (%)
30	0			0			0		
20	1,1			0			0		
12	2,8			0			0		
8	1,9			0			0		
6	2,0			0			0		
4	3,9			0			0		
3	3,7			1			0		
2	8,2			1,6			0		
1,5	8,5			3,4			0		
1,0	6,1			9,1			0,1		
0,6	3,9			20			0,3		
0,4	1,8			16			2,0		
0,3	1,2			5,4			3,2		
0,2	2,0			6,3			20,0		
0,12	1,2			4,7			16,3		
0,09	0,6			2,5			2,5		
0,06	0,4			1,4			0,8		

a) Representa las curvas de distribución de tamaño de grano de las tres muestras:



b) A partir de dichas curvas indica los siguiente:

	Muestra A	Muestra B	Muestra C
Cuartil Q_1			
Mediana Q_2			
Cuartil Q_3			
Media $(Q_1 + Q_3) / 2$			
Calibrado $(Q_1 / Q_3)^{1/2}$			
Sesgo $((Q_1 \cdot Q_3) / Q_2^2)^{1/2}$			
Muestra de mayor tamaño			
Muestra mejor calibrada			
Muestra más asimétrica			

c) Sitúa las muestras en el triángulo adjunto e indica su denominación según Compton-Folk:

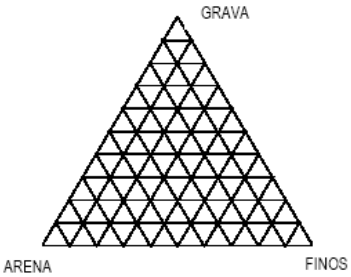
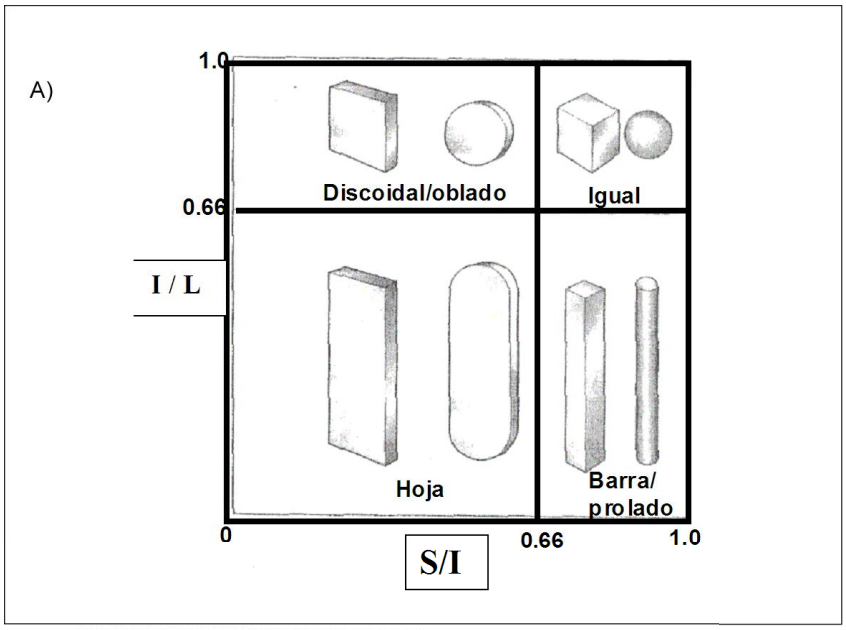
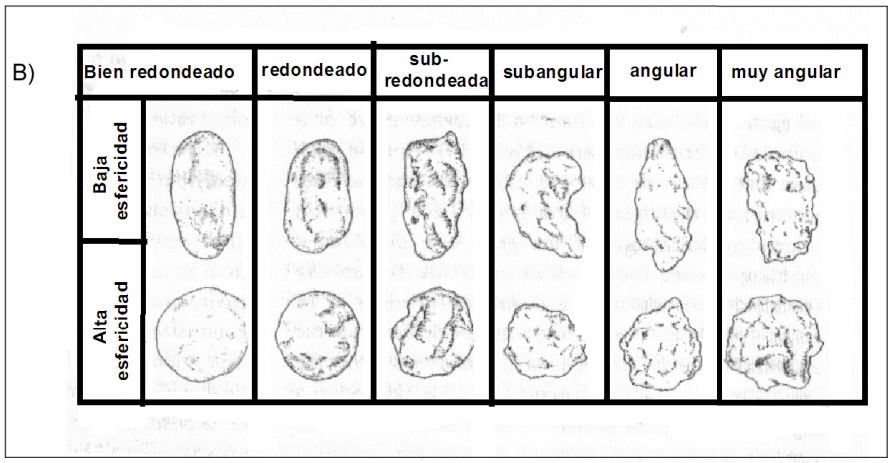


Tabla 9. Escala de tamaño de grano (Udden 1914; Wentworth, 1922)


A)
1.0
0.66
I / L
Discoidal/oblado
Igual
Hoja
Barra/
prolado
0
0.66
1.0
S/I


B)
Bien redondeado
redondeado
sub-
redondeada
subangular
angular
muy angular
Baja
esfericidad
Alta
esfericidad

mm	phi	NOMBRE	
256	- 8	Bloque	
128	- 7		
64	- 6	Cantos	
32	- 5		
16	- 4		
8	- 3	Gravas	
4	- 2		
2	- 1	Gránulos	
1	0	arenas muy gruesas	
0.5	1	arenas gruesas	
0.25	2	arenas medias	
0.125	3	arenas finas	
0.063	4	arenas muy finas	
0.031	5	limos gruesos	
0.0156	6	limos medios	
0.0078	7	limos finos	
0.0039	8	limos muy finos	
		arcillas	

Figura 7. A) Forma de grano después de Tucker, 1991 y B) Forma de grano después de Pettijohn*et al*., 1987.

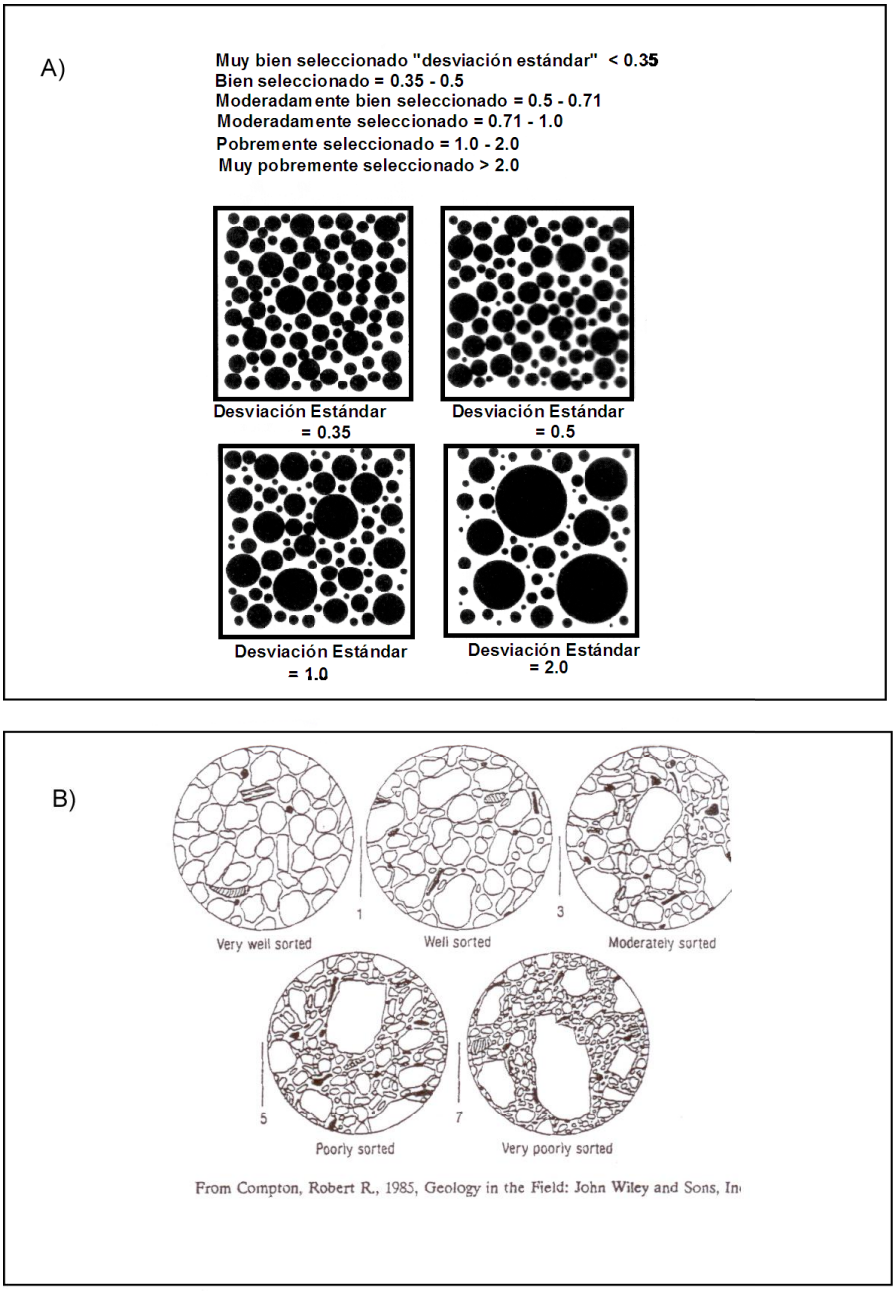


Figura 8. A) Escala usada para la estimación de la selección (Harrell, 1984); B)(Fichter y Poché, 1993).

COMPOSICIÓN DE LAS ROCAS SEDIMENTARIAS SILICICLÁSTICAS
CUARZO. Es considerado como uno de los componentes más importantes de las rocas sedimentarias. Es raro encontrar areniscas constituidas por puro cuarzo, el cual generalmente se encuentra mezclado con otros elementos.
FELDESPATO. Los feldespatos son uno de los minerales más abundantes en la corteza terrestre. Casi todas las rocas ígneas presentan feldespatos, ya sea plagioclasa cálcica en gabros, plagioclasa sódica y ortoclasa en granitos. Las rocas metamórficas de medio a alto grado también presentan porcentajes de feldespatos.
FRAGMENTOS LÍTICOS. Si las partículas siliciclásticas no son de cuarzo o feldespato, son clasificadas como fragmentos líticos. Lítico significa hecho de roca o que contiene roca. Frecuentemente se presentan de tamaño pequeño, de color obscuro y difícil o imposible de identificar en muestra de mano. A excepción de los conglomerados y brechas, los fragmentos líticos abundan en sistemas de arco volcánico y son comunes en la mayoría de las orogenias de colisión.
MATRIZ: limos y arcillas. La matriz es un material fino en el cual las partículas grandes están embebidas en el material fino. ¿NO ES REDUNDANTE?

Tabla 10. Componentes de las rocas sedimentarias siliciclásticas (Fichter y Poché, 1993)

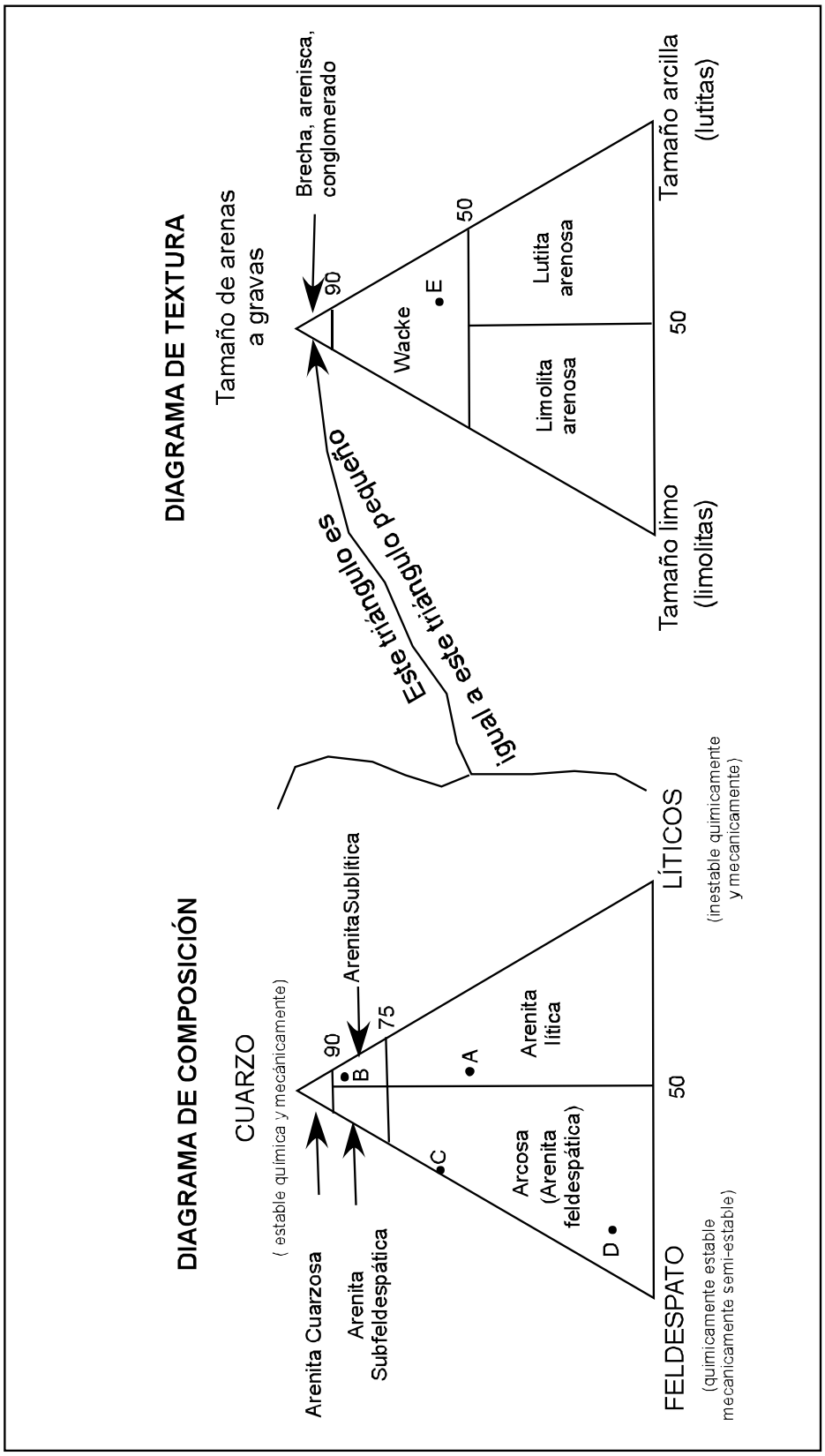


Figura 9. Identificación de rocas siliciclásticas: textura y composición

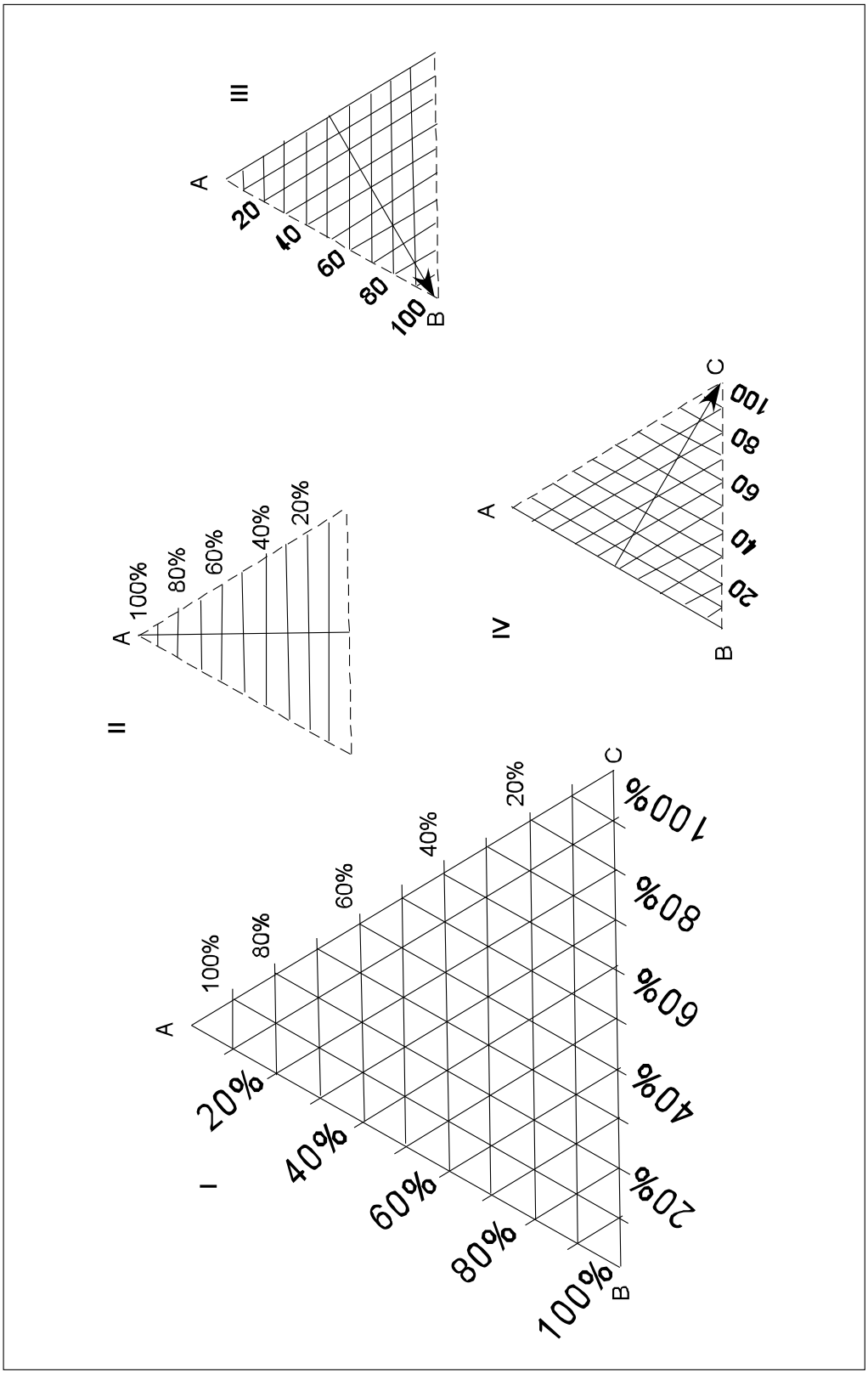


Figura 10. Lectura de los diagramas ternarios I, II, III, IV

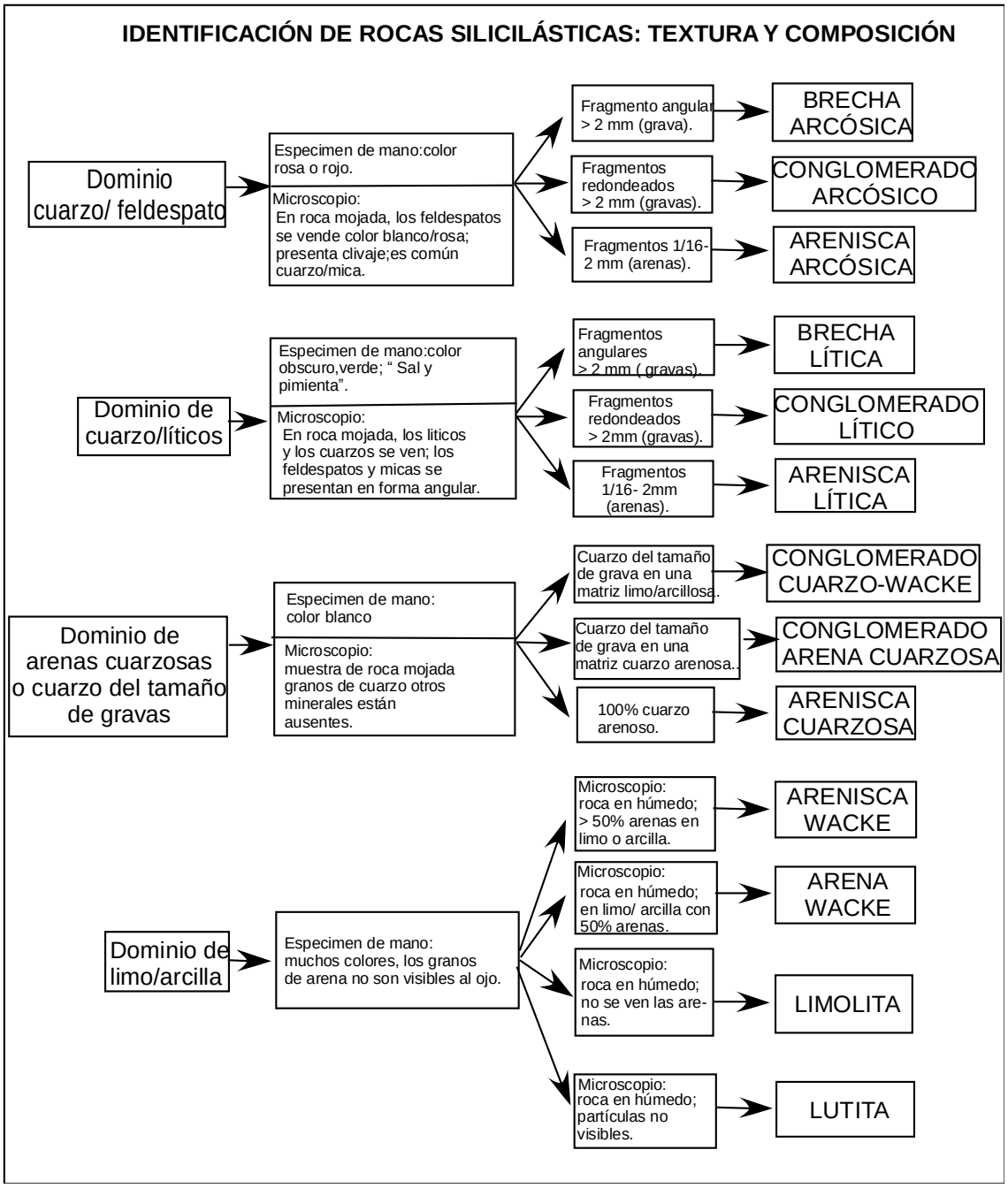


Figura 11. Identificación de rocas siliciclásticas: textura y composición (Fichter, Farmer y Clay, 1991)

ROCAS SEDIMENTARIAS SILICICLÁSTICAS

Tamaño de grano	Abundancia grano _____ % Cuarzo _____ % Feldespato _____ % Líticos % Total	Color de la roca	Diagrama (QFL)
Selección de grano		Color de intemperismo	
		Reacción con el ácido	
Forma de grano	Abundancia matriz	Otro	Nombre de la roca
	Madurez		

ROCAS SEDIMENTARIAS SILICICLÁSTICAS

Tamaño de grano	Abundancia grano _____ % Cuarzo _____ % Feldespato _____ % Líticos % Total	Color de la roca	Diagrama (QFL)
Selección de grano		Color de intemperismo	
		Reacción con el ácido	
Forma de grano	Abundancia matriz	Otro	Nombre de la roca
	Madurez		

ROCAS SEDIMENTARIAS SILICICLÁSTICAS

Tamaño de grano	Abundancia grano _____ % Cuarzo _____ % Feldespato _____ % Líticos % Total	Color de la roca	Diagrama (QFL)
Selección de grano		Color de intemperismo	
		Reacción con el ácido	
Forma de grano	Abundancia matriz	Otro	Nombre de la roca
	Madurez		

ROCAS SEDIMENTARIAS SILICICLÁSTICAS

Tamaño de grano	Abundancia grano _____ % Cuarzo _____ % Feldespato _____ % Líticos % Total	Color de la roca	Diagrama (QFL)
Selección de grano		Color de intemperismo	
		Reacción con el ácido	
Forma de grano	Abundancia matriz	Otro	Nombre de la roca
	Madurez		

Figura 12. Formato de datos para rocas siliciclásticas (Fichter y Poché, 1993)

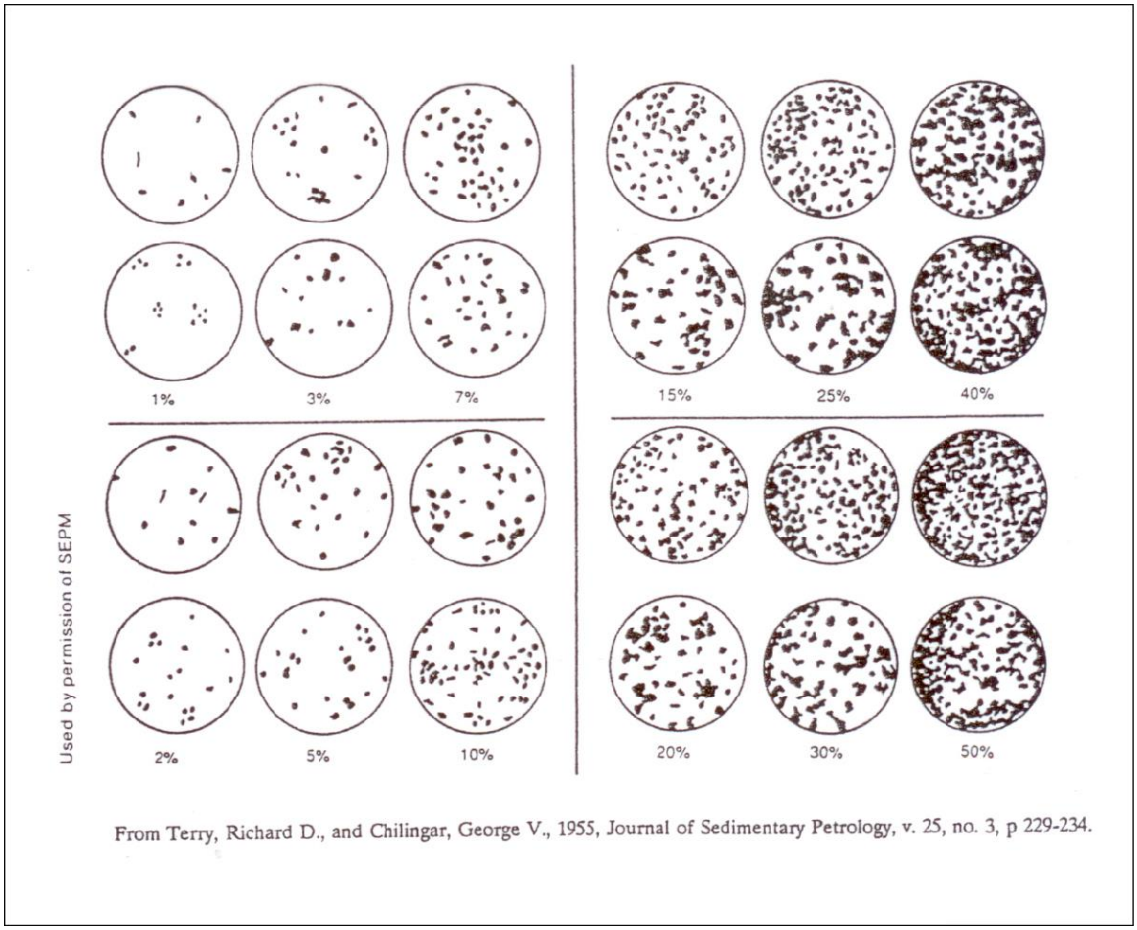


Figura 13. Porcentaje de abundancia

V.7. Bibliografía

Folk, R.L., 1966. Arereview of grain-size parameters, Sedimentology 6 829:73-93.
Folk, R.L., 1968. Petrology of sedimentary rocks, 2da. edc., Hemphill's Ed. 170 p.
Folk, R.L. y W.C. Ward, 1957. Brazosriverbar: a study in the significance of grain size parameters. Jour. Sed. Petrol.,37 (2): 514-521.
Pettijohn, F.J., 1963. Rocas Sedimentarias. EUDEBA. Buenos Aires.
Passega, R., 1957. Texture as characteristic of clastic deposition. Am. Asoc. Petrol. Geol. Bull., 41: 1952-1984.

VI. PRÁCTICA NO.6: ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS Y AMBIENTES DE DEPÓSITO

VI.1. Introducción

Las estructuras sedimentarias son rasgos que presentan las rocas sedimentarias y que nos proporcionan información sobre las condiciones de transporte y depositación. Hay una gran variedad de estructuras sedimentarias: laminación paralela, estratificación cruzada, ondulitas, grietas de desecación, etc. Dichas estructuras se forman por una variedad de procesos sedimentarios, como condiciones de flujo, gravedad, deformación y actividad biogénica. Las estructuras primarias son de gran interés, ya que constituyen una herramienta para interpretar ambientes sedimentarios antiguos, mecanismos de transporte, dirección de paleocorrientes, relativa profundidad del agua y velocidad relativa del flujo.

VI.2.Objetivos

1. Reconocer y diferenciar las estructuras sedimentarias primarias. Interpretar los ambientes sedimentarios que las originaron.
2. Aprender a llevar un registro de las estructuras sedimentarias que se encuentran a lo largo de una sección, ser capaz de correlacionarlas con otras secciones vecinas y determinar la extensión del ambiente sedimentario que las generó.

VI.3.Equipo y materiales.

Esta práctica se desarrolla en el campo y en el salón de clase; en la práctica de campo el alumno deberá llevar ropa adecuada a la estación y el siguiente material: mochila, martillo de geólogo, bolsas para muestras, marcadores permanentes, brújula, lupa, báculo de Jacob, cinta, frasco con HCL, posicionador (GPS), libreta de campo, cartas topográficas específicas, cámara fotográfica y otros.

VI.4.Actividades

a) Hacer un reconocimiento megascópico y fotográfico de estructuras mecánicas y biogénicas. Proporcionado por el profesor.

b) En el caso de las estructuras mecánicas que correspondan, determinar qué forma de lecho sería responsable de su formación. Considerando el tamaño de grano de la muestra y la forma de lecho responsable de la estructura que describió, estimar el rango de velocidad bajo el que se podría haber depositado (utilizar el diagrama de velocidad media vs. tamaño de grano medio).

c) Analizar la descripción de las estructuras mecánicas de las areniscas cruzadas. Determinar las formas de lecho responsables de su generación. Utilizar el diagrama velocidad media vs tamaño de grano medio para estimar los rangos de velocidades necesarios para desarrollar dichas formas de lecho y los regímenes de flujo correspondientes.

d) Generar, si es posible, ondulas como forma de lecho si la granulometría es de Ø -1.

e) Analizar el gráfico tridimensional de las relaciones entre profundidad, tamaño de grano y velocidad del flujo y discutir las variaciones en los campos definidos para cada forma delecho.

VI.5.Análisis de los resultados

i) Sobre la base de los campos de estabilidad de las megaóndulas 2D y 3D, sugiera cuáles la que más comúnmente se desarrollaría y por qué. Discuta cuáles podrían ser las implicaciones para el registro geológico de estratificaciones cruzadas.
ii) ¿Por qué el diagrama de Velocidad Media vsTamaño de Grano Medio no incluye granulometrías inferiores a Ø 5?
iii) ¿En qué tipo de ambientes de acumulación podría ser proclive el desarrollo de capaplana de alto régimen? ¿Por qué?
iv) El diagrama de Velocidad Media vs Tamaño de Grano Medio aplica a flujos Unidireccionales. Si un determinado tamaño de grano fuese transportado y acumulado por flujos en donde se combinaran una componente unidireccional y otra oscilatoria (que representa un tipo de flujo combinado), ¿podrían existir formas de lecho diferentes?, ¿cuáles?, ¿por qué?

VII. PRÁCTICA NO.7. ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS Y ANÁLISIS DE PALEOCORRIENTES

VII.1. Introducción

Muchas estructuras sedimentarias primarias muestran la dirección del paleoflujo en el tiempo de su depositación. Estratificación cruzada, ondulitas, *flutecasts*, *Groove casts,* son algunos de los ejemplos de estructuras primarias que indican la dirección del paleoflujo.

VII.2. Objetivo

El alumno identificará estructuras primarias y determinará la dirección del paleoflujo que actuó durante la depositación y formación de dichas estructuras.

VII.3.Actividades

a) Representar por proyección estereográfica (diagrama de puntos) los datos de orientación de las capas entrecruzadas correspondientes a las secciones II y IV.
Sección II
Las capas frontales de los cuerpos entrecruzados presentan la siguiente orientación:
123/30, 140/22, 178/15, 172/28, 145/25, 137/28, 139/25 y 160/30.

Metros desde la base	Rumbo de buzamiento	buzamiento
208	285	20
196	297	14
190	277	18
173	260	17
172	266	23
170	261	18
168	266	15
134	244	17
131	256	30
130	253	21
128	244	11
85	240	15
79	233	16
69	235	12

Tabla 11. Sección IV.

b) Representar en un histograma circular la orientación de crestas de óndulas correspondientes al intervalo III. Definir y representar gráficamente el vector promedio de paleocorrientes.
Intervalo III: En los planos de estratificación hay óndulas asimétricas (índice de óndula de 12 a 17), de las que se obtuvieron los siguientes datos de orientación (uno por cada plano de estratificación): 125-305, 125-305, 160-340, 142-322, 140-320, 115-295, 117-297, 142-322, 133-313, 123-303, 142-322, 163-343, 155-335, 142-322, 112-292, 110-290, 108-288, 106- 286 y 110-290. Las caras de avalancha inclinan al SW y las rampas hacia el NE.

c) Calcular los vectores de paleocorrientes (orientación) y la desviación de la media de acuerdo con las siguientes ecuaciones:

$$\text{Tan}\phi = \frac{\sum \text{Sin}\phi}{\sum \text{Cos}\phi}$$

$$S = \frac{\sqrt{(\sum \text{Cos}\phi)^2 + (\sum \text{Sin}\phi)^2}}{\Pi}$$

Tabla 12. Signos de senos y cosenos según cuadrante y definición del rumbo de buzamiento a partir de los valores calculados

Cuadrante	Seno (Sin)	Coseno (Cos)	Rumbo de buzamiento
0 – 90°	+	+	Valor determinado
90° - 180°	+	-	180° - valor determinado
180° - 270°	-	-	180° + valor determinado
270° - 360°	-	+	360°- valor determinado

VII.4.Análisis de los resultados

a) Comparar las orientaciones de las paleocorrientes obtenidas para las secciones II, III y IV. Señalar los cambios en el azimut, así como los de la inclinación de las capas entrecruzadas en las secciones II y IV.

b) A partir de los agentes de transporte y depositación inferidos para cada intervalo estratigráfico, indicar qué datos de paleocorrientes permiten inferir la paleo-pendiente.

c) Observar las tendencias individuales (en sentido vertical) de los datos de orientación decapas entrecruzadas correspondientes al intervalo estratigráfico. d) Explicar las posibles razones a las que se podría deber una variación sistemática.

VIII. PRÁCTICA NO.8: PERFILES SEDIMENTOLÓGICOS

VIII.1. Introducción

Los perfiles sedimentológicos permiten visualizar y analizar todos aquellos rasgos texturales (Forma, tamaño, color), estructuras primarias, fósiles, rumbo y echado de las capas en un perfil, con la finalidad de determinar el ambiente de depósito.

VIII.2. Objetivo

El alumno aprenderá a levantar perfiles sedimentológicos. Será capaz de definir el ambiente.

VIII.3. Materiales

Lápiz, papel, colores, columna estratigráfica

VIII.4. Actividades

1. Confeccione un perfil sedimentológico a partir de los siguientes datos, usando las simbologías de las figuras 40 y 41.OJO. ¿CUÁLES SON?

BASE

a. 22m. Muestra (A), con trazas fósiles (*Planolites*y *Chondrites*), fósiles invertebrados (braquiópodos, moluscos infaunales), peces, briznas vegetales (*Cycadales*y *Benetitales*).
b. 12m. Alternancia de pelitas laminadas y areniscas finas con laminación entrecruzada en niveles decimétricos, con trazas fósiles (*Planolites, Palaeophycus, Scolicia, Arenicolites*y *Chondrites*), fósiles invertebrados (braquiópodos, moluscos), anfibios y frondes (*Cycadales, Equisetales* y *Benetitales*).
c. 20 cm. Muestra (B) con estratificación entrecruzada
d. 60 cm. *Ídem* b)
e. 20 cm.*Ídem* c)
f. 60 cm. *Ídem* b)
g. 20 cm.)*Ídem*. Con trazas de *Phycodes*en la base y frondes (*Cycadales, Equisetales* y *Benetitales*)
h. 40 cm. *Ídem*b), con el agregado de un ejemplar articulado de *Crosopterigi*
i. 20 cm. *Ídem* g)
j. 30 cm. *Ídem*g)
k. 20 cm. *Ídem*b)
l. 40 cm. *Ídem* g) con troncos de *Cycadales*
m. 10 cm. *Ídem*b)
n. 40 cm. *Ídem*g) con predominancia de *Arenicolites*y *Chondrites*en el techo
o. 10 cm. *Ídem*g)

2. p) 1.20m. Estrato que comienza con 30 cm de (C), pasa a 75 cm de (D) con estratificación entrecruzada y culmina con 15 cm de (E) con óndulas asimétricas.

a. 30 cm.*Ídem* b)
b. 20 cm.*Ídem* n)
c. 30 cm. *Ídem*n)
d. 20 cm. *Ídem*b)

e. 40 cm. *Ídem*n)
f. 50 cm. Muestra (F) con algunas intercalaciones delgadas de vaques finos con trazas fósiles de *Graphoglyptidos* y abundantes fósiles invertebrados.

2. Determine las *facies* sedimentarias presentes. Descríbalas y denomínelas.
3. Analice cada *facies* y conteste las siguientes preguntas.
   a) ¿Cuáles fueron los niveles de energía para cada *facies*?
   b) ¿Existen cambios en el nivel de energía a lo largo del perfil?
   c) En caso afirmativo, trace una curva en el perfil de baja, moderada y alta energía.
   d) ¿Los ambientes sedimentarios involucrados son marinos, continentales o ambos?
   e) ¿Existen cambios notorios del nivel del mar a lo largo del perfil?
   f) ¿A qué edad del registro geológico correspondería la sección estudiada? ¿Por qué?

4. Se tiene una sección geológica subhorizontal constituida de base a techo por los siguientes términos:

BASE:
INTERVALO I.705 m. Sucesión eminentemente pelítica, caracterizada por un intervalo inferior con alto predominio de arcillitas y fangolitas gris oscuro a gris claro, y un intervalo superior en donde dominan pelitas y areniscas finamente estratificadas. En estos conjuntos heterolíticos es común el desarrollo de estructuras mixtas (la más común es la lentiforme) y abundantes bioturbaciones epichnias y endichnias. En forma subordinada intercalan capas de areniscas finas a muy finas, típicamente con gradación normal y hasta 1 m de espesor.

Hacia el techo (últimos 50 metros) se aprecia pasaje gradual a limolitas y areniscas finas bioturbadas y con óndulas de olas, en donde se reconocen bioclastos de organismos de aguas eurihalinas.

En la fracción limo se determinaron partículas de cuarzo subhedrales y límpidas,plagioclasazonada y vidrio volcánico. La composición de las arcillas se presenta en la siguiente tabla, donde también se incluyen la posición de los picos de I/S, el porcentaje de capas expansivas y el índice de cristalinidad de la illita.

Muestra (m de base)		Es%	I%	Cl%	K%	I/S %	Capas expansivas %	IC illita
Techo	I-9 (700 m)	60	15	25	0	0	-	-
	I-8 (610 m)	60	20	0	0	20	80	1.65
	I-7 (497 m)	40	0	20	0	40	70	1.24
	I-6 (365 m)	60	0	0	15	25	68	1.04
	I-5 (280 m)	80	0	0	10	10	60	0.85
	I-4 (210 m)	10	0	60	0	30	40	0.72
	I-3 (160 m)	0	0	20	0	80	45	0.63
	I-2 (75m)	0	20	40	0	40	40	0.57
Base	I-1 (2m)	0	60	20	0	20	25	0.42

Tabla 13. Composición de las pelitas de la sección (Es: Esmectita, I: Illita, Cl: Clorita, K: Caolinita, I/S: InterestratificadosIllita/Esmectita, IC: Índice de Cristalinidad de Illita)

Con el objeto de proceder a la clasificación de las rocas pelíticas, se ha determinado en algunas muestras la proporción de limo y arcillas así como sus estructuras sedimentarias. Ver tabla 14 siguiente.

Muestra		Limo %	Estruc-turas	SiO2%	K 2O%	Na2O %	Sc ppm	%	Th ppm	%	Zr/10	
											Ppm	%
Techo	I-9	74	Maciza	64.22	4.97	1.16	30	24	50	40	45	36
	I-8	39	Maciza	62.08	4.83	1.42	32	23.7	55	41	48	35
	I-7	43	Maciza	62.79	6.5	0.74	35	27.6	49	39	43	34
	I-6	47	Lamina-ción	45.2	4.29	1.8	28	22.2	60	48	38	30
	I-5	40	Maciza	61.36	5.06	1.2	31	23.8	57	44	42	32
	I-4	35	Fisilidad	58.96	5.22	1.09	34	30.9	42	38	34	31
	I-3	46	Maciza	62.41	4.84	1.11	29	22.7	53	41	46	36
	I-2	18	Fisilidad	63.21	4.55	1.23	30	27	51	46	30	27
Base	I-1	11	Fisilidad	58.55	4.27	0.73	23	22.5	59	58	20	20

Tabla14. Datos sobre textura, estructuras y composición de las muestras del intervalo I

INTERVALO III. ¿NO HAY INTERVALO II?142 m. Psamitas medianas a finas y limolitas en capas tabulares delgadas (0.2 a 0.5 m) con abundante estructura microentrecruzada y óndulas. Son frecuentes algunas secuencias granodecrecientes.

La forma de los clastos va desubredondeada a subangulosa. La composición de la fracción de arena muy fina es: 20% líticos volcánicos, 35% plagioclasas zonales y ortoclasa subordinada, 25% cuarzo monocristalino, 18% vidrio volcánico y 2% minerales pesados.

En los planos de estratificación hay óndulas asimétricas (índice de óndula = 12 a 17),de las que se obtuvieron los siguientes datos de orientación (uno por cada plano deestratificación): 125-305, 125-305, 160-340, 142-322, 140-320, 115-295, 117-297, 142-322, 133-313, 123-303, 142-322, 163-343, 155-335, 142-322, 112-292, 110-290, 108-288, 106- 286 y 110-290. Las caras de avalancha se inclinan al SO y las rampas hacia el NE.

Corresponde a este intervalo la muestra RC3 y los datos complementarios de las tablas siguientes(Tablas 15 y 16).

Tamaño	RB4	RC3	23C	40ª
φ	%acumulativo	%acumulativo	%acumulativo	%acumulativo
-1.5	5.04			
-1	6.16			
-0.5	23.14			
0	26.57	0.62		
0.5	14.92	1.41		
1	5.57	5.04		0.29
1.5	2.11	5.37		0.38
2	3.11	9.81	0.06	6.63
2.5	4.18	14.87	0.08	38.63
3	4.12	20.65	0.34	45.39
3.5	1.60	13.19	0.43	4.31
4	1.04	10.02	2.11	2.02
4.5	1.99	2.45	4.42	1.80
5	0.18	2.57	27.79	
5.5		6.51	16.77	
6		2.39	16.15	
6.5		1.86	13.43	
7		1.71	4.44	
8		1.14	5.18	

9		0.37	4.43	
10			2.15	
11			2.19	
>11				

Tabla 16

A		**B**		**C**	
C	M	C	M	C	M
-3.10	2.80	2.20	3.50	3.10	4.20
-2.80	2.30	1.50	3.10	3.20	4.30
-2.50	2.50	1.85	3.60	3.15	5.10
0.70	1.30	3.50	5.20	3.25	5.30
0.80	2.20	1.30	2.40	3.20	6.10
2.00	2.80	3.25	5.30	3.50	4.70
-2.50	- 0.20	1.40	2.60	3.75	5.80
-3.20	0.50	1.40	2.80		
-2.50	-0.80	1.40	3.40		
-2.35	0.50	3.10	4.50		
-2.40	0	3.30	5.50		
-2.00	1.80	2.60	3.80		
-1.00	1.70	1.00	1.80		
-2.50	1.50	3.40	4.70		
		3.20	4.80		
		3.35	5.10		
		1.60	3.30		
		1.80	3.20		
		3.40	5.90		
		3.15	4.30		
		1.20	2.10		
		1.40	2.15		
		2.30	3.75		
		2.90	4.40		
		3.30	5.60		

Tabla 15

INTERVALO IV.235 m. Psefitas y psamitas interés tratificadas en capas de 0.8 a 3 m cada una con rocas pelíticas muy subordinadas.La composición de las rocas psefíticas analizadas y las de la fracción psamíticase muestran en las siguientes tablas (17 y 18).

Muestra		1	%LA	&LB	%LS	%QZ	%F	Textura	Tipo matriz	%Matriz
Techo	IV-7	230	51	44	0	0	5	MS	Arena/pelita	44
	IV-6	195	45	50	2	0	3	MS	Arena/Pelita	40
	IV-5	154	62	25	13	0	0	MS	Arena	42
	IV-4	97	50	37	2	5	6	MS	Arena	40
	IV-3	80	72	3	5	15	5	CS	Arena	15
	IV-2	49	70	17	5	8	0	CS	Arena	8
Base	IV-1	7	76	15	9	0	0	CS	Arena	10

Tabla 17. Composición modal de las psefitas de la sección IV. (1) Metros a la base del Intervalo. (LA = líticos volcánicos ácidos, LB = líticos volcánicos básicos, LS = líticos sedimentarios, Qz = cuarzo, F = feldespatos, CS = clasto-sostén, MS = matriz-sostén)

Muestra		Qm	F	Qp	Lv	Matriz
Techo	IV-9	52	87	9	96	63
	IV-8	90	44	22	84	80
	IV-7	59	51	24	77	53
	IV-6	61	66	40	100	57
	IV-5	148	128	56	154	137

	IV-4	54	95	36	252	108
	IV-3	72	91	33	320	133
	IV-2	75	124	35	221	150
Base	IV-1	99	153	40	204	157

Tabla 18. Composición modal de las arenas de la sección IV. Las cantidades representan puntos contados al microscopio (Qm = Cuarzo monocristalino, F = feldespatos, Qp = cuarzo policristalino, Lv = líticos volcánicos)

Se midió la orientación de clastos psefíticos (eje A), obteniéndose un diagrama polar desimetría monoclínica con máximo de frecuencia en N30/14. Predominan clastos conrelaciones C/B y B/A menores a 0.67. La redondez media es de 0.38.Las areniscas muestran muy frecuentes estratos entrecruzados, en donde dominancapas con estratificación entrecruzada en artesa y planartangencial. De estas últimas se obtuvieron datos de paleocorrientes que se señalan en latabla19:

Metros desde la base	Rumbo de buzamiento	Buzamiento
208	285	20
196	297	14
190	277	18
173	260	17
172	266	23
170	261	18
168	266	15
134	244	17
131	256	30
130	253	21
128	244	11
85	240	15
79	233	16
69	235	12

Tabla 19. Datos de orientación de las capas entrecruzadas de la sección IV

En forma subordinada se intercalan capas con estratificación entrecruzada planar, y en menor medida se han reconocido estratos relativamente delgados con desarrollo de capa plana y lineación *parting*. La muestra RB4, cuyo análisis granulométrico puede encontrarse en las tablas de las páginas 72 y 73 corresponde a esta sección.CHECAR PAGINACIÓN AL FINAL.

IX PRÁCTICA NO.9: ANÁLISIS COMPOSICIONAL DE PELITAS

IX.1. Introducción

Las pelitas corresponden a una de las clasificaciones de sedimentos y rocas sedimentarias. La composición mineralógica constituye un elemento importante para conocer el ambiente tectónico.

IX.2. Objetivo

El alumno será capaz de identificar la proveniencia y ambiente tectónico de las pelitas.

IX.3. Equipo y materiales

Lápiz, colores, columna, papel, diagramas

IX. 4. Actividades

a) Elaborar un perfil a escala de los 705 m correspondientes al intervalo I, a partir de los datos de la tabla siguiente, representando 1) La variación vertical (acumulativa) en el contenido de esmectita, illita, clorita, caolinita e interés tratificadosillita-esmectita, 2) La variación vertical en el porcentaje de capas expansivas en los interés tratificados. Ver tabla 20.

Muestra (m de base)		Es%	I%	Cl%	K%	I/S %	Capas expansivas %	IC illita
Techo	I-9 (700 m)	60	15	25	0	0	-	-
	I-8 (610 m)	60	20	0	0	20	80	1.65
	I-7 (497 m)	40	0	20	0	40	70	1.24
	I-6 (365 m)	60	0	0	15	25	68	1.04
	I-5 (280 m)	80	0	0	10	10	60	0.85
	I-4 (210 m)	10	0	60	0	30	40	0.72
	I-3 (160 m)	0	0	20	0	80	45	0.63
	I-2 (75m)	0	20	40	0	40	40	0.57
Base	I-1 (2m)	0	60	20	0	20	25	0.42

Tabla 20. Composición de las pelitas de la sección (Es: esmectita, I: illita, Cl: clorita, K: caolinita, I/S: interestratificadosillita/esmectita, IC: índice de cristalinidad de illita)

c) Determinar la litología de las rocas pelíticas del intervalo I a partir de la proporción de limo y las estructuras sedimentarias presentes en la tabla21 siguiente:

Muestra		Limo %	Estruc-turas	Si O2%	K 2O%	Na 2O%	Sc ppm	%	Th ppm	%	Zr/10	
											ppm	%
Techo	I-9	74	Maciza	64.22	4.97	1.16	30	24	50	40	45	36
	I-8	39	Maciza	62.08	4.83	1.42	32	23.7	55	41	48	35
	I-7	43	Maciza	62.79	6.5	0.74	35	27.6	49	39	43	34
	I-6	47	Lami-nación	45.2	4.29	1.8	28	22.2	60	48	38	30
	I-5	40	Maciza	61.36	5.06	1.2	31	23.8	57	44	42	32
	I-4	35	Fisili-dad	58.96	5.22	1.09	34	30.9	42	38	34	31
	I-3	46	Maciza	62.41	4.84	1.11	29	22.7	53	41	46	36
	I-2	18	Fisili-dad	63.21	4.55	1.23	30	27	51	46	30	27
Base	I-1	11	Fisili-dad	58.55	4.27	0.73	23	22.5	59	58	20	20

Tabla 21. Datos sobre textura, estructuras y composición de las muestras del intervalo I

d) Ubicar las muestras de rocas pelíticas en los diagramas de Roser & Korsch (1986) y Bhatia y Crook (1986) (Figuras 48,49).OJO. ¿CUÁLES SON ESTAS FIGURAS?

IX.5. Análisis de los resultados

a) Señalar los principales resultados obtenidos a partir de la observación de las Tablas y de la figura elaborada. Indicar las tendencias verticales encontradas.
b) ¿Todas las variaciones observadas en la proporción de los minerales de arcilla se deben a procesos diagenéticos? ¿A qué otro factor se podrían deber estas variaciones?
c) Definir las áreas tectónicas de procedencia, comparar los resultados en los diagramas respectivos, así como con la procedencia que se obtuvo en el análisis de rocas psamíticas.

X. PRÁCTICA NO.10: ROCAS SEDIMENTARIAS CARBONATADAS: CLASIFICACIÓN E IDENTIFICACIÓN

X.1. Introducción

Las rocas carbonatadas son extraordinariamente abundantes y constituyen un porcentaje muy considerable de todos los sedimentos actuales. Son rocas sedimentarias, en las que sus componentes principales son el carbonato cálcico en forma de calcita aragonito, y el carbonato calcicomagnésico en forma de dolomita. Mineralógicamente, están constituidas por calcita (CO 3Ca), dolomita $(CO_3)_2$ Ca Mg ó $S0_4$ Ca y siderita (CO_3 Fe), siendo también importante la presencia de aragonito, magnesita, malaquita y azurita.

El componente fundamental de la caliza es el carbonato de calcio (calcita y aragonito); además, pueden tener en su composición sílice, arcilla, óxidos de hierro, etc. La definición de caliza nos dice que son rocas constituidas por más de 50% de calcita, y la gran mayoría de ellas están formadas en su totalidad por este material, siendo de esta manera rocas monominerales. Las calizas constituyen uno de los tipos más abundantes de rocas sedimentarias y reaccionan con ácido clorhídrico diluido. Además, se forman en medios acuosos. Sus grandes formaciones están relacionadas principalmente con depósitos de costa mixta, plataformas y arrecifes; existen calizas detríticas, químicas y orgánicas.

Calcita. Es un mineral muy común cuya composición química es CaCO3; cristaliza en el sistema trigonal, con una densidad de 2.71 y dureza 3 de fractura concoide, exfoliación perfecta, raya blanca y brillo de vítreo a nacarado. Con frecuencia se presenta en forma de masas microcristalinas compactas, dando lugar a las calizas, que al metamorfizarse forman los mármoles. En masas fibrosas constituye la alabastrita. La calcita es soluble en HCl, diluido en frío, en efervescencia. Su polvo da una llama roja y también puede contener ciertas cantidades de Hierro, manganeso y estroncio. Es un mineral característico de ambientes sedimentarios; se forma por precipitación química, o bien es fijado por organismos marinos para construir sus caparazones y esqueletos. Puede tener origen metamórfico o magmático.

Aragonito: Su nombre proviene de la provincia española de Aragón. Es una de las formas cristalinas naturales de carbonato de calcio, junto con la calcita y la vaterita; su sistema de cristalización es rómbico, su dureza es de 3.5 a 4 de fractura concoide, es incoloro (alocromático) de raya blanca y brillo vítreo, con una fluorescencia de azul a rosada. Se forma en depósitos de baja temperatura, en grutas, zonas de oxidación de yacimientos mineros y fuentes calientes; también puede localizarse en algunas rocas sedimentarias y metamórficas y en muchas minas de galena.

Las dos clasificaciones más utilizadas son las de Folk (1959) que denomina a los constituyentes esenciales de las calizas como aloquímicos y ortoquímicos, y la de Dumham (1962), que considera la textura depositacional con base en la presencia o ausencia de lodo carbonatado, abundancia de granos carbonatados y signos de ligadura o unión entre las estructuras orgánicas (Palacios, 1992). Dunham utiliza los nombres de *mudstone, wackestone, packstone, grainstone y boundstone.*

X.2. El problema de la dolomita

Algunos esquemas de clasificación no toman en cuenta las diferencias entre la calcita y la dolomita. No es fácil determinar qué parte de la roca es bioquímica y qué parte es química. El origen de la dolomita es uno de los principales problemas a resolver en geología. Se ha cuestionado y debatido si la dolomita es de origen primario (precipita directamente del agua de mar) o si es de origen secundario (cambio post-depositacional del carbonato de calcio), y si es secundaria, ¿cuál es el mecanismo que origina la dolomitización?

La dolomita es denominada así en honor al mineralogista francés Dolomieu, que logró diferenciarla de la calcita. La dolomita es un carbonato de calcio y magnesio de fórmula química CaMg (CO3), con una dureza de 3.5 a 4, de excelente exfoliación y fractura concoide; presenta un color de raya blanco y es incoloro con un brillo vítreo o nacarado. Forma la roca denominada dolomía, y también es uno de los minerales más difundidos en las rocas sedimentarias carbonatadas. Se forma por la acción del agua rica en magnesio, sobre depósitos calcáreos; se presenta en cristales y en masas espáticas a sacaroideas, o bien en masas cavernosas. Se produce por una progresiva substitución del calcio por el magnesio, proceso que es denominado dolomitización; algunas veces está presente también en filones hidrotermales de baja temperatura y en rocas metamórficas.

X. 3. Diferentes tipos de carbonatos

Los nombres de las rocas carbonatadas (calizas y dolomitas) derivan de dos orígenes: uno describe a los aloquímicos (fósiles, oolitos, pellets, intraclastos) y el otro describe el material intersticial que hay entre las partículas. Los aloquímicos son equivalentes a las partículas siliciclásticas (las gravas, arenas, líticos o feldespatos). El material intersticial es equivalente a las arcillas o el cemento en los sedimentos clásticos. La micrita y la esparita constituyen el material intersticial para las rocas carbonatadas. La micrita es un lodo limoso, denso, constituido por cristales de $CaCo_3$ del tamaño de las arcillas. La micrita se forma en el mar por el rompimiento de esqueletos de algas calcáreas. Muchos carbonatos están compuestos de casi 100% de micrita, y justamente estos materiales sonllamadosasí,“micritas”. Ahora bien, si la micrita está presente durante la depositación, ésta entonces llena los espacios entre los aloquímicos. Se puede decir entonces, sobre la descripción de los aloquímicos, es que están en una matriz de micrita.

Además, una roca con fragmentos fósiles embebidos en micrita es llamada biomicrita, que es análoga a las *wackes*siliciclásticos (las arenas están embebidas en una matriz). Si el ambiente depositacional tiene fuertes corrientes, solamente se depositan los aloquímicos y el cemento puede estar formado por un cristal translúcido de calcita llamado espar o esparita, la cual se precipita en agua dulce o marina, precolándose a través del sedimento después de la depositación.

X.4. Clasificación de carbonatos

La clasificación de carbonatos usando el sistema de aloquímicos/material intersticial es muy sistemática (Tabla 22). El nombre aloquímico se combina con el

intersticial (micrita o esparita). Esta clasificación muestra una gran flexibilidad y creatividad.

MATERIAL INTERSTICIAL			
ALOQUÍMICOS		MICRITA	ESPARITA
	Fósiles	Biomicrita	Bioesparita
	oolitos	Oomicrita	Ooesparita
	Pelets	Pelmicrita	Pelesparita
	Intraclastos	Intramicrita	Intraesparita

Tabla 22. Clasificación de carbonatos (descrita en Ham, W.E. (ed.), 1962)

Otro ejemplo:
Pelets + oolitos + fósiles +matriz micrita = Peloobio micrita

Si se tiene matriz, tanto de micrita como de esparita, el sistema es el mismo.

Fósiles + matriz de esparita + matriz de micrita = bioespar micrita

X.4.1.Abundancia de aloquímicos

La micrita fosilífera es un material con un contenido de 1 a 10% de fósiles. Si los fósiles se encuentran flotando en la matriz de micritaa esto se le llama “matriz soportada”. La biomicritaesparita es una micrita con el 10-50 % de fósiles, con menos matriz soportada. Si un grano o fósil se encuentra soportándose con otro se le llama grano soportado. Este sistema se aplica de igual manera a los oolitos, *pellets* e intraclastos.
La esparita es análoga a las rocas siliciclásticas, en la cual toda la matriz ha sido lavada, por lo que sus granos se encuentran soportándose uno con otro (grano soportado).

X.4.2. Tamaño de los aloquímicos

Al igual que en las rocas siliciclásticas, el tamaño de las partículas aloquímicas es importante. Dicho tamaño está basado en la escala Udden-Wentworth. Para los carbonatos sustituimos los términos por (Tabla23):

- Rudita (gravas)
- Calcarenita (arenas, arenita)
- Lutita (limos/arcillas)
-

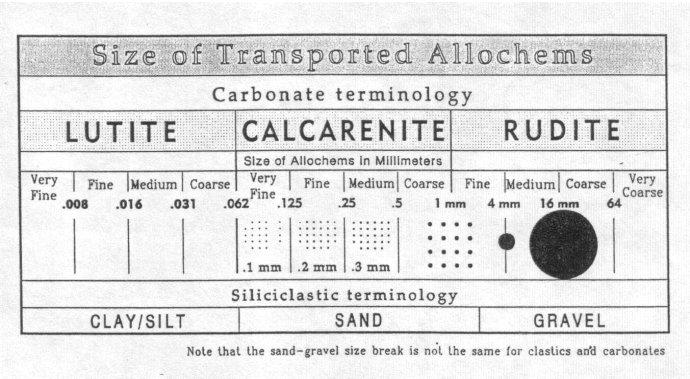


Tabla 23. Tamaño de aloquímico adaptado de Folk, 1962. En W.E. Ham (ed),1962).

X.5. Objetivos

1. El estudiante aprenderá a reconocer e identificar los constituyentes de las rocas sedimentarias carbonatadas.
2. Analizará las rocas carbonatadas con base en el material aloquímico e intersticial.
3. Describirá la apariencia de cada material aloquímico.
4. Indicará el tamaño de los fragmentos para ver si la roca es arenita, rudita, etc.

X.6. Materiales

1. Roca carbonatada,
2. Lupa de mano (10x)
3. Ácido clorhídrico diluido al 10%
4. Microscopio estereoscópico
5. Lápiz de dureza
6. Lápiz, colores, borrador, sacapuntas

X.7. Procedimiento

Análisis de la roca carbonatada

El alumno realizará las siguientes actividades para el análisis de la roca carbonatada:

X.7.1. Identificación de aloquímicos

- El alumno analizará la roca carbonatada que el maestro le proporcione y para ello utilizará la tabla 24,en la cual vaciará la información que vaya observando.
- Identificar todos los aloquímicos presentes en la roca carbonatada estimando su porcentaje de abundancia. Para ello utilizará la figura 13.

X.7.2. Descripción aloquímica

- Describir la apariencia de cada tipo de aloquímico. Identificar los fósiles.
- Indicar la selección, redondez y tamaño de los fragmentos. Para ello utilizará las figuras 7, 8 y la tabla 23.

X.7.3. Composición de la matriz

- Identificar si la matriz es micrita o esparita. Para ello utilizará el microscopio estereoscópico o la lupa 10X.
- Estimar el porcentaje de cada uno.

X.7.4. Reacción con el HCL

- Observar si la reacción con el HCL fue fuerte o débil.
- Tratar de determinar el origen calcítico de la roca y cómo ocurrió la dolomitización.

X.7.5. Color

Describir el color de la roca.

X.7.6. Composición no carbonatada

Describir e identificar los elementos no carbonatados que contenga la roca carbonatada.

1. **Clasificación de la roca**

Con base en el análisis realizado en la actividad anterior, el alumno clasificará la roca carbonatada designándole un nombre. Para ello se apoyará en la figura 14 (Clasificación textural de sedimentos carbonatados).

Nota: El alumno, una vez que haya realizado el análisis de la roca carbonatada, deberá dirigirse al profesor para que revise su trabajo.

ROCAS CARBONATADAS

Composición **Aloquímica** Abundancia	Descripción	**Intersticial** Escala Composición Micrita 100% ← → Esparita 100% (50%)
Frags Bio ____% +	_____	Reacción con el ácido
Intraclastos ____%+	_____	Color roca fresca: / Color roca intemperizada
Oolitos ____% +	_____	Composición no-carbonatada
Pelets ____% +	_____	Nombre de la roca
Matriz ____%+ =% Roca Total	_____	

ROCAS CARBONATADAS

Composición **Aloquímica** Abundancia	Descripción	**Intersticial** Escala Composición Micrita 100% ← → Esparita 100% (50%)
Frags Bio ____% +	_____	Reacción con el ácido
Intraclastos ____%+	_____	Color roca fresca: / Color roca intemperizada
Oolitos ____% +	_____	Composición no-carbonatada
Pelets ____% +	_____	Nombre de la roca
Matriz ____%+ =% Roca Total	_____	

ROCAS CARBONATADAS

Composición **Aloquímica** Abundancia	Descripción	**Intersticial** Escala Composición Micrita 100% ← → Esparita 100% (50%)
Frags Bio ____% +	_____	Reacción con el ácido
Intraclastos ____%+	_____	Color roca fresca: / Color roca intemperizada
Oolitos ____% +	_____	Composición no-carbonatada
Pelets ____% +	_____	Nombre de la roca
Matriz ____%+ =% Roca Total	_____	

ROCAS CARBONATADAS

Composición **Aloquímica** Abundancia	Descripción	**Intersticial** Escala Composición Micrita 100% ← → Esparita 100% (50%)
Frags Bio ____% +	_____	Reacción con el ácido
Intraclastos ____%+	_____	Color roca fresca: / Color roca intemperizada
Oolitos ____% +	_____	Composición no-carbonatada
Pelets ____% +	_____	Nombre de la roca
Matriz ____%+ =% Roca Total	_____	

Tabla 24. Formato de datos para rocas carbonatadas (Fichter y Poché, 1993)

.

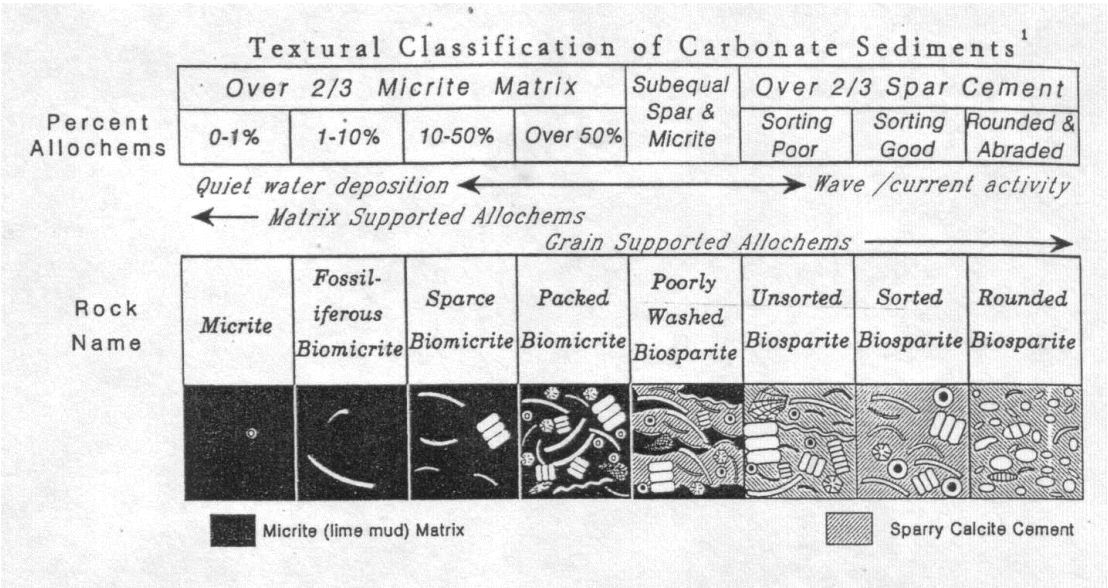


Figura 14. Clasificación textural de sedimentos carbonatados (Adaptado de Folk, R.L., 1962)

2. Problemas de razonamiento

El alumno contestará una serie de problemas de razonamiento con la finalidad de reafirmar lo ya aprendido.

Problema No.1. ¿Cuál es el nombre?

Dos personas examinan la misma roca sedimentaria. La primera la llama *wacke* (el significado del nombre es matriz y arena) y la segunda persona le llama sub-arcosa- *wacke* lítico cuarzosa (significa menos del 25% de feldespatos, más del 25% de líticos, 10-50% de matriz y el resto de cuarzo).

1. Es más fácil identificar una wacke que identificar una subarcosa-*wacke* lítico cuarzosa
2. Es correcto el nombre de subarcosa-*wacke* lítico cuarzosa al igual que si la denominamos arenisca *wacke.*
3. El nombre subarcosa-*wacke*líticocuarzosa nos proporciona mayor información (es más precisa) que el nombre de *wacke.*

Problema No.2

Con base en el problema anterior, puede usted decir que en principio…

1. Una información que lleva a una clasificación precipitada es más vulnerable a ser errónea que aquella cuya información fue menos precipitada.
2. La clasificación menos precipitada es más útil para un estudio científico.
3. Una identificación precisa es también más acertada.

Problema No.3

Denomina las siguientes rocas de acuerdo con su composición mineral:

	Calcita	Dolomita	Cuarzo	Arcillas	Denominación
1	92 %	4 %	4 %	--	
2	70 %	--	--	30 %	
3	25 %	70 %	--	5 %	
4	6 %	90 %	1 %	3 %	
5	82 %	--	15 %	3 %	
6	40 %	30 %	25 %	5 %	

Clasifica las siguientes rocas carbonatadas según Dunham y Folk:

	Componentes petrográficas	Dunham	Folk
1	65 % bivalvos; 15 % peloides; 20 % matriz de micrita		
2	10 % pellets; 5 % valvas de moluscos; 85 % micrita		
3	30 % crinoideos; 10 % braquiópodos; 60 % lodo carbonatado		
4	40 % bioclastos; 35 % intraclastos; 5 % cuarzo; 20 % cemento		
5	60 % corales y algas "in situ"; 30 % cemento; 10 % matriz		
6	35 % moluscos; 30% peloides; 20% pellets; 15% micrita		

Define los siguientes tipos de rocas e indica a que autor corresponde la denominación:

MUDSTONE:.....
.....
.....

MICRITA FOSILÍFERA:.....
.....
.....

BIOESPARITA:.....
.....
.....

INTRAMICRITA:.....
.....
.....

WACKESTONE:.....
.....
.....

DOLOMÍA CALCÁREA:.....
.....
.....

Problema No.4

Denomina las siguientes rocas de acuerdo con su composición mineral:

	Calcita	Dolomita	Cuarzo	Arcillas	Denominación
1	40 %	--	--	60 %	
2	20 %	50 %	12 %	18 %	
3	5 %	70 %	25 %	--	
4	80 %	12 %	5 %	3%	
5	--	94 %	--	6 %	
6	60 %	--	5 %	35 %	

Clasifica las siguientes rocas carbonatadas según Dunham y Folk:

	Componentes petrográficas	Dunham	Folk
1	20 % núcleos de esparita; 80 % lodo carbonatado		
2	45 % fósiles redondeados; 30 % ooides; 25 % cemento espático		
3	5 % ostrácodos; 3 % pellets; 92 % lodo carbonatado		
4	50 % fósiles; 20 % agregados; 15 % intraclastos; 15 % esparita		
5	60 % foraminíferos; 25 % crinoideos; 5 % litoclastos; 10 % esparita		
6	50 % litoclastros (fragmentos de calizas); 30 % fósiles; 20 % esparita		

Define los siguientes tipos de rocas e indica a que autor corresponde la denominación:

CALCARENITA:.....

.....

.....

GRAINSTONE:.....

.....

.....

DOLOMÍA ARENOSA:.....

.....

.....

CALCILUTITA:.....

.....

.....

BIOLITITA:.....

.....

.....

DISMICRITA:.....

.....

.....

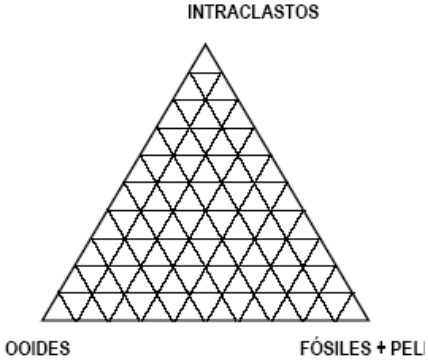
Sitúa en el triángulo adjunto los siguientes tipos rocosos:

1) Calizas ortoquímicas
2) Calizas aloquímicas micríticas
3) Calizas aloquímicas espáticas

¿Existen campos no ocupados por ninguna Roca?. Justifica la respuesta: .....
.....
.....
.....
.....

De acuerdo con la naturaleza de los componentes aloquímicos sitúa lo campos de las siguientes rocas:

1) Intramicrita / Intraesparita
2) Oomicrita / Oosparita
3) Biomicrita / Bioesparita
4) Biopelmicrita / Biopelesparita



Indica que relaciones pueden establecerse entre los siguientes tipos de carbonatadas:

Calizas ortoquímicas	Micritas	Mudstone
	Dismicritas	Wackestone
Calizas aloquímicas micríticas	Biomicritas	Packstone
	Bioesparitas	Grainstone
Calizas aloquímicas espáticas	Biolitita	Boundstone

Se desea conocer, a partir de una muestra de mano, si una roca carbonatada es una caliza o dolomía, ¿cuáles de las siguientes características petrográficas presentan interés para dicha determinación?, justifica la respuesta.

	INTERÉS	JUSTIFICACIÓN
Color		
Tamaño de grano / cristal		
Forma de grano / cristal		
Presencia de fósiles		
Coherencia		
Porosidad		
Laminación		
Anisotropía		
Presencia de estilolitos		
Superficie de alteración		

Para determinar si una roca es una caliza o una dolomía, ¿cuáles de las siguientes técnicas consideras que tienen interés?; indica la información que suministra cada una de ellas y justifica su interés en la caracterización de las rocas carbonatadas.

	INTERÉS	JUSTIFICACIÓN
Microscopía óptica de polarización		
Ataque con ácido clorhídrico		
Calcimetría		
Residuo insoluble		
Tinción selectiva (rojo de alizarina)		
Granulometría		
Difracción de rayos X		
Fluorescencia de rayos X		
Cromatografía iónica		
Absorción de agua		

X.8. Bibliografía

Tucker, M.E. (1991, 2ª Ed). "Sedimentary Petrology. An Introduction". Blackwell Sci. Publ., Oxford, 260 p.
Blatt, H. (1992, 2ª Ed). "Sedimentary Petrology". W.H. Freeman & Comp. San Francisco.514 p.
Pettijohn, F.J. (1968, 2ª Ed). "Las Rocas Sedimentarias". EUDEBA.730 p.
Pettijohn, F.J. (1975, 3ª Ed)."Sedimentary Rocks". Harper & Row. New York. 628 p.
Folk, R.L. (1980). "Petrology of Sedimentary Rocks". Hemphill Publ. Comp., Austin, Texas. 182 p.
Greensmith, J.T. (1989, 7ª Ed). "Petrology of the sedimentary rocks" G. Unwin. & Hyman. London. 262 p.
Carozzi, A.V. (1993).- "Sedimentary Petrography". PTR Prentice Hall, New Jersey. 263 p.
Adams, A.E. Mackenzie W.S. y Guilford, C. (1984). "Atlas of Sedimentary Rocks under the microscope". Logmann. Harlow, Essex. 104 p.
Corrales, I., Rossell, J., Sánchez, L., Vera, J. y Vilas, L. (1977).- "Estratigrafía". Rueda. Madrid. 700 p.
Vatan, A. (1967). "Manuel de Sedimentologie". Technip. Paris. 400 p.
Mingarro, F. y Ordoñez, S. (1982). "Petrología Exógena I: Hipergénesis y SedimentogénesisAlóctona". Rueda. Madrid. 385 p.
Selley, R.C. (1982, 2ª Ed). "An introduction to sedimentology". Academic. Press. London, 417 p.
Arche, A [Co.] (1989). "Sedimentología". CSIC. Madrid, Vol. I: 541 p., Vol. II: 526 p.
Leeder, M.R. (1982). "Sedimentology: Process and products". Academic. Press, London, 417 p.
Chamley, H. (1990)."Sedimentology". Springer-Verlang, Berlín. 285 p.
Lindholm, R. (1987). "A practical approach to sedimentology". G. Allen &Unwin, London, 276 p.
Tucker, M.E. [Ed.] (1988). "Techniques in sedimentology". Blackwell Sci. Publ., Oxford, 394 p.
Nockols, S.R., O 'B Knox, R.O. y Chinner, G.A. (1978). "Petrology for students". Cambridge Univ. Press, 430 p.
Tucker, M.E. (1982). "The field description of sedimentary roks". Open Univ. Press, Milton Keynes (England), 112 p.
Murray, J.W. (1981). "A guide to classification in Geology". John Wiley & Sons, NeW York, 111 p.

XI. PRÁCTICA NO.11: AMBIENTE DEPOSITACIONAL Y EVOLUCIÓN DE LAS ROCAS SEDIMENTARIAS

XI.1. Introducción

Uno de los objetivos de la geología es construir modelos para interpretar la historia de la tierra. En áreas levantadas las partículas sedimentarías son producto de la erosión de rocas pre-existentes. Las partículas sedimentarias erosionadas son transportadas por agua, viento y/o glaciares hasta su depositación; en el transporte son continuamente modificadas por dos procesos: 1) abrasión y 2) selección. Además, se convierten en roca una vez que pasan por los procesos de compactación, cementación y recristalización. El resultado de estos procesos es el grupo de rocas siliciclásticas y carbonatadas.

XI.2. Montañas, cuencas depositacionales y ambientes de depósito

La tierra se encuentra dividida en: montañas (áreas que abastecen de sedimento) y cuencas depositacionales (áreas que reciben los sedimentos erosionados). Tanto las montañas como las cuencas depositacionales son importantes, pero en este caso pondremos mayor interés en las cuencas depositacionales, las cuales contienen sedimentos que corresponden a un sistema dominado por siliciclásticos y sistemas carbonatados.

Los sistemas dominados por carbonatos se originan en regiones tectónicamente estables donde el abastecimiento de sedimentos siliciclásticoses mínimo o no existe, siendo lo contrario para sistemas dominados por sedimentos siliciclásticos.

XI.3. Ambiente depositacional

Un ambiente depositacional es una porción de la superficie de la tierra caracterizada por una combinación única de procesos físicos, químicos y biológicos. Estos procesos controlan el transporte y deposito del sedimento, las modificaciones químicas que intervienen, el tipo de organismos que viven en el sedimento y cómo afectan estos organismos al sedimento. Se ha identificado más de una docena de ambientes de depósito. Los más comunes son enlistados en la tabla 25.

CLASIFICACIÓN DE AMBIENTES Y PROCESOS DE DEPÓSITO		
TERRESTRE	TRANSICIONAL	MARINO
Abanico aluvial Río trenzado Río meandroso Lagos	Deltas Playa Lagunas Zona de mareas Dunas	Plataforma (tormenta y ambiente dominado por marea) Abanicos submarinos
	CARBONATOS	
	Marea Laguna	Barrera arrecifal Plataforma Cuenca

Tabla 25. Clasificación de ambientes y procesos de depósito (Fichter y Poché, 1993)

XI.4. Distribución de los ambientes de depósito

Los ambientes depositacionales no se distribuyen de manera azarosa. Cada uno tiene un lugar específico por razones muy concretas (Tabla 25). Por ejemplo, las partículas siliciclásticas del tamaño de las gravas o gránulos se localizan cerca de la fuente de abastecimiento, en abanicos aluviales y ríos trenzados; sin embargo,

las partículas siliciclásticas finas se encuentran lejos de la fuente de abastecimiento, rellenando cuencas oceánicas. Una secuencia de ambientes depositacionales se ilustra en la figura 15.

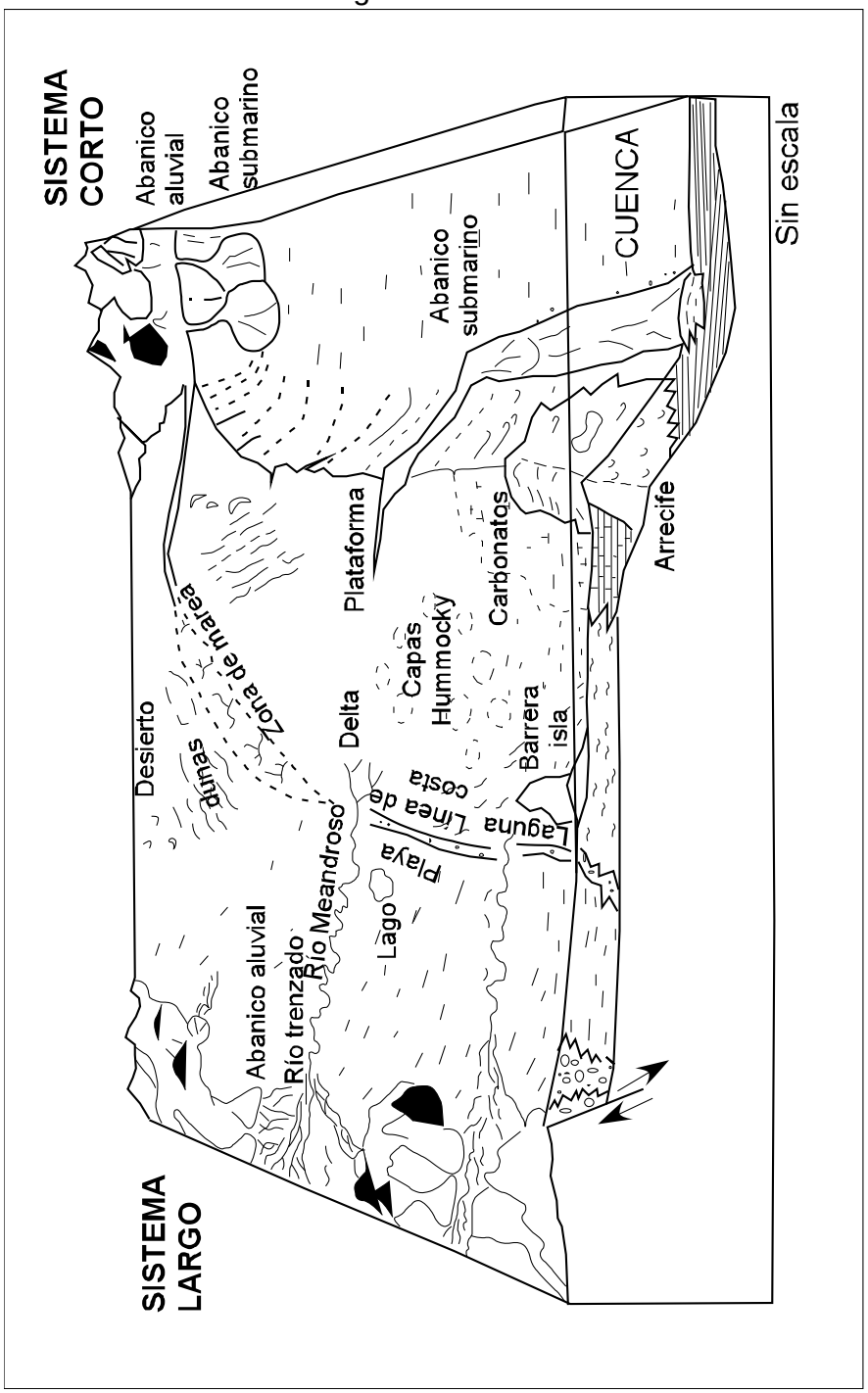


Figura 15. Distribución de los ambientes de depósito (Fichter y Poché, 1993)

XI.5. Sistemas largos (*Long-system*)

Una secuencia completa de ambiente depositacional desde las montañas hasta las cuencas oceánicas se llama: Sistema largo (*longsystem*) (Figs. 15 y 16). Los sedimentos que comienzan en el sistema son inestables en cuanto a su composición (química y mecánica), su selección es pobre, y las gravas son inmaduras. En un sistema largo, la distancia de la fuente a la cuenca es grande. Por ello, al final del sistema, los sedimentos en composición son estables (química y mecánica), se encuentran bien seleccionados y el tamaño de los sedimentos es de arenas a arcillas. Las areniscas al final del sistema son maduras y corresponden a las cuarzoarenitas. A lo largo del sistema largo encontramos muchas variaciones en el modelo, ya que otros ambientes han desaparecido en la secuencia.

Los modelos de sistemas largos empiezan en una zona tectónicamente activa (bloque de falla en una montaña). En el continente las montañas se encuentran constituidas por rocas ígneas félsicas (granito, granodiorita y sienita). El intemperismo mecánico que actúa sobre ellas da como resultado granos gruesos, angulares. Estos fragmentos angulares se depositan rápidamente al pie de la montaña en ambientes de abanico aluvial(primer ambiente de los sistemas largos)durante lluvias torrenciales, dando lugar a depósitos de brechas arcósicas (feldespáticas). Los depósitos que presentan características como grano grueso, desorganizado y matriz soportada, son denominados flujos de escombros (debrisflow).

Algunos de los depósitos de escombros forman parte de abanicos aluviales, y la mayoría de los sedimentos continúan moviéndose río abajo. Durante el transporte los fragmentos de brechas angulares empiezan a pulirse por la abrasión, dando lugar a fragmentos redondeados que forman un conglomerado arcósico. Estos depósitos son comunes en ambientes de abanicos aluviales y ríos trenzados. El transporte de ríos trenzados es muy diferente al de flujos de escombros. En un río trenzado, las gravas y las partículas de arena se mueven dando lugar a depósitos de capas de gravas (barras -L) y depósitos de barras con estratificación plana (barras-T).Las gravas (barras -L) se caracterizan por la presencia de granos soportados uno con otro, tamaño de partículas desde bloques, cantos y gravas.

Cerca de la fuente de abastecimiento, de los ambientes de abanico aluvial y de los ríos trenzados, la energía es alta y los sedimentos se mueven por la combinación del agua que empuja a los granos y por la gravedad, que ayuda a que las partículas se deslicen y rueden pendiente abajo. Sin embargo, río abajo se necesita un menor gradiente y fuerza de gravedad para mover las partículas.

XI.6. Sistemas cortos (*Short-System*)

Los sistemas cortos se forman en una región tectónicamente activa donde el sistema montañoso se encuentra muy cerca de la cuenca (Figs. 15 y 16). Estos sistemas se forman tanto en el continente como en el océano. Un bloque de montaña fallado es un sistema largo, y sería un sistema corto si el mar se encontrase al pie de la montaña. Los sistemas cortos son el resultado de una zona de subducción intraoceánica en el que se forman arcos volcánicos. Debido a que

la fuente es un arco volcánico (también contiene rocas metamórficas), las partículas sedimentarias producidas por el intemperismo mecánico son principalmente fragmentos líticos.

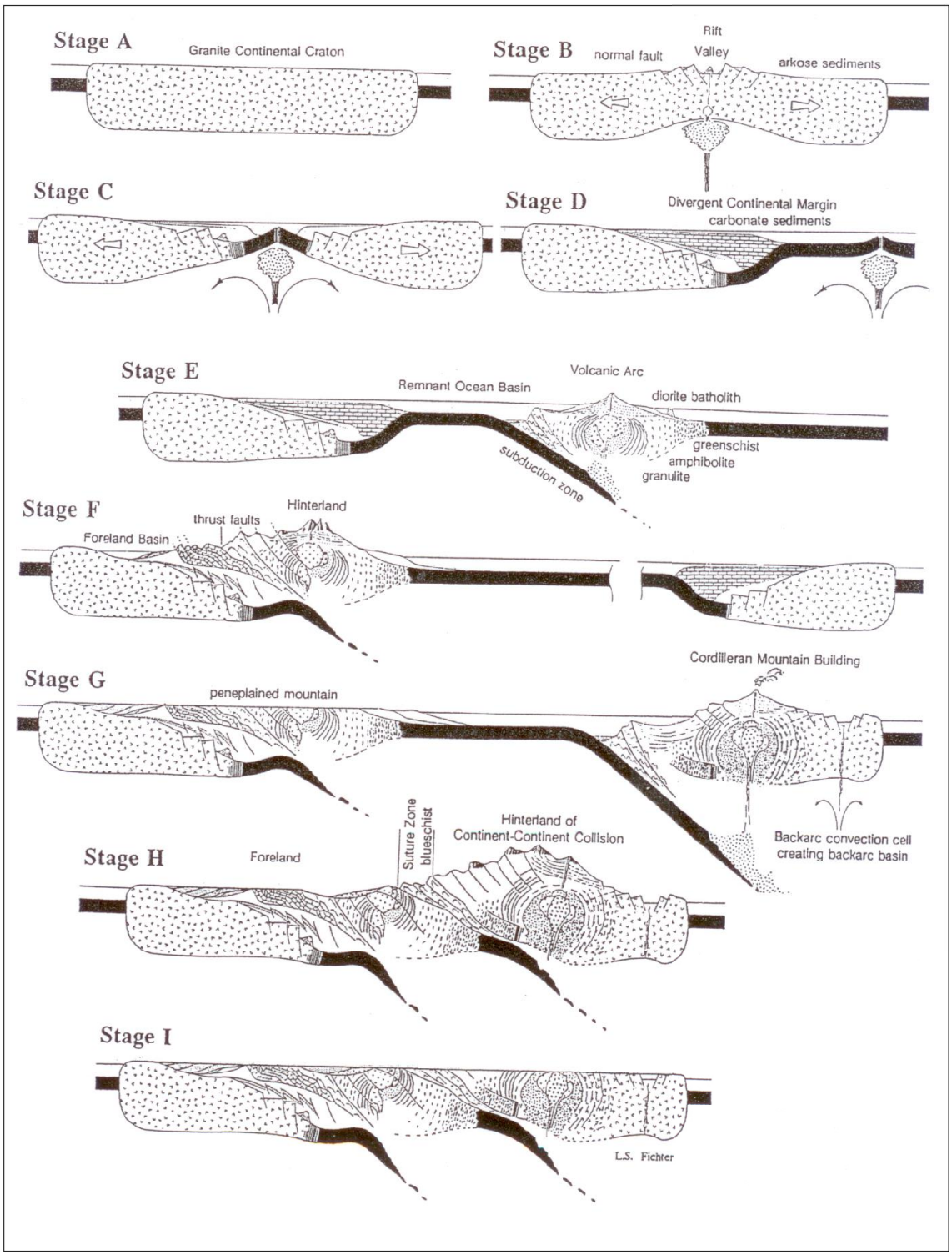
El sistema presenta pocos tipos de ambientes, el promedio de energía es alto en cada ambiente y el tamaño de las partículas en promedio es grande. En los sistemas largos, los primeros ambientes que se forma son los abanicos aluviales, los sedimentos son de grano grueso, mal seleccionados y no estratificados; los clastos se encuentran soportados en una matriz (flujos de escombros).

En el sistema corto, los ambientes trenzados, meandrosos presentan distintas características que en el sistema largo. Los conglomerados líticos y las areniscas líticas de los ríos trenzados son vertidos directamente en el ambiente de playa. Los sistemas cortos son secuencias en las cuales hay pocos ambientes de una secuencia ideal larga, ya que estos sistemas se encuentran cercanos a la fuente. Los sedimentos para este sistema presentan una textura inmadura, al igual que su composición. Generalmente se encuentran pobremente seleccionados, y el rango de tamaño del sedimento va de gravas hasta arenas gruesas.

Los sistemas cortos se observan generalmente en regiones tectónicamente activas. Dependiendo de las circunstancias, alguno de los ambientes del sistema largo puede desaparecer. Por ejemplo, en la provincia de cuencas y sierras del oeste de los Estados Unidos, un abanico aluvial forma la base de un bloque falla y río abajo la secuencia desaparece (un sistema muy corto). Otro tipo de sistema corto es el Abanico-delta. El nombre de abanico aluvial fue dado por Holmes en 1965. Un abanico aluvial prograda ¿¿¿??? de una zona levantada hacia un cuerpo de agua, ya sea lago o mar. Desde ahí, el termino de abanico delta ha sido aplicado. Los abanicos deltas se forman en montañas que permanecen fuera del mar, tales como los valles*rift* (Fig.28), o en la creación de un arco volcánico debido a la subducción. Una secuencia típica de ambiente depositacional de abanico delta es:

Abanico aluvial o sistema de río trenzado → gravas de playa → abanico submarino→cuenca

CICLO DE WILSON



16. Ciclo de Wilson (tomado de Fichter& Poché, 1993)

XI.7. Sistema carbonatado

El sistema carbonatado se desarrolla donde la fuente siliciclásticaes reducida, está muy abajo o muy lejana, el agua es somera y el clima esde tropical a subtropical. En aguas claras, someras y templadas las algas calcáreas se reproducen y generan micrita; las micritas modernas provienen de algas calcáreas verdes (Clorophyta), y las micritas antiguas no necesariamente provienen de esta fuente, mientras que los esqueletos de animales invertebrados se acumulan como partículas sedimentarias (bioclastos) o esqueletales. Los oolitos, *pellets* e intraclastosaloquímicos se producen también dependiendo de las condiciones. No es común que los carbonatos se generen en sistemas siliciclásticos cortos y largos. Dentro de estas condiciones, el volumen de sedimentos siliciclásticos es mayor que los carbonatos. El ejemplo de los sistemas de carbonatos se presenta en la figura 17.

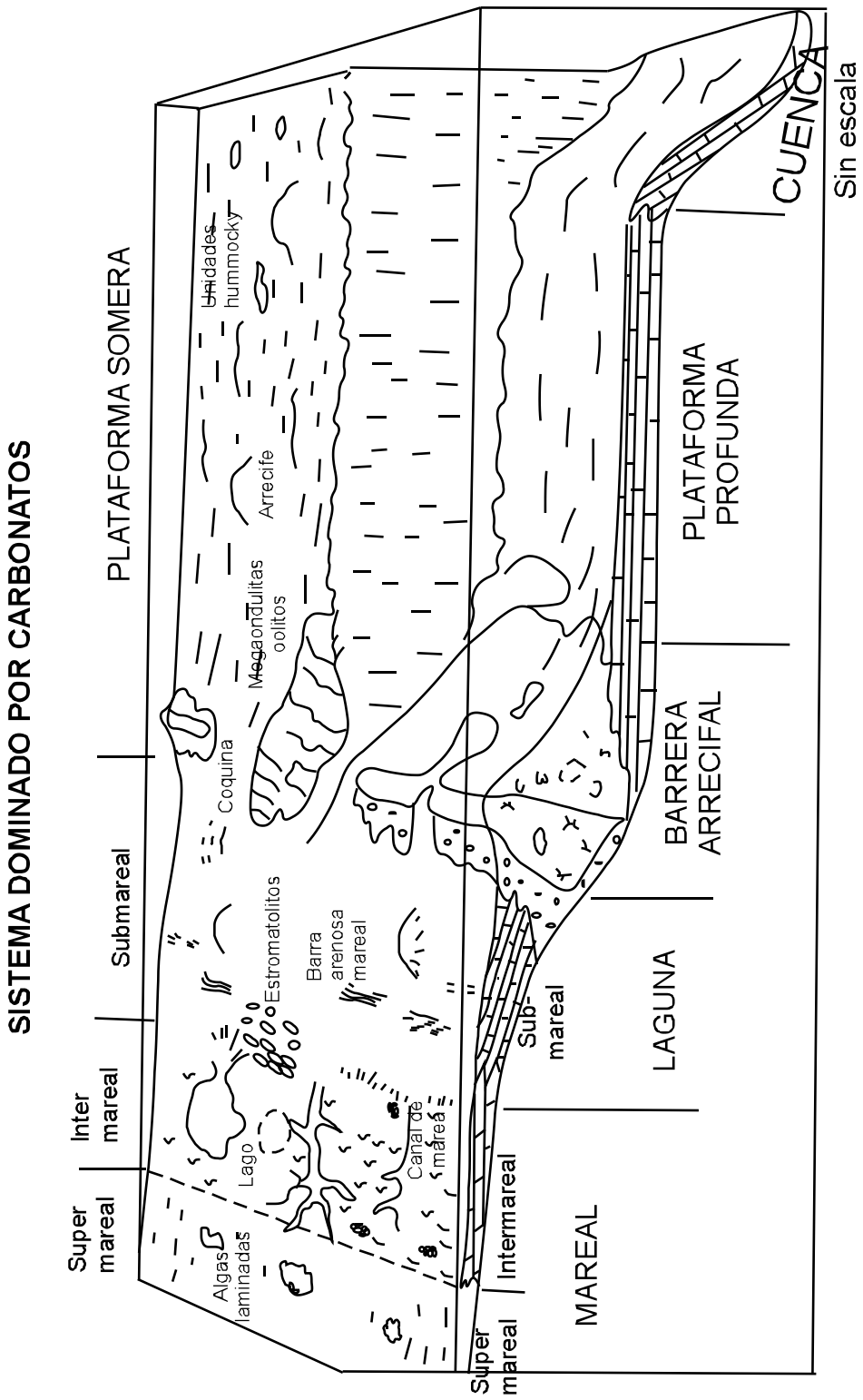


Figura 17. Sistema dominado por carbonatos (Fichter y Poché, 1993)

XI.8. Régimen de flujo, estructuras sedimentarías y ambiente depositacional

Los ambientes modernos son fáciles de reconocer, pero los antiguos presentan complejidad. Para reconocer e interpretar un ambiente antiguo, es necesario analizar los procesos que llevaron a la formación de las rocas dentro del sistema, y compararlo con procesos que se dan en ambientes recientes. Son varias las evidencias que reflejan los diferentes procesos:

- Composición de la roca sedimentaria: (tamaño, forma, selección, y contenido).
- Régimen de flujo, estructuras sedimentarias y secuencia estructural.

El régimen de flujo es un rango de energía en el cual el tipo de transporte de sedimento nos da como resultado una estructura sedimentaria.

Las estructuras sedimentarias son patrones formados por el sedimento cuando éstos son depositados, eincluyenondulitas, capas cruzadas, marcas de carga, etc. Hay más o menos 400 tipos de estructuras sedimentarías. Algunas de las más importantes son aquellas que se encuentran asociadas a las condiciones del flujo (régimen de flujo). La figura 18 ilustra algunas estructuras sedimentarias.

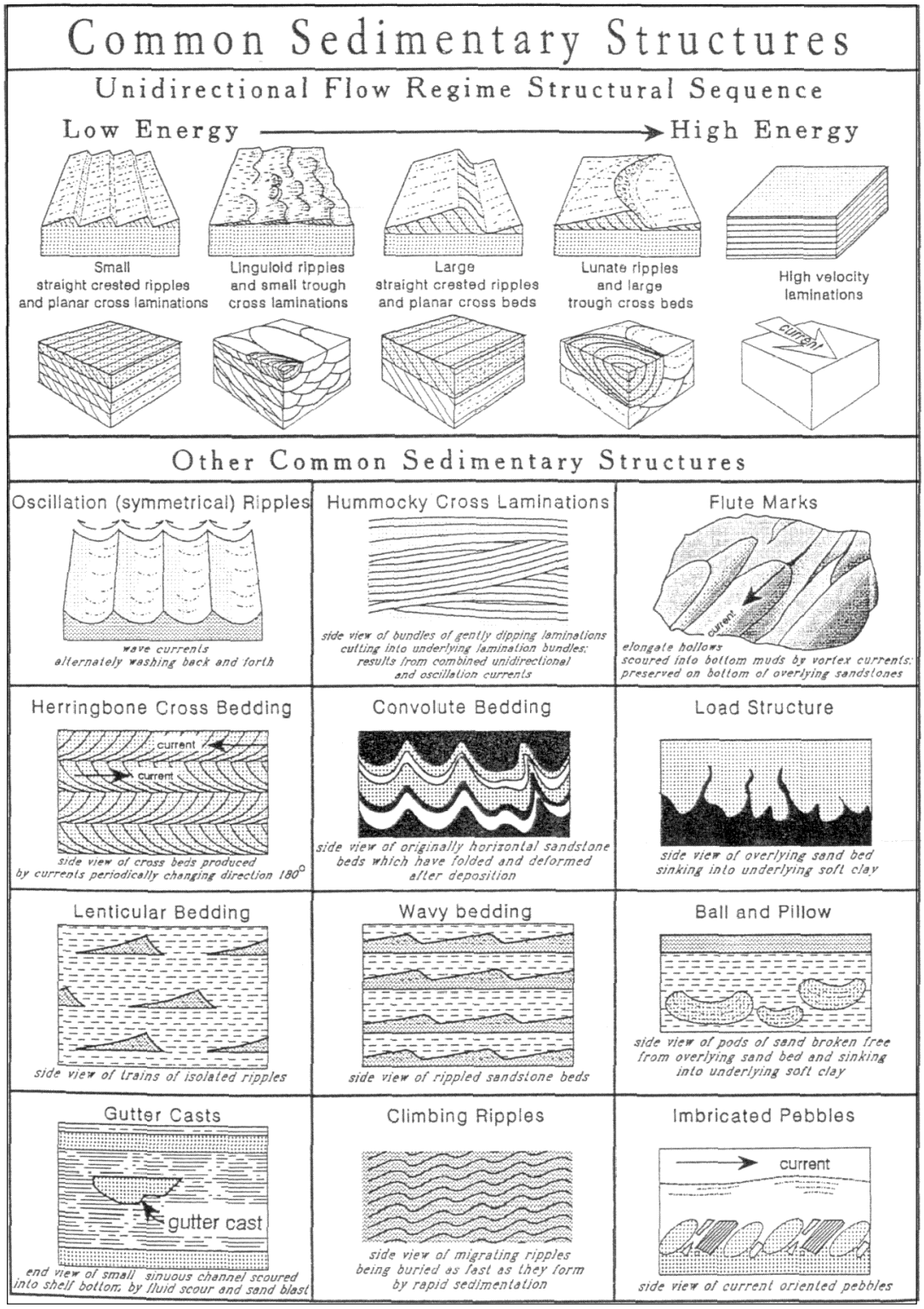


Figura 18. Estructuras sedimentarias (tomado de Fichter y Poché, 1993)

XI.9. Secuencias sedimentarias

Las secuencias sedimentarias son sucesiones verticales de sedimentos con estructuras sedimentarias que reflejan los cambios en el régimen de flujo a través del tiempo (Fig.19). La secuencia de *Bouma* es un ejemplo de ello (Fig.20).Corresponde a depósitos sedimentarios que se formaron por corrientes de turbidez. Cuando la corriente de turbidez comienza, la energía es alta, por lo que empiezan a formarse estructuras debido al régimen de flujo alto.

Cuando la energía de la corriente empieza a bajar, progresivamente también el régimen de flujo de energía baja, depositándose las estructuras; esto da lugar a una secuencia vertical única de estructuras que se conoce como Secuencia de Bouma. La secuencia de la estructura, al igual que las estructuras formadas, es extremadamente importante para el estudio de ambientes antiguos. De la base a la cima, dicha secuencia (Fig.20) está formada por las capas A, B, C, D y E y se relacionan con ambientes de abanico submarino. Cuatro son las secuencias que caracterizan a estos depósitos: 1) Ríos trenzados (L-Barra/T-barra) 2) punto de una barra (río meandroso), 3) *hummocky* (plataforma de tormenta), y *bouma* (abanico submarino).

El uso del régimen de flujo, estructuras sedimentarias y conceptos de secuencia estructural sirven para identificar ambientes de depósito, se utilizan para describir *facies* y para determinar el ambiente depositacional.

El régimen de flujo (Fig.21) es un rango de energía (corriente) que transporta sedimento y el resultado es una estructura sedimentaria distintiva del régimen de flujo.

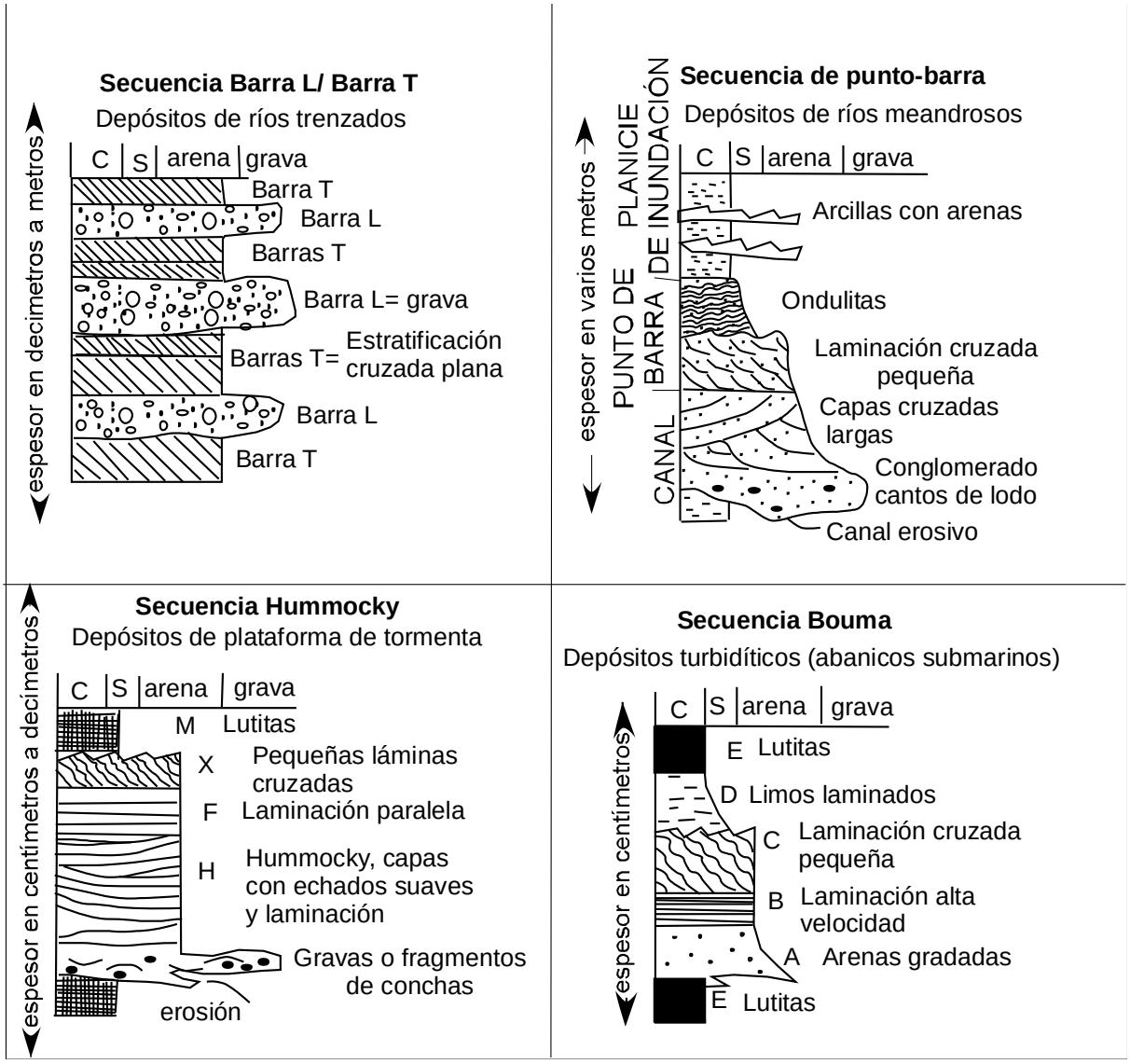


Figura 19. Cuatro secuencias estratigráficas y su interpretación ambiental (Tomado de Fichter y Poché, 1993).

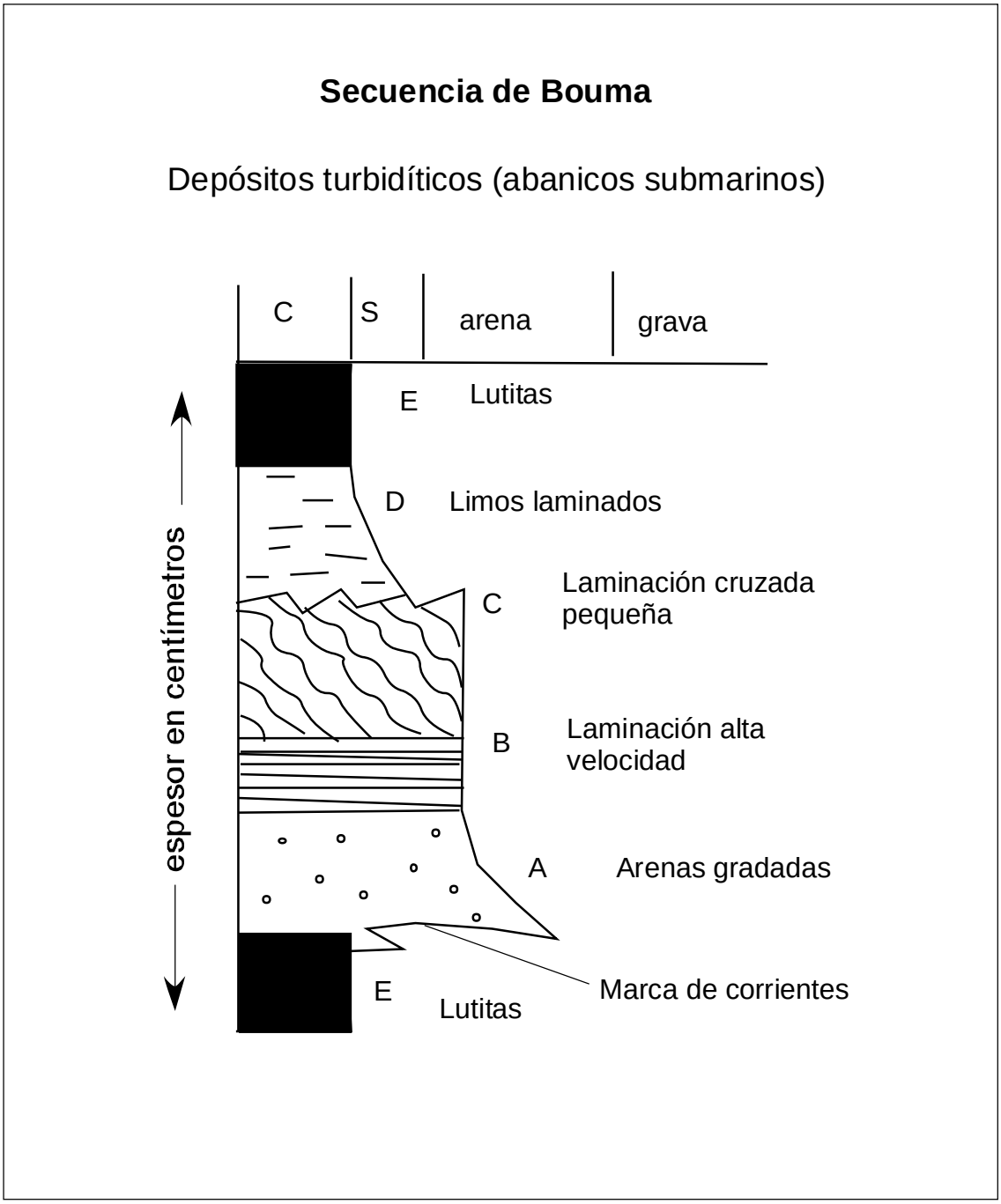


Figura 20. Secuencia de Bouma tomada de Fichter y Poché, 1993

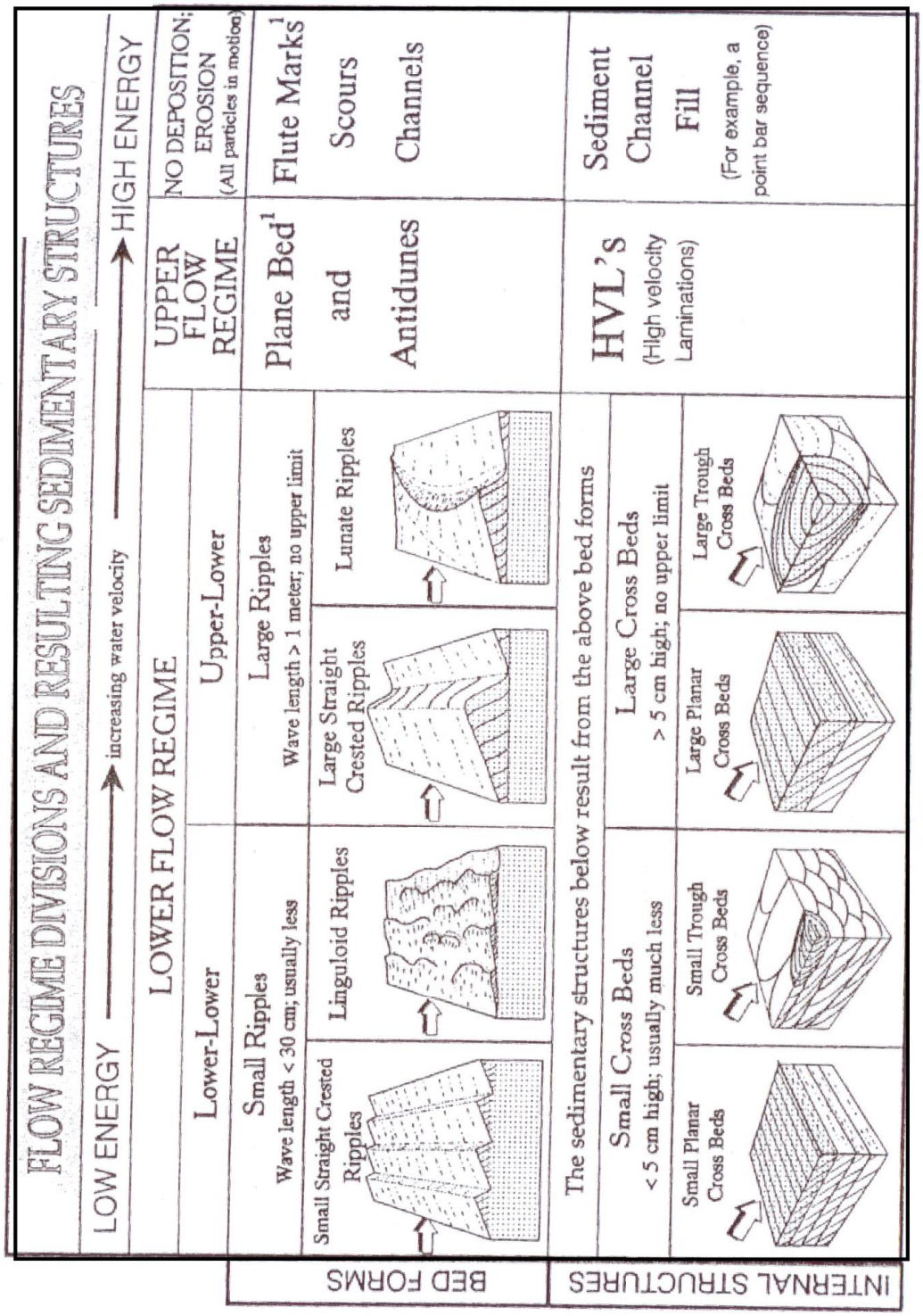


Figura 21. Régimen de flujo y estructuras sedimentarias (Fichter y Poché, 1993)

Las estructuras sedimentarias (Fig.22) son patrones formados por el sedimento cuando éste se deposita.
Cada secuencia depositacional (Fig.23) es analizada tomando en cuenta el régimen de flujo y la localización del ambiente. Cada secuencia presenta uno o más de los siguientes elementos: decrecimiento en el tamaño de grano de la base a la cima (refleja un decrecimiento de energía); estructuras sedimentarias de alta energía en la base y de baja energía hacia arriba. Las secuencias proximales están dominadas por estructuras de alta energía, mientras que las secuencias distales se caracterizan por un dominio de estructuras de baja energía.

XI.10. Ambiente depositacional con base en estructuras sedimentarias y secuencias

El término *facies* es muy usado en geología. Cuando se habla de rocas metamórficas éstas se refieren a un grupo de minerales o rocas que se formaron bajo ciertas condiciones de presión y temperatura. El término *facies* es también usado en la geología sedimentaria: es la suma de todas las características físicas, químicas y biológicas que presenta una roca sedimentaria en el tiempo de su depositación. La mayoría, sino es que todos los depósitos sedimentarios depositados en la playa, tienen ciertos rasgos en común. La mayoría son arenitas cuarzosas, con un tipo de estructura sedimentaria y fósiles típicos de ambiente de playa.

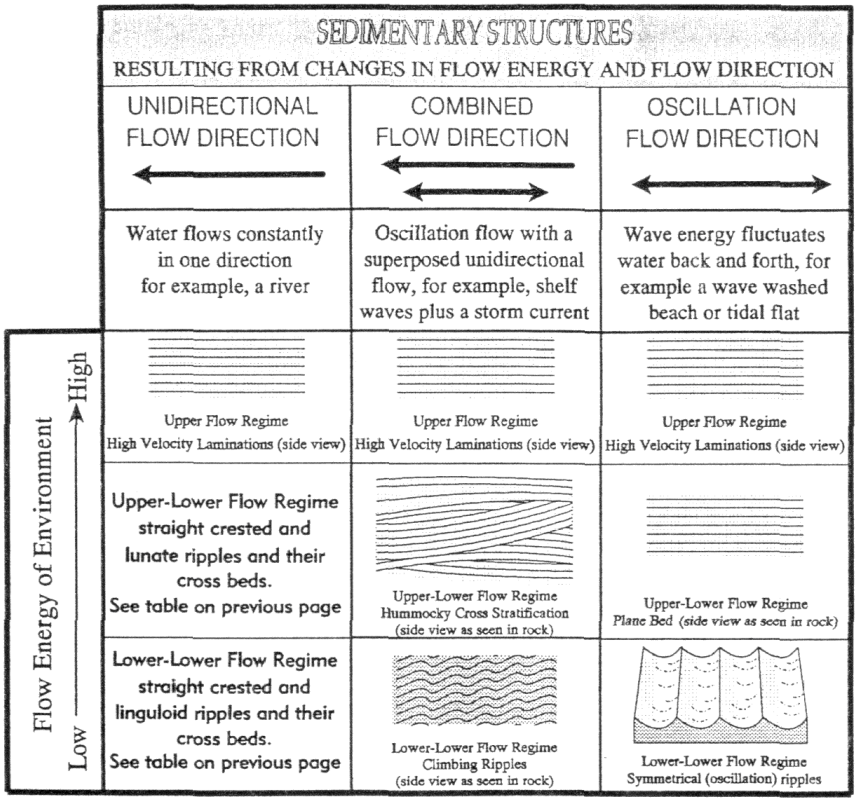
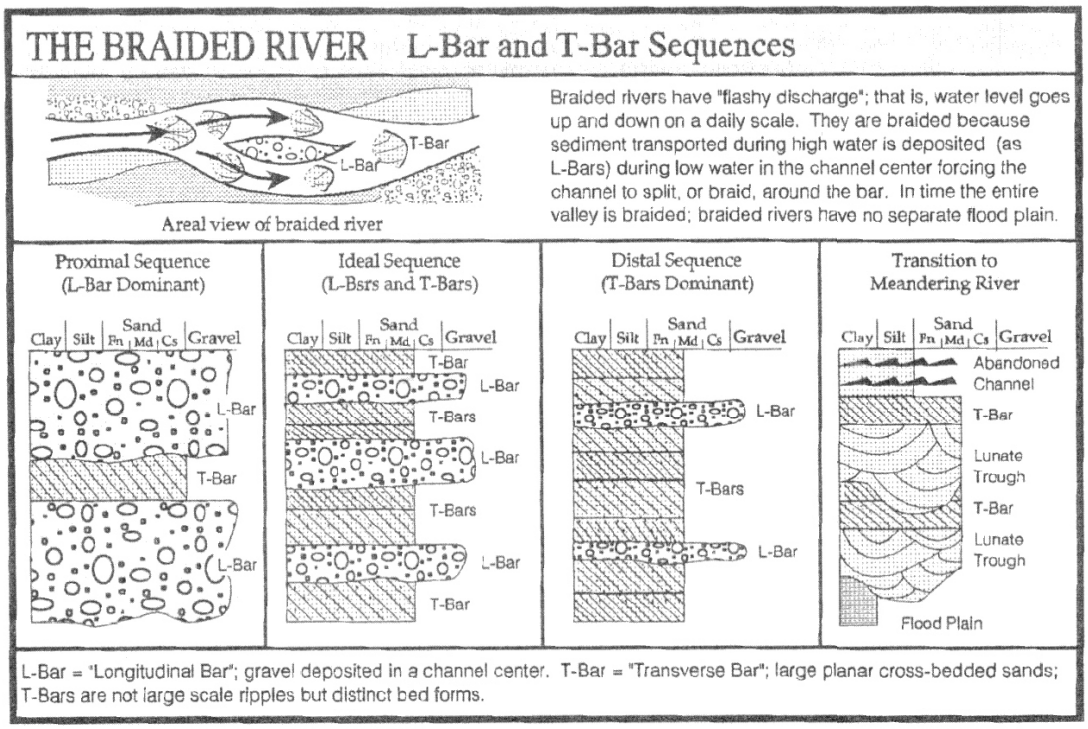


Figura 22. Estructuras sedimentarias como resultado de cambios en la energía y dirección de flujo (tomado de Fichter y Poché, 1993).



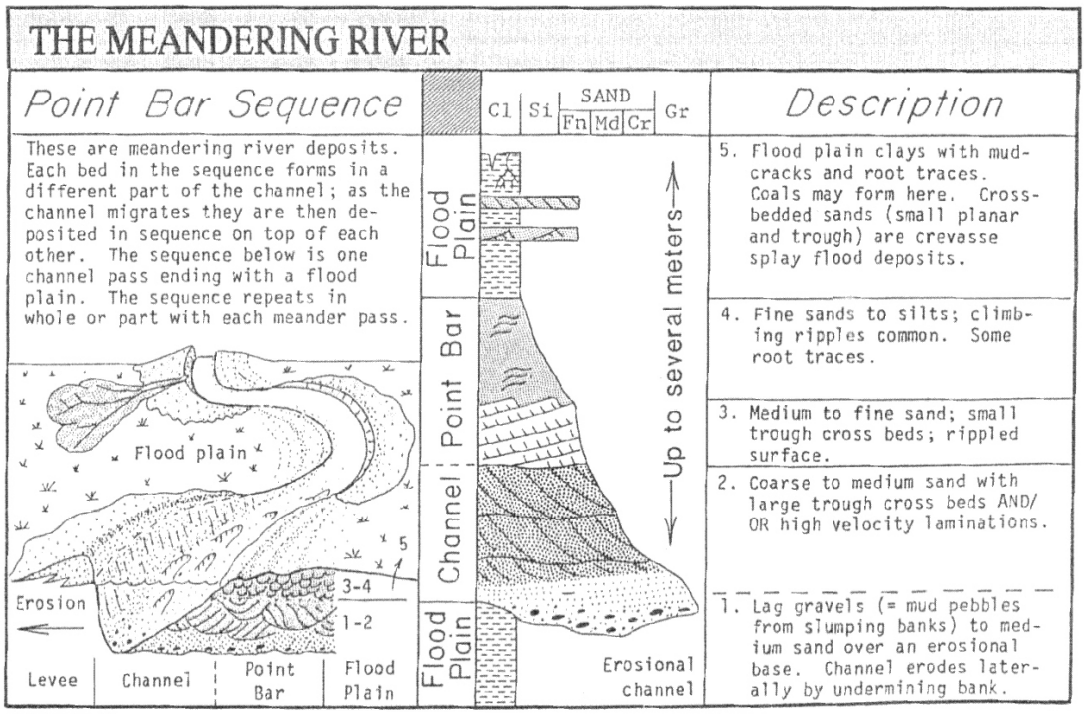
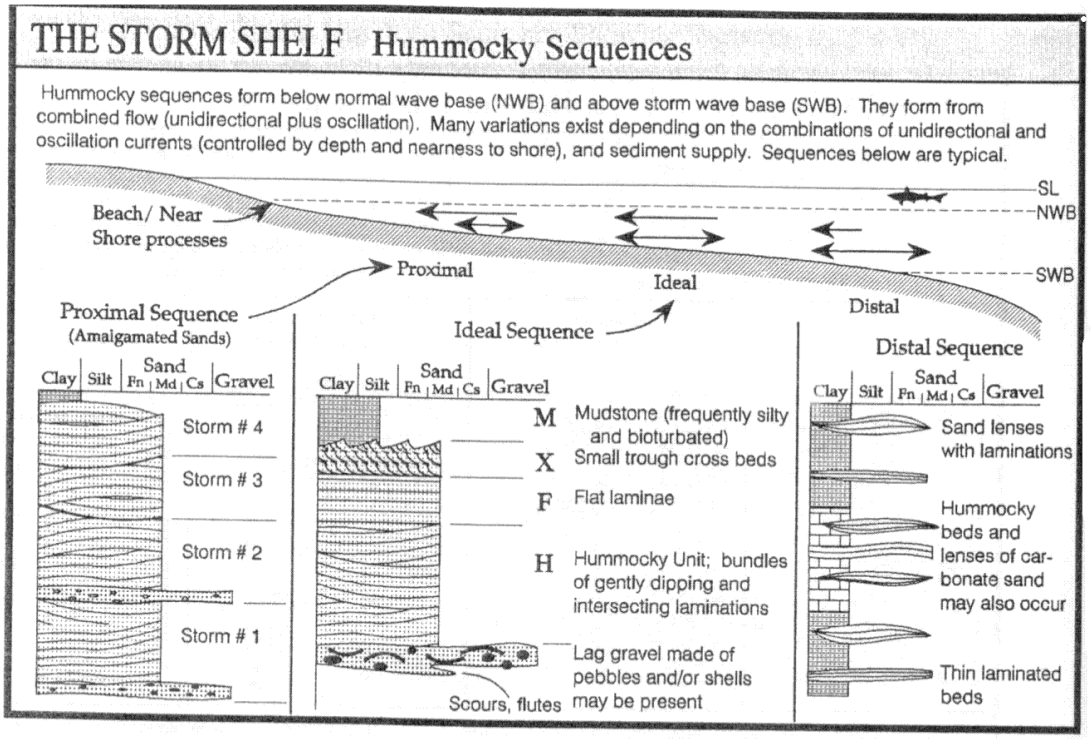


Figura 23.Estructuras sedimentarias, secuencias sedimentarias y ambientes de depósito (tomado de Fichter y Poché, 1993).



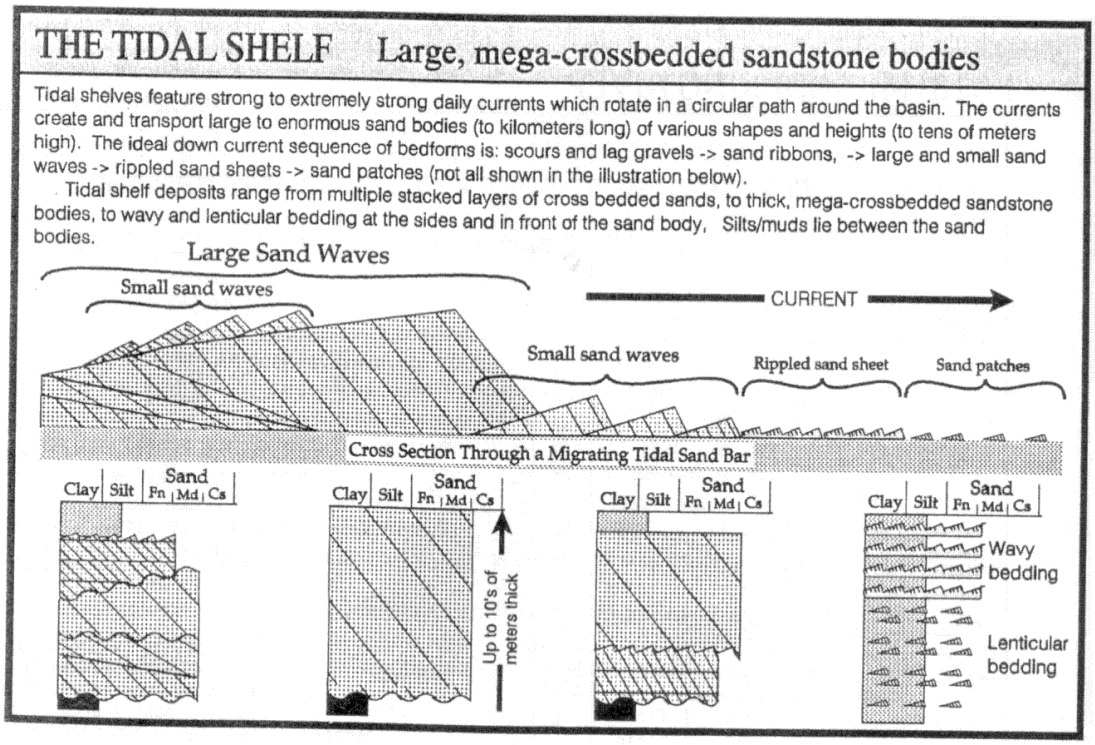


Figura 35A. Estructuras sedimentarias, secuencias sedimentarias y ambientes de depósito (tomado de Fichter y Poché, 1993).

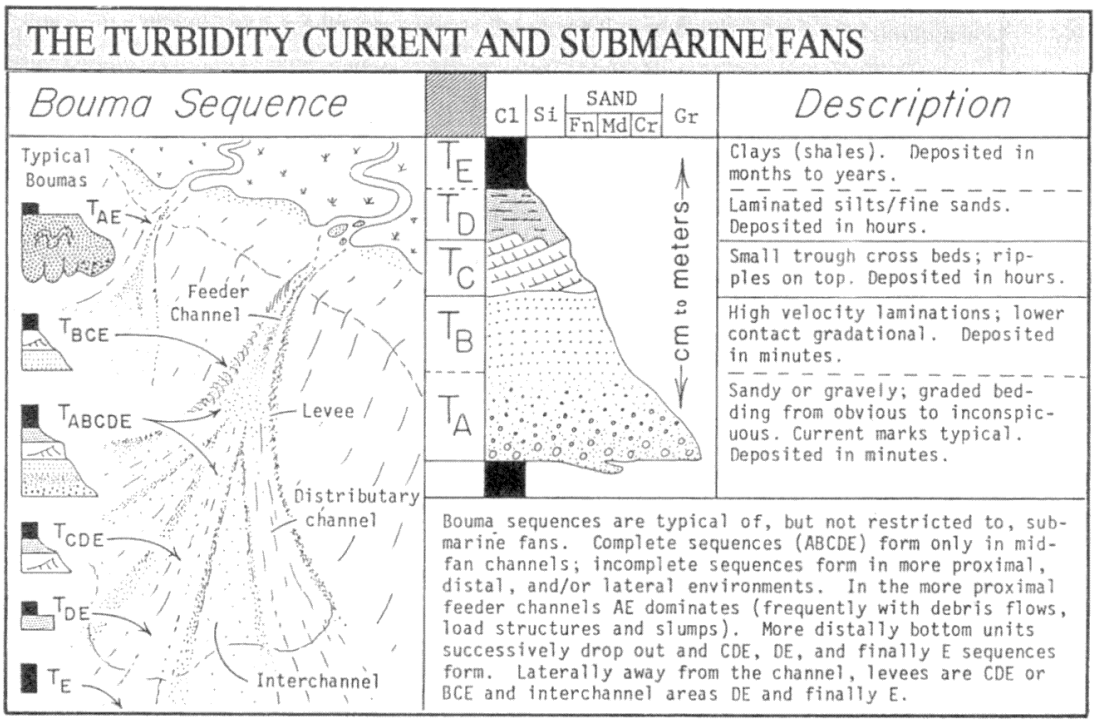


Figura 23B. Estructuras sedimentarias, secuencias sedimentarias y ambientes de depósito (tomado de Fichter y Poché, 1993).

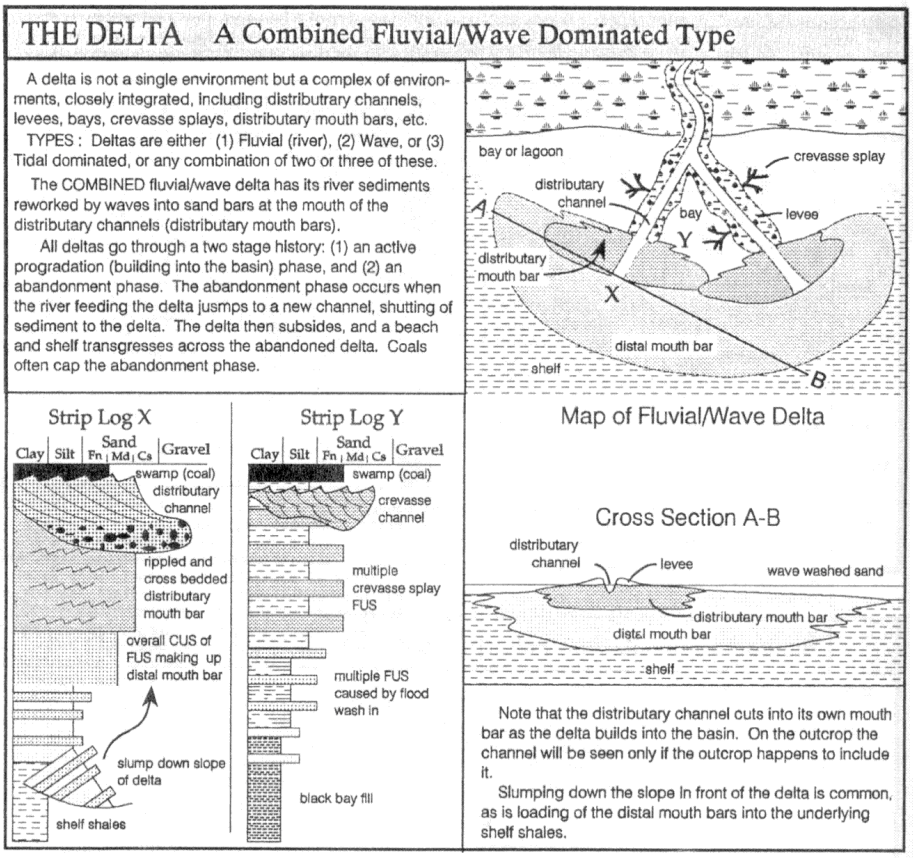


Figura 23CEstructuras sedimentarias, secuencias sedimentarias y ambientes de depósito (tomado de Fichter y Poché, 1993).

XI.11. Objetivo

1. El alumno conocerá la evolución de las rocas sedimentarias.
2. El alumno interpretará las estructuras sedimentarias y las secuencias.
3. El alumno identificará los ambientes depositacionales tomando en cuenta las estructuras sedimentarias y las secuencias.

XI.12. Materiales

- Rocas sedimentarias
- Lupa de mano (10x)
- Ácido clorhídrico diluido al 10%
- Microscopio estereoscópico
- Lápiz de dureza
- Lápiz, colores, borrador, sacapuntas

XI.13. Procedimiento

1. Evolución de las rocas sedimentarias

El alumno deberá asociar la roca sedimentaria que se le proporcione con modelos ya establecidos para determinar su evolución. Para ello realizará las siguientes actividades:

- Describirá a detalle las características de la roca proporcionada.
- Con base en las figuras 26, 27 y 35 el alumno determinará el ambiente en el que se formó dicha roca.
- El alumno preparará una descripción y explicación sobre el origen y evolución de la roca proporcionada.

2. Explicación sobre el modelo de evolución de las rocas sedimentarias

El alumno explicará el modelo de evolución de las rocas sedimentarias. Para ello contestará los siguientes cuestionamientos:

- En términos de composición y textura explique porqué las arcosas (feldespáticas) y las rocas líticas son consideradas inmaduras.

_____
_____
_____
_____
_____
_____

- El modelo de evolución de las rocas sedimentarias predice que tanto las areniscas arcósicas como las areniscas líticas podrían evolucionar río abajo a *wackes*arcósicas y *wackes* líticas. En términos de textura y composición explique los procesos por los cuales los sedimentos arcósicos y líticos se transforman en *wackes*arcósicos y *wackes* líticos.

_____
_____
_____
_____
_____
_____

_____
_____
_____

- Con base en los fragmentos líticos y feldespatos, describa la posible fuente de abastecimiento.

_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____

- En términos de procesos y ambientetectónico, explique porqué las cuarzo arenitas se forman en un periodo de tiempo largo.

_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____

- Explique cuáles son las condiciones necesarias para que se formen las limonitas y las lutitas.

_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____

3. Interpretación de estructuras sedimentarias y secuencias

El alumno interpretará las estructuras sedimentarias y las secuencias. Para ello tendrá que resolver los siguientes problemas:

Problema N.1

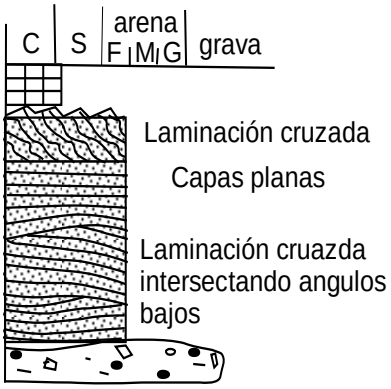
La columna estratigráfica de la derecha corresponde a:

_____ 1. Secuencia de Bouma

_____ 2. Secuencia de punto de barra

_____ 3. Secuencia Hummocky

¿Es la fuente de la secuencia distal o proximal?,
¿ Por que?



Problema N.2

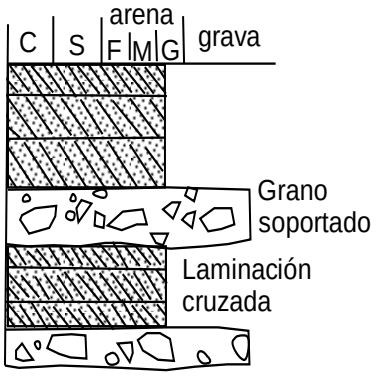
La columna estratigráfica de la derecha se formó en un ambiente:

_____ 1. ambiente de plataforma

_____ 2. ambiente de ríos trenzados

_____ 3. ambiente de abanico submarino

¿La fuente de sta secuencia es distal o proximal?,
¿ Por qué?



Problema N.3

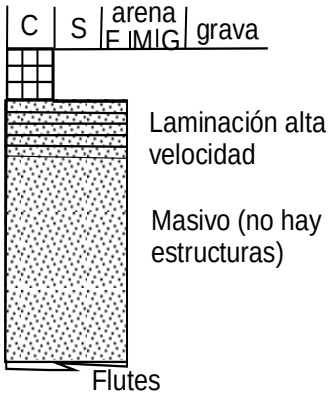
El modelo de la secuencia de Bouma es ideal. Las variaciones específicasdel modelo tiende a asociasrse conlugares específicos de los abanicos submarinos. Examine el modelo de banico submarino y decida si la secuencia es:

_____ 1. abanico parte proximal

_____ 2. abanico parte media

_____ 3. abanico parte distal

¿La fuente de sta secuencia es distal o proximal?,
¿ Por qué?



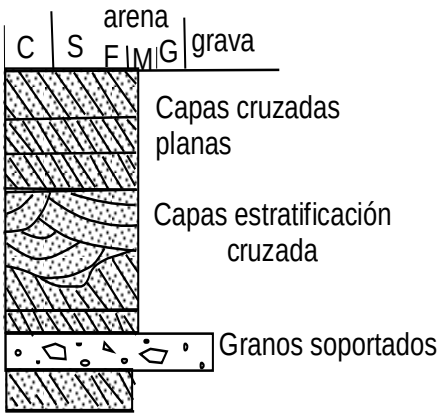
Problema N. 4

Examine el modelo de río trenzado y decida a que lugar pertenece la columna de la derecha:

_____1. proximal

_____ 2. medio

_____ 3. distal



Problema N.5

Los problemas tres y cuatro muestran cambios sistemáticos que se dan lugar río abajo en abanicos submarinosy ríos trenzados. Que piensas, sobre estos cambios. Puede usted explicar como se llevaron a cabo dichos cambios.

_____

_____

_____

_____

_____

_____

4. *Facies* sedimentarias y evolución de rocas sedimentarias

El alumno identificará y describirá la evolución ambiental de una secuencia sedimentaria. Para ello resolverá los siguientes problemas:

Problema No.1
Cuando un sedimento es transportado río abajo, ¿qué cambios ocurren?
1. El tamaño de grano decrece e incrementa su angulosidad.
2. Los granos se vuelven más redondeados y la selección incrementa.
3. El tamaño de grano se vuelve más uniforme y el porcentaje de gravas decrece.

Problema No.2
Cuando un sedimento es transportado río abajo ocurren los siguientes cambios:
1. Incremento de *wackes*; los cuarzos y feldespatos se observan juntos en menor cantidad.
2. Incremento de *wackes*; los feldespatos y arcillas se observan juntos en mayor cantidad.
3. Las areniscas líticas se vuelven más sublíticas, hay un incremento de *wackes*sublíticos; los cuarzos y limos se observan juntos en mayor cantidad.

Problema No.3
En un sistema corto, ¿cuál de los sedimentos se encuentra menos presente?
_____1. Arenita feldepástica
_____2. *Wacke*sublítico cuarzoso
_____3. Conglomerado cuarzoso

Problema N.4

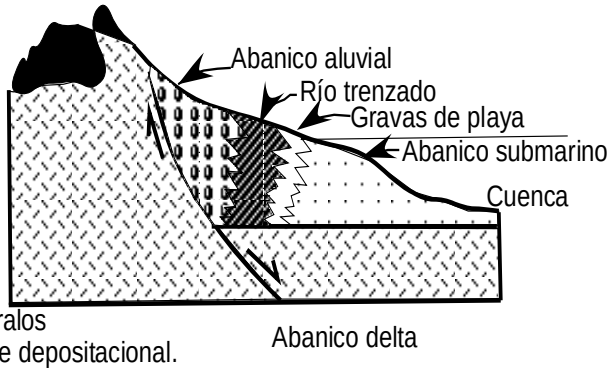
En un sistema corto, ¿ Cuál es el sedimento que menos se presenta?.

_____ 1. arenita feldespática

_____ 2. wacke sublítico cuarzoso

_____ 3. conglomerado cuarzoso

Problema N.5



El dibujo de la derecha muestra un sistema corto. Esto es, muchos de los ambientes depositacionales se mezclan: abanicos aluviales- ríos trenzados- playa- abanico submarino están presentes. Compáralos con el sistema completo de ambiente depositacional. Los sedimentos en un sistema corto tienden a:

_____ 1. ser más redondeados
_____ 2. ser menos maduros
_____ 3. estar mejor seleccionados

Problema N. 6

Tomando como ejemplo el ejercicio anterior (problema 5), compare el ambiente depositacional del sistema completo con el sistema corto, este debería de ser más:

_____ 1. rico en cuarzo

_____ 2. rico en wacke

_____ 3. variaciones en el tamaño de grano

Problema N. 7

Si la fuente estuviera compuesta de rocas sedimentarias siliciclásticas (rocas ígneas, metamórficas). un sedimento intemperizado de esta fuente podría tener:

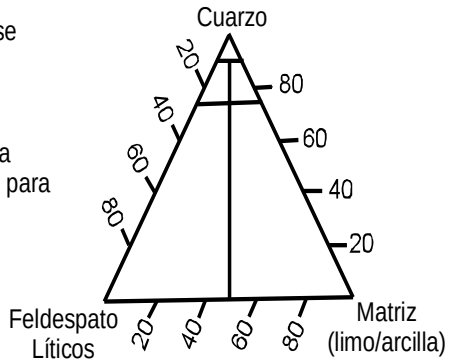
_____ 1. la misma madurez que el de la roca fuente

_____ 2. menos madurez que el de la roca fuente

_____ 3. más madurez que el de la roca fuente

5. Identificación de la madurez del sedimento por medio de Diagramas Ternarios

En el diagrama de la derecha, los feldespatos y líticos se encuentran en la parte inferior izquierda del diagrama ternario, en la parte inferior derecha se encuentra la matriz y en la parte superior el Cuarzo.
Utilizando las muestras de roca sedimentaria silicilástica proporcionada por tu maestro, usa el diagrama ternario para contestar los siguientes problemas:



1. Grafica la posición en la que se encontrarán las muestras en el diagrama ternario.
2.Grafica la roca de la más madura a la menos madura.
3. Describe la composición de las muestras
4. Explica el significado de la madurez de tus muestras graficadas en el diagrama ternario.

_____

_____

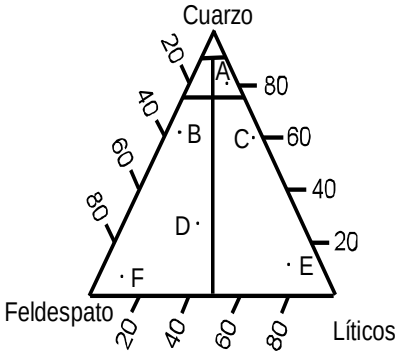
_____

_____

_____

Observa el diagrama ternario de la derecha (QFL) y contesta:

_____ 1. La muestra B es más madura que la muestra A.
_____ 2. La muestra D es más madura que la muestra C.
_____ 3. La muestra B es más madura que la muetsra D.

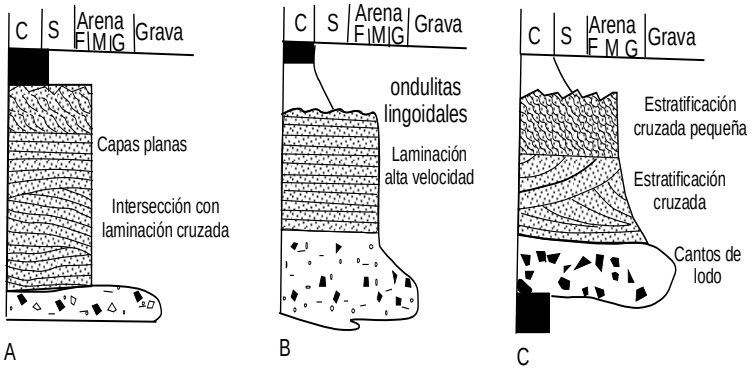


En un Sistema Largo, la muestra D es más proximal que la muestra C.

_____

_____

1. Tomando en cuenta el mapa de Facies. Determine que secuencia de rocas y columna estratigráfica corresponde a los depósitos que se encuentran localizados en B.

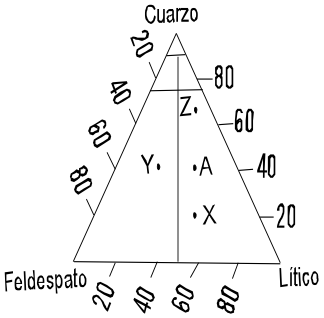


2.Describa las características de los depósitos localizados en C. Completa la columna de la derecha. Explique el porque de su descripción.

Resolver los siguientes problemas:

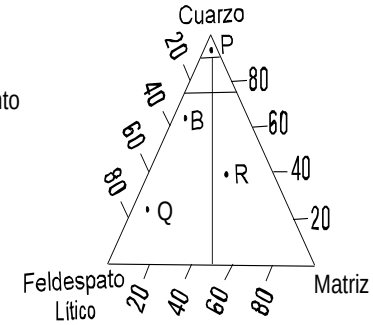
Observe el mapa de facies. Si el sedimento de la localidad A en el mapa de facies tiene una composición de A en el diagrama ternario de la derecha. ¿ Cual sera la composicion del sedimento en la localidad B en el mapa de facies.

1. _____Composicion Z
2. _____Composición Y
3. _____Composición X



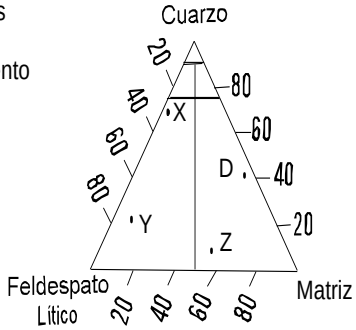
Si el sedimento de la localidad B en el mapa de facies tiene una composición B en el diagrama ternario de la derecha. ¿ Cual será la composición del sedimento en la localidad C en el mapa de facies.

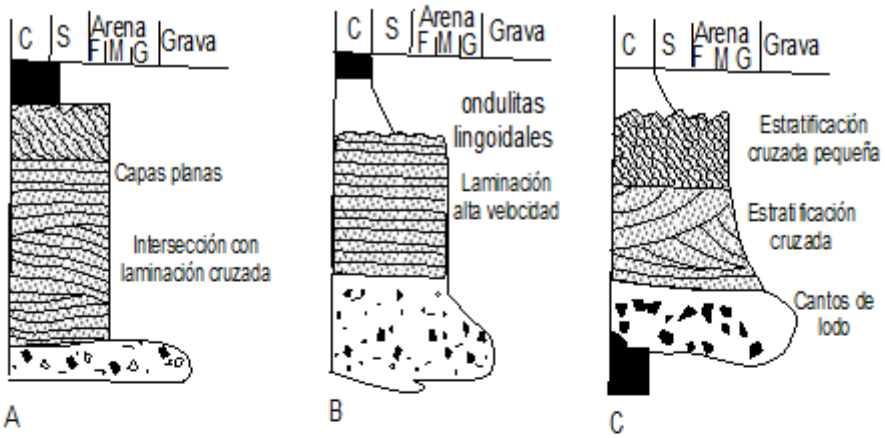
1. _____Composicion P
2. _____Composición Q
3. _____Composición R



Si el sedimento de la localidad D en el mapa de facies tiene una composición D en el diagrama ternario de la derecha. ¿ Cual será la composición del sedimento en la localidad E en el mapa de facies.

1. _____Composicion X
2. _____Composición Y
3. _____Composición Z

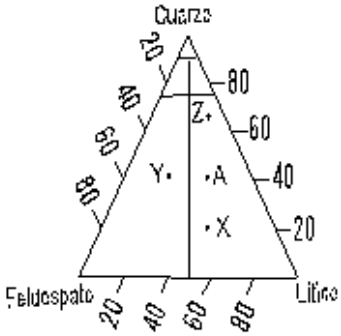




2.Describa las características de los depósitos localizados en C. Completa la columna de la derecha. Explique el porque de su descripción.

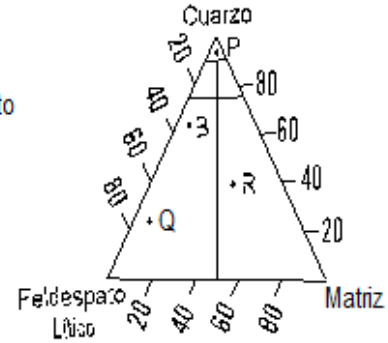
Observe el mapa de facies. Si el sedimento de la localidad A en el mapa de facies tiene una composición de A en el diagrama ternario de la derecha. ¿ Cual sera la composicion del sedimento en la localidad B en el mapa de facies.

1. _____Composicion Z
2. _____Composición Y
3. _____Composición X



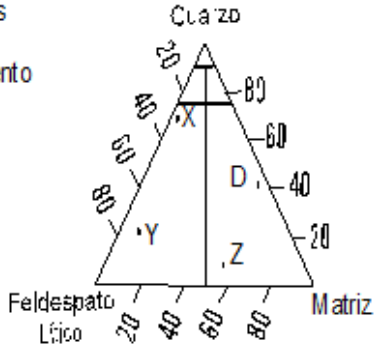
Si el sedimento de la localidad B en el mapa de facies tiene una composición B en el diagrama ternario de la derecha. ¿ Cual será la composición del sedimento en la localidad C en el mapa de facies.

1. _____Composicion P
2. _____Composición Q
3. _____Composición R



Si el sedimento de la localidad D en el mapa de facies tiene una composición D en el diagrama ternario de la derecha. ¿ Cual será la composición del sedimento en la localidad E en el mapa de facies.

1. _____Composicion X
2. _____Composición Y
3. _____Composición Z



MAPA DE FACIES

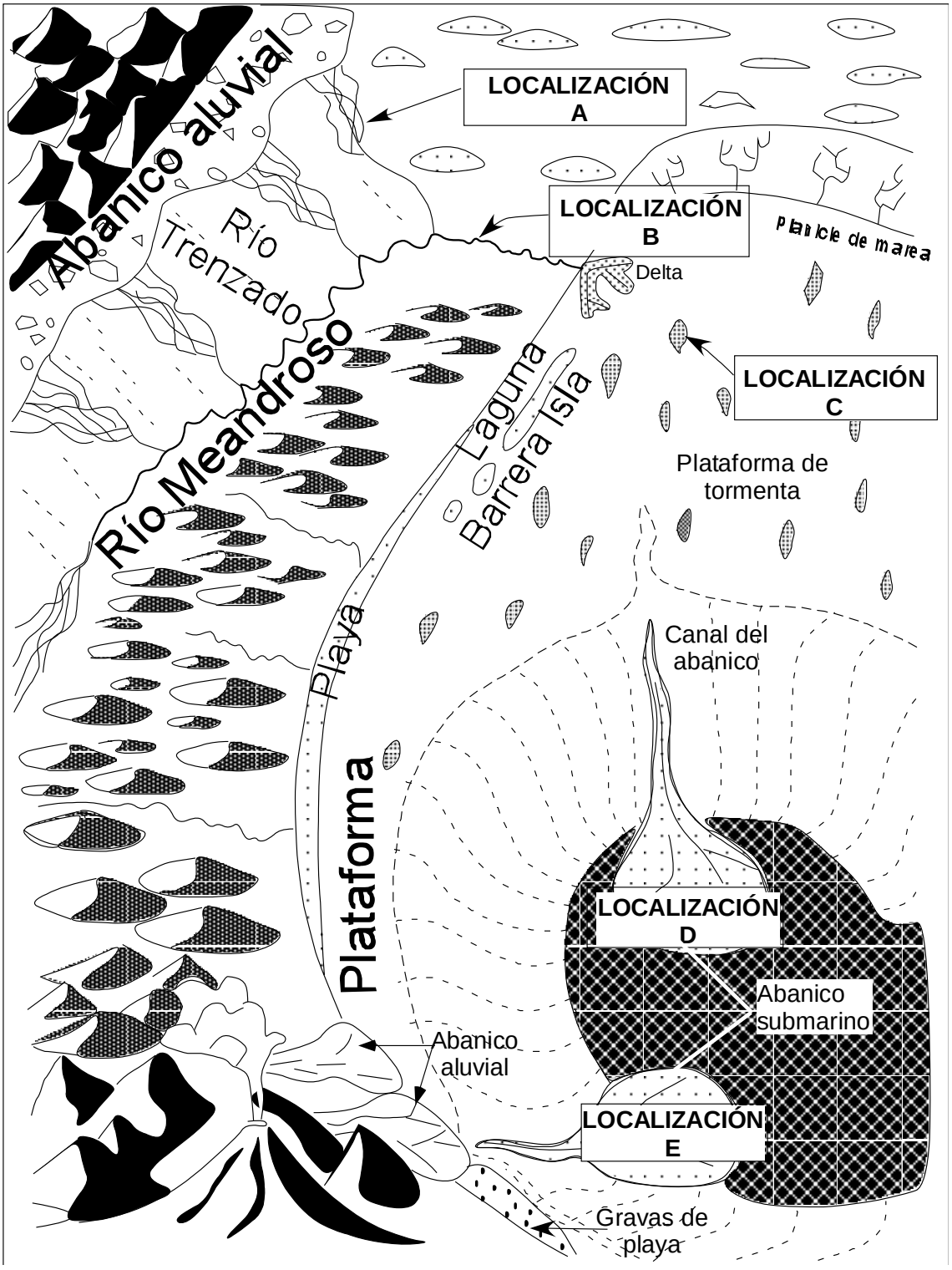


Figura 24. Mapa de facies

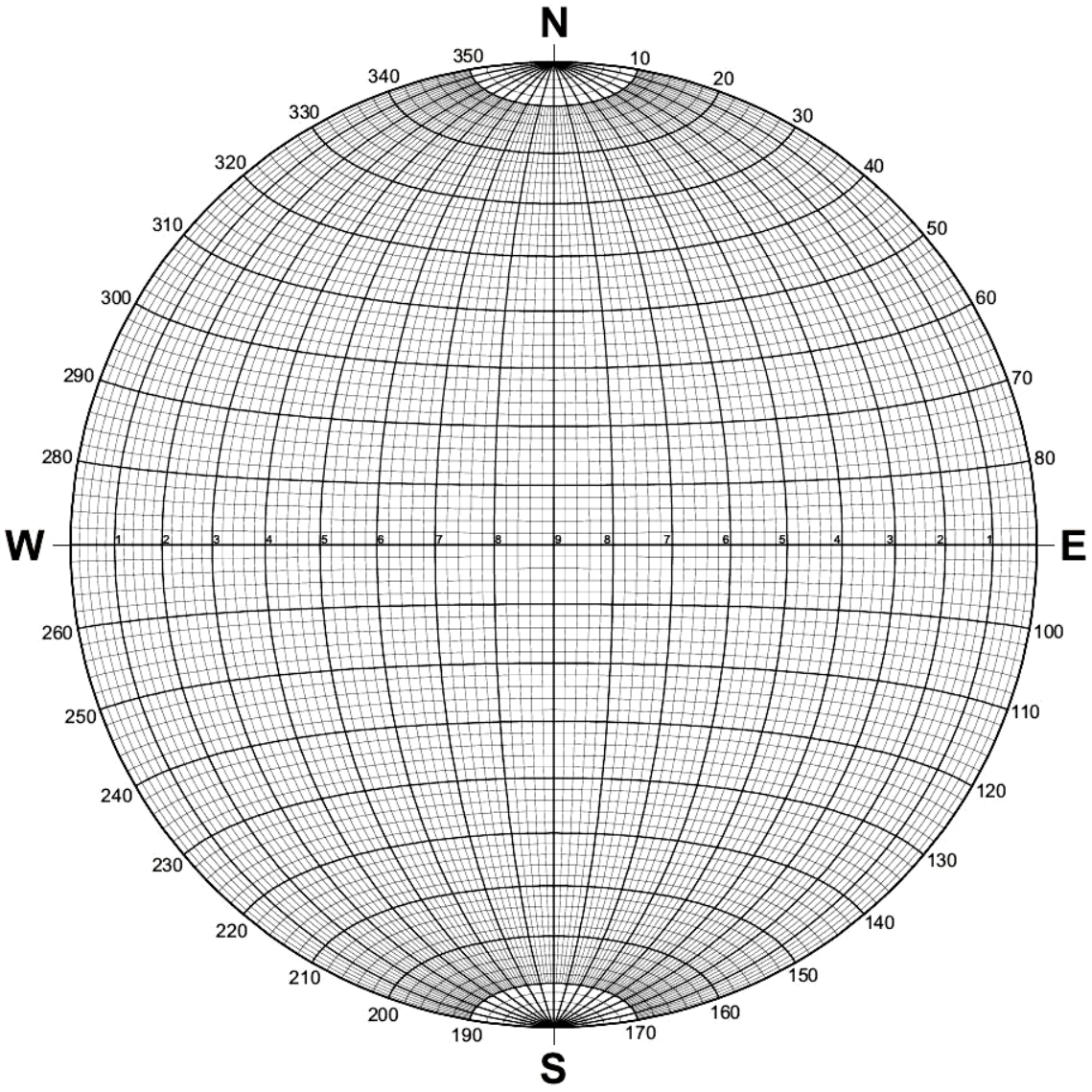


Figura 25. Proyección estereográfica

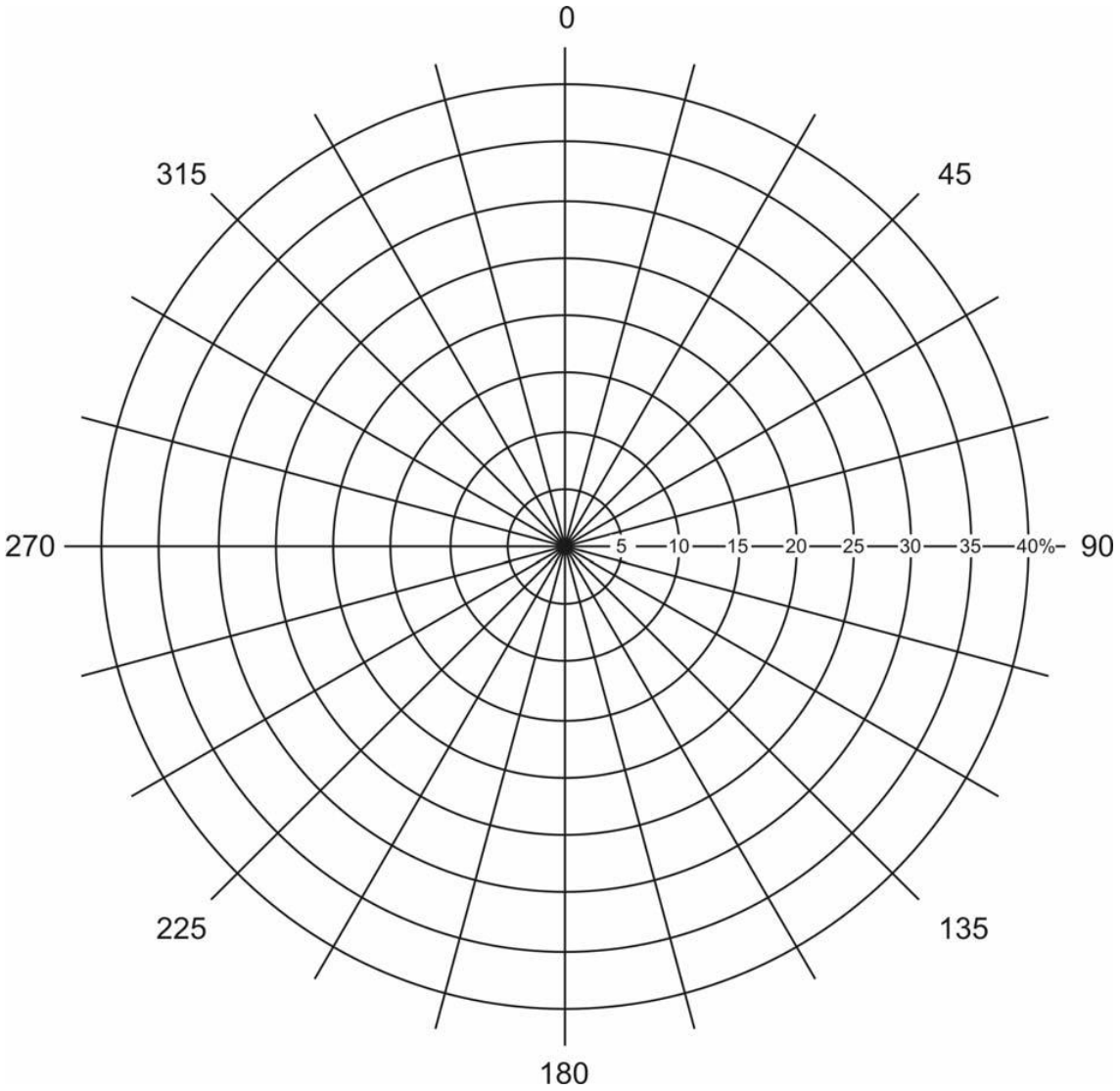


Figura 26. Histograma circular

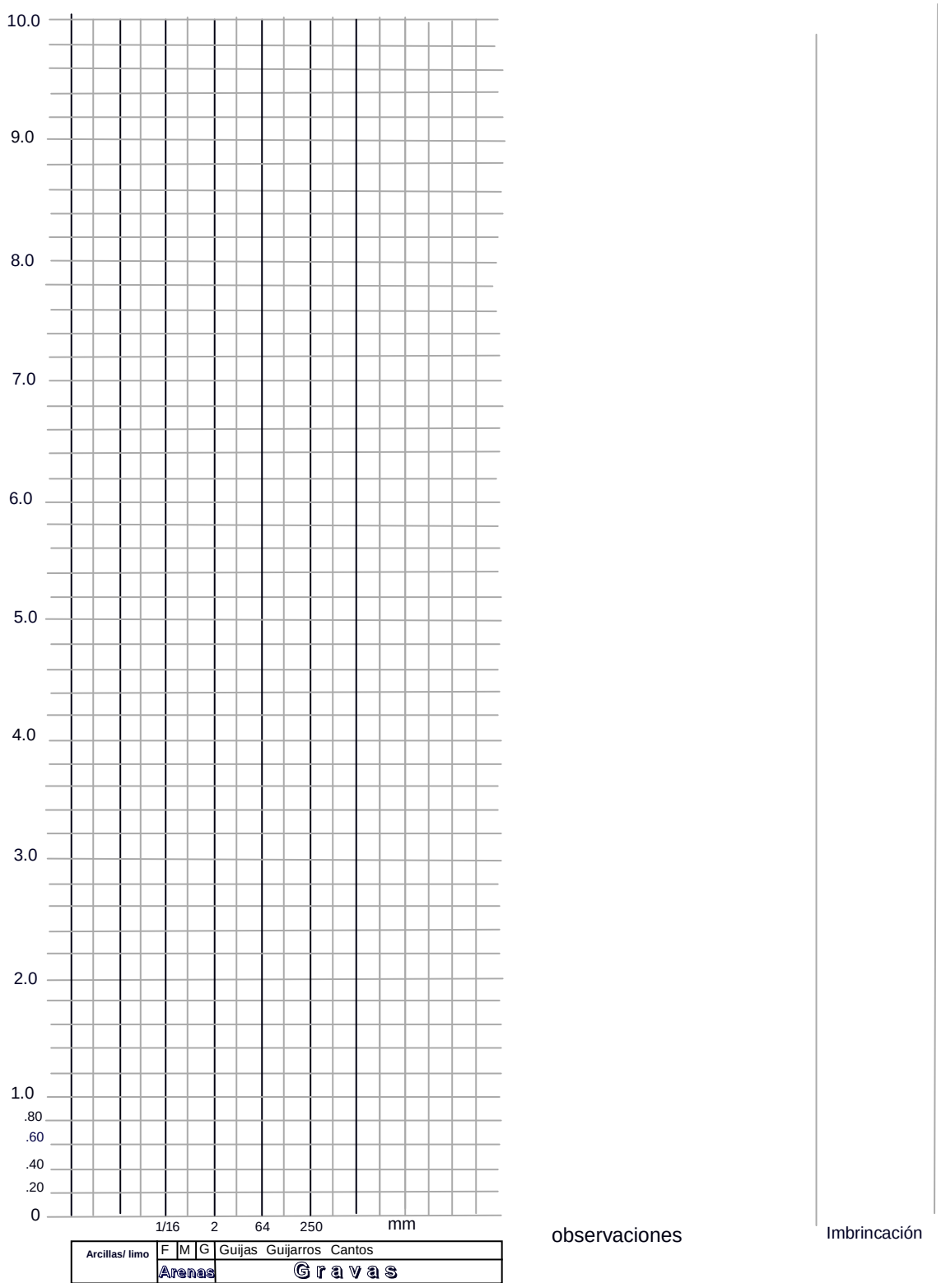


Figura 27. Columna estratigráfica

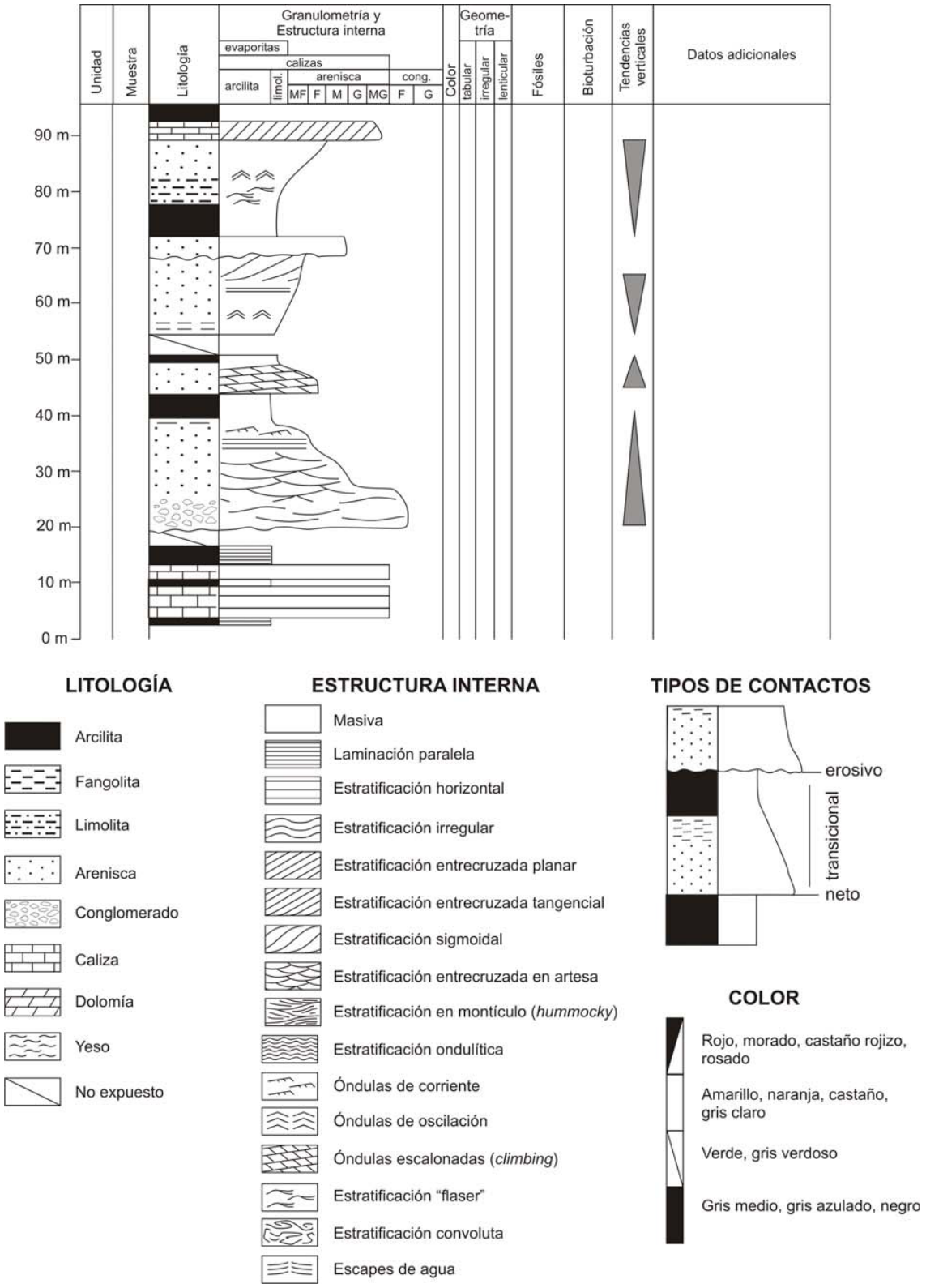


Figura 28. Simbología, perfil, litología, estructuras primarias

SIMBOLO	NOMBRE PROPUESTO	SIMBOLO	NOMBRE PROPUESTO	SIMBOLO	NOMBRE PROPUESTO
	Algas		Discociclinas		Litoclastos angulosos
	Ammonites		Diatomeas		Litoclastos redondeados
	Alveolínidos		Endicnias		Marca de sobrecarga
	Asilinas		Epidicnias		Macroforaminíferos
	Belemnites		Equínidos		Megacristales
	Bioclastos		Equinodermos		Micropeloides
	Bioturbación suave		Escamas en general		Miliólidos
	Bioturbación moderada		Espículas		Monopleuridos
	Bioturbación fuerte		Espinas		Nanoplamcton
	Bivalvos		Esponjas		Nódulos (carbonato)
	Bivalvos acumulados		Esporas		Nódulos (hierro)
	Braquiópodos		Estratificación cruzada		Nódulos (manganeso)
	Briozoos		Estromatolitos		Nummulites
	Codiáceas		Estromatopóridos		Oncolitos
	Caráceas		Exinias		Ooides
	Calciesferas		Foraminíferos		Ooides (superficial)
	Cangrejos		Foram. planctónicos		Operculina
	Caprínidos		Fósiles en general		Orbitólidos
	Carófitos		Gasterópodos (continental.)		Orbitolínidos
	Chevron		Gasterópodos (marinos)		Ortocerátidos
	Cirrípedos		Grano recubierto		Ostrácodos
	Conglomerados		Granos compuestos		Ostreidos
	Conodontos		Graptolites		Ostreidos acumulados
	Coprolitos		Grietas		Otolitos
	Corales coloniales		Hidrozoos		Pectínidos
	Corales escleractínidos		Hoppers		Peces
	Corales paleozoicos		Huesos		Peloides
	Crinoideos		Insectos		Pisoides
	Dascicladales		Laminación cruzada		Plantas en general
	Dientes (mamíferos)		Litoclastos		Polen
	Dientes (peces)		Intraclastos		Pseudomorfos
	Dinoflagelados		Cuarzo (Cristales)		Radiolarios

	Raices		Tubos		Pozo de recarga
	Radiolites		Yesos		Pozo surgente
	Requiénidos		CH4 y CO2 mina / túnel		Pozo no surgente
	Ripples de corriente		Cantera activa		Pozo seco
	Rodolitos		Cantera abandonada		Pozo vertical
	Rodofícea		Deslizamiento en potencia		Sondeo general
	Rudistas		Fuente, manantial		Sondeo vertical estéril
	Selenitas		Gravera activa		" Productivo de Gas
	Slumps		Gravera inactiva		" y penetrac. estática
	Tentaculites		Mina activa		" vert. con indicios
	Tintínidos		Mina abandonada		" vert. mineralizado
	Trilobites		Pozo inclinado		" y pentrac. dinámica

Figura 29. Simbología

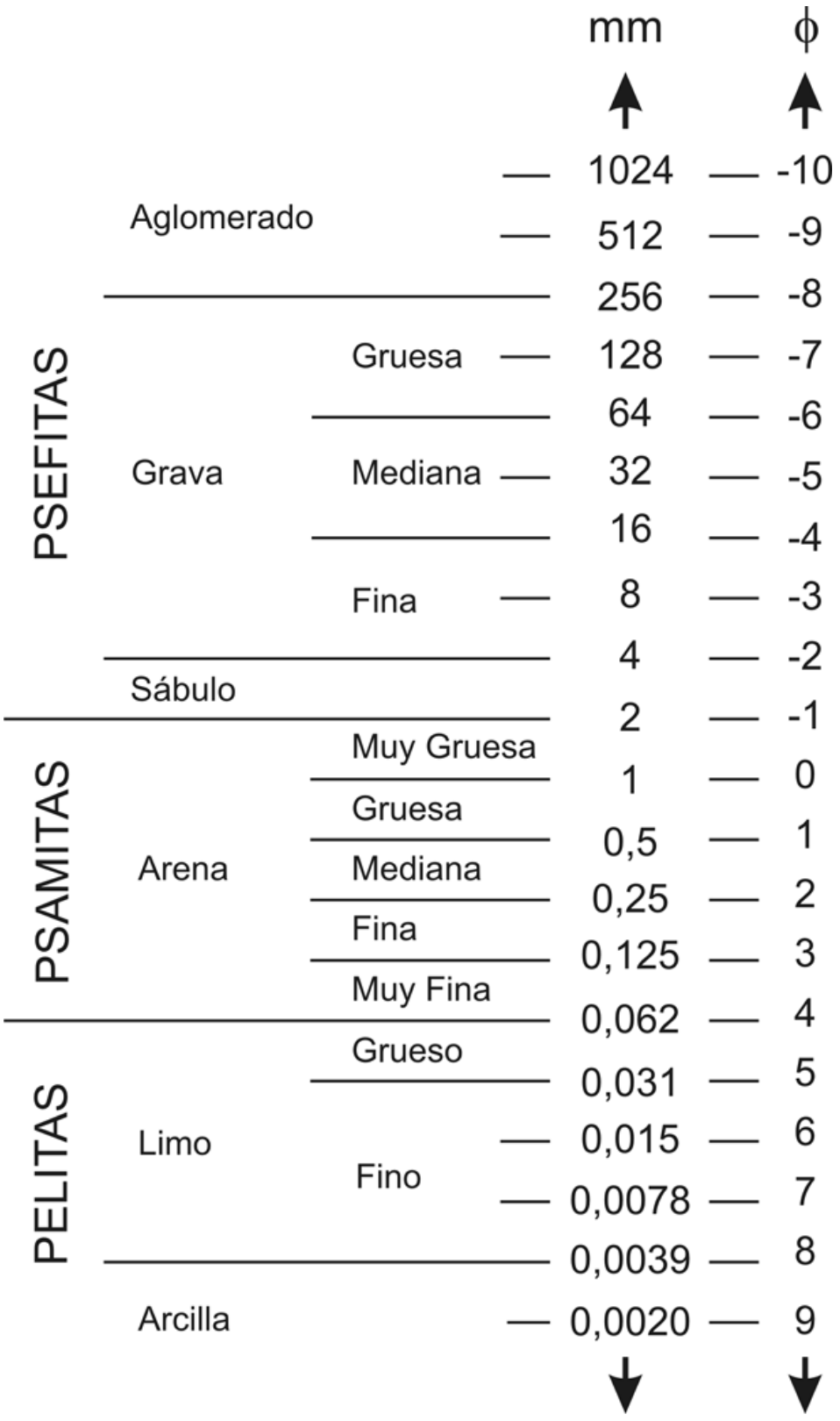


Figura 30. Clasificación granulométrica de los sedimentos epiclásticos

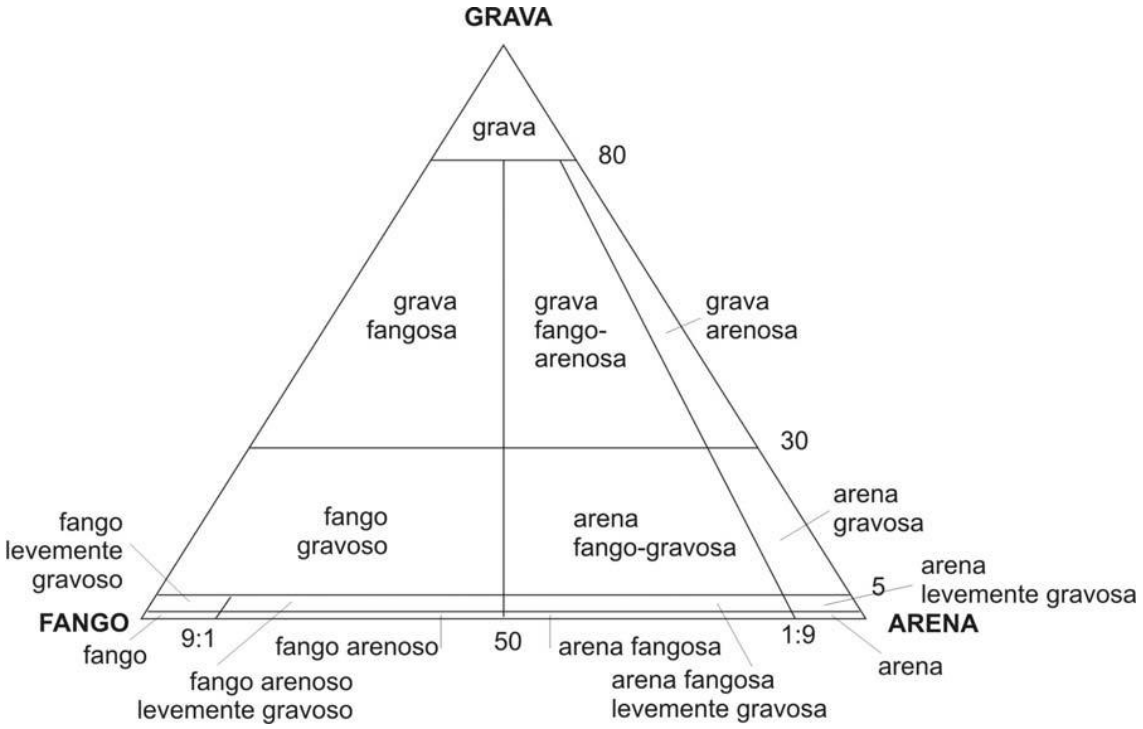


Figura 31. Clasificación de sedimentos con participación de la fracción psefítica (Folk *et al*, 1970).

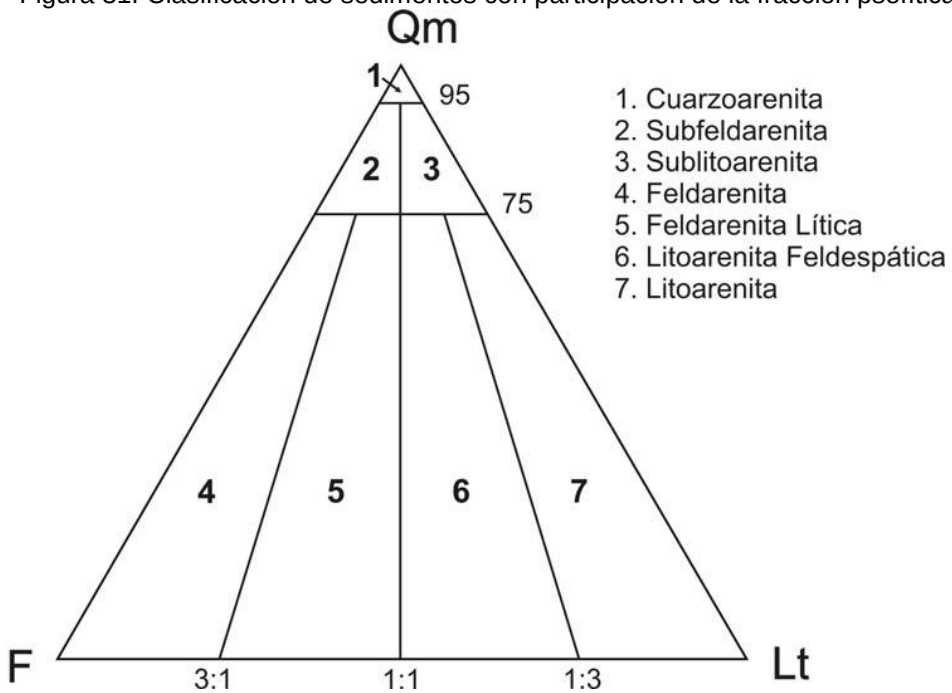


Figura 32. Clasificación de sedimentos (Folk *et al*,1970)

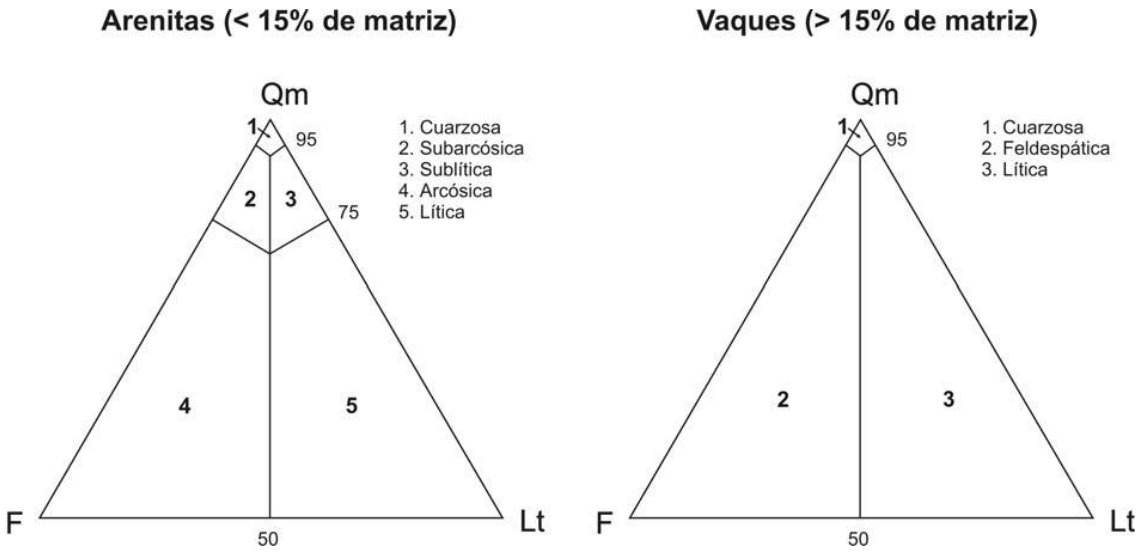


Figura 33. Clasificación de sedimentos (Dott (1964) modif. Pettijohn et al. (1972))

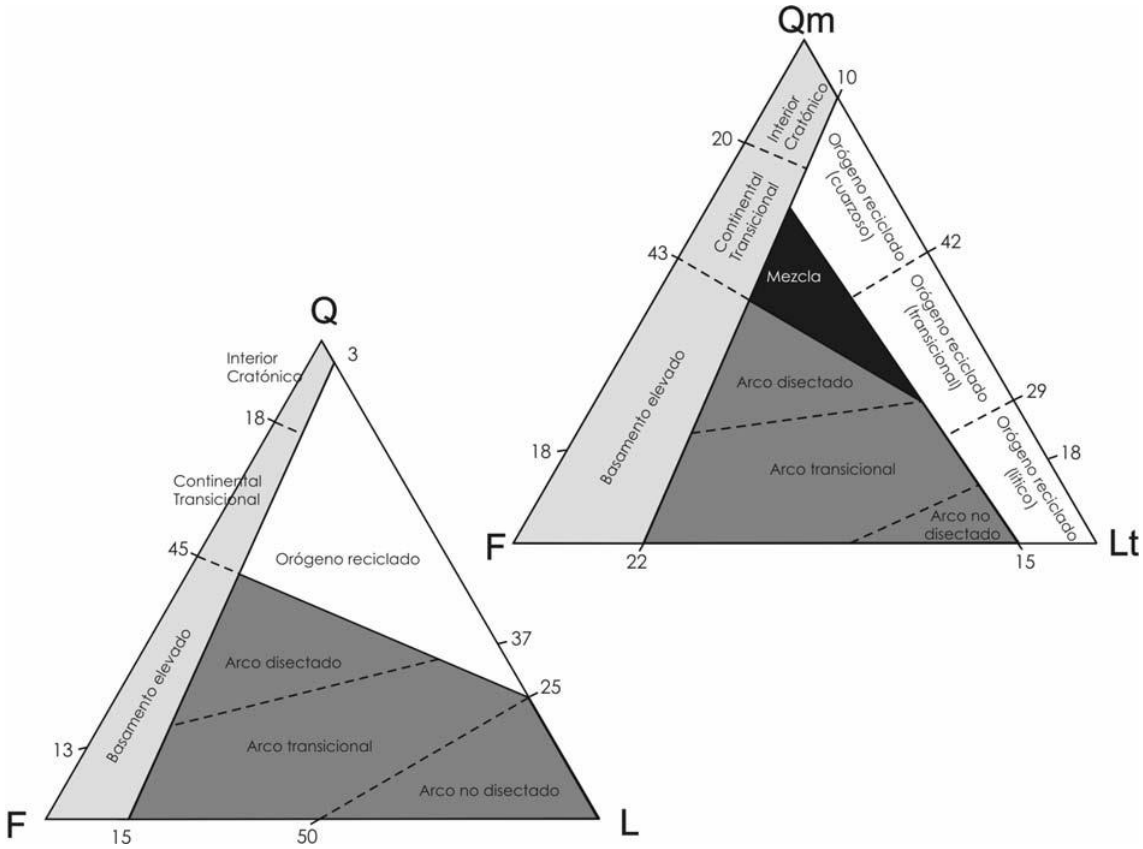


Figura 34. Diagramas QFL y QmFLt de discriminación tectónica de áreas de aporte (Dickinson*et al*, 1983)

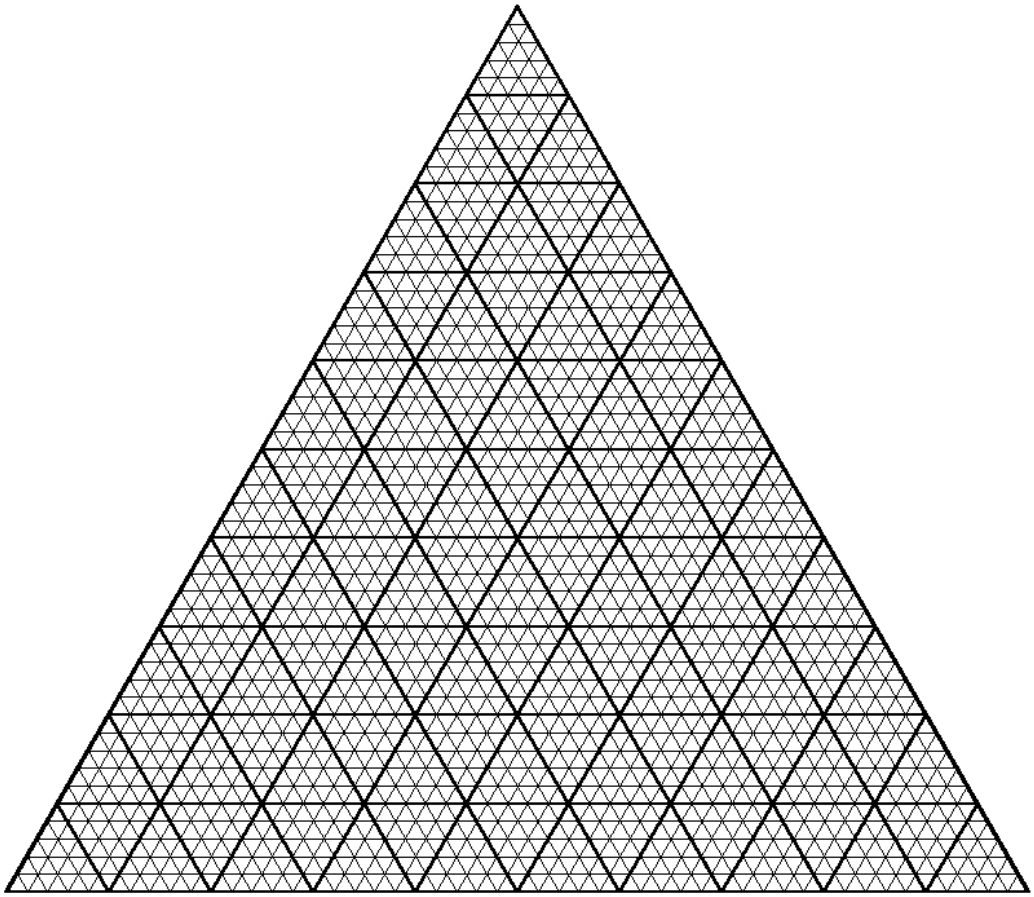


Figura 35. Diagrama Ternario

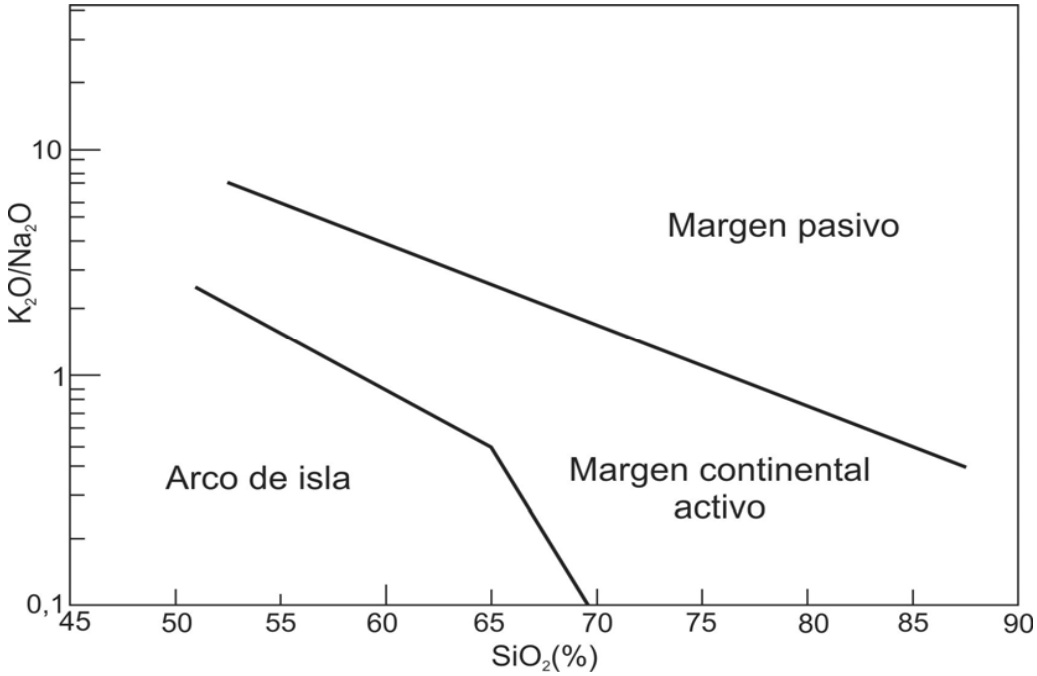


Figura 36. Diagrama de Roser &Korsch (1986)

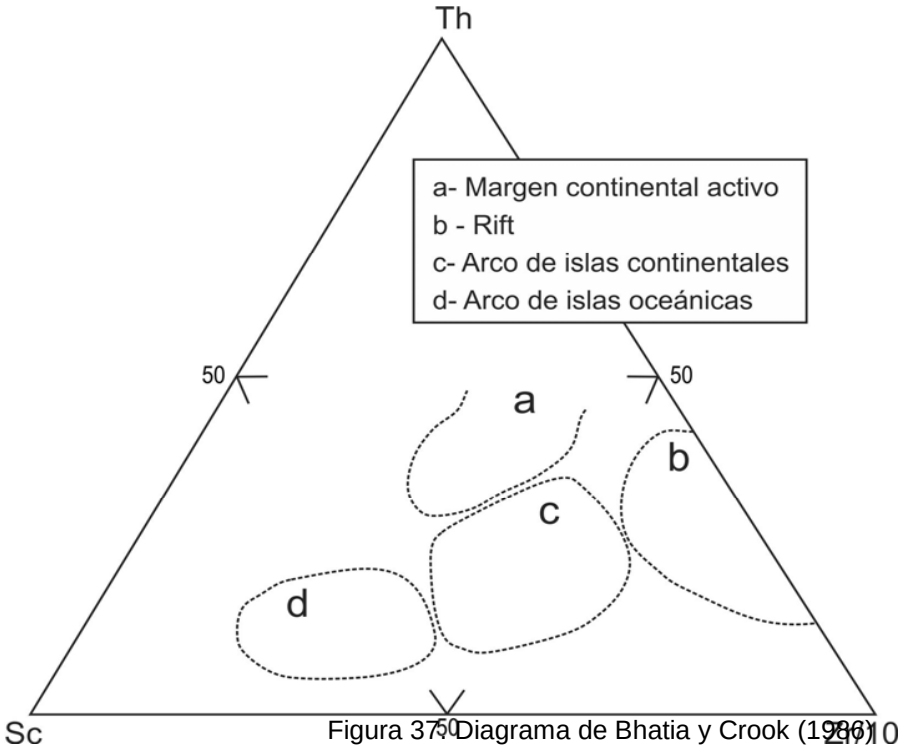


Figura 37. Diagrama de Bhatia y Crook (1986)

XI.14. Bibliografía

Adams, A.E. Mackenzie W.S. y Guilford, C. (1984).- "Atlas of Sedimentary Rocks under the microscope". Logmann. Harlow, Essex. 104 p.

Blatt, H. (1992, 2ª Ed).- "Sedimentary Petrology". W.H. Freeman & Comp. San Francisco. 514 p.

Carozzi, A.V. (1993).- "Sedimentary Petrography". PTR Prentice Hall, New Jersey. 263 p.

Folk, R.L. (1980).- "Petrology of Sedimentary Rocks". Hemphill Publ. Comp., Austin, Texas. 182 p.

Greensmith, J.T. (1989, 7ª Ed).- "Petrology of the sedimentary rocks" G. Unwin. & Hyman. London. 262 p.

Pettijohn, F.J. (1968, 2ª Ed).- "Las Rocas Sedimentarias". EUDEBA.730 p.

Pettijohn, F.J. (1975, 3ª Ed).-"Sedimentary Rocks". Harper & Row. New York. 628 p.

Tucker, M.E. (1991, 2ª Ed).- "Sedimentary Petrology. An Introduction". Blackwell Sci. Publ., Oxford, 260 p.