

Fundamentos de Sedimentología y Estratigrafía

GUÍA DE TRABAJOS PRÁCTICOS

Clases teóricas: Prof. Dr. Sergio Marensi
Clases prácticas: JTP Dra. Alfonsina Tripaldi

**2do CUATRIMESTRE
2019**

Fundamentos de Sedimentología y Estratigrafía

Reglamento de los Trabajos Prácticos

- ✓ Para realizar los trabajos prácticos (TP) es necesario revisar los conceptos desarrollados en las clases teóricas.
- ✓ Es obligatorio leer la Normas de Higiene y Seguridad, incluidas en la guía de TP, y entregar el formulario correspondiente firmado al JTP.
- ✓ La asistencia mínima requerida para mantener la regularidad de los TP es del 75%.
- ✓ La entrega de los prácticos para su corrección puede hacerse hasta una semana después de la clase correspondiente a la finalización de dicho TP. Vencido ese plazo sólo se procederá al visado de estos sin corrección.
- ✓ No se podrá rendir el examen parcial sin haber entregado previamente todos los TP realizados durante la cursada.
- ✓ Se tomarán dos exámenes parciales, con un puntaje mínimo de aprobación de 7 puntos. Aprobados los TP quedarán habilitados para rendir el examen final el cual es obligatorio para aprobar la materia.

ALGUNAS REGLAS BÁSICAS DE HIGIENE Y SEGURIDAD EN LABORATORIOS QUÍMICOS

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES - SERVICIO DE HIGIENE Y SEGURIDAD

Las medidas de Seguridad en Laboratorios son un conjunto de medidas preventivas destinadas a proteger la salud de los que allí se desempeñan frente a los riesgos propios derivados de la actividad, para evitar accidentes y contaminaciones tanto dentro de su ámbito de trabajo, como hacia el exterior.

Las reglas básicas aquí indicadas son un conjunto de prácticas de sentido común realizadas en forma rutinaria.

El elemento clave es la actitud proactiva hacia la seguridad y la información que permita reconocer y combatir los riesgos presentes en el laboratorio. Será fundamental la realización meticulosa de cada técnica, pues ninguna medida, ni siquiera un equipo excelente puede sustituir el orden y el cuidado con que se trabaja.

1. Se deberá conocer la ubicación de los elementos de seguridad en el lugar de trabajo, tales como: matafuegos, salidas de emergencia, mantas ignífugas, lavajos, gabinete para contener derrames, accionamiento de alarmas, etc.
2. No se permitirá comer, beber, fumar o maquillarse.
3. No se deberán guardar alimentos en el laboratorio, ni en las heladeras que contengan drogas.
4. Se deberá utilizar vestimenta apropiada para realizar trabajos de laboratorio y cabello recogido (guardapolvo preferentemente de algodón y de mangas largas, zapatos cerrados, evitando el uso de accesorios colgantes).
5. Es imprescindible mantener el orden y la limpieza. Cada persona es responsable directa de la zona que le ha sido asignada y de todos los lugares comunes.
6. Las manos deben lavarse cuidadosamente después de cualquier manipulación de laboratorio y antes de retirarse del mismo.
7. Se deberán utilizar guantes apropiados para evitar el contacto con sustancias química o material biológico. Toda persona cuyos guantes se encuentren contaminados no deberá tocar objetos, ni superficies, tales como : teléfono, lapiceras, manijas de cajones o puertas, cuadernos, etc.
8. No se permitirá pipetear con la boca.
9. No se permitirá correr en los laboratorios.
10. Siempre que sea necesario proteger los ojos y la cara de salpicaduras o impactos se utilizarán anteojos de seguridad, viseras o pantallas faciales u otros dispositivos de protección. Cuando se manipulen productos químicos que emitan vapores o puedan provocar proyecciones, se evitará el uso de lentes de contacto.
11. No se deben bloquear las rutas de escape o pasillos con equipos, máquinas u otros elementos que entorpezcan la correcta circulación.
12. Todo material corrosivo, tóxico, inflamable, oxidante, radiactivo, explosivo o nocivo deberá estar adecuadamente etiquetado.
13. No se permitirán instalaciones eléctricas precarias o provisionarias. Se dará aviso inmediato a la Secretaría Técnica en caso de filtraciones o goteras que puedan afectar las instalaciones o equipos y puedan provocar incendios por cortocircuitos (Interno 355).
14. Se requerirá el uso de mascarillas descartables cuando exista riesgo de producción de aerosoles (mezcla de partículas en medio líquido) o polvos, durante operaciones de pesada de sustancias tóxicas o biopatógenas, apertura de recipientes con cultivos después de agitación, etc.
15. Las prácticas que produzcan gases, vapores, humos o partículas, aquellas que pueden ser riesgosas por inhalación deben llevarse a cabo bajo campana.
16. Se deberá verificar la ausencia de vapores inflamables antes de encender una fuente de ignición. No se operará con materiales inflamables o solventes sobre llamas directa o cerca de las mismas. Para calentamiento, sólo se utilizarán resistencias eléctricas o planchas calefactoras blindadas. Se prestará especial atención al punto de inflamación y de autoignición del producto.
17. El material de vidrio roto no se depositará con los residuos comunes. Será conveniente ubicarlo en cajas resistentes, envuelto en papel y dentro de bolsas plásticas. El que sea necesario reparar se entregará limpio al taller.

18. Será necesario que todo recipiente que hubiera contenido material inflamable, y deba ser descartado sea vaciado totalmente, escurrido, enjuagado con un solvente apropiado y luego con agua varias veces.
19. Está prohibido descartar líquidos inflamables o tóxicos o corrosivos o material biológico por los desagües de las piletas, sanitarios o recipientes comunes para residuos. En cada caso se deberán seguir los procedimientos establecidos para la gestión de residuos. Consultar al Servicio de Higiene y Seguridad (Interno 275).
20. Cuando sea necesario manipular grandes cantidades de materiales inflamables (más de 5 litros.) deberá tenerse a mano un extintor apropiado para ese material en cuestión.
21. Cuando se trasvase material combustible o inflamable de un tambor a un recipiente más pequeño, realice una conexión con una cadena del tambor a tierra y con otra entre el tambor y el recipiente de manera de igualar potenciales y eliminar la posible carga estática.
22. Al almacenar sustancias químicas considere que hay cierto número de ellas que son incompatibles pues almacenadas juntas pueden dar lugar a reacciones peligrosas. Ante dudas consultar al Servicio de Higiene y Seguridad (Interno 275).
23. No almacene en estantes sobre mesadas sustancias corrosivas, hágalo en estantes bajo mesadas y en caso de ácidos o álcalis concentrados (mayor de 2N) deben ser mantenidas dentro de lo posible en bandejas de material adecuado.
24. Los cilindros de gases comprimidos y licuados deben asegurarse en posición vertical con pinzas, grampas y correas o cadenas a la pared en sitios de poca circulación, protegidos de la humedad y fuentes de calor, de ser posible en el exterior.
25. Los laboratorios contarán con un botiquín de primeros auxilios con los elementos indispensables para atender casos de emergencia.
26. Se informará al Dpto. de Seguridad y Control cuando se necesiten dejar equipos funcionando en ausencia del personal del laboratorio.
27. Se anotará en un lugar visible desde el exterior los teléfonos de los responsables de cada laboratorio para que puedan ser consultados en caso de alguna anomalía verificada por el personal de Seguridad y Control en su recorrida fuera de los horarios habituales de trabajo.

Procedimientos ante emergencias :

· Emergencias médicas

Si ocurre una emergencia tal como: cortes o abrasiones, quemaduras o ingestión accidental de algún producto químico, tóxico o peligroso, se deberá proceder :

1. Llame a la Dpto. de Seguridad y Control, int. 311 e informe el tipo y grado de la emergencia.
2. A los accidentados se les proveerán los primeros auxilios.
3. Avise al Jefe de Laboratorio o autoridad del Departamento, quienes solicitarán asistencia de la Secretaría Técnica (interno 380) para que envíen personal del Dpto. de Mantenimiento, Seguridad y Control o Servicios Generales según correspondan.
4. El Responsable del Laboratorio notificará el accidente al Servicio de Higiene y Seguridad y a la oficina de Personal para su evaluación e informe, donde se determinarán las causas y se elaborarán las propuestas para modificar dichas causas y evitar futuras repeticiones.

Si la emergencia es menor y el involucrado puede trasladarse, los Centros para requerir ayuda médica son:

- S.A.M.E. Teléfono 107
- Hospital Pirovano Av. Monroe 3555 Tel. 4542-5552 / 9279

INTOXICACIONES :

- Hospital de Niños. Dr. R. Gutiérrez, Sánchez de Bustamante 1399. Capital Federal. Tel: 4962-6666.
- Hospital de Niños. Dr. P. de Elizalde, Av. Montes de Oca 40 Tel. 4307-7491 Toxicología 4300-2115

QUEMADURAS :

- Hospital de Quemados, P.Goyena 369 Tel. 4923-4082 / 3022

OFTALMOLOGÍA

- Hospital Santa Lucía, San Juan 2021 Tel. 4941-7077
- Hospital Dr. P. Lagleyze, Av. Juan B. Justo 4151 Tel. 4581-0645 / 2792

· *Incendio:*

1. Mantenga la calma. Lo mas importante es ponerse a salvo y dar aviso a los demás.
2. Si hay alarma, acciónela. Si no grite para alertar al resto.
3. Se dará aviso inmediatamente al Dpto. de Seguridad y Control int. 311 informando el lugar y las características del siniestro.
4. Si el fuego es pequeño y sabe utilizar un extintor, úselo. Si el fuego es de consideración, no se arriesgue y manteniendo la calma ponga en marcha el plan de evacuación.
5. Si debe evacuar el sector apague los equipos eléctricos y cierre las llaves de gas y ventanas.
6. Evacue la zona por la ruta asignada.
7. No corra, camine rápido, cerrando a su paso la mayor cantidad de puertas. No utilice ascensores. Descienda siempre que sea posible.
8. No lleve consigo objetos, pueden entorpecer su salida.
9. Si pudo salir por ninguna causa vuelva a entrar. Deje que los equipos especializados se encarguen.

Si bien no se espera que usted tenga que usarlos, los teléfonos útiles son:

- BOMBEROS Teléfono 100
- DIVISIÓN CENTRAL DE ALARMA: 4381-2222 / 4383-2222 / 4304-2222.
- CUARTEL V DE BELGRANO, Obligado 2254 Capital Tel. 4783-2222
- BOMBEROS DE VICENTE LÓPEZ, Av. Maipú 1669 Vicente López. Tel. 4795-2222
- BOMBEROS DE SAN ISIDRO, Santa Fe 650 Martínez. Tel. 4747-2222

· *Derrame de productos químicos*

1. Atender a cualquier persona que pueda haber sido afectada.
2. Notificar a las personas que se encuentren en las áreas cercanas acerca del derrame. Coloque la cinta de demarcación para advertir el peligro.
3. Evacuar a toda persona no esencial del área del derrame.
4. Si el derrame es de material inflamable, apagar las fuentes de ignición, y las fuentes de calor.
5. Evite respirar los vapores del material derramado, si es necesario utilizar una máscara respiratoria con filtros apropiados al tipo de derrame.
6. Ventilar la zona.
7. Utilizar los elementos de protección personal tales como equipo de ropa resistente a ácidos, bases y solventes orgánicos y guantes.
8. Confinar o contener el derrame, evitando que se extienda. Para ello extender los cordones en el contorno del derrame.
9. Luego absorber con los paños sobre el derrame.
10. Deje actuar y luego recoger con pala y colocar el residuo en la bolsa roja y ciérrela.
11. Comuníquese con el Servicio de Higiene y Seguridad para disponer la bolsa con los residuos.
12. Si el derrame es de algún elemento muy volátil deje dentro de la campana hasta que lo retire para su disposición.
13. Lave el área del derrame con agua y jabón. Seque bien.
14. Cuidadosamente retire y limpie todos los elementos que puedan haber sido salpicados por el derrame.
15. Lave los guantes, la máscara y ropa.

Completar y entregar al docente de Trabajos Prácticos

Fecha:

Declaro haber leído las REGLAS BÁSICAS DE HIGIENE Y SEGURIDAD EN LABORATORIOS DE QUÍMICA Y BIOLOGÍA – PROCEDIMIENTOS ANTE EMERGENCIAS que aparecen en la guía de Trabajos Prácticos de la Materia

Turno de Laboratorio:

Firma:.....

Aclaración:.....

L.U. Nº:

TRABAJO PRÁCTICO N°1 ANÁLISIS MECÁNICO DE SEDIMENTOS

Objetivos:

- Estudiar las técnicas para la determinación del tamaño de las partículas sedimentarias
- Efectuar un análisis mecánico de sedimentos actuales en el laboratorio
- Aprender los procedimientos de análisis estadísticos de datos granulométricos
- Utilizar los resultados obtenidos junto con información complementaria para caracterizar depósitos sedimentarios y analizar los procesos de transporte y deposición

Bibliografía recomendada:

Petrología y diagénesis de rocas clásticas, R. Scasso y C.O. Limarino, Asociación Argentina de Sedimentología, Publicación Especial N° 1. 1997.
Techniques in Sedimentology, M. Tucker, Blackwell, 1988
Sedimentology and stratigraphy, N. Gary, Blackwell, 1999

ESCALAS GRANULOMÉTRICAS

Para hablar de medición de tamaños de partículas primero tenemos que ponernos de acuerdo sobre que escala vamos a usar para medir esas partículas. La distribución de la frecuencia granulométrica es continua. Para estudiar esta distribución, expresarla estadísticamente y compararla con otras distribuciones, los tamaños de grano se agrupan en clases o grados, de una escala granulométrica. Entonces, las escalas granulométricas son subdivisiones arbitrarias de una sucesión continua de tamaños de grano. Esta subdivisión se hace por dos razones:

- 1) Estandarizar la terminología sedimentológica
- 2) 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 subdividibles. En cambio una escala geométrica es la más apropiada, pues da origen a unidades más pequeñas para las partículas menores y grandes para las mayores. Al graficar, además se lo hace sobre una escala logarítmica, pues de esta manera todos los intervalos geométricos quedan igualmente espaciados.

La escala granulométrica más usada en la actualidad es la de Udden, modificada por Wentworth (1922) y por el Comité Lane (1947) y llamada UDDEN-WENTWORTH (Fig. 1) (Pettijohn, 1963; Reineck y Singh, 1980; Scasso y Limarino, 1997). Esta toma el milímetro como punto de partida y establece subdivisiones utilizando la razón 2 ó 1/2 (la primera en sentido creciente y la segunda en sentido decreciente), así los límites de clases en esta escala son:

..., 256 mm, 128 mm, 64 mm, 32 mm, 16 mm, 8 mm, 4 mm, 2 mm, 1 mm, 1/2 mm, 1/4 mm, 1/8 mm, 1/16, etc.

Cuando se trabaja con sedimentos bien seleccionados se hace necesario introducir un mayor número de grados en cada intervalo, por lo tanto se subdivide cada clase en 2 ó 4 subclases. Al hacerlo aparecen números irracionales pues la subdivisión debe ser geométrica y no aritmética (raíz cuadrada o cuarta del producto de los extremos).

Para evitar usar números irracionales, Krumbein ideó la ESCALA PHI (ϕ) (Folk, 1966, 1968). Esta se basa en que los límites de los intervalos de clase de la escala Udden-Wentworth son potencias de 2, y por lo tanto se pueden expresar como logaritmos enteros en base 2. Al dividir cada intervalo en otros 2 ó 4, los nuevos límites se expresan en la escala phi como números decimales. Para evitar trabajar con números negativos al tratar las partículas más finas (menores de 1 mm), se toma el logaritmo negativo en base 2:

$$\text{PHI } (\phi) = -\log_2 \text{ diámetro en mm}$$

Resultando:

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

La distribución de la frecuencia de tamaño de grano, puede ser obtenida por distintos métodos (Fig. 2). Cada uno tiene sus ventajas y desventajas y la elección depende del problema a solucionar. Entre los métodos más comunes se encuentran:

1. Para gravas: medición con calibre
2. Para arenas: tamizado (sieve analysis)
sedígrafo (Laser Particle Analyzer)
3. Para pelitas: método de la pipeta (Pipette method)
sedígrafo
4. Para rocas muy consolidadas: medición en cortes delgados

Para mayor detalle de estas técnicas consultar la bibliografía recomendada.

Cuando se trabaja con sedimentos o rocas poco consolidadas y antes de aplicar el método elegido, se debe hacer una preparación de las muestras, es decir, obtener una mezcla donde las partículas se encuentren sueltas, separadas entre sí para poder medir los tamaños individuales. A continuación se detallan los procedimientos para realizar esta preparación en el laboratorio.

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) Desagregación mecánica
- 3) Desagregación química
- 4) Secado y pesado de la muestra

1) Cuarteo:

Sucesivas divisiones de la muestra total en cuartos, con el objeto de obtener una porción representativa de todas las características originales. Se hace un montículo de muestra sobre una superficie limpia y con una espátula o cuchara, se lo divide en cuatro porciones iguales. Se retienen las dos cuartas partes alternantes (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. A manera de guía se pueden sugerir los siguientes pesos aproximados (Carver, 1971, pág.51-52):

grava fina: 500 grs.
arena gruesa: 200 grs.
arena mediana: 100 grs.
arena fina: 25-50 grs.
fracción menor: 5-25 grs.

2) Desagregación 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 desagregación 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 40°C en horno.
- Desagregar 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 formarían parte de un intervalo granulométrico de menor tamaño).

3) Desagregación Química:

Cumplido los pasos anteriores se efectúa la desagregación 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)
- c) Eliminación de óxidos e hidróxidos de hierro (con ácido oxálico, $H_2C_2O_4$)
- d) Eliminación de sales solubles (con agua destilada, al regular el pH)

Primeramente, y a los efectos de cuantificar someramente 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, siguiendo el orden establecido. Es importante recordar que se debe tomar el peso seco de la muestra antes y después de cada ensayo para cuantificar.

3.a) Eliminación de la materia orgánica:

Con este procedimiento rara vez se elimina completamente la materia orgánica, pero aún así es muy útil para dispersar el sedimento.

Si hay poca materia orgánica, colocar la muestra (previamente pesada) en un recipiente y agregar 100 ml de peróxido de hidrógeno al 6% (20 vol.) lentamente y con agitación constante. Repetir esta operación hasta que cese el burbujeo. Cubrir el recipiente y calentar a 40°C 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, agregar agua oxigenada al 40 %, muy despacio, agitando al mismo tiempo y hasta que se detenga el burbujeo. Luego calentar a 40°C durante 10' evitando pérdidas de material por excesiva violencia del burbujeo. Evaporar hasta que se haga una pasta delgada, sin llevar a sequedad. Posteriormente agregarle entre 10 a 30 ml de agua oxigenada 30% y cubriéndola con un vidrio de reloj calentarla entre 40-60°C durante 1-12 hs. Este procedimiento debe repetirse hasta que se haya removido toda la materia orgánica. Finalmente, dar un pequeño hervor para remover el exceso de agua oxigenada (controlando el pH que debe ser 6-7).

3.b) Eliminación de cemento y clastos carbonáticos:

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 agrega 25 ml de agua destilada, agitando para mezclar. Se agrega lentamente HCl 10% hasta que se detenga la efervescencia. Si el material carbonático 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 calentar a 80-90°C y agregar HCl hasta obtener un pH de 3,5 a 4 y mantenerlo 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) 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 6-7.

	U. Wentworth (mm)	2 (mm)	4 (mm)	phi	tamiz
Bloque	1024,0000			-10,00	
	256,0000			-8,00	
Guijarro	128,0000			-7,00	
G	64,0000			-6,00	
R	32,0000			-5,00	
A	16,0000			-4,00	
V	8,0000			-3,00	4
A	4,0000	4,00000	4,00000	-2,00	5
Sábulo o			3,36000	-1,75	6
Gránulo		2,83000	2,83000	-1,50	7
			2,38000	-1,25	8
	2,0000	2,00000	2,00000	-1,00	10
			1,68000	-0,75	12
Muy gruesa		1,41000	1,41000	-0,50	14
			1,19000	-0,25	16
	1,0000	1,00000	1,00000	0,00	18
			0,84000	0,25	20
Gruesa		0,70700	0,70700	0,50	25
A			0,59500	0,75	30
R	0,5000	0,50000	0,50000	1,00	35
E			0,42000	1,25	40
N	Mediana	0,35400	0,35400	1,50	45
A			0,29700	1,75	50
	0,2500	0,25000	0,25000	2,00	60
			0,21000	2,25	70
Fina		0,17700	0,17700	2,50	80
			0,14900	2,75	100
	0,1250	0,12500	0,12500	3,00	120
			0,10500	3,25	140
Muy fina		0,08800	0,08800	3,50	170
			0,07400	3,75	200
	0,0625	0,06200	0,06200	4,00	230
			0,05300	4,25	
Grueso		0,04400	0,04400	4,50	
			0,03700	4,75	
	0,0313	0,03120	0,03120	5,00	
			0,02660	5,25	
L	Mediano	0,02200	0,02200	5,50	
I			0,01880	5,75	
M	0,0156	0,01560	0,01560	6,00	
O			0,01330	6,25	
Fino		0,01100	0,01100	6,50	
			0,00940	6,75	
	0,0078	0,00780	0,00780	7,00	
			0,00660	7,25	
Muy fino		0,00550	0,00550	7,50	
			0,00470	7,75	
	0,0039	0,00390	0,00390	8,00	
			0,00330	8,25	
A		0,00276	0,00276	8,50	
R			0,00232	8,75	
C	0,0020	0,00195	0,00195	9,00	
I			0,00164	9,25	
L		0,00138	0,00138	9,50	
L			0,00116	9,75	
A	0,0010	0,00098	0,00098	10,00	
			0,00082	10,25	
		0,00069	0,00069	10,50	

Figura 1. Escala granulométrica de Udden-Wentworth, en unidades mm y phi

4) Secado y pesado de la muestra:

Finalizado 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 a 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 para ser usado posteriormente para los cálculos de porcentajes luego del análisis granulométrico.

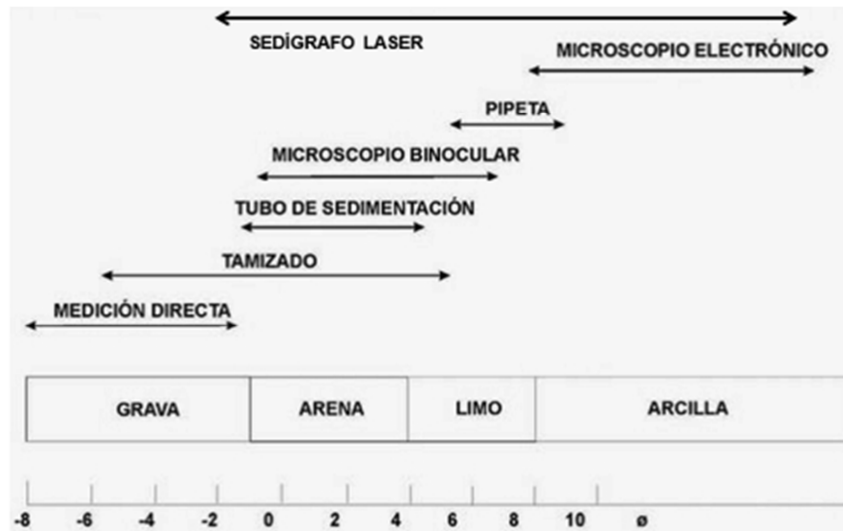


Figura 2. Metodologías para determinar los tamaños de grano en los distintos tipos de sedimentos

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SEDIMENTOS

Pasos a seguir en la realización de un análisis granulométrico de sedimentos areno-fangosos.

Tamizado

Previo a la iniciación del análisis el material es observado megascópicamente o con lupa para determinar las proporciones relativas de la fracción pelítica y psamítica (y psefítica, TP1B)

a) Separar la arena en su conjunto de la fracción limo-arcilla, mediante un tamiz de 62 μ m por vía húmeda. Para ello, primero en un recipiente hacer una pasta con agua destilada (para evitar nubes de polvo) para luego volcarla al tamiz. Luego se hace correr suavemente agua sobre el sedimento contenido en el tamiz con el objeto de que las partículas finas ($<1/16$ mm) sean arrastradas a un recipiente apropiado ubicado debajo, quedando retenida las fracciones mayores en el tamiz.

De esta manera tenemos separada ambas fracciones, las cuales se analizan por separado:

Fracción Psamítica

b) La fracción que queda en el tamiz se seca a no más de 100°C (para evitar deformación de la malla); se debe tener la precaución de colocar un papel debajo del tamiz para recibir las partículas pelíticas que se desprenden durante el secado.

c) Una vez seco el material, se vuelca sobre un papel limpio ayudándose con un pincel de cerda de nylon, cuidando que no queden granos entrampados en la malla.

- d) Armar una pila de tamices cuyas aberturas responderán a la escala granulométrica adoptada para el análisis (Fig. 3). Por debajo se colocará un fondo y hacia arriba se colocan las mallas en orden creciente de abertura.
- e) Verter con cuidado el sedimento seco en el tamiz superior, luego se coloca la tapa a la pila y se introduce la pila en una máquina agitadora (Ro-Tap). Se mantiene agitando durante 15 minutos, sin modificar este tiempo entre muestra y muestra.
- f) Finalizado el tamizado, vaciar el contenido de cada tamiz en una hoja de papel, ayudándose con un pincel (debe ser de cerdas suaves para no dañar la malla metálica de los tamices)
- g) Cada una de las fracciones recogidas en los tamices deberá ser pesada al miligramo. La suma de todas estas fracciones corresponderá al peso de la arena de la muestra, al que deberá luego adicionarse el peso de la fracción pelítica (si eventualmente se recogen finos en el fondo de la pila de tamices, estos deben ser incorporados al material a pipetear.

Fracción Pelítica

Los diversos métodos se basan en la velocidad de asentamiento de las partículas en medio acuoso (ley de Stokes), considerando a éstas como esferas perfectas (Fig. 4). Los principales métodos utilizados para el análisis son los siguientes: pipeteo, sedígrafo, densimétrico, levigación y balanza de sedimentación. Cada uno de ellos presenta ventajas y desventajas sobre los otros, principalmente en tiempo de trabajo y precisión de los resultados. Aquí se describirá el método de pipeteo (Krumbein y Pettijohn, 1961; Galehouse, 1971), que es uno de los más ampliamente aceptados. Luego también se hará una breve referencia al método de sedígrafo.

h) Una vez que el material de tamaño inferior a 62 μ m ha sido recolectado en un recipiente apropiado (probeta de 1000 ml) se procede a la dispersión del mismo. Esto se realiza para evitar que las partículas estén unidas unas con otras. La dispersión debe hacerse añadiendo un electrolito (peptizante) en volumen y concentración conocida. Son varios los métodos de dispersión, basados en distintos electrolitos. Los más comunes son los que se realizan con hexametáfosfato de sodio (solución Calgón) y solución Gedroiz. La primera se prepara con 40 grs. de hexametáfosfato de Na en 1 litro de agua destilada. Para la dispersión, colocar en vaso de precipitados la muestra a usar con aproximadamente 200 cm³ de agua destilada; luego agregar 50 ml de solución Calgón y dejar reposar 24 hs. agitando periódicamente. Posteriormente introducir el material en máquina agitadora durante 5-10 minutos y después pasar la suspensión a una probeta de 1000 ml llevando a volumen con agua destilada.

i) Una vez finalizada la dispersión, el sedimento se encuentra en condiciones de ser analizado mediante el método de la pipeta.

Este método consiste en tomar sucesivamente una cantidad fija de suspensión ⁽¹⁾ por medio de una pipeta graduada, y a una profundidad "h" determinada para cada extracción, al cabo de un tiempo t ⁽²⁾. Las partículas extraídas tendrán una velocidad de caída inferior o igual a h/t.

⁽¹⁾ El volumen del pipeteo (20ml) debe ser despreciable con relación al volumen total, para evitar la mezcla con otros tamaños de partículas.

⁽²⁾ Los tiempos y las profundidades de extracción corresponden a valores experimentales de la ley de Stokes. La tabla 1 indica los principales tiempos según los diámetros de la escala Udden- Wentworth.

Los pasos necesarios para completar el método estándar de pipeteo (Krumbein y Pettijohn, 1938) son los siguientes:

Se agita la suspensión entre 1 a 2 minutos con agitador manual de disco o agitador mecánico. Se debe poner especial cuidado de no producir proyecciones del líquido y material fuera de la probeta. En el preciso momento en que finaliza la agitación, la suspensión comienza a sedimentar y se pone en marcha el cronómetro. Este paso debe ser rápido y exacto al igual que todas las extracciones.

Se debe verificar la temperatura, la cual debe estar en $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, que es la temperatura estándar usada. De no ser así debe corregirse según tablas.

Introducir la pipeta con su extremo tapado hasta la profundidad indicada, unos 10 seg. antes de la extracción. Esto debe realizarse para evitar disturbar la suspensión en el momento de la extracción. Realizar la extracción de 20 ml en el tiempo determinado y a la profundidad requerida.

Verter el contenido de cada pipeteada en cápsulas, de porcelana o aluminio, limpias y previamente taradas y rotuladas.

Las cápsulas se colocan en una estufa a temperatura no mayor de $40-50^{\circ}\text{C}$ (a $>$ de 100°C se afectan a los minerales de arcillas).

Una vez secas, las cápsulas son depositadas en un desecador hasta peso constante, para evitar la hidratación de las muestras.

Para calcular el peso del material correspondiente a cada intervalo se procede de la siguiente forma (Fig. 5):

- tomar el peso de la muestra descontando el peso de la cápsula.

- a este peso debe descontarse el peso del Calgón:

1000 ml de agua ----- 40 grs. de Calgón

50 ml de agua ----- 2 grs

1000 ml de dispersión ---- 2 grs. de Calgón

20 ml " ---- 0,04 grs. de Calgón

Por lo tanto:

Peso del material= peso de material de la cápsula - 0,04 gr (en 20 ml)

Para obtener la cantidad de material de cada tamaño en los 1000 ml contenidos en la probeta, deberá multiplicarse el valor X por 50.

Hasta el momento, los pesos obtenidos corresponden a los tamaños determinados para cada tiempo de extracción. Para fines estadísticos, el parámetro a usar no será el peso de un tamaño en particular, sino el peso de un intervalo limitado de dos clases de tamaños. Cada uno de los intervalos dependerá de la escala usada.

De acuerdo a esto, para obtener el peso de cada intervalo, deberá restarse el peso de la primera pipeteada a la segunda, al de éste la tercera y así sucesivamente. Cada extracción contiene, respecto de la anterior, un grado granulométrico menos; por lo tanto los pesos de cada extracción deberán ser sucesivamente menores.

Ejemplo:

I) a los 58" se extrae una porción de suspensión que contiene material de tamaño 1/16 mm más todos los menores (peso A)

II) a los 1'56" se extrae material de tamaño 1/32 mm más todos los menores (peso B).

Luego, el peso de cada intervalo granulométrico se obtiene restando las sucesivas extracciones entre sí:

Ejemplo:

Intervalo 1/16 - 1/32 mm = Peso A - Peso B = X1

Contador de partículas láser

Otra forma de determinar el tamaño de las partículas tamaño arena y limoarcilla es la utilización de un contador de partículas láser o sedígrafo. La técnica se basa en el principio de que las partículas más pequeñas dispersan un haz paralelo de luz monocromático a intensidades particulares y a mayores ángulos que partículas más gruesas (Malvern Instruments Ltd, 2004). El software del contador de partículas calcula la distribución de tamaño de granos, según el patrón de dispersión de la luz, como un porcentaje en volumen de los rangos de tamaños, asumiendo que las partículas de sedimento tienen una geometría esférica (Cheethman et al., 2008). Estos autores compararon los resultados de muestras de arena obtenidos mediante distintos métodos de análisis granulométricos y encontraron la mejor correlación entre el método de tamizado-pipeteo y el de difracción láser.

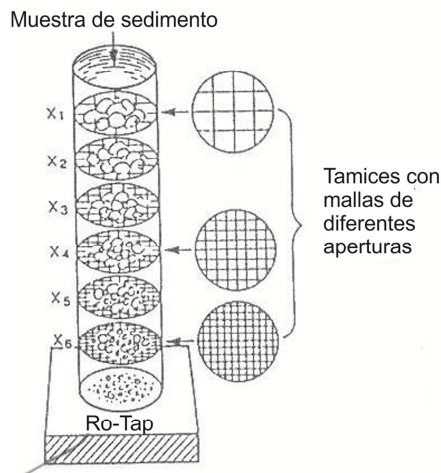


Figura 3. Esquema del armado de la pila de tamices.

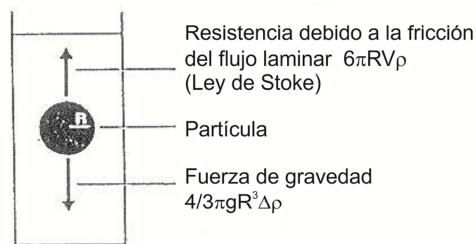


Figura 4. Fuerzas actuantes sobre las partículas del sedimento en suspensión.

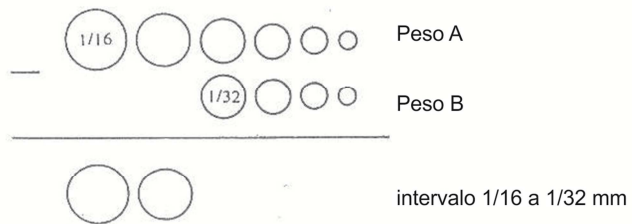


Figura 5. Obtención del peso del intervalo granulométrica entre 1/16 y 1/32 mm a partir de la resta de dos pipeteadas sucesivas.

Diámetro en mm	Velocidad cm/seg	Profundidad cm/seg	Hora-minuto-segundo
0,0625	0,347	20	00 00 58
0,0442	0,174	20	00 01 56
0,0312	0,0869	10	00 01 56
0,0221	0,0435	10	00 03 52
0,0156	0,0217	10	00 07 44
0,0110	0,0109	10	00 15 --
0,0078	0,00543	10	00 31 --
0,0055	0,00272	10	01 01 --
0,0039	0,00136	10	02 03 --
0,00276	0,00068	10	04 05 --
0,00195	0,00034	10	08 10 --
0,00138	0,000168	10	16 21 --
0,00098	0,000085	5	16 21 --
0,00069	0,000043	5	32 42 --
0,00049	0,000021	5	65 25 --

Tabla 1. Velocidades de decantación en función del tamaño de grano (escala Udden-Wentworth) del sedimentos según la ley de Stoke. Las profundidades y tiempos de extracción son las frecuentemente empleadas en el método de la pipeta.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE ROCAS LITIFICADAS

Este análisis se realiza mediante cortes delgados de sedimentitas cuyo grado de litificación no permite la desagregación, 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 buena a muy buena y esfericidad alta.

a) Método de Chayes: Es un método rápido y consiste en la medición del 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 por el número de granos. Este proceso se repite varias veces hasta que se tenga un número significativo de granos cortados estadísticamente.

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

Donde n es el n° de granos cortados por la línea; d es el diámetro del campo visual del microscopio y N el n° 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 arbitrariamente y depende fundamentalmente de la granulometría promedio y el tipo de fábrica. Existe un error vinculado a 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

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA GRANULOMETRÍA

1) Representaciones gráficas

Tres son las representaciones gráficas que se realizan y acompañan a todo análisis granulométrico: histograma, curva acumulativa y curva de frecuencia:

Histograma

Es una representación gráfica de la distribución de frecuencia, siendo la más simple de las representaciones gráficas, 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.

Construcción: Se representa en un sistema de coordenadas cartesianas, en papel milimetrado. En las abscisas se grafican las clases granulométricas en escala phi o Udden-Wentworth y en ordenadas la frecuencia en porcentaje (%) (Fig. 6).

Curva Acumulativa o de Frecuencia Acumulativa

Es una representación gráfica de la frecuencia granulométrica, cuya construcción puede realizarse de los datos analíticos. Su trazo en papel milimetrado tiene forma de "S" abierta (curva 2 en Fig. 10), mientras que en papel de probabilidad es una línea recta (si la distribución es logarítmica normal) o casi recta (curva 3 en Fig. 10). Para el cálculo de los parámetros estadísticos, por los métodos gráficos, conviene hacerlo en papel de probabilidad, ya que su naturaleza recta permite leer correctamente las intersecciones. La particularidad de este papel es que es simétrico con respecto al 50% de la frecuencia y que los intervalos se van agrandando hacia ambos extremos, sin llegar nunca al 100% ni al 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 esta 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 principales formas de transporte de sedimentos (rolido, 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 reflejan los modos de transporte del medio depositacional.

Curva de Frecuencia

Es la representación gráfica más exacta de una distribución granulométrica dada. Para casi todos los sedimentos, esta curva tiene forma de campana, con variaciones según el tipo de sedimento que se trate (curva 1 en Fig. 10).

Construcción: Esta curva no puede construirse a partir de los datos analíticos sino gráficamente a partir de la curva acumulativa representada en papel milimetrado (Fig. 9).

- a) De cada valor de phi, se levantan paralelas al eje de las ordenadas.
- b) Se trazan tangentes en cada punto que estas líneas tocan a la curva acumulativa.
- c) Ellas son transportadas, haciendo un centro en un punto (valor cero de ordenada) situada a la izquierda con distancia igual a un espacio de escala horizontal que se emplea, y de esta forma hasta alcanzar al eje de ordenada. Desde este punto se traza una paralela al eje de abscisa, hasta alcanzar la línea de valor phi correspondiente, cuya intersección marca con un punto. La unión de los puntos así logrados, constituye la curva de frecuencia.

2) Parámetros estadísticos

En el análisis estadístico simple existen una serie de parámetros que permiten comparar diversos análisis entre sí. Las medidas estadísticas pueden ser gráficas o analíticas, y en general se agrupan en:

- 1.- Tendencia Central o Promedios
- 2.- Dispersión o Selección (*Sorting*)
- 3.- Asimetría (*Skewness*)
- 4.- Agudeza (*Kurtosis*)

Las medidas gráficas son obtenidas directamente de las curvas ploteadas y las fórmulas para obtenerlas están definidas en la tabla 1 (los datos extraídos del gráfico deben corresponder a valores de ϕ).

Para el método analítico de los momentos, los parámetros se calculan a partir de las frecuencias y del valor medio de cada intervalo granulométrico, usando las fórmulas de la tabla 1. 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.

1.- Tendencia Central o Promedios (media, mediana y moda)

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 (Fig. 11).

** Medidas Analíticas:*

1er Momento. Es la media aritmética y equivale al centro de gravedad de la curva.

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 con la curva acumulativa (ϕ_{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/las otra/s moda/s secundaria/s.

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

2.- 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 o sedimentita. 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 es el trazado de la curva acumulativa, mayor selección determina el medio de transporte (Fig. 7).

** Medidas Analíticas:*

2do momento. Es la desviación estándar (desviación de la curva al valor central (m_i)).

** Medidas gráficas:*

Se obtienen valores de la curva acumulativa, según los diversos autores (Tabla 1).

3.- 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 respecto a las colas de una determinada distribución. Se puede observar cualitativamente en una curva de frecuencia.

Análiticamente se obtiene a partir de la fórmula del 3er. momento. Gráficamente se calcula de la curva acumulativa (Fig. 10).

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 (Figs. 7 y 11).

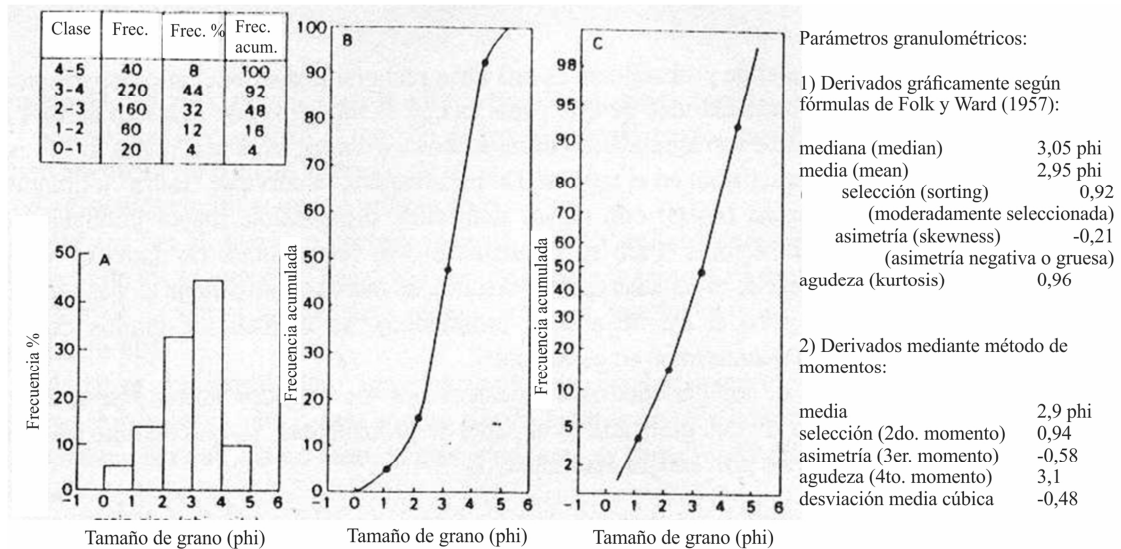


Figura 6. Ejemplos de representaciones gráficas de datos granulométricos, A: histograma, B: curva de frecuencia acumulada en escala aritmética, C: curva de frecuencia acumulada en escala logarítmica. A la derecha parámetros granulométricos de este ejemplo.

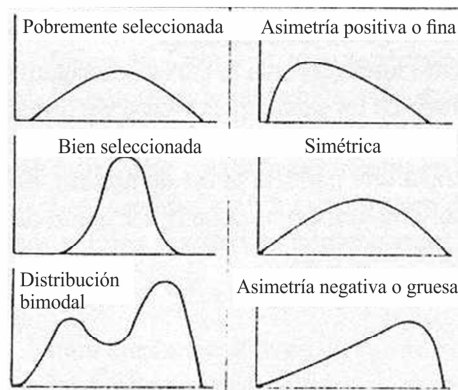


Figura 7. Curvas de frecuencia suavizadas mostrando distintos tipos de distribución según selección y asimetría.

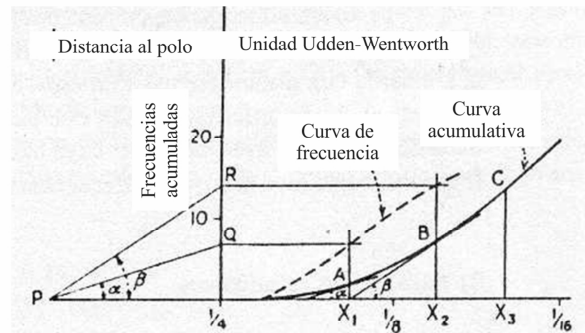


Figura 9. Construcción de curva de frecuencia a partir de la curva acumulativa (según Krumbein, 1934).

Parámetros estadísticos	Fórmulas del método de momentos	Fórmulas del método gráfico (de Folk y Ward, 1957)
media (\bar{x})	$\frac{\sum (f \cdot m)}{100}$	$\frac{(\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84})}{3}$
selección (σ)	$\sqrt{\frac{\sum f \cdot (m - \bar{x})^2}{100}}$	$\frac{(\phi_{84} - \phi_{16})}{4} + \frac{(\phi_{95} - \phi_5)}{6,6}$
asimetría (SK_1)	$\frac{\sum f \cdot (m - \bar{x})^3}{100 \cdot \sigma^3}$	$\frac{(\phi_{16} + \phi_{84} - 2 \cdot \phi_{50})}{2 \cdot (\phi_{84} - \phi_{16})} + \frac{(\phi_5 + \phi_{95} - 2 \cdot \phi_{50})}{2 \cdot (\phi_{95} - \phi_5)}$
mediana (M_d)		ϕ_{50}
agudeza (K_g)	$\frac{\sum f \cdot (m - \bar{x})^4}{100 \cdot \sigma^4}$	$\frac{(\phi_{95} - \phi_5)}{2,44 \cdot (\phi_{75} - \phi_{25})}$

Figura 9. Fórmulas para el cálculo de los parámetros estadísticos. Referencias: f, porcentaje en peso; m, punto medio de intervalo de clase; \bar{x} , media; σ , selección; ϕ_{xx} tamaño de grano (phi) para el percentil del xx % de la curva acumulativa.

4.- Agudeza

Es una comparación entre la dispersión de la parte central y la dispersión de los extremos de la curva de frecuencia. Juntamente con la asimetría son parámetros sensibles para detectar ambientes de depositación y para averiguar si la frecuencia es resultante de la mezcla de poblaciones distintas.

En general la curva de frecuencia puede adoptar dos formas totalmente bien definidas: una totalmente aguda con colas muy gruesas y/o finas (leptocúrtica) con valores altos de agudeza (K_G) desde 1,5 - 3 y aún más; y otra de forma achatada con inflexiones a manera de silla de montar (platicúrtica) debido a la mezcla de más de una población y con valores bajos de agudeza (K_G).

Analíticamente se obtiene a partir de la fórmula del 4er. momento. Gráficamente se calcula de la curva acumulativa graficada en papel de probabilidad (Fig. 10).

Además de presentar los valores numéricos para cada uno de los parámetros estadísticos resulta muy conveniente utilizar una nomenclatura para describir al sedimento. Existen varias propuestas de nomenclatura para los valores de selección, asimetría y agudeza (Trask, 1932; Folk y Ward, 1957; Friedman, 1962). En esta guía se recomienda utilizar la clasificación de 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
pobrementemente seleccionado	1,00 - 2,00	asimetría muy negativa	-0,3 a -1,0	muy leptocúrtico	1,50 - 3,00
muy pobrementemente seleccionado	2,00 - 4,00			extremadamente leptocúrtico	> 3,00
extremadamente mal seleccionado	>4,00				

Tabla 2. Clasificación textural de McManus (1988)

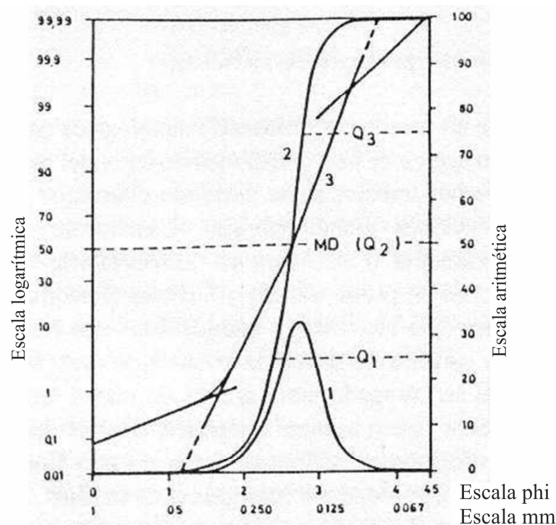


Figura 10. Representaciones gráficas de distribuciones granulométricas: 1) curva de frecuencia, 2) curva acumulativa en escala aritmética, 3) curva acumulativa en escala de probabilidad logarítmica. Se indican tres percentiles comúnmente calculados Q1 (25%), Q2 (50%=mediana), Q3 (75%) (modificado de Visher, 1969).

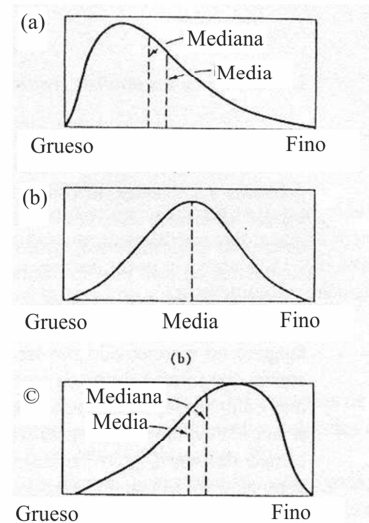


Figura 11. Curvas de frecuencia mostrando distribuciones con asimetría positiva (a), simétrica (b) y asimetría negativa (c).

Interpretación de las representaciones gráficas

En la curva acumulativa representada en papel de escala aritmética, la moda queda representada en el punto de inflexión (Figs.6b y 10), mientras que en la curva de frecuencia la/s moda/s están representadas por máximos (Figs. 8 y 11), en tanto en el histograma queda definida por la/s columna/s más abundantes (Fig. 6a). Cuando una distribución granulométrica es perfectamente normal y simétrica la mediana, la media y la moda coinciden (distribución normal o gaussiana). En caso contrario, se desplazan y toman diferentes valores (Fig. 11).

La pendiente general de la curva acumulativa indica el grado en que los individuos se acercan o alejan del grupo modal, es decir da idea de la selección. La presencia de irregularidades en la pendiente suave de la curva, puede indicar grupos modales (poblaciones) secundarios. Asimismo, el grado aproximado de selección también puede verse a partir del rango de tamaños que abarca la curva acumulativa.

En la curva acumulativa graficada en 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.

Utilización e interpretación de los parámetros estadísticos

Aunque en sus inicios los parámetros granulométricos fueron utilizados para hacer inferencias e interpretaciones sobre los ambientes depositacionales en los cuales se originaron los depósitos analizados (Mason y Folk, 1958; Passega, 1957, 1964; Friedman, 1961, 1969; Mazzoni, 1973, 1976; Spalletti, 1979; Spalletti y Mazzoni, 1979) es importante señalar que actualmente se considera que **por sí solos los parámetros texturales NO permiten interpretar el paleoambiente de deposición ya que la distribución granulométrica NO es función exclusiva del ambiente de sedimentación.** Pero las características texturales de los depósitos sedimentarios **SI permiten hacer inferencias sobre el tipo de mecanismo de transporte, las condiciones del medio de sedimentación (ej. energía del flujo, etc.), de los procesos de transporte, y de cuál fue el tipo de sedimento disponible que está siendo transportado y depositado.** Más aún, varios procesos diferentes pueden haber operado en un mismo ambiente, y por otro lado, procesos similares tienen lugar en distintos ambientes. En este sentido, debe advertirse que a pesar de no constituir un elemento único para la realización de interpretaciones paleoambientales los parámetros texturales resultan una herramienta muy útil para ser usada conjuntamente con otra información y poder llevar a cabo análisis paleoambientales y geomorfológicos. Los análisis granulométricos se utilizan en muchos estudios sedimentológicos para caracterizar al sedimento o roca y para brindar información acerca de las condiciones de flujo, de los mecanismos de transporte y deposición y de los ambientes depositacionales.

En muchos trabajos se ha intentado diferenciar sedimentos de varios ambientes actuales utilizando distribuciones granulométricas. Usualmente se construyen diagramas discriminantes donde se grafican en los ejes de abscisas y ordenadas distintos parámetros, por ej. media vs selección, etc.. Como ejemplo puede citarse el trabajo de Friedman (1961), en el cual propone que para diferenciar arenas de playa, eólicas y fluviales pueden utilizarse los diagramas de media vs. asimetría o asimetría vs. selección. Las arenas de playa, por ejemplo, suelen tener asimetría negativa ya que los tamaños más finos son eliminados por la acción del oleaje. Las arenas fluviales tienen usualmente asimetría positiva, ya que mucho material fangoso no es removido por las corrientes, al ser atrapado entre granos de mayor tamaño. La gran mayoría de las arenas de dunas eólicas tienen asimetría positiva. En algunos casos estas arenas tienen asimetría negativa, relacionado al desarrollo de un tipo particular de ondulas eólicas. La arena muy fina a mediana es arrancada del área fuente o de planicies aluviales para formar las dunas; algo de arena más gruesa es también transportada al campo de dunas, pero los sedimentos más finos (limo) son eficientemente transportados fuera del sistema, y por lo tanto, eliminados. En general, los sedimentos se hacen más finos y más negativamente asimétricos a medida que son transportados, mientras que el sedimento fuente (residual) se hace relativamente más grueso y de asimetría positiva (McLaren y Bowles, 1985).

Graficar la agudeza vs. asimetría en un grupo de muestras es una forma muy eficiente de interpretar detalles ambientales. Folk y Ward (1957) encontraron que en muestras del río Brazos, la agudeza y la asimetría se debían a una mezcla de dos poblaciones en distintas proporciones. La predominancia de una población arenosa fina asociada a otra (gravosa) subordinada, origina una asimetría negativa, mientras que el predominio de grava asociada a arena, da una asimetría positiva. La mezcla de las dos poblaciones en proporciones iguales, origina distribuciones muy platicúrticas mientras que cuando predomina una de ellas, la distribución es leptocúrtica (o excesivamente aguda en el centro).

Mason y Folk (1958) encontraron la posibilidad de diferenciar arenas de playa, duna y planos eólicos en una barrera litoral de Texas en base a graficar agudeza vs. asimetría. Las arenas de playa (Mason y Folk op.cit. y Friedman, 1961, 1969) son de asimetría negativa debido a que el oleaje deja en la playa la cola gruesa y arrastra preferentemente el material más fino, mientras que en las arenas eólicas el viento transporta cómodamente la cola fina, pero cercena rudamente la cola gruesa (asimetría positiva).

Las arenas fluviales y marinas someras tienen valores similares de asimetría, pero de cualquier forma si se combinan los datos de los parámetros texturales con otras características sedimentológicas (tales como forma de los granos, tipo de estratificación, trazas fósiles y forma del cuerpo sedimentario), el ambiente sedimentario en cuestión puede ser inferido.

Passega (1957, 1964) graficó C (percentil 1, aproximadamente el valor del máximo tamaño de grano) en función de M (media) para tratar de determinar los agentes o procesos depositacionales. Mediante la posición de los puntos sobre el diagrama C-M, que dependerían del modo de transporte de los sedimentos, se podría inferir si son depositados en forma de suspensiones pelágicas, turbidíticas, carga de lecho, etc., dando alguna referencia sobre la interpretación del ambiente.

El reconocimiento de mezcla de poblaciones puede hacerse a partir de la realización de histogramas o por los gráficos de truncamiento de Visher (1969). El ploteo de frecuencia acumulada en papel de probabilidad da una curva compuesta por una serie de segmentos donde cada segmento indica una subpoblación simple (Fig. 13). Cada subpoblación difiere de la otra en la media y la desviación estándar. El número, cantidad, rango de tamaño, mezcla y selección de las subpoblaciones de una muestra varía sistemáticamente en respuesta a la proveniencia y proceso y dinámica sedimentaria.

En cuanto a las aplicaciones prácticas de los análisis granulométrico de sedimentos pueden mencionarse, entre otras, su uso en la determinación de que tamaño de las aberturas deben tener los filtros que se utilizan en las perforaciones para la extracción de aguas subterráneas, para determinar la distribución granulométrica en la producción de agregados para el diseño de concretos para construcciones civiles, entre otros. Por su parte, la porosidad (espacios vacíos) y permeabilidad (interconexión de los espacios vacíos) son propiedades de importancia económica de los sedimentos o rocas, principalmente en la industria petrolera y de obtención de aguas subterráneas. Estas propiedades están relacionadas con el tamaño de grano y con la distribución de tamaños de granos (mayor o menor selección). Como ejemplo puede mencionarse que en los sedimentos gruesos muy bien seleccionados los espacios vacíos son grandes y tienen mayor cantidad de poros interconectados que los sedimentos finos mal seleccionados, ya que las partículas finas ocupan los espacios vacíos reduciendo la porosidad y bloqueando muchas interconexiones.

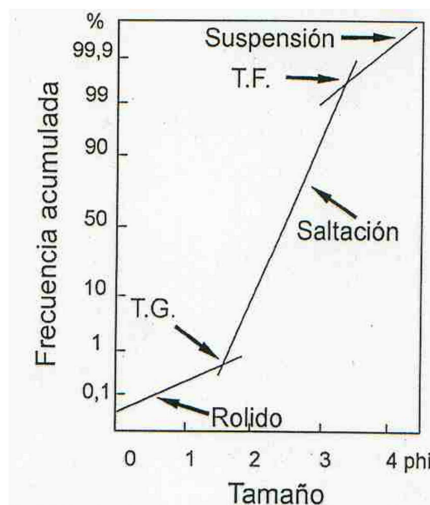


Figura 13. Diagrama de truncamiento propuesto por Visher (1969). TG y TF indican los truncamientos gruesos y finos, respectivamente (tomado de Scasso y Limarino, 1997).

DESARROLLO DEL TRABAJO PRÁCTICO

Se procesarán y analizarán muestras de sedimentos de distintos ambientes. Por un lado, muestras de un ambiente transicional, del delta del Río de La Plata, y por el otro, de un ambiente continental de la provincia de La Rioja.

Las muestras del delta del Río de La Plata se tomaron en el río Luján, del piso del canal en una zona cercana a la costa.

Las muestras a realizar en el laboratorio corresponden al valle intermontano del río Guandacol, provincia de La Rioja, donde se desarrolla un ambiente de interacción eólica-fluvial. La muestra 1 fue tomada sobre una duna eólica mientras que la muestra 2 corresponde a depósitos del piso de los canales fluviales (Fig. 1).

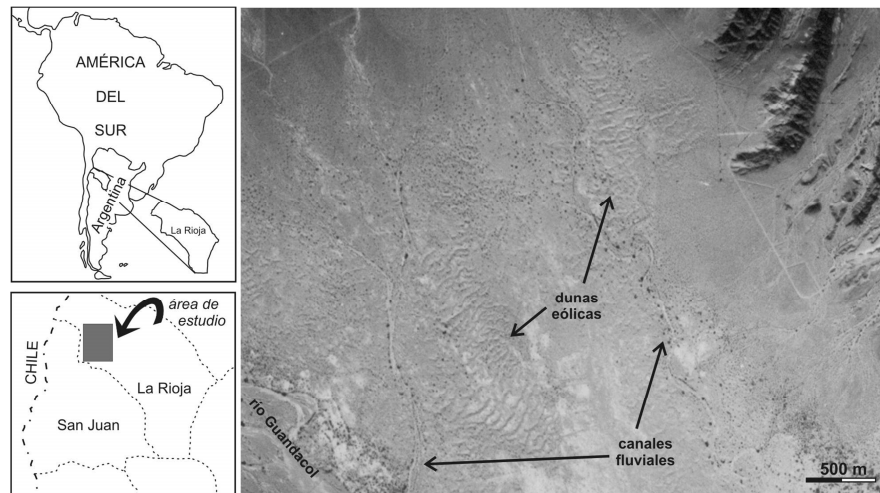


Figura 1. Ubicación y detalle del área de muestreo

ACTIVIDADES

1. Graficar y calcular los parámetros estadísticos (según se indica en Evaluación de los Resultados) de la muestra del río Luján (delta del Río de La Plata) (Tabla 1).
2. Realizar en el laboratorio el tamizado de las muestras del valle del río Guandacol.
3. Graficar y calcular los parámetros estadísticos de las dos muestras analizadas en el laboratorio, según se indica en Evaluación de los Resultados
4. Completar las tablas de Evaluación de los Resultados y analizar los datos obtenidos para sacar conclusiones acerca de los mecanismos de transporte y depositación, relacionando esta información con el origen de los sedimentos muestreados en el campo.

mm	Frecuencia (%)
> 62,00	3,21
44,00	9,34
31,20	20,31
22,00	20,72
15,60	15,30
11,00	9,15
7,80	4,98
5,50	3,67
3,90	2,73
2,76	2,41
1,95	2,56
1,38	1,95
0,98	1,20
0,69	0,63
< 0,69	1,84

Tabla 1. Datos granulométricos de la muestra del río Luján.

Ejemplo de planilla para procesar los datos granulométricos:

[illegible]

$$\text{media (M)} = \sum f.mc / 100$$

$$\text{selección} = \sqrt{f.(mc-M)^2/100}$$

Planilla para los cálculos por medidas gráficas:

[illegible]

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_1)	$\frac{\sum f \cdot (m - x)^3}{100 \cdot \sigma^3}$	$\frac{(\phi 16 + \phi 84 - 2 \cdot \phi 50)}{2 \cdot (\phi 84 - \phi 16)} + \frac{(\phi 5 + \phi 95 - 2 \cdot \phi 50)}{2 \cdot (\phi 95 - \phi 5)}$
mediana (Md)		$\phi 50$
agudeza (K_6)	$\frac{\sum f \cdot (m - x)^4}{100 \cdot \sigma^4}$	$\frac{(\phi 95 - \phi 5)}{2,44 \cdot (\phi 75 - \phi 25)}$

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

EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS A PARTIR DEL ESTUDIO GRANULOMÉTRICO

- 1) Realice los siguientes gráficos, todos en escala Phi (ϕ) con valores negativos hacia a izquierda. NO OLVIDE INDICAR NOMBRE Y UNIDADES DE LOS EJES.
 - a) Histograma
 - b) Frecuencia acumulada (papel aritmético)
 - c) Frecuencia acumulada (papel logarítmico)
- 2) Complete los siguientes cuadros con los datos obtenidos de las muestras analizadas.
 Ref.: UW: escala Udden-Wentworth, McM: McManus (1988), (a) Método gráfico, (b) Método de los momentos.

Muestra delta	Piso canal del río Luján en zona del delta	
	Phi (ϕ)	Grados de la escala UW o McM
Moda (histograma)		
Media (b)		
Mediana (a)		
Selección (b)		
Asimetría (a)		
Agudeza (a)		

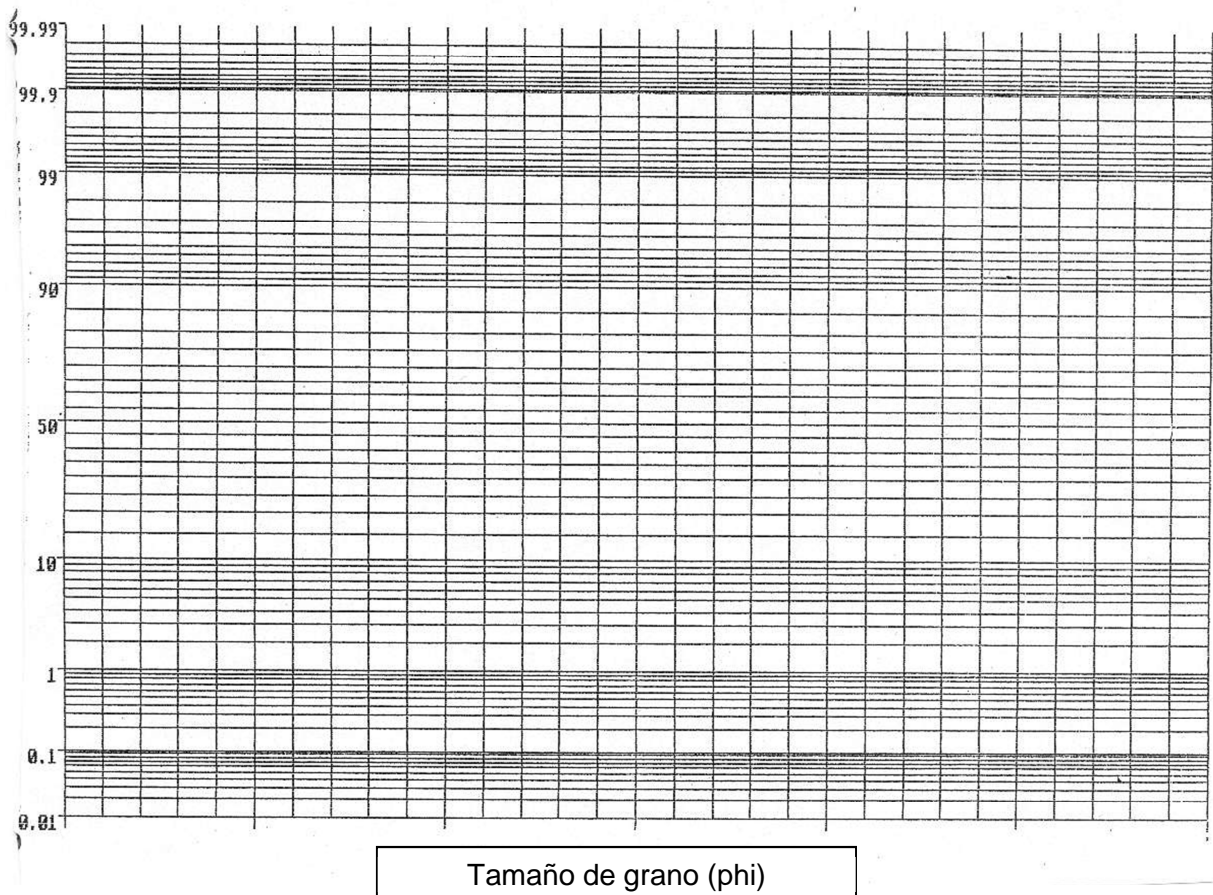
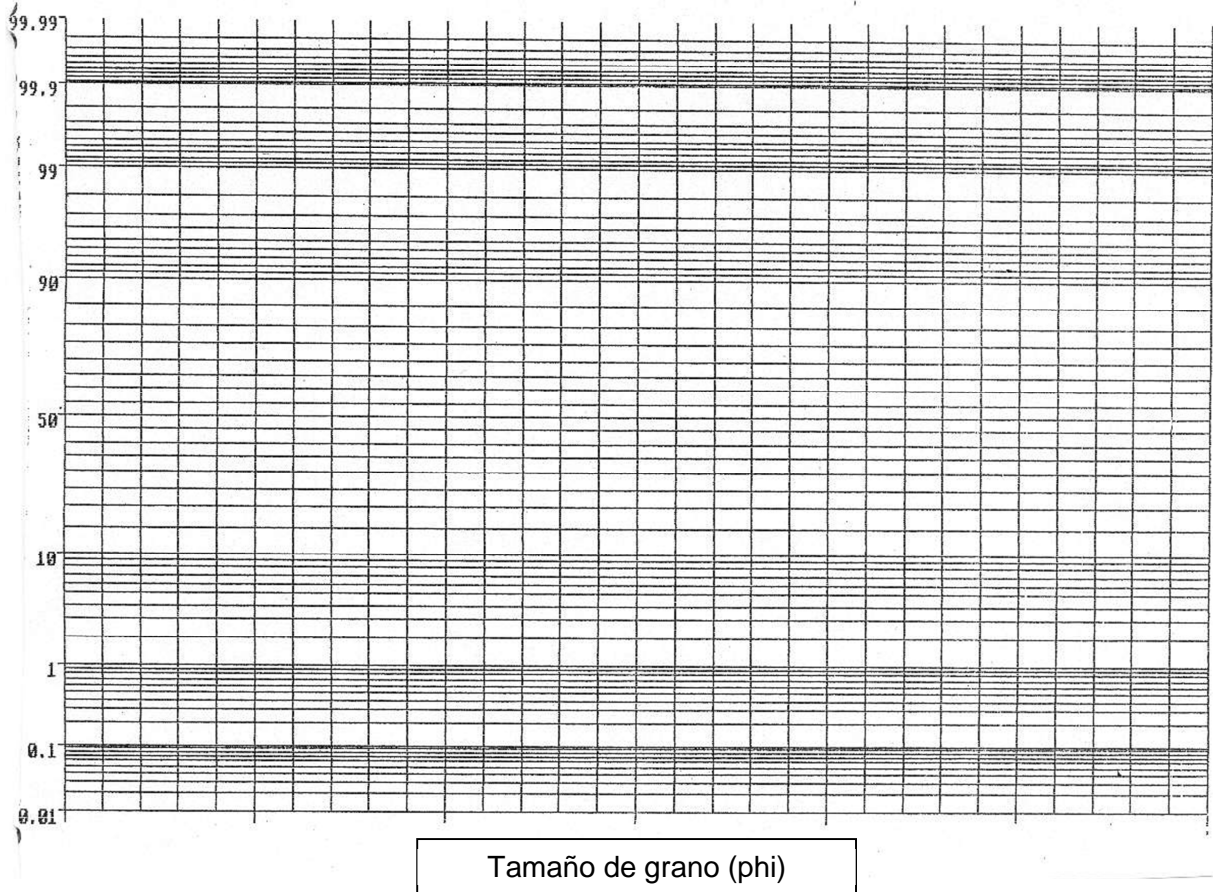
Muestras Guandacol	M1 (Eólico)		M2 (Fluvial)	
	Phi (ϕ)	Grados de la escala UW	Phi (ϕ)	Grados de la escala UW o McM
Moda (histograma)				
Media (b)				
Mediana (a)				
Selección (b)				
Asimetría (a)				
Agudeza (a)				

- 3) Con los resultados de frecuencia y los obtenidos a partir del gráfico en papel de probabilidades complete el siguiente cuadro. TF truncamiento fino, TG truncamiento grueso.

Muestra	% Grava	% Arena	% Fango	TF	TG
M delta					
M1					
M2					

- a) ¿Qué indican los truncamientos?
 - b) Cómo explicaría los diferentes porcentajes de poblaciones de grava, arena y fango entre las muestras analizadas.
- 4) Redacte una breve descripción de las características granulométricas de los sedimentos analizados. Tenga en cuenta los resultados de los puntos 2, 3 y 4 y su relación con los procesos que originaron cada uno de los depósitos.

Curva de frecuencia acumulada (papel de probabilidades)



REFERENCIAS

- Carver, R.E., 1971. *Procedures in Sedimentary petrology*, Wiley-Interscience, 645 pag.
- Chayes, F. 1949. A simple point counter for thin-section analysis. *Am. Mineralogist*, v.34: 1-11.
- Cheethman, M.D., Keene, A., Bush, R.T., Sullivan, L.A., y Erskine, W.D., 2008. A comparison of grain-size analysis methods for sand-dominated fluvial sediments. *Sedimentology* 55: 1905-1913.
- Folk, R.L., 1966. A review of grain-size parameters, *Sedimentology* 6 829:73-93.
- Folk, R.L., 1968. *Petrology of sedimentary rocks*, 2da. ed., Hemphill's Ed. 170 p.
- Folk, R.L. y Ward, W.C., 1957. Brazos riverbar: 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 log normality of grain distribution of sandstones. *Jour. Geol.*, 70: 737-753.
- Friedman, G.M., 1979. Address of the retiring president of the International Association of Sedimentologists: Difference in size distribution of populations of particles among sands of various origins. *Sedimentology* 26:3-32.
- Galehouse, J.S., 1971. Sedimentation analysis. En: Carver, R.E. (Ed.), *Procedures in Sedimentary Petrology*: New York, Wiley-Interscience: 69-94.
- Harrel, J.A. y Eriksson, K. A., 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. *Journal of Sedimentary Petrology* 19: 51-70.
- Krumbein, W.C., 1934. Size Frequency Distribution of Sediments. *Journal of Sedimentary Petrology* 4, 65-77.
- Krumbein, W. y Pettijohn, F., 1938. *Manual of sedimentary petrology*, Appleton-Century- Crofts Ed., 549 pag.
- Malvern Instruments Ltd. (2004) *Mastersizer 2000E Operators Guide*. Malvern Instruments Ltd, Malvern, 136 pp.
- Mason, C.C. y Folk, R.L., 1958. Differentiation of beach, dune and eolian flat environments by size analysis, Mustang Island, Texas. *Journal of Sedimentary Petrology* 28: 211-226.
- Mazzoni, M.M., 1973. El uso de las medidas estadísticas texturales en el estudio ambiental de arenas. Museo La Plata, Tesis 311.
- Mazzoni, M.M., 1976. Minerales pesados en una playa lacustre. Características granulométricas. *Asoc. Min. Pet. y Sed.*, 7 (1).
- 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.
- Passega, R., 1964. Grain size representation by CM patterns as a Geological tool. *Jour. Sed. Petrol.*, 34: 830-847.
- Pettijohn, F.J., 1963. *Rocas Sedimentarias*. EUDEBA. Buenos Aires.
- Reineck, H.E. y Singh, I.B., 1980. *Depositional sedimentary environments*. Springer-Verlag. Berlín. 549pp.
- Ritterhouse, G., 1943. The transportation and deposition of heavy minerals. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 54: 1725-1780.
- Rodrigo, L.A. y F. Coumes, 1973. *Manual de sedimentología (Técnicas de Laboratorio)*, Univ. Mayor de San Andrés (UMSA, Bolivia), 151 pag.
- Scasso R.A y Limarino, C.O. 1997. *Petrología y diagénesis de rocas clásticas*, Asociación Argentina de Sedimentología, Publicación Especial N° 1.
- 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.
- Spalletti, L.A. y Mazzoni, M.M. 1979. Caracteres granulométricos de arenas de playa frontal, playa distal y médano del litoral bonaerense. *Asoc. Geol. Arg. Rev.* XXXIV (1): 12-31.
- Visher, 1967. The relation of grain size to sedimentary processes. *Am.Assoc. Petrol. Geol. Bull.* Vol.51 p.484
- 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.

TRABAJO PRÁCTICO Nº 2 TRANSPORTE DE SEDIMENTO - SIMULADOR DE SEDIMENTACIÓN

Objetivo:

- Estudiar el transporte y deposición de sedimentos
- Comprender la formación de formas de lecho y estructuras sedimentarias de corriente
- Observar, mediante la utilización de un simulador de sedimentación, distintos mecanismos de transporte subacúea y formas de lecho asociadas.

Bibliografía recomendada:

Depositional sedimentary environments: with reference to terrigenous clastics, H.E. Reineck y I.B. Singh, Springer, 1973.

Sedimentary structures, J.D. Collinson y D.B. Thompson, Unwin-Hyman, 1988.

Sedimentology and stratigraphy, N. Gary, Blackwell, 1999.

Earth surface processes, P.A. Allen, Blackwell, 1997.

TRANSPORTE DE SEDIMENTOS POR UNA CORRIENTE SUBACUEA Y FORMAS DE LECHO

Para considerar el flujo de sedimento bajo una corriente un parámetro de importancia es el poder de la corriente. El poder de la corriente es la medida del trabajo realizado por el fluido sobre el lecho, y también puede ser visto como la tasa a la cual la energía potencial del flujo se convierte en energía cinética turbulenta, que promueve el movimiento del sedimento del lecho. Se expresa como el producto entre el esfuerzo de corte (τ_0) y la velocidad del flujo (V). A medida que el fluido comienza su movimiento el poder de la corriente se incrementa desde cero y al principio no hay transporte de sedimento. Una vez que se alcanza un umbral el sedimento se transporta corriente abajo por el fluido. Este punto se denomina velocidad umbral (*threshold velocity*) de movimiento de sedimento.

Modo de Transporte del Sedimento

El modo en el cual los granos son transportados, una vez que son puestos en movimiento (por arriba de la velocidad de erosión crítica) depende de la energía del flujo y del tamaño de grano. Los modos de transporte son (Fig. 1):

1) Carga de lecho (*bed load*): los granos de sedimento están en contacto con el lecho y se mueven por tracción o arrastre sobre la superficie. Las partículas se mueven por rolido (*rolling*, los granos ruedan por el substrato) o saltación (*saltation*, los granos saltan sobre la superficie describiendo trayectorias aproximadamente elípticas). Esto ocurre para las gravas y las arenas, ocasionalmente limos gruesos.

2) Carga en suspensión (*suspended load*): los granos de sedimento se mueven por encima del lecho, pero pueden intercambiarse con la carga de lecho. El transporte es tanto por un libre movimiento en suspensión o por saltación.

3) Carga de lavado: partículas muy finas que, una vez en suspensión, se mantienen en suspensión hasta que son depositadas por flujos que desaceleran. Son en su mayoría partículas de arcilla y limo.

Que un grano se mueva como carga de lecho o carga en suspensión depende de su tamaño y densidad y de las propiedades hidráulicas del flujo

Estos modos de transporte, con ligeras modificaciones, son válidos también para el transporte de partículas por el viento.

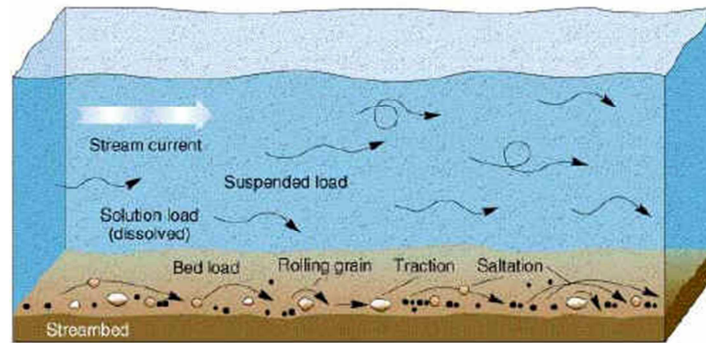


Figura 1: Forma de transporte de las partículas en una corriente subacuática

Factores hidrodinámicos y formas de lecho en agua

La interacción de un fluido en movimiento con un lecho cubierto por sedimentos sueltos produce un patrón ordenado de rasgos que se denominan **FORMAS DE LECHO** (óndulas, antidunas, etc.).

El número de Froude (F) es un factor bastante útil y simple para determinar las condiciones hidrodinámicas de un flujo:

$$F = \frac{V}{(gh)^{1/2}}$$

V = velocidad de flujo,

g = aceleración debida a la gravedad

h = profundidad del flujo

$F < 1$ caracteriza un *flujo tranquilo*, en el cual las formas de lecho del régimen bajo son estables.

$F > 1$ caracteriza un *flujo rápido*, en el cual las formas de lecho del régimen alto son estables.

$F \sim 1$ condiciones transicionales entre flujo tranquilo y flujo rápido

Si observamos la ecuación de Froude vemos que $F > 1$ puede ser alcanzado tanto incrementando la velocidad y manteniendo constante la profundidad de agua, o bien reduciendo la profundidad de agua y manteniendo la velocidad constante. Sin embargo, en la naturaleza las condiciones de un flujo rápido sólo pueden alcanzarse en condiciones de aguas poco profundas. Los flujos rápidos se encuentran sólo localmente en profundidades de agua que oscilan desde pocos milímetros a unos pocos metros. Sin embargo, la sedimentación en un ambiente de aguas profundas a partir de un flujo de alto régimen es muy común pero se relaciona a las denominadas corrientes de turbidez.

El flujo en un canal puede ser clasificado dentro de un régimen de flujo bajo ($F < 1$) y un régimen de flujo alto ($F > 1$), con una transición entre ellos. Esta clasificación se basa en la forma de configuración del lecho, el modo de transporte del sedimento, en el proceso de disipación de energía, y en la relación de fases entre el lecho y la superficie de agua, como se muestra en la figura 2.

Bajo régimen de flujo: la resistencia al flujo es grande y el transporte de sedimento es relativamente pequeño. El número de Froude es menor que 1. Las ondulaciones de la superficie de agua están fuera de fase con respecto a las ondulaciones del lecho. Tiene lugar una considerable segregación del material del lecho. Las formas de lecho son tanto pequeñas ondulas o megaóndulas o una combinación de ambas. El modo de transporte usual del material del lecho es como granos individuales, que ascienden por la cara de barlovento de las óndulas o las megaóndulas, y se acumulan en la cara de avalancha.

Régimen de transición: la configuración del lecho en la transición desde las megaóndulas del bajo régimen de flujo al lecho plano y antidunas del alto régimen de flujo es errática. En la transición, la forma de lecho puede variar desde una típica de bajo régimen de flujo a otra típica de alto régimen de flujo. El número de Froude es más o menos igual a 1.

Alto régimen de Flujo: en el alto régimen de flujo la resistencia del flujo es pequeña y el transporte de sedimento es grande. El número de Froude es mayor a 1. Las ondulaciones de la superficie de agua y del lecho están en fase, y la segregación del material del lecho es despreciable. Las formas de lecho usuales son el lecho plano y las antidunas. El principal modo de transporte de sedimento es en capas de unos pocos diámetros de grano de espesor. La saltación de los granos es menos dominante que en el bajo régimen de flujo. El movimiento de saltación es menos importante que en el bajo régimen de flujo. Ocasionalmente, la transición desde el bajo régimen de flujo al alto régimen de flujo ocurre a valores mucho más bajos que el número de Froude de 1. En ambientes naturales, las condiciones de alto régimen de flujo se pueden obtener a veces con números de Froude tan bajos como 0.6 o 0.7.

Régimen de flujo	Forma de lecho	Concentración de material en el lecho (ppm)	Modo de transporte de sedimento	Tipo de rugosidad	Relación de fase entre el lecho la superficie del agua
Bajo régimen	Óndulas pequeñas	10-200	En pasos discretos	Predomina la rugosidad de la forma	Fuera de fase
	Óndulas pequeñas sobre megaóndulas	100-1200			
	Megaóndulas	100-1200			
Transición	Megaóndulas lavadas	1000-3000		Variable	
Alto régimen	Lecho plano	2000-6000	Continuo	Predomina la rugosidad del grano	
	Antidunas	2000			
	"Chutes y pools" (Canales y Surcos)	2000			

Figura. 2. Clasificación de régimen de flujo y sus características. Modificado de Reineck y Sing (1980)

FORMAS DE LECHO

Simons y Richardson (1962) reconocieron la siguiente secuencia de formas de lecho con el incremento de la intensidad de flujo, expresada en términos de un incremento en el poder de la corriente. Las figuras 3 y 4 muestran las distintas formas de lecho en función del poder de la corriente y del tamaño de grano.

* **Lecho plano de bajo régimen de flujo (sin movimiento):** un lecho plano es un lecho horizontal sin ninguna forma de lecho. Ha sido estudiado para determinar el esfuerzo de cizalla para el comienzo del movimiento y la forma de lecho que resultaría luego del mismo. En condiciones de baja energía, unos pocos granos comienzan a moverse por rolo y pueden producir laminación horizontal si se dispone de una cantidad suficiente de sedimento y, si el proceso es continuo por un cierto período de tiempo. Esta fase de lecho plano en condiciones de baja energía es más estable en sedimentos de más de 0,6 mm. Luego del comienzo del movimiento, el lecho plano cambia a pequeñas ondulas para tamaños de arena menores que 0.6 mm, y a megaóndulas para tamaños de arena mayores a 0.6 mm.

* **Ondulas de pequeña escala:** las ondulas son formas de lecho pequeñas con pendientes suaves corriente arriba y empinadas corriente abajo. Usualmente tienen una longitud de onda menor a 30 cm y nunca mayor que 60 cm, siendo ésta independiente del tamaño de grano de

la arena. Cuando se forman inicialmente son paralelas, con crestas largas y amplitud baja. Pero, con el incremento en la intensidad del flujo, se forman ondulas más grandes y más irregulares.

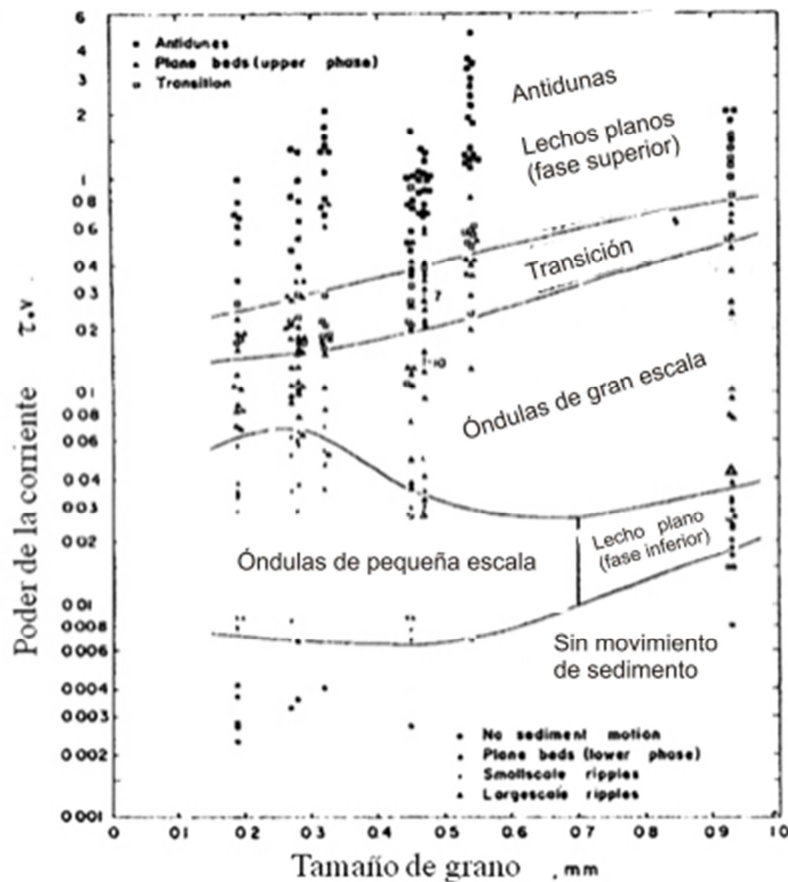


Figura 3. Forma de lecho en relación al poder de la corriente. Tomado de Reineck y Singh (1980).

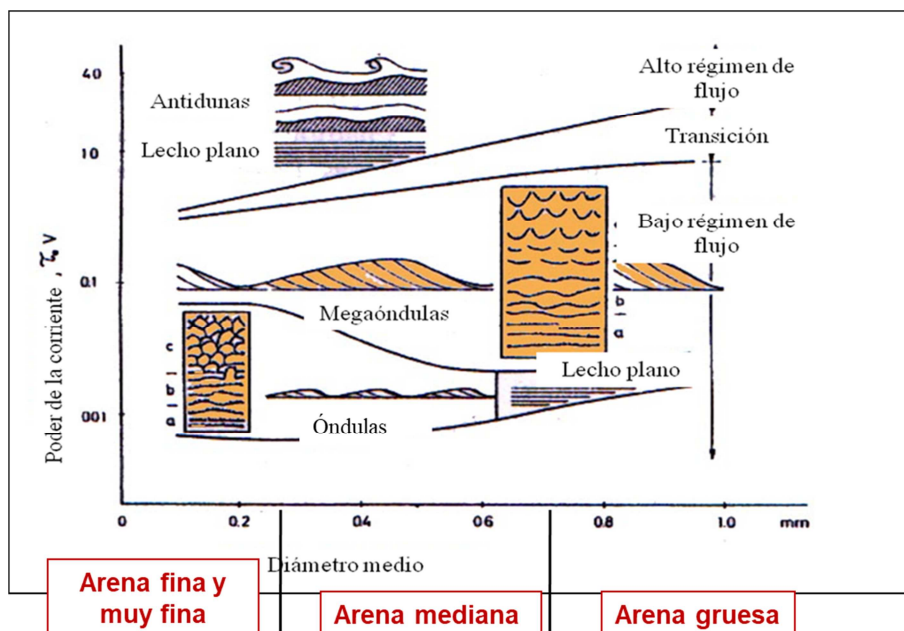


Figura 4. Representación esquemática de formas de lecho arenosas y su relación con el tamaño de grano y el poder de la corriente. Modificado de Reineck y Singh (1980).

* **Megaóndulas:** si se aumenta gradualmente el esfuerzo de cizalla (*shear stress*) límite y el poder de la corriente asociado a las óndulas (o al lecho plano en el caso de arena gruesa), se pasa al campo de estabilidad de las megaóndulas. La transición es bastante abrupta. Con valores de esfuerzo de cizalla pequeños, las megaóndulas tienen óndulas sobreimpuestas en

sus caras de trepada. Estas pequeñas ondulas tienden a desaparecer con mayores valores más altos de esfuerzo de cizalla. Las megaóndulas tiene formas similares a las óndulas, con una longitud de onda que oscila entre 60 cm. a varios metros.

En contraste con las óndulas, la longitud de onda de las megaóndulas puede aumentar con el aumento de la profundidad. Sin embargo, en ambientes naturales, con una profundidad de agua mayor a unos pocos metros, las dimensiones de las megaóndulas son independientes de la profundidad del flujo. Además, la longitud y la forma de las megaóndulas es una función del tamaño de grano del material del lecho; la arena fina produce megaóndulas con un poder de la corriente mucho mayor que en la arena mediana y gruesa.

El término duna (*dune*) se aplica sólo a las formas tridimensionales que muestran crestas fuertemente sinuosas (megaóndulas sinuosas o lunadas). Las formas bidimensionales (megaóndulas de crestas rectas) son descritas como ondas de arena (*sand waves*).

* **Lecho plano de alto régimen de flujo (con movimiento):** el lecho plano es un lecho sin elevaciones o depresiones mayores que el tamaño máximo del material que lo compone. Con lecho plano la resistencia al flujo es relativamente pequeña, causada principalmente por la rugosidad ligada al tamaño del material del lecho. Los granos se mueven por rolido, saltación o deslizamiento. La magnitud del poder de la corriente a la cual las megaóndulas o la zona de transición cambio a lecho plano depende mayormente del tamaño de grano del material. Con arena fina, las megaóndulas desaparecen con un poder de la corriente relativamente menor en comparación a las arenas gruesas.

Puede ocurrir alguna separación de material de lecho que se manifiesta en la forma de estriaciones longitudinales (lineación por partición), alguna de las cuales son de tamaño de grano apenas mayor y otras apenas menor que el promedio del material. Su casual superposición proporciona probablemente el contraste de tamaño necesario para impartir una estructura laminada horizontal, que puede verse en sección.

* **Antidunas:** son formas de lecho que están en fase con la superficie del agua. Debido a su posible movimiento corriente arriba, Gilbert (1914) las denominó antidunas. La altura y longitud de estas ondas depende de la escala del sistema de flujo y de las características del fluido y del material del lecho. Los trenes de ondas son contruidos gradualmente a partir de un lecho plano y una superficie de agua horizontal. A medida que las antidunas se forman y aumentan su altura, pueden moverse corriente arriba o corriente abajo, o permanecer estacionarias.

Formas de lecho, poder de la corriente y profundidad de agua

La figura 4 muestra la relación entre la profundidad del agua, velocidad de corriente (expresada en términos del número de Froude), y las formas del lecho. Se observa que la relación entre la velocidad de la corriente y las óndulas está fuertemente influenciada por la profundidad del agua, mientras que ésta sea de pocos centímetros o pocos decímetros. Dentro de este rango, para generar óndulas, un aumento en la profundidad del agua necesitará de un incremento en la velocidad de la corriente. Sin embargo, por encima de este rango la curva se hace aproximadamente horizontal, lo que significa que a partir de cierta profundidad de agua crítica, la profundidad no juega un rol importante. La curva para las megaóndulas muestra un comportamiento muy similar.

Por otro lado, las curvas correspondientes a las formas de lecho de alto régimen de flujo muestran un patrón diferente ya que son bastante empinadas. Esto implica que, para mayores profundidades de agua, se necesitan mayores velocidades de corriente para producir las mismas formas del lecho.

Para concluir, puede decirse que las formas de lecho de bajo régimen de flujo son independientes de la profundidad del agua a partir de una cierta profundidad crítica, mientras que las formas de lecho del alto régimen están siempre fuertemente controladas por la profundidad del agua.

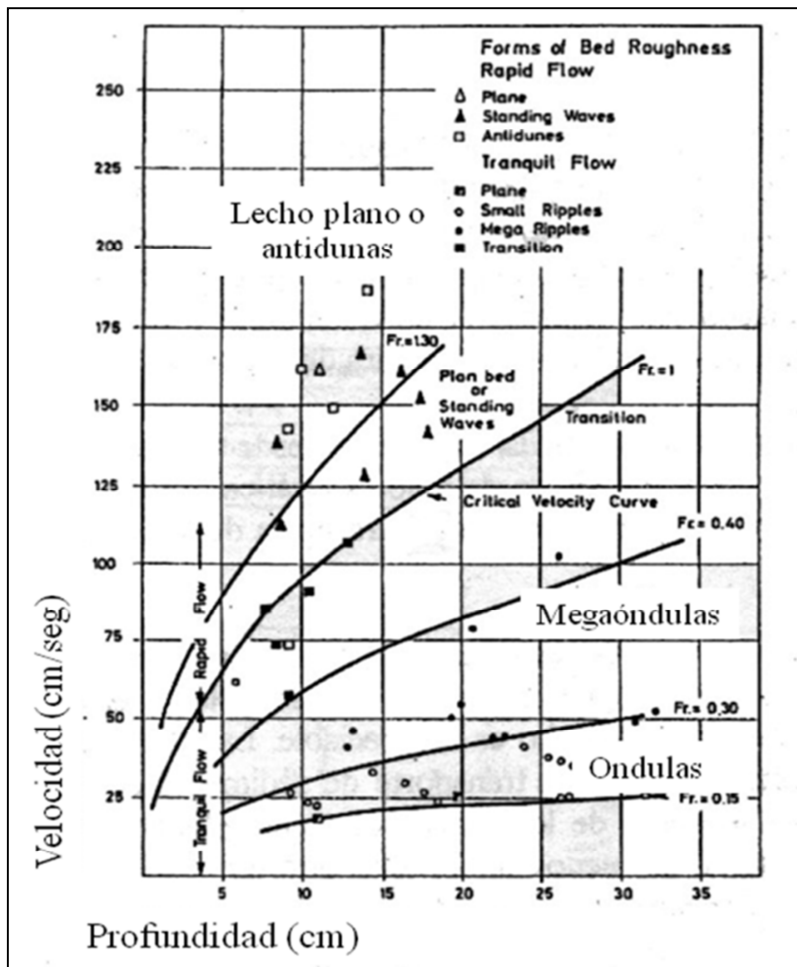


Figura 5. Relación entre velocidad de la corriente y profundidad del agua, vinculada a diferentes formas de lecho arenosas. Los campos de estabilidad de las formas de lecho son indicados por el número de Froude. Modificado de Reineck y Singh (1980).

Estructura interna de una óndula

Una ondula de corriente bien desarrollada está constituida por una o unas pocas láminas en la cara de barlovento (*stoss side*), muchas laminaciones en la cara de avalancha o sotavento (*foreset*), y unas pocas o una sola laminación horizontal en la base (*bottomset*) (Fig. 6). El resultado de la migración de las óndulas y megaóndulas también puede ser una estructura compleja, por sucesivos episodios de depositación y erosión (Fig. 7). El principal constituyente del cuerpo de las óndulas es la laminación de la cara de avalancha (*foreset*), las cuales pueden adquirir diferentes formas y ángulos. La geometría puede variar entre angular, tangencial, y sigmoidal (Fig. 8). Los ángulos oscilan entre 20° y 35°.

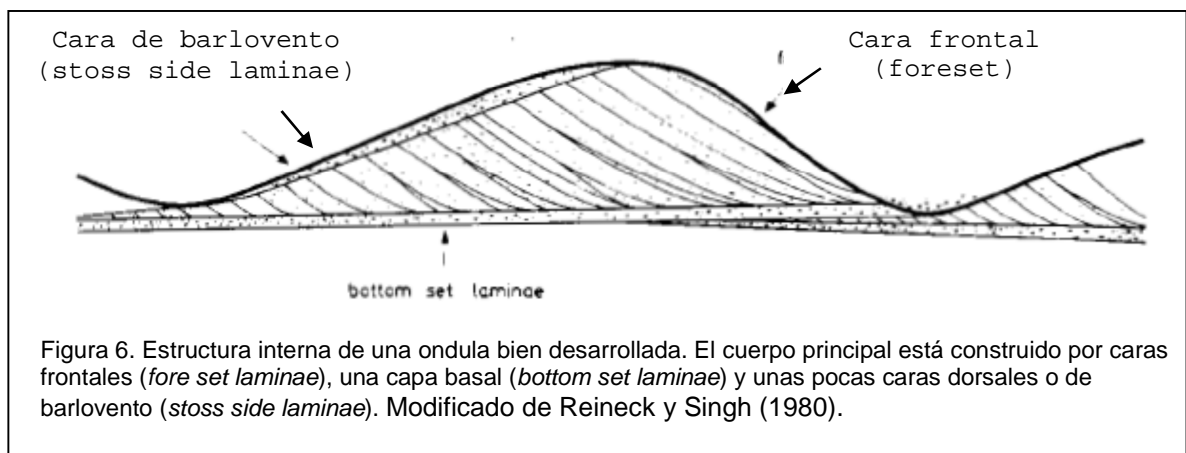


Figura 6. Estructura interna de una ondula bien desarrollada. El cuerpo principal está construido por caras frontales (*fore set laminae*), una capa basal (*bottom set laminae*) y unas pocas caras dorsales o de barlovento (*stoss side laminae*). Modificado de Reineck y Singh (1980).

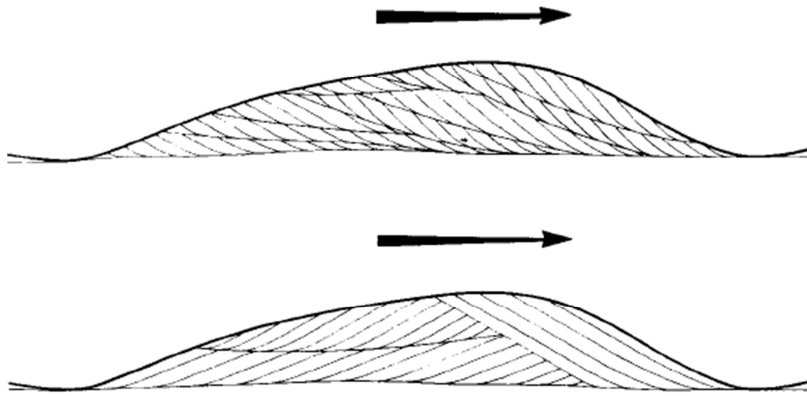


Figura 7. Estructura interna compleja de una ondula. Modificado de Reineck y Singh (1980).

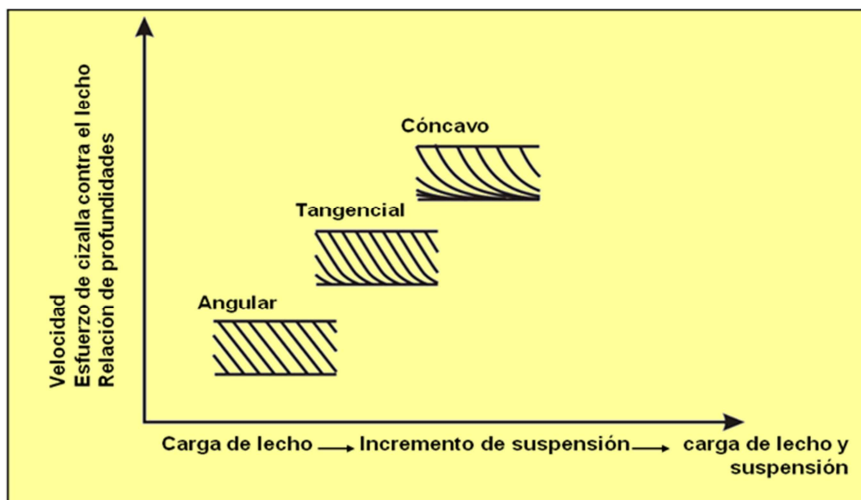


Figura 8. Esquema de los factores que controlan la forma de las capas frontales. Modificado de Reineck y Singh (1980).

Desarrollo de laminación en la cara de sotavento

La avalancha en la cara de sotavento es resultado de la inestabilidad creada por una mayor depositación de granos cerca de la cresta que en la base. Luego de cada avalancha, se restablece nuevamente el equilibrio.

Por debajo de cierta velocidad crítica, los episodios de avalancha alternan con períodos en donde la cara de sotavento crece únicamente por la depositación de granos finos a partir de suspensión. El resultado es una laminación más potente formada por granos más gruesos que alterna con una laminación extremadamente delgada compuesta por granos más finos y material más liviano, por ejemplo, láminas de mica, flóculos de arcilla, etc. Por encima de cierta velocidad crítica, la avalancha es continua, y en cada parte de la cara de sotavento los granos se mueven por deslizamiento.

Cuando la avalancha es intermitente, la laminación de la cara frontal compuesta por el material más grueso, es más larga, paralela y continua, pero es menos persistente lateralmente, y existe una selección más característica. En el caso de la avalancha continua, la laminación es más corta pero más persistente lateralmente y la selección es menos distinguible.

Si la corriente de retorno (*backflow*) (Fig. 9) es lo suficientemente fuerte, puede retrabajar los sedimentos del seno de la ondula originando óndulas conocidas comúnmente como "ondulas de reflujo", las cuales se mueven en dirección corriente arriba con respecto al flujo principal. A veces, si hay suficiente material disponible, pueden desarrollarse en forma de óndulas ascendentes (*climbing ripples*). Estas ondulas se desarrollan solamente si la cara de sotavento es lo suficientemente larga, como en el caso de las megaóndulas.

Reineck (1961) ha sugerido que la laminación de la cara de avalancha (*foreset*) se forma como resultado de cuatro procesos que contribuyen en grados diferentes: la avalancha contribuye en un 75 a 90%; los sedimentos gruesos que caen a partir de suspensión, 10%; la deposición de sedimentos finos a partir de suspensión, 5%; el transporte de reflujo, 10%.

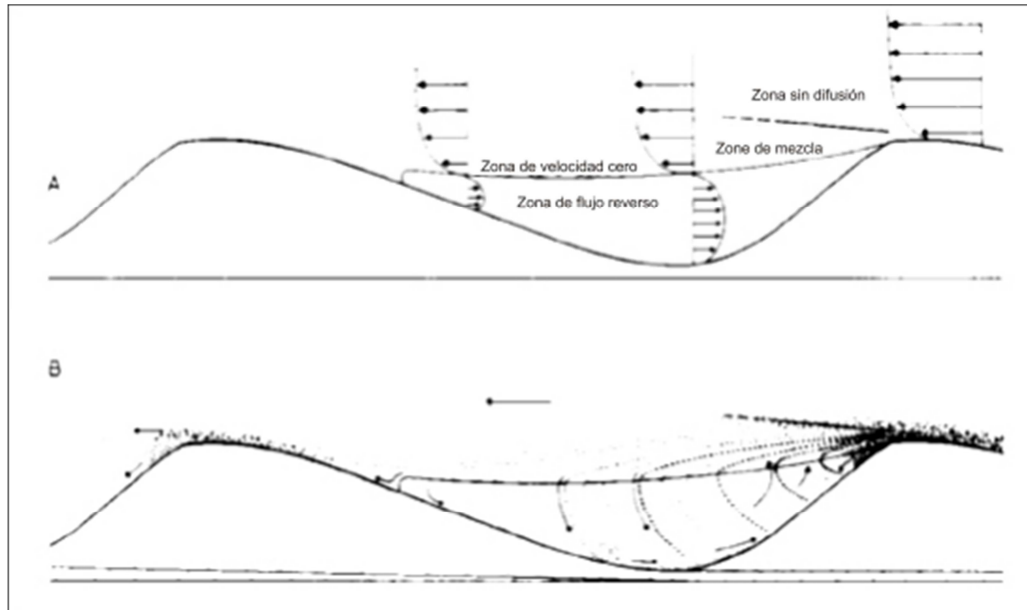


Figura 9. A) Patrón de flujo en la cara de sotavento (frontal) de una ondula. Distribución de velocidades, separación de flujo con sus tres zonas principales. B) Patrón de flujo y procesos sedimentarios dentro de la cara frontal de la ondula. El sedimento se acumula en la cresta de la ondula desde donde el sedimento cae por avalancha. En la zona de flujo reverso (*back flow*) parte del sedimento es atrapado y depositado en la misma cara frontal. Tomado de Reineck y Singh (1980).

Variables que controlan la forma y pendiente de la laminación en la cara de avalancha (*foreset*)

Variables importantes que controlan la pendiente de la cara de avalancha, y por lo tanto, del ángulo de las láminas frontales son (Fig. 8):

a) Velocidad y esfuerzo de corte en el lecho (*bed shear stress*): la velocidad es un parámetro útil debido a que es una medida de la dinámica de transporte y deposición. Sin embargo, desde un punto de vista hidráulico, el esfuerzo de corte en el lecho (*bed shear stress*) es un parámetro más útil. Con velocidades de flujo apenas exceden el valor para que una partícula comience su movimiento, los sedimentos se mueven sobre el lecho y son depositados en la parte superior de la cara de sotavento, desde donde caen pendiente abajo por la fuerza de gravedad, produciendo una cara de deslizamiento planar. El transporte del sedimento es por movimiento de la carga de lecho. Con un incremento en la velocidad, hay una mayor proporción de partículas en suspensión, que son trasladadas más allá de la cara de sotavento, y depositadas como capas del pie (*toeset*) y capas basales de la ondula (*bottomset*). El contacto angular es reemplazado por el tangencial, y, al mismo tiempo, el ángulo de reposo de la cara de sotavento también se reduce sustancialmente. En el caso de megaóndulas, pueden desarrollarse óndulas de reflujo. Los cambios en la forma de la laminación de la capa frontal (*foreset*) con un incremento en la velocidad son: contacto angular - tangencial incipiente - tangencial marcado (cóncavo) - sigmoidal (Fig. 8). Con un perfil sigmoidal ya no es posible diferenciar entre capas frontales (*foreset*) y el pie de las capas frontales (*toeset*), debido a que la acción de remolino ha retrabajado fuertemente y erosionado el depósito.

b) Relación de la profundidad del flujo de corriente con la profundidad de la cuenca de deposición (relación de profundidades): una baja relación de profundidades

(mayor profundidad de agua) favorece la depositación de capas frontales angulares más empinadas, mientras que una relación de profundidades alta (poca profundidad de agua) favorece el desarrollo de láminas tangenciales con inclinaciones suaves.

c) Tipo de sedimento: si se mantienen otros factores constantes, las posibilidades de desarrollar capas frontales tangenciales aumentan a medida que el sedimento se hace más fino. La pendiente de las capas frontales se hace más pronunciada cuando los granos de arena son más gruesos y angulosos, la selección es pobre, y la arcilla está ausente. La presencia de partículas de arcilla y el grado de selección también controlan el desarrollo de las láminas basales. Más aún, un alto porcentaje de arcilla en el sedimento ayuda a reducir el ángulo de reposo en la cara de sotavento. En contraste, en sedimentos subaéreos (p.e.: dunas), la presencia de arcilla origina un incremento en el ángulo de reposo.

Jopling (1966) brindó una lista de índices de láminas frontales (*foresets*) que pueden servir como una guía cualitativa en la determinación del poder de la corriente en sedimentos modernos o antiguos:

1. ángulo de inclinación máximo de las láminas frontales: a bajas velocidades el ángulo de inclinación excede apenas el ángulo estático de reposo (alrededor de 30°), mientras que a altas velocidades el ángulo es menor (hasta 20°).

2. Tipo de contacto entre capas frontales y basales: con un incremento en la velocidad el carácter del contacto cambia desde angular, a tangencial hasta sigmoidal.

3. Frecuencia de la laminación (número de láminas por unidad de área en ángulo recto a la estratificación): con un incremento en la velocidad hay más láminas por unidad de área.

4. Definición de las láminas frontales (contraste textural entre láminas adyacentes): una laminación bien definida sugiere una cantidad de transporte en suspensión moderada. A mayores velocidades, la laminación se hace menos distinguible.

5. Existencia de ondas de reflujo en las capas basales y pie de las capas frontales de megaóndulas: su presencia indica velocidades de corriente relativamente altas.

DESARROLLO DEL TRABAJO PRÁCTICO

El simulador de sedimentación

Con el simulador de sedimentación (Fig. 10) se pueden regular los siguientes parámetros:

- velocidad del flujo (variando el ingreso de agua)
- carga (variando el suministro de sedimentos)
- granulometría del sedimento
- profundidad del flujo (regulado el ingreso y salida del agua)
- cambios del nivel de base (variando la relación de ingreso y salida del agua)

Sobre la base de las variaciones de estos parámetros se pueden obtener una amplia gama de formas de lecho.

Procedimiento y observaciones

Construcción de un abanico aluvial

Para construir una sección longitudinal de abanico aluvial se baja el desagüe regulable de manera que no se acumule agua en el fondo del tanque; se sujeta un tubo flexible de aproximadamente 15 cm al extremo inferior de la cubeta de sedimentos para evitar la caída caótica de sedimentos y agua al tanque. Se coloca con un cucharón una cantidad de sedimento (arena o limo) dentro de la cubeta, y se permite que la corriente de agua ingrese por el extremo superior de la misma. El sedimento transportado por el agua corriente atraviesa la cubeta y el tubo flexible y se deposita en un extremo del tanque. El agua continuará

circulando dentro del tanque ligeramente inclinado y desagotará por el otro extremo.

En 5 a 10 minutos, dependiendo de la descarga de agua y del tamaño y cantidad de sedimento aportado, puede formarse una sección de abanico aluvial de varios decímetros con una pendiente aproximada de 3° .

a) analizar el proceso de depositación de los granos: explicar qué es el ángulo de reposo, describir el modo de transporte de los granos de arena y de las partículas limosas a lo largo de la corriente generada en la parte superior del abanico.

Formación de lecho plano

Aumentando el flujo suavemente con continuo aporte de arena fina:

- ¿Qué tipo de forma de lecho se observa?
- ¿En qué tipo de régimen de flujo se formó?
- Observar la forma de transporte de las partículas (rolido, saltación y suspensión).

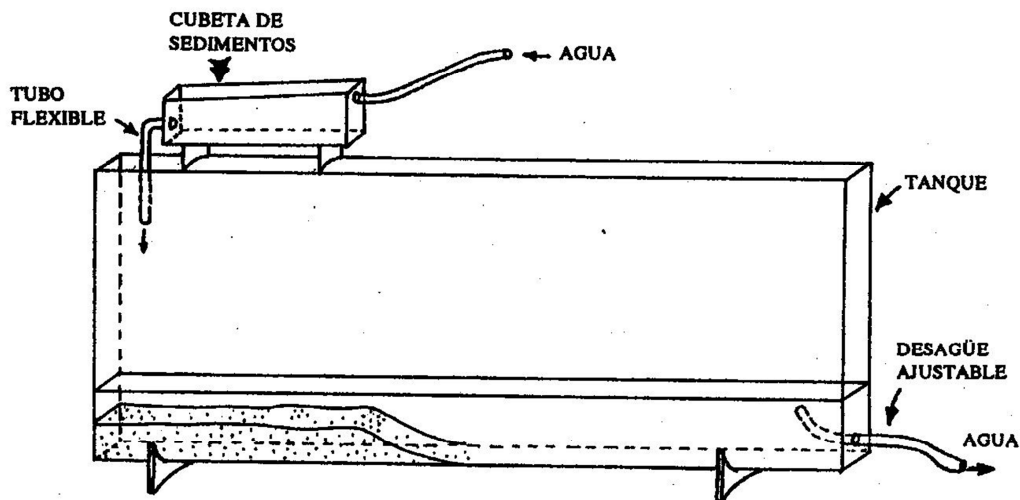


Figura 10: el simulador de sedimentación

Generación de ondulas

Manteniendo el aporte, la velocidad y nivel de base constante:

- ¿Qué tipo de estructura se forma dentro del estrato?
- Observar en el punto de separación del flujo, las zonas de difusión, mezcla y flujo reverso, analizando el comportamiento de las partículas y su trayectoria.
- Laminación frontal: observar y justificar que procesos hacen a la distribución de las partículas para formar la laminación.

Generación de antidunas

Se puede lograr con poco aporte y máxima velocidad o descenso del nivel de base. Tratar de obtener antidunas estacionarias y migratorias.

- Observar su estado en fase con la superficie del flujo
- Analizar su estructura interna

Construcción de un delta

Se interrumpe por un momento el flujo de agua en la cubeta de sedimentos mientras se desconecta el tubo flexible de la misma. Se levanta el drenaje ajustable del tanque y se restablece la corriente ácuca. El agua introducida se acumula para formar un cuerpo de agua estanco cuyo nivel aumenta hasta que el agua llegue al nivel del desagüe. Se coloca sedimento en la cubeta, de ser posible de diferentes colores y granulometrías para acentuar la estratificación, comenzando a formarse un depósito deltaico en el extremo superior del tanque. En 5 a 10 minutos se habrá acumulado suficiente cantidad de sedimento como para poder

distinguir bien las capas dorsales y frontales; a continuación, el frente deltaico avanzará a través del "lago" hacia el desagüe. Si se vuelca arena bien seleccionada por medio de un flujo rápido de agua, se obtiene una estratificación con capas frontales rectas. Sin embargo, la estratificación resulta con capas frontales cóncavas si se deposita arena pobremente seleccionada a través de un flujo de agua moderado a débil.

a) Explicar brevemente el concepto de nivel de base.
b) La forma e inclinación de las láminas frontales está controlada por las siguientes variables:

- velocidad del flujo
- profundidad del flujo
- tipo de sedimento

Variando la velocidad del flujo, el nivel de base y el tipo de carga en suspensión, observar los cambios en la geometría de las capas frontales.

c) ¿Cómo es la secuencia de la variación de la geometría de las capas frontales que se observa en el caso de un aumento de la velocidad del flujo y/o un aumento de la carga en suspensión? (Fig. 8)

Fenómeno de erosión retrocedente

Cuando el perfil del delta ha avanzado aproximadamente hasta la mitad del tanque, se detiene la entrada de agua y se baja el desagüe ajustable entre 5 y 10 cm, exponiendo la porción superior de las capas frontales. Con el agua en el tanque a un nivel estacionario más bajo, se permite que el agua introducida fluya por el tope del delta. Cuando la velocidad de la corriente de agua aumenta a medida que ésta descende sobre el frente deltaico emergente, se produce una activa erosión retrocedente: el frente retrocede hacia el extremo superior del delta. La porción del delta por encima del nivel de base es removida y depositada como un nuevo delta en el cuerpo de agua más bajo.

En este punto del ensayo se pueden realizar algunas variantes. Es posible repetir el fenómeno de erosión retrocedente bajando el nivel de agua una segunda vez, o puede construirse un segundo delta sobre el tope del primero elevando el nivel de base.

Generación de corrientes de turbidez y estratificación gradada

Después que el desagüe ajustable es nuevamente levantado se llena el tanque de agua y, si existe material en suspensión, se lo deja en reposo un rato para que se limpie. Una mezcla de limo y agua derramada dentro de la cubeta de sedimentos producirá una rápida corriente de turbidez que descenderá velozmente por sobre el delta sumergido y por el fondo del cuerpo de agua hasta el desagüe. Es obvio que la corriente de turbidez continuaría fluyendo a través de una distancia mayor si no estuviera confinada dentro del tanque. Cada corriente de turbidez produce un estrato gradado, como ha sido reportado por Kuenen y Migliorini (1950).

- a) Tratar de distinguir las distintas partes de la corriente de turbidez: cabeza, cuerpo, cola.
b) Observar los cambios que se producen en el desplazamiento de la corriente de turbidez cuando varía la carga en suspensión o la temperatura del agua.
c) ¿Qué ocurre si se agrega un floculante a la suspensión resultante?

Basándose en los gráficos de las figuras 3, 4 y 5 explicar por qué no se forman óndulas en todas las condiciones de flujo experimentadas.

Cuestionario

1. Realice un cuadro listando las distintas formas de lecho y redacte con sus palabras como se forma cada una de ellas.
2. Explicar brevemente el concepto de nivel de base.
3. Explicar brevemente que es la erosión retrocedente
4. ¿Qué es una corriente de turbidez?

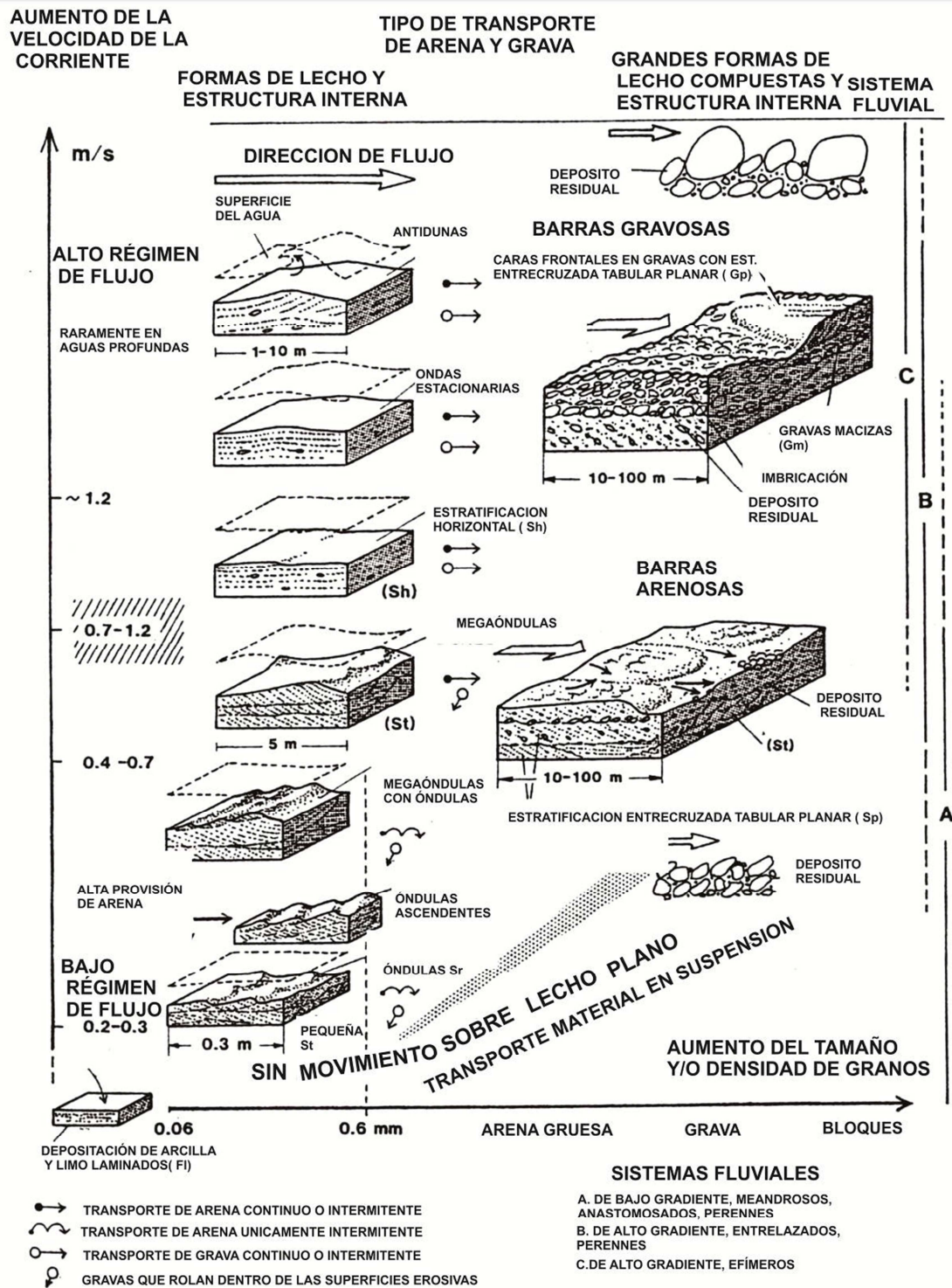


Figura 11: Diagrama donde se relaciona la velocidad de la corriente, los tamaños de grano, las formas de lecho de menor y mediana escala y las estructuras sedimentarias internas de los depósitos fluviales (Tomado de Einsele, 2000).

Bibliografía general

- Bjorlykke, K., 1989. Sedimentology and Petroleum Geology. Springer-Verlag, Berlin, 370 pp.
- Chamley, H., 1990. Sedimentology. Springer-Verlag, Berlin, 285 pp.
- Collinson, J. D. y Thompson, D.B., 1988. Sedimentary Structures. Unwin-Hyman, Londres, 207 pp.
- Kuenen, P. H. y Migliorini, C.I., 1950. Turbidity currents as a cause of graded bedding. Jour. Geology 58: 91-127.
- Reineck, H.E. y Singh, I.B., 1980. Depositional Sedimentary Environments - With reference to terrigenous clastics. Springer-Verlag, Berlin, 439 pp.

Bibliografía específica

- Baas, J. H. y De Koning, H., 1995. Washed-out ripples: their equilibrium dimensions, migration rate, and relation to suspended-sediment concentration in very fine sand. Journal of Sedimentary Petrology A65 (2): 431-435.
- Hand, B.M., 1974. Supercritical flow in density currents: Journal of Sedimentary Petrology, 47, 637-648.
- Harms, J.C. y Fahnstock, R.K., 1965. Stratification, bedforms, and flow phenomena (with an example from the Rio Grande) En G.V. Middleton (ed.), Primary sedimentary structures and their hydrodynamic interpretation: Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publication 12, 84-115.
- Langford, R. y Bracken, B., 1987. Medano Creek, Colorado, a model for upper-flow-regime fluvial deposition: Journal of Sedimentary Petrology, 57: 863-870.
- Larsen, F. D., 1968. A tank for demonstrating alluvial processes. Journal of Geological Education 16 (2): 53-55.
- Rimoldi, B., Alexander, J. y Morris, S., 1996. Experimental turbidity currents entering density-stratified water: analogues for turbidites in Mediterranean hypersaline basins. Sedimentology 43: 527-540.
- Tsoar, H., 1983. Wind tunnel modeling of echo and climbing dunes. En: M. E. Brookfield y T. S. Ahlbrandt (Eds.) "Eolian Sediments and Processes", Developments in Sedimentology, Elsevier, Amsterdam: 247-249.
- Violet, J., Sheets, B., Pratson, L. Paola, C., Beaubouef R. and Parker G., 2005. Experiment on Turbidity Currents and Their Deposits in a Model 3D Subsiding Minibasin. Journal of Sedimentary Research 75: 820 – 843.
- Yokokawa, M., Masuda, F. y Endo, N., 1995. Sand particle movement on migrating combined-flow ripples. Journal of Sedimentary Petrology A65 (1): 4-44.

TRABAJO PRÁCTICO Nº 3 ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS

Objetivos:

- Estudiar los distintos tipos de estructuras sedimentarias: clasificación, génesis y reconocimiento.
- Analizar las estructuras sedimentarias en función de las formas de lecho que le dan origen y los mecanismos de transporte y deposición involucrados

Bibliografía recomendada:

Depositional sedimentary environments: with reference to terrigenous clastics, H.E. Reineck y I.B. Singh, Springer, 1973.

Sedimentary structures, J.D. Collinson y D.B. Thompson, Unwin-Hyman, 1988.

USGS bedform sedimentology site: "Cross-Bedding, Bedforms, and Paleocurrents"
http://walrus.wr.usgs.gov/seds/table_of_contents.html

Desarrollo:

- Realizar los ejercicios de la guía
- Analizar simulaciones de algunas estructuras de corriente
- Relacionar estas simulaciones con los esquemas de dichas estructuras
- Describir y dibujar distintos tipos de estructuras sedimentarias. Para ello observar cuidadosamente las muestras disponibles, completar las fichas y consultar la bibliografía correspondiente.

ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS

Las estructuras sedimentarias son rasgos geométricos que quedan impresos en las rocas sedimentarias debido a los diferentes mecanismos de transporte por la cual se movilizan los sedimentos así como debido a los diversos procesos erosivos, químicos o biogénicos que afectan a los depósitos sedimentarios. Es por ello que las estructuras sedimentarias brindan una información muy valiosa sobre los procesos mecánicos, químicos y/o biológicos que actuaron principalmente durante la deposición de los sedimentos y mientras estos sedimentos se encuentran en o cerca de la superficie deposicional. Algunas estructuras, fundamentalmente químicas, se forman durante el soterramiento y la diagénesis (procesos que conllevan a la transformación del sedimento en roca) por lo cual entregan información sobre los procesos allí actuantes.

Durante el desarrollo del presente trabajo práctico se analizarán los distintos tipos de estructuras sedimentarias para aprender tanto a reconocerlas en el registro sedimentario como a extraer de ellas la mayor cantidad posible de información que será de vital importancia para determinar el ambiente deposicional donde se forma la roca que contiene esa estructura.

Es importante hacer notar que las estructuras sedimentarias pueden tener una escala muy variable, desde laminaciones milimétricas hasta estructuras de decenas o centenas de metros que solo es posible reconocerlas y estudiarlas en los afloramientos geológicos. En el laboratorio los alumnos examinarán estructuras contenidas en muestras de mano mientras que por medio de fotografías y/o diapositivas se analizarán estructuras de mayor escala.

Las rocas sedimentarias ocurren en estratos. Los **estratos** (*beds*) son capas tabulares o lenticulares de rocas sedimentarias que tienen características (composición, tamaño, forma, orientación y/o empaquetamiento de los sedimentos) que permiten distinguirlas de los estratos inferiores y superiores. Los estratos poseen espesores muy variables y están separados por **planos de estratificación**. Siendo estratos la designación genérica, en general se habla de estratos cuando las capas son más gruesas que 1 cm y de lámina (*laminae*) cuando el espesor es menor que 1 cm. En la figura 1 se muestra la terminología de espesores de estratos y láminas. La mayoría de los planos de estratificación representan un plano de no deposición (hiato), un cambio abrupto en las condiciones de deposición o

una superficie de erosión. Algunos planos pueden ser características postdepositacionales creadas por procesos como intensa bioturbación de algunas capas por la acción de organismos.

Los grupos de estratos con similares características se denominan sets. En la figura 2 se presente una de las tantas posibles clasificaciones de estructuras sedimentarias.

Estructuras de corriente

Las estructuras de corriente pueden ser depositacionales o erosivas. Como se vio en el trabajo práctico anterior la interacción de un fluido (agua o viento) en movimiento con un lecho cubierto por sedimentos produce un patrón ordenado de rasgos que se denominan formas de lecho. Las estructuras de corriente depositacionales se forman por los rasgos geométricos que determinan estas formas de lecho sobre o dentro del substrato mientras se acumulan los sedimentos. Es por ello que el tipo de estructura depende del tipo de flujo (uni o bidireccional, poder de la corriente, etc.) y del tamaño de grano del sedimento (Fig. 3).

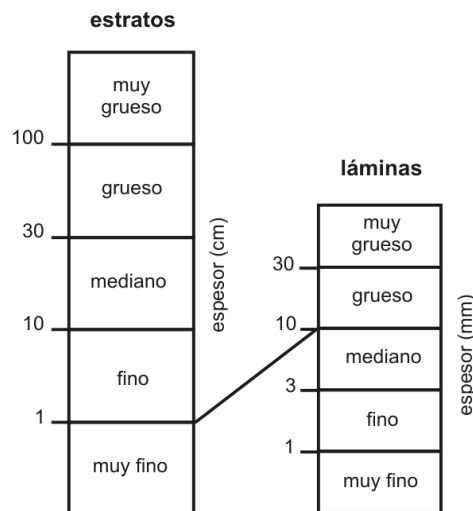


Figura 1

CLASIFICACIÓN DE ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS	
1) Según el momento de formación:	
<ul style="list-style-type: none"> - primarias, formadas durante la depositación - secundarias, formadas después de la depositación 	
2) Según la ubicación en el estrato:	
<ul style="list-style-type: none"> - techo - interior - base 	
3) Según el origen:	
<ul style="list-style-type: none"> - de corriente: <ul style="list-style-type: none"> - depositacionales - erosivas - deformacionales - biogénicas - químicas 	
4) Según su valor como indicador de polaridad:	
<ul style="list-style-type: none"> - indican techo y base de los estratos - no indican techo y base de los estratos 	
5) Según su valor como indicador de paleocorrientes:	
<ul style="list-style-type: none"> - no direccionales - direccionales: <ul style="list-style-type: none"> - indican dirección y sentido - indican dirección pero no sentido 	

Figura 2

Principales formas de lecho:

1. Óndulas (*ripples*) simétricas y asimétricas ($\lambda < 60$ cm)
2. Megaóndulas ($\lambda > 60$ cm)

3. Barras (*bars*)
4. Antidunas (*antidunes*)
5. Lecho plano (*plane bed*)
6. Óndulas y dunas eólicas (*olian ripples, dunes*)

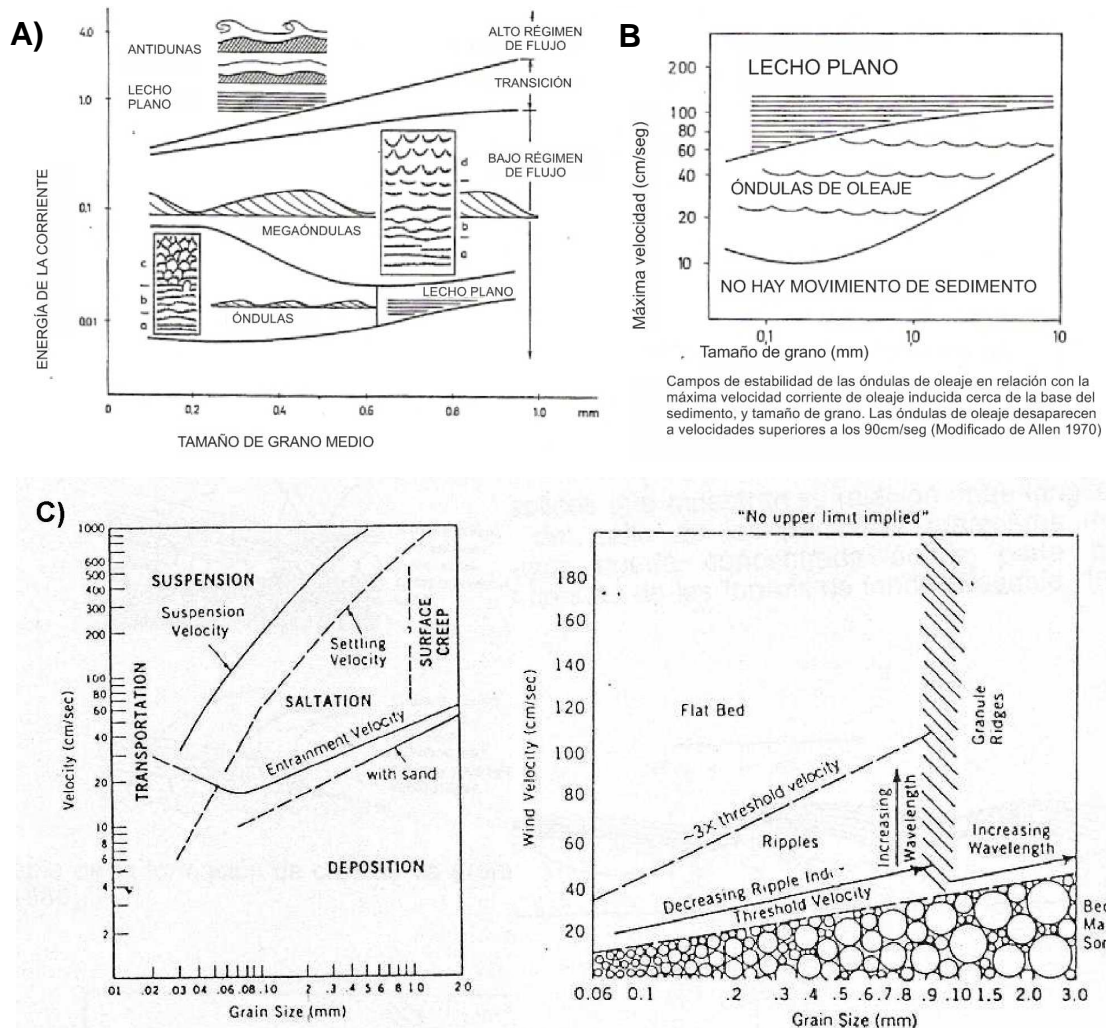


Figura 3: Representación esquemática de varios tipos de formas de lecho y su relación con el tamaño de grano y el poder de la corriente (A: flujos unidireccionales, B: flujos oscilatorios, C: viento)

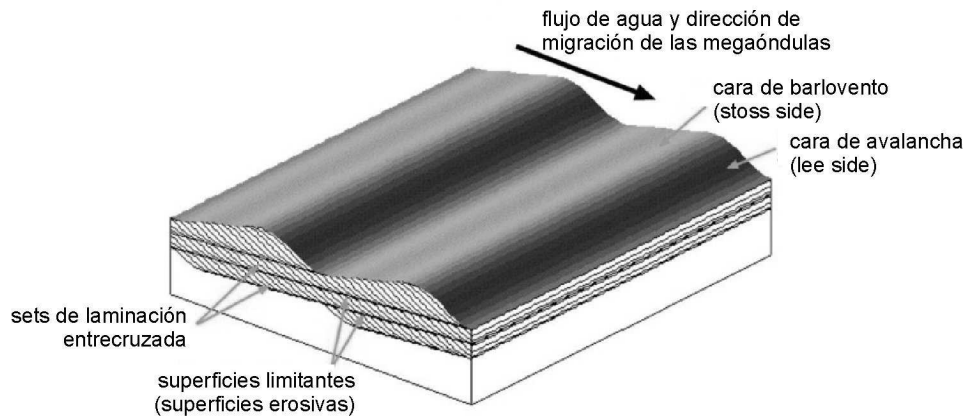
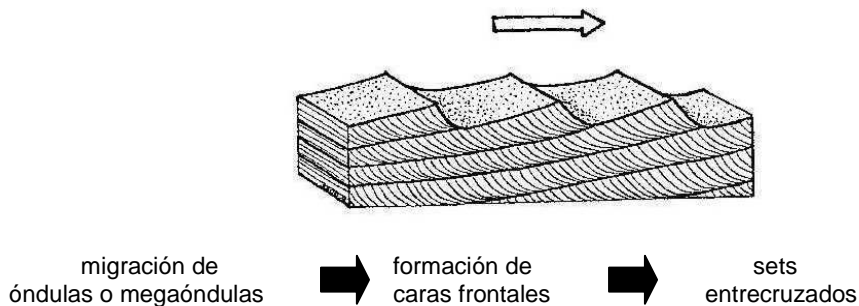
Generación de formas de lecho subácueas y estructuras sedimentarias

D. Rubin publicó el libro *Cross-Bedding, Bedforms and Paleocurrents* (disponible en el sitio web http://walrus.wr.usgs.gov/seds/table_of_contents.html de la USGS (United State Geological Survey) y desarrolló un programa de computación que produce representaciones dinámicas de la migración de distintas formas de lecho de corriente y genera al mismo tiempo la estructura sedimentaria que determina la migración de dicha forma de lecho. También permite establecer que configuración del substrato (forma de lecho) dio origen a una determinada estructura sedimentaria. Se recomienda visitar el sitio web donde aparece publicado dicho libro y allí se pueden observar una gran variedad de estructuras sedimentarias, tanto las representaciones obtenidas a partir del programa como fotografías de campo.

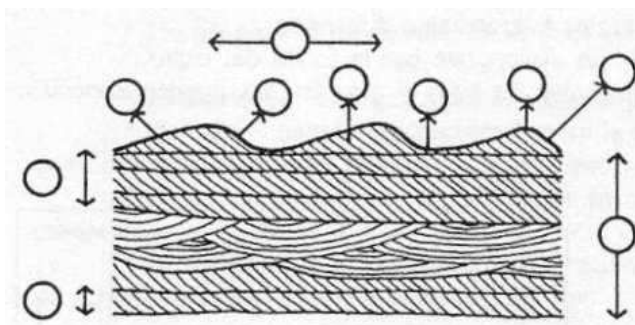
La observación de las representaciones dinámicas es de gran utilidad para examinar la generación de las estructuras sedimentarias a medida que se produce la migración de la forma de lecho. Se utilizarán aquí estas representaciones para realizar unos ejercicios.

Ejercicio Nº 1:

- a) Analizar las representaciones dinámicas “simulación 1”, “simulación 2” y “simulación 5”, señalando en cada caso que forma de lecho y estructura sedimentaria está representada. (Las simulaciones las pueden encontrar en el website de la materia)
- b) Analizar el video “simulación 4” donde se observa la migración de óndulas vista en planta. El mismo se obtuvo a partir de la generación de óndulas en un simulador de sedimentación donde se grabó una imagen cada 40 seg a lo largo de 6 horas de migración de las óndulas. Indicar que estructura sedimentaria genera la migración de esta forma de lecho.
- c) Señalar a que campo de los representados en la figura 3 corresponde cada una de las simulaciones antes observadas. Relacionar estas representaciones dinámicas con el resto de los ejercicios del presente trabajo práctico.

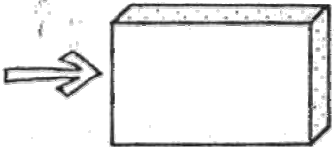
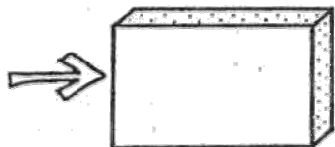
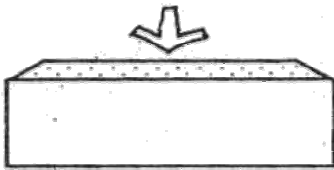
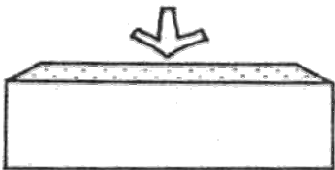
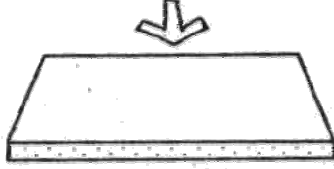
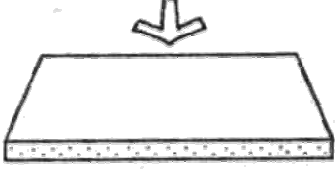
Óndulas y megaóndulas asimétricas

Recordar que dependiendo del tipo de óndula o megaóndula (de crestas rectas, sinuosas, linguoides, etc.) se formarán distintos tipos de estratificación (o laminación) entrecruzada (planar, en artesa, etc.). Véase Reineck y Singh (1980).

Ejercicio Nº 2: Completar el siguiente esquema

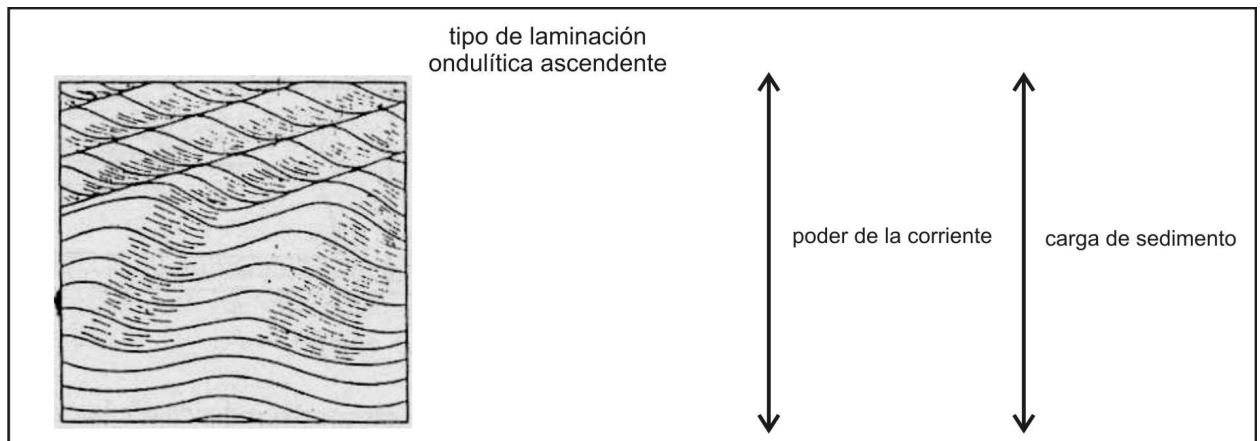
- 1: forma de lecho (geometría externa)
- 2: arreglo interno (estructura sedimentaria)
- 3: cresta
- 4: seno
- 5: cara de avalancha (o sotavento)
- 6: cara de ataque (o barlovento)
- 7: longitud de onda
- 8: capas frontales
- 9: set
- 10: coset

Ejercicio Nº 3: Completar el siguiente cuadro

	ESTRATIFICACIÓN ENTRECRUZADA PLANAR	ESTRATIFICACIÓN ENTRECRUZADA EN ARTESA
Por migración de:		
Geometría de los sets:		
Geometría de las láminas frontales (dibujo):		
Diseño en corte perpendicular a la corriente (dibujo):		
Diseño en plano horizontal (dibujo):		

Ejercicio Nº 4:

- a) Explique brevemente bajo qué condiciones se forma la laminación ondulítica ascendente (*climbing ripple lamination*).
- b) Completar en el esquema con a (óndulas en fase), b (óndulas desfasadas con ambas caras preservadas) y c (óndulas desfasadas con la cara frontal preservada) según corresponda, señale la dirección de la corriente y el ángulo de ascenso cerca de la base, en la parte media y en el tope de la secuencia, e indique hacia donde aumenta el poder de la corriente y la carga de sedimento
- c) ¿Qué representan los planos ("pseudoestratos") que inclinan hacia arriba en la parte superior de la secuencia?

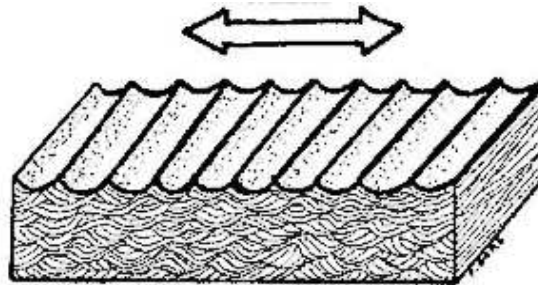


Ejercicio Nº 5: Completar con el código precedente de tipo de laminación ondulítica ascendente (a, b y c) el siguiente texto.

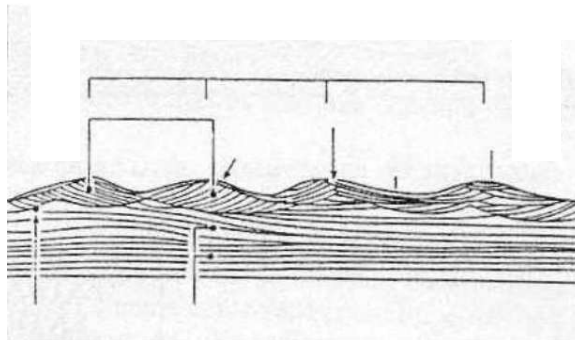
- ✓ Un progresivo incremento en el poder de la corriente provoca un cambio de _____ a _____.
- ✓ Al aumentar la carga en suspensión se pasa de _____ a _____ y finalmente a _____.
- ✓ Cuando el ángulo de ascenso supera la inclinación de la cara de barlovento de la óndula la laminación es de tipo _____; si es menor la laminación resultará de tipo _____.
- ✓ El incremento en la relación carga en suspensión vs. carga de lecho provoca el pasaje de _____ a _____ hasta _____.
- ✓ El aumento de la velocidad de migración de la óndula con respecto a la velocidad de acreción vertical provoca un pasaje del tipo _____ a _____ y _____.

Óndulas y megaóndulas simétricas

Los flujos bidireccionales (oleaje) determinan la laminación ondulítica de oleaje (*wave ripple lamination*) que presenta características distintivas que permiten diferenciarla de la laminación por corrientes unidireccionales.



Ejercicio Nº 6: Identificar en el siguiente esquema las características diagnósticas de la laminación ondulítica de oleaje.



- 1: superficies inferiores de los sets onduladas o irregulares
- 2: estructuras en chevron (en crestas o senos)
- 3: láminas frontales que pasan el seno y se elevan sobre la cresta de la óndula adyacente (off-shoots).
- 4: láminas frontales que inclinan en direcciones opuestas.
- 5: sets sincrónicos con arreglos internos algo diferentes.
- 6: el arreglo interno puede ser discordante con la forma de lecho
- 7: estratificaciones entrecruzadas de bajo y alto ángulo pueden asociarse a estratificación plana.

Ejercicio Nº 7:

- a) ¿Que estructura sedimentaria se forma bajo la acción de flujos combinados (flujos oscilatorios más flujos unidireccionales)? Indique en que ambientes se forman
- b) Realice un esquema de cada una de ellas. Busque en el laboratorio si existen muestras de estas estructuras.

Estructuras formadas por el viento

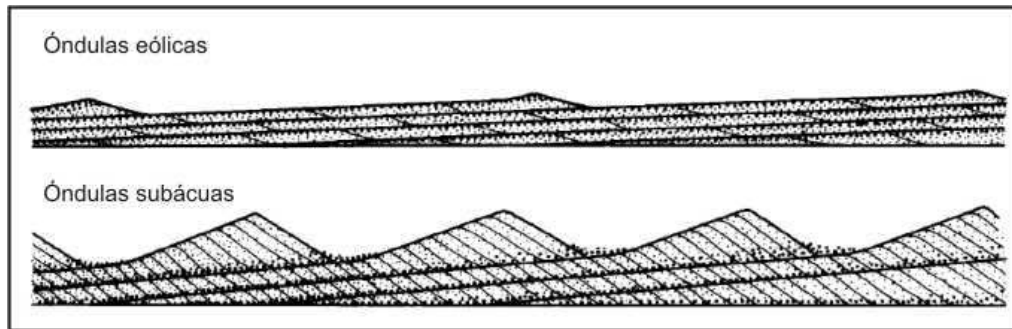
El flujo de viento sobre una superficie con sedimento suelto también produce el movimiento de las partículas. El viento selecciona mucho más los sedimentos, transportando

en saltación las partículas de arena, ocasionalmente (con vientos muy fuertes) las partículas de grava fina (hasta sábulo), y en suspensión el limo y la arcilla.

Ejercicio Nº 8: Busque en la bibliografía porque el viento selecciona más los sedimentos que las corrientes subácueas.

Ejercicio Nº 9: Basándose en el siguiente esquema y la bibliografía recomendada describa las diferencias entre las óndulas eólicas y las óndulas subácueas y en las estructuras sedimentarias que genera.

¿Cuál es la característica saliente de la laminación producto de la migración de óndulas eólicas? Señale como se denominan ambas laminaciones

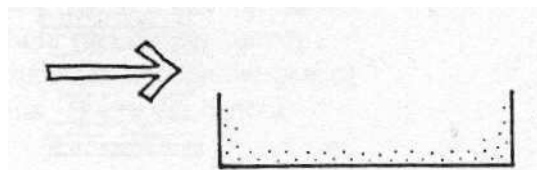


Ejercicio Nº 10: Señale que estructuras se generan por la migración de dunas eólicas.

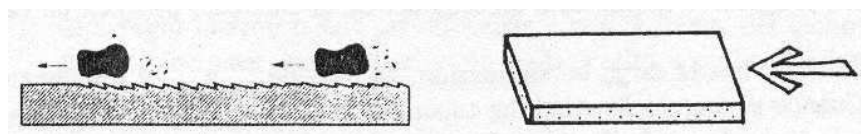
Estructuras erosivas

Las estructuras erosivas necesitan para preservarse de un sedimento cohesivo (limoarcilloso) que luego sea sepultado por otro texturalmente contrastante (arenosa). Se obtiene así un molde (*cast*) que constituye la estructura sedimentaria. A este grupo pertenecen los calcos de erosión y las marcas de herramientas.

Ejercicio Nº 11: Completar el dibujo del perfil de un turboglifo (*flutes*) teniendo en cuenta el sentido de la corriente marcado. ¿Cómo sería el molde correspondiente?



Ejercicio Nº 12: Esquematizar la vista en planta de una marca en chevron



Ejercicio Nº 13: Tilde de las siguientes estructuras las que permiten determinar techo y base de un estrato

- Marcas de base

- Laminación horizontal
- Turboglifos
- Pseudonódulos
- Gradación inversa

Ejercicio Nº 14: Tilde de las siguientes estructuras cuáles permiten determinar la paleocorriente de un flujo, señalar si indican dirección, sentido o ambos.

- Estratificación entrecruzada en artesa
- Laminación ondulítica
- Gradación inversa
- Deformación convoluta
- Laminación horizontal con lineación por partición (*parting lineation*)

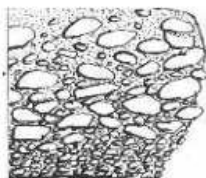
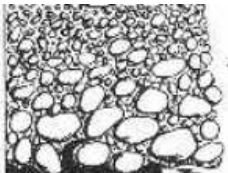
PALEOCORRIENTES

Todas estas estructuras, justamente por estar originadas por una corriente, de alguna manera la llevan "grabada" esta información, y son, por lo tanto, útiles para la determinación de paleocorrientes. Para esto, debemos tener en cuenta:

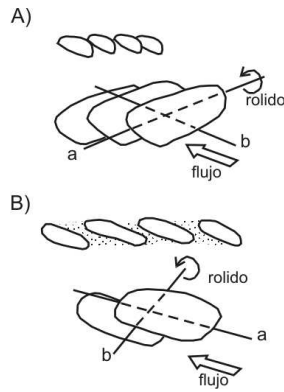
- * En estratificaciones entrecruzadas, el rumbo e inclinación del estrato, y la dirección de máxima inclinación de la capa frontal (y si se trata de artesas?)
- * En marcas erosivas y de herramientas, además del rumbo e inclinación del estrato, la dirección de la marca

Estructuras comunes en conglomerados

Ejercicio Nº 15: Indique en el esquema el nombre de ambas estructuras y describa brevemente el origen de cada una.



Ejercicio Nº 16: ¿Qué tipos de flujos origina las imbricaciones de gravas que se esquematizan abajo? (recuerde que la acción de la gravedad también determina el movimiento de los sedimentos).



Estructuras heterolíticas

En determinados ambientes depositacionales se suceden alternativamente la migración de ondas y la decantación de limoarcillas. Esto determina la formación de estructuras heterolíticas (flaser, ondulosa y lenticular)

Ejercicio Nº 17: Complete en el esquema el tipo de laminación heterolítica y señale con flechas al costa del esquema hacia donde aumenta la proporción de material fino en el flujo y hacia donde la velocidad del flujo.



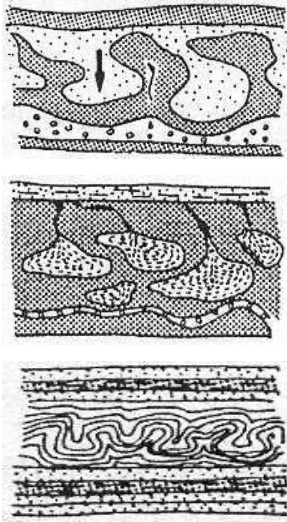
Estructuras deformacionales

Comprenden las estructuras formadas por distorsión, deformación e incluso ruptura de las capas sedimentarias, producido por agentes inorgánicos antes de la consolidación de las mismas. La deformación depende del tipo de sedimento, de su cohesividad, de la saturación en agua, del sobrepeso, etc. Una manera de clasificarlas es:

- 1) Deformación distinguible en superficies de estratificación: calcos de carga, estructuras "flame", volcanes de arena y barro, grietas de desecación, grietas de sinéresis, marcas de lluvia, etc.
- 2) Deformación dentro de los estratos individuales: estratificación convoluta, estructuras de escape de agua, etc.
- 3) Deformación de afecta varios estratos: estructuras de deslizamiento, rotación y desplazamiento de bloques, etc.

Ejercicio Nº 18:

- a) Explique en qué consiste el proceso de licuefacción
- b) Nombrar y explicar brevemente el modo de origen de las siguientes estructuras:



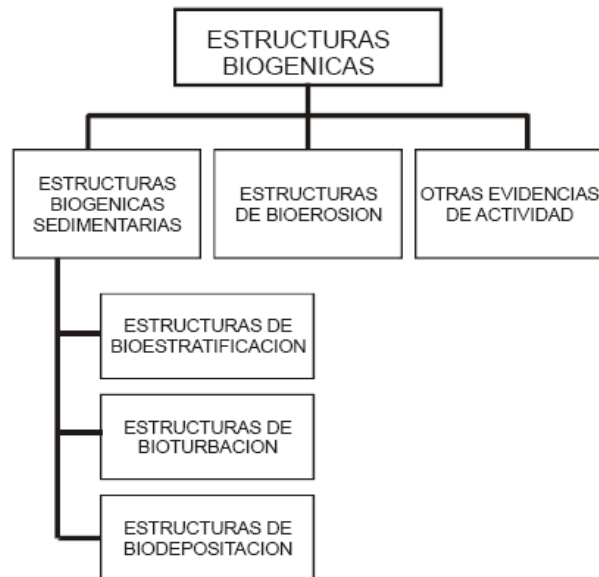
Estructuras químicas

La mayoría de las estructuras antes descritas, con excepción de las estructuras de deformación, se originan durante la depositación o muy poco tiempo después de que ésta ocurra. Por lo tanto, estas estructuras son comúnmente denominadas estructuras sedimentarias primarias. Existen también algunas estructuras sedimentarias que se forman luego de la depositación y se denominan secundarias. La mayoría de estas estructuras son de origen químico formadas por precipitación de minerales en los poros de rocas sedimentarias semiconsolidadas o consolidadas o por procesos de reemplazos químicos. En algunos casos su formación se ve favorecida por procesos de presión y disolución. Las estructuras químicas más comunes son las concreciones que se forman por la precipitación de minerales (calcita, hematita, siderita, chert, yeso, etc.) alrededor de un centro construyendo una masa globular, generalmente redondeada.

Ejercicio Nº 19: ¿Qué otras estructuras químicas conoce? Describa brevemente como se forma cada una de ellas.

Estructuras biogénicas

Las estructuras biogénicas incluyen tres grupos: estructuras biogénicas sedimentarias, estructuras de bioerosión y estructuras de "otras evidencias de actividad". Dentro de las estructuras biogénicas sedimentarias pueden reconocerse además estructuras de *bioestratificación*, *bioturbación* y *biodepositación*.



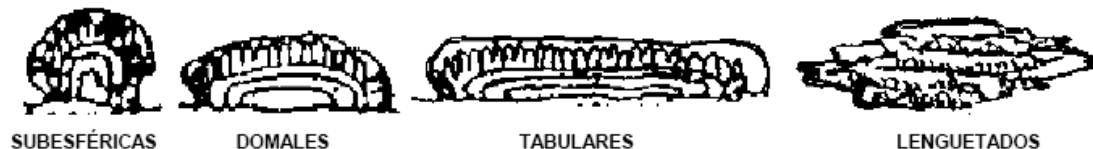
Clasificación de estructuras biogénicas. Modificado de Frey (1973) y Pemberton *et al.* (1990).

Estructuras biogénicas sedimentarias

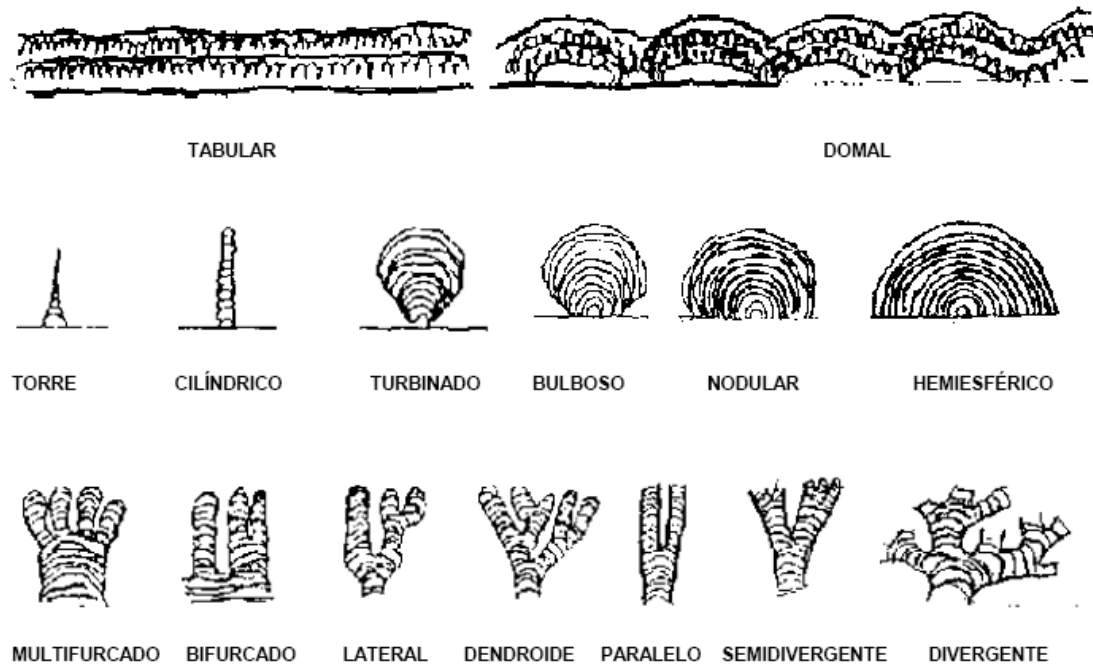
Son aquellas producidas por la actividad de organismos dentro o por encima de sedimento no consolidado. Se subdividen en tres categorías:

- 1) Estructuras de bioturbación: corresponden a aquellas estructuras que reflejan la disrupción de la fábrica sedimentaria y de la estratificación a partir de la actividad de organismos. Ejemplos: excavaciones, huellas.
- 2) Estructuras de bioestratificación: corresponden a aquellas estructuras que consisten en rasgos de estratificación impartidos por la actividad de un organismo. Ejemplos: estromatolitos, oncolitos, rodolitos.
- 3) Estructuras de biodepositación: comprenden estructuras que reflejan la producción o concentración de sedimento por actividad de un organismo. Ejemplos: pellets, coprolitos, regurgitalitos y cololitos.

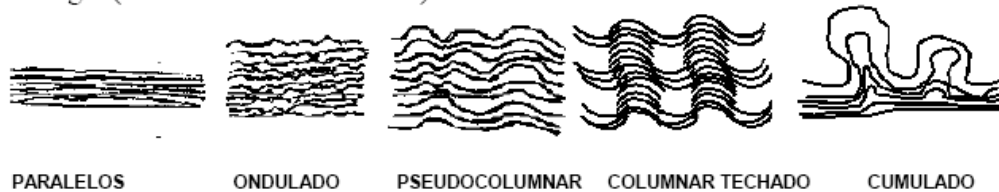
Estromatolitos biohermales



Estromatolitos biostromales



Energía (aumenta hacia la derecha)



Estructuras biogénicas de bioerosión

Consisten en estructuras biogénicas excavadas mecánicamente o bioquímicamente por un organismo en un sustrato duro. Incluye perforaciones, raspaduras, mordeduras y estructuras similares.

Estructuras biogénicas de “otras evidencias de actividad”

Incluyen una amplia gama de estructuras que se encuentran en la mitad de camino entre lo fisiológico y lo etológico. Ejemplo: telas de araña, cáscaras de huevos, nidos.

TRAZAS FÓSILES

Son estructuras biogénicas que constituyen principalmente los campos de las estructuras biogénicas de bioturbación, biodepositación y bioerosión.

Principios icnológicos

- 1- El mismo organismo puede producir estructuras diferentes
- 2- La misma estructura biogénica, al preservarse en sustratos diferentes, puede adquirir características que lleven a considerarla como estructuras distintas.
- 3- Organismos filogenéticamente no relacionados pueden presentar comportamientos similares y construir estructuras morfológicamente semejantes.
- 4- Una misma estructura puede estar reflejando la acción de varios organismos distintos.

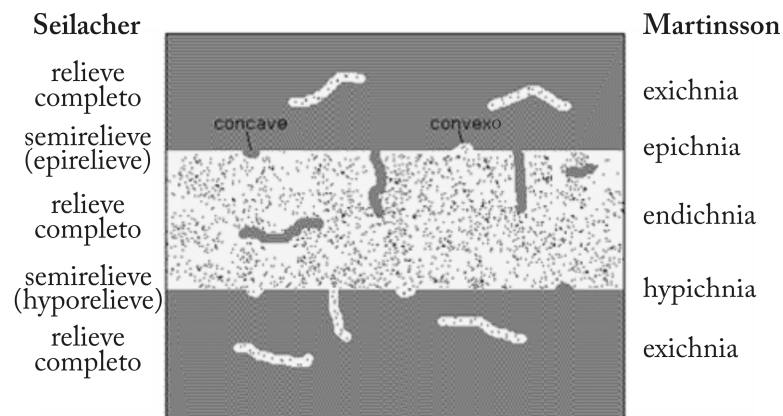
Clasificación de trazas fósiles

Las Trazas se pueden clasificar de acuerdo a la clasificación taxonómica linneana, de acuerdo a la etología, o de acuerdo al tipo de preservación.

Clasificación linneana

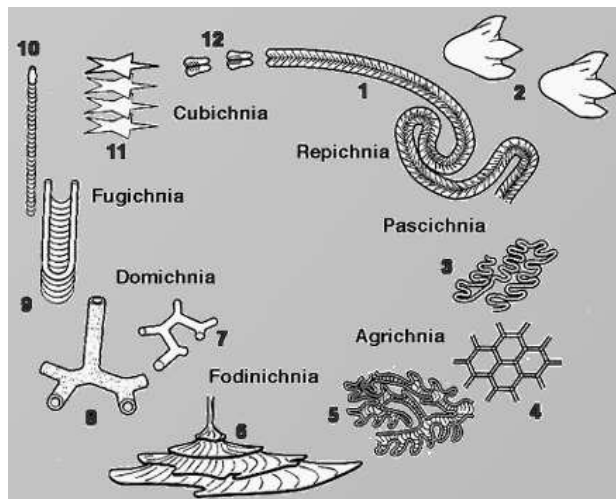
Utiliza el sistema de nomenclatura binominal de forma similar a la utilizada para los organismos fósiles y las especies vivas. Una Ichnotaxa incluye un ichnogenero y una ichnospecie, definida en base diferentes morfologías. Esta clasificación es importante, pero no resulta útil para obtener información sedimentológica.

Clasificación según posición en el estrato



Etología

Las trazas reflejan no sólo el modo de vida de los individuos sino también evidencian aspectos ecológicos y funcionales de los individuos, así como la relación con los parámetros ambientales dominantes.



1. *Cubichnia* (trazas de descanso): incluyen aquellas impresiones dejadas por los organismos cuando están en reposo. Ejemplo: *Asteriacites*, *Lockeia*, *Rusophycus*.

2. *Repichnia* (trazas de locomoción): estructuras epiestratales o intraestratales realizadas por organismos que se desplazan de un punto a otro. Son estructuras lineales o sinuosas. Ejemplos: *Cruziana*, *Diplichnites*.

3. *Pascichnia* (trazas de pastoreo): en esta categoría la actividad de locomoción y de alimentación se combinan, ya que el organismo se alimenta a medida que se produce el desplazamiento. Ejemplos: *Helminthorhapse*, *Gordia*, *Scolicia*.
4. *Agrichnia* (trazas de cultivo o trampas de alimento): constituyen estructuras complejas, con patrones regulares y geométricos muy estructurados que servirían como domicilio y lugar de cultivo de bacterias o trampas para microorganismos. Ejemplo: *Spirorhapse*, *Paleodictyon*.
5. *Praedichnia* (trazas de predación): Generalmente estas estructuras se preservan en sustratos duros, por ejemplo, los orificios perforados en conchillas. Ejemplo: *Oichnus*.
6. *Fodinichnia* (trazas de alimentación): Dentro de esta categoría se incluyen una serie de morfologías como estructuras en U o con desarrollo de *spreite*, pueden ser estructuras simples o ramificadas, y la posición dentro del estrato también es variable, pudiendo ser paralelas, inclinadas o verticales con respecto al plano de estratificación. Ejemplos: *Asterosoma*, *Rosselia*, *Arthropycus*.
7. *Domichnia* (trazas de habitación): comprenden estructuras de habitación de organismos infaunales. Por lo general, estas estructuras son permanentes. Es común que los organismos refuercen las paredes de las excavaciones con sustancias aglutinadas y/o *pellets*. Ejemplo: *Ophiomorpha*, *Skolithos*.
8. *Equilibrichnia* (trazas de equilibrio): Son estructuras que registran los ajustes en la profundidad de las estructuras biogénicas como respuesta variaciones en la tasa de sedimentación o erosión. Ejemplo: *Diplocraterion*.
9. *Fugichnia* (trazas de escape): estructuras generadas por el rápido movimiento hacia arriba o hacia abajo de los organismos, por ejemplo, cuando tratan de escapar del enterramiento o de la erosión del sedimento.

Iconofábrica

Se refiere a todos los aspectos de la textura y estructura interna del sedimento que resulta de bioturbación en todas las escalas. Se trata de una subdivisión vertical del sustrato basada en el carácter y extensión de la bioturbación activa. En sustratos oxigenados modernos se pueden reconocer tres zonas:

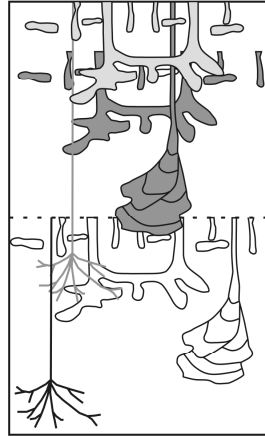
Análisis de escalonamiento

La organización vertical de los organismos se denomina “escalonamiento” (*tiering*) y su análisis permite una mejor comprensión de las relaciones de los organismos y el sustrato, tasa de sedimentación, condiciones de oxigenación y procesos erosivos.

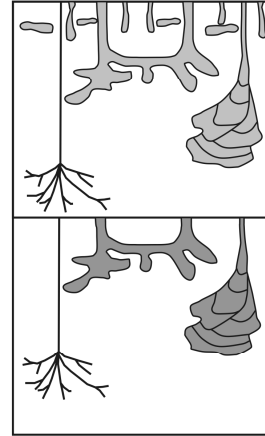
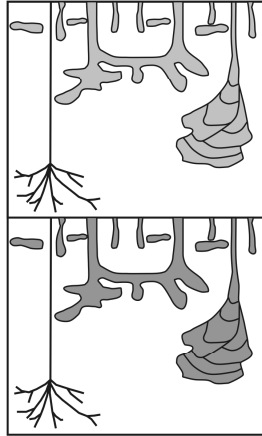
Si la sedimentación es continua y la tasa de sedimentación es baja, la fauna experimenta una migración vertical hacia arriba, de manera tal que las estructuras más profundas cortan a las más someras y los escalones se superponen.

Si la sedimentación es episódica los escalones tienden a preservarse. Cuando las estructuras más someras se preservan, significa que la depositación se produjo sin que ocurra erosión del depósito previo; si en cambio faltan los escalones más superficiales, puede inferirse que hubo erosión previamente a la depositación.

Sedimentación normal



Sedimentación episódica



Sin erosión

Con erosión

Controles ambientales

La distribución de los organismos está regida por una serie de factores tanto físicos como biológicos.

1) **ENERGÍA:** La energía es claramente un factor que influye en la distribución de los organismos, y de este modo, en la de las trazas fósiles. Las asociaciones de alta y baja energía son claramente diferentes, estando las primeras dominadas por estructuras de habitación, generalmente con paredes construccionales. Por el contrario, las icnofaunas desarrolladas en depósitos de baja energía son generadas por organismos que se disponen preferentemente en el plano horizontal.

2) **SUSTRATO:** El sustrato constituye uno de los factores paleoecológicos que mayor control ejerce sobre la colonización, distribución y desarrollo de las comunidades bentónicas. De este modo, también afectan a las estructuras biogénicas construidas por los organismos. Existen cinco categorías que definen al sustrato según su consistencia:

1) Sustratos sopusos (*soupground*); 2) Sustratos blandos (*softgrounds*); 3) Sustratos firmes (*firmgrounds*); 4) Sustratos duros (*hardgrounds*); 5) Sustratos xílicos (*woodgrounds*).

4) **OXIGENACIÓN:** Los organismos bentónicos responden de distintas maneras a las diferentes concentraciones de oxígeno sobre la superficie del sedimento y dentro del mismo. En general, en los fondos bien oxigenados, los organismos construyen excavaciones profundas, oxigenando a su vez los sectores más profundos del sedimento. A medida que la concentración de oxígeno sobre la superficie del sedimento es menor, los organismos construyen excavaciones menos profundas, de menor tamaño y con un escalonamiento menos pronunciado. Finalmente los depósitos anóxicos carecen en general de organismos y por lo tanto de estructuras biogénicas.

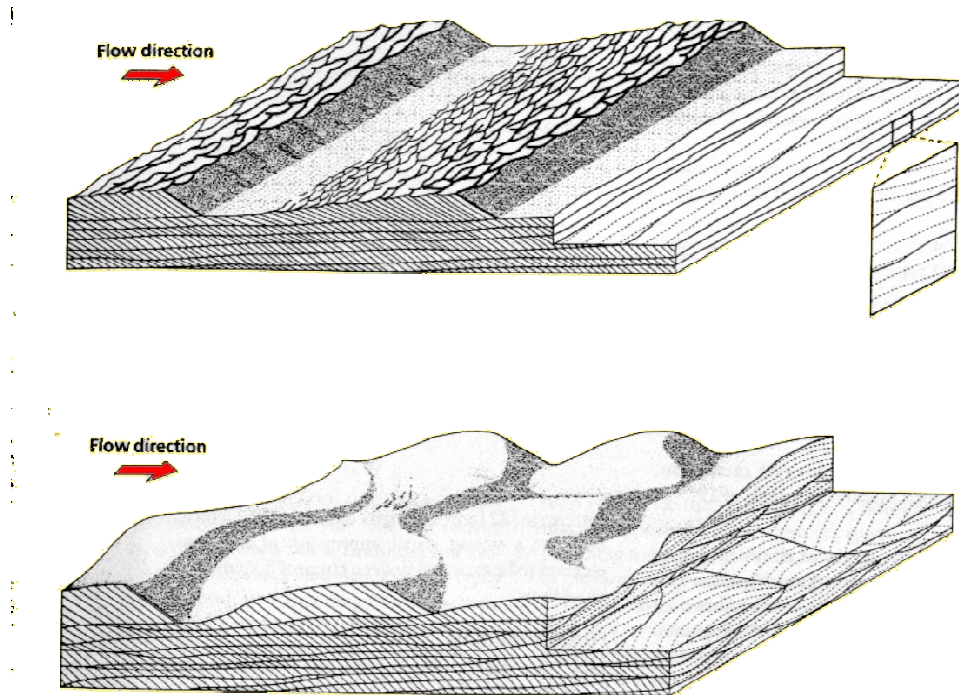
Ejercicio Nº 19: COMPLETAR EL SIGUIENTE CUESTIONARIO

- ¿Qué es una estructura tractiva?
- ¿De qué depende el régimen de flujo?
- ¿Qué diferencia existe entre una laminación ondulítica y una estratificación entrecruzada? Indique los procesos formadores de ambas.
- ¿Cuál es la forma de lecho generadora de una estratificación entrecruzada tabular planar?
- ¿Cuál es la forma de lecho generadora de una estratificación entrecruzada en artesa?
- Teniendo en cuenta el diagrama de estabilidad de formas de lecho mostrado en la figura

2 del TP3 Simulador de Sedimentación, ¿Qué estructura sedimentaria esperaría encontrar como evidencia de un lecho arenoso depositado bajo condiciones de alto régimen de flujo?

- g) ¿Cómo se originan las marcas de base, a que deben su nombre? Mencione tres ejemplos.
- h) ¿Por medio de que estructura/s identificaría condiciones de exposición subaérea?
- i) ¿Qué indican las estructuras sedimentarias? ¿Porque es importante su reconocimiento?

Modelos de megaóndulas u óndulas de crestas rectas y de crestas sinuosas, y la respectiva estructuras interna (de Reineck y Singh, 1973).



BIBLIOGRAFÍA

- Buatois, L.A., Mángano, M.G. y Aceñolaza, F. 2002. Trazas Fósiles. Señales de comportamiento en el registro estratigráfico. Edición Especial MEF N° 2, 382 pp.
- Bromley, R.G. 1991. Trace fossils. Biology, taphonomy and applications. Chapman & Hall, 2° Edición, 281 pp.
- Collinson, J.D. y Thompson, D.B., 1988. Sedimentary structures. Unwin-Hyman, London, 207 pp.
- Frey, R.W. 1975. The Study of Trace Fossils. Springer, 562 pp.
- Pemberton, S.G., MacEachern, J.A., Frey, R.W. 1992. Trace fossils facies models: environmental and allostratigraphic significance. In: R.G. Walker, N.P. James (Eds.), Facies Models, response to sea level change, pp. 47-72.
- Pettijohn, F.J., Potter, P.E. y Siever, R., 1987. Sand and sandstone. Springer-Verlag, New York, 553 pp.
- Reineck, H. E. y I. B. Singh, 1973. Depositional sedimentary environments, with reference to terrigenous clastics, Springer-Verlag, Berlin, Primera Edición, 439 pp.
- Rubin, D.M., 1987. Cross-Bedding, Bedforms, and Paleocurrents: Tulsa, Oklahoma, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, 187 pp.
- Tucker, M.E., 1991. Sedimentary petrology. An introduction to the origin of sedimentary rocks. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 260 pp.

DESCRIPCIÓN MUESTRAS DE MANO EN EL LABORATORIO

Para la descripción de las muestras de mano se usarán la planillas que encontrará al final de este TP, UNA planilla por cada muestra, en la cual deberá incluir:

- Un bosquejo en tres dimensiones de una muestra de cada una de las estructuras listadas a continuación, clasificadas como: A) Estructuras de corrientes, B) Estructuras deformacionales, C) Estructuras químicas, D) Estructuras biogénicas.
- Una explicación breve pero completa sobre los procesos formadores de la estructura.
- Completar en todos los casos: tamaño de grano, techo y base de la muestra (si es posible)
- Marcar en el esquema realizado los rasgos específicos pedidos en cada punto.

1. Estructura de corrientes

1a. Estructuras depositacionales originadas por corrientes (*Current structures*)

Para cada una de las siguientes estructuras internas: indique la forma de lecho generadora (señalando el régimen de flujo al que pertenece y los procesos formadores de la misma), explique qué criterios utilizó para su identificación. Señalar cuando corresponda:

- ✓ Caras frontales (geometría)
- ✓ Geometría de los Límites de sets
- ✓ Sets
- ✓ Cosets
- ✓ Presencia de climbing (indicar tipo y señalar el ángulo)
- ✓ Dirección y el sentido de la paleocorriente
- ✓ Otros rasgos identificados

1. Laminación entrecruzada tabular planar (*tabular cross-bedding*)
2. Laminación entrecruzada en artesa (*trough cross-bedding*)
3. Laminación ondulítica de corriente (*current ripple lamination*) (usar foto de libros)
4. Laminación ondulítica de oleaje (*wave ripple lamination*)
5. Laminación horizontal o paralela (*horizontal lamination*)
6. Laminación heterolítica (*heterolithic lamination*)

1b. Estructuras erosivas originadas por corrientes (*Scour marks*)

7. Turboglifos (*flute marks*)
8. Calcos de flujo (*flute marks*)
9. Marcas de herramientas (*tool marks*)
10. Marcas en chevron (*chevron marks*)

2. Estructuras deformacionales (*Scour marks*)

11. Grietas de desecación (*mud cracks*)
12. Calcos de carga (*load structures*)
13. Estructura flame (*flame structure*)
14. Laminación convoluta (*convolute bedding*)

3. Estructuras químicas

15. Concreciones (esféricas, marlekor, septario)
16. Estructuras cono en cono

4. Estructuras biogénicas

17. Estromatolitos
18. Trazas

NOMBRE DE LA ESTRUCTURA						
FORMA DE LECHO						
ESTRUCTURA INTERNA						
Tipo	Mecánica		Deformacional	Biogénica	Química	
	Depositacional	Erosiva				
Tamaño de grano						
Color						
Predeposicional	Sindepositacional	Postdeposicional		Base	Interior	Techo
<div>ESQUEMA<div></div></div>						
Características diagnósticas						
Origen						

NOMBRE DE LA ESTRUCTURA						
FORMA DE LECHO						
ESTRUCTURA INTERNA						
Tipo	Mecánica		Deformacional	Biogénica	Química	
	Depositacional	Erosiva				
Tamaño de grano						
Color						
Predeposicional	Sindepositacional	Postdeposicional		Base	Interior	Techo
ESQUEMA						
Escala						
Características diagnósticas						
Origen						

NOMBRE DE LA ESTRUCTURA						
FORMA DE LECHO						
ESTRUCTURA INTERNA						
Tipo	Mecánica		Deformacional	Biogénica	Química	
	Depositacional	Erosiva				
Tamaño de grano						
Color						
Predeposicional	Sindepositacional	Postdeposicional		Base	Interior	Techo
ESQUEMA						
Escala						
Características diagnósticas						
Origen						

NOMBRE DE LA ESTRUCTURA						
FORMA DE LECHO						
ESTRUCTURA INTERNA						
Tipo	Mecánica		Deformacional	Biogénica	Química	
	Depositacional	Erosiva				
Tamaño de grano						
Color						
Predeposicional	Sindepositacional	Postdeposicional		Base	Interior	Techo
ESQUEMA						
Escala						
Características diagnósticas						
Origen						

NOMBRE DE LA ESTRUCTURA	
FORMA DE LECHO	
ESTRUCTURA INTERNA	
Tipo	Mecánica Deformacional Biogénica Química
Tamaño de grano	
Color	
Predeposicional	Sindepositacional Postdeposicional Base Interior Techo
ESQUEMA	Escala
Características diagnósticas	
Origen	

[illegible]

NOMBRE DE LA ESTRUCTURA						
FORMA DE LECHO						
ESTRUCTURA INTERNA						
Tipo	Mecánica		<div style="background-color: #cccccc;"></div>	Deformacional	Biogénica	Química
	Depositacional	Erosiva				
Tamaño de grano						
Color						
Predeposicional	Sindepositacional	Postdeposicional		Base	Interior	Techo
ESQUEMA 						
Características diagnósticas						
Origen						

NOMBRE DE LA ESTRUCTURA						
FORMA DE LECHO						
ESTRUCTURA INTERNA						
Tipo	Mecánica		Deformacional	Biogénica	Química	
	Depositacional	Erosiva				
Tamaño de grano						
Color						
Predeposicional	Sindepositacional	Postdeposicional		Base	Interior	Techo
ESQUEMA						
Escala						
Características diagnósticas						
Origen						

NOMBRE DE LA ESTRUCTURA						
FORMA DE LECHO						
ESTRUCTURA INTERNA						
Tipo	<div>Mecánica</div>		Deformacional	Biogénica	Química	
	Depositacional	Erosiva				
Tamaño de grano						
Color						
Predepositacional	Sindepositacional	Postdepositacional		Base	Interior	Techo
ESQUEMA						
Escala						
Características diagnósticas						
Origen						

NOMBRE DE LA ESTRUCTURA						
FORMA DE LECHO						
ESTRUCTURA INTERNA						
Tipo	Mecánica		Deformacional	Biogénica	Química	
	Depositacional	Erosiva				
Tamaño de grano						
Color						
Predeposicional	Sindepositacional	Postdeposicional		Base	Interior	Techo
ESQUEMA						
Escala						
Características diagnósticas						
Origen						

CUADRO DE REPASO

	Mecánica	Química	Deformacional	Biogénica	Predeposicional	Sindeposicional	Postdeposicional	Techo	Interior	Base	Indicador Polaridad	Indicador Paleocorriente
Estratificación Entrecruzada												
Dish												
Turboglifos												
Moldes De Cristales												
Estratificación Gradada												
Estilolitas												
Pseudonódulos												
Marcas De Lluvia												
Marcas De Punzamiento												
Grietas De Desección												
Concreciones												
Trazas Fósiles												
Estromatolitos												
Lineación Parting												
Marcas Chevron												
Calcos De Carga												
Volcancitos De Fango												
Diques Clásticos												
Grietas De Sinéresis												
Cuñas De Hielo (Permafrost)												
Estratificación Convoluta												
Estructuras Flame												

TRABAJO PRÁCTICO N° 4 ROCAS SEDIMENTARIAS

Objetivo:

- Estudiar los distintos tipos de rocas sedimentarias: su clasificación, génesis y reconocimiento.

Bibliografía recomendada:

Petrology of sedimentary rocks. S. Boggs, MacMillan, 1992.

Sedimentary petrology: an introduction to the origin of sedimentary rocks. 3rd. ed, M.E. Tucker, Blackwell Science, 2001.

Petrología y diagénesis de rocas clásticas. Scasso, R.A. y Limarino, C.O., 1997, Publicación Especial N° 1, Asociación Argentina de Sedimentología.

En este trabajo práctico se diferenciarán los distintos tipos de rocas sedimentarias, analizando el aspecto de las mismas, estudiando que parámetros permiten clasificarlas, realizando ejercicios y descripciones de muestras de mano de las mismas y contestando un cuestionario.

Existen cuatro grupos principales de rocas sedimentarias que se distinguen por el origen de sus clastos:

- 1) **Epiclásticas** (terrágenas): formadas por clastos de origen terrígeno, es decir originados por desintegración mecánica de rocas. En este grupo se encuentran los conglomerados, areniscas y pelitas.
- 2) **Piroclásticas** (volcaniclásticas): en este caso los clastos se originan por la actividad volcánica y las rocas principales son las tobas.
- 3) **Químicas**: son las rocas evaporíticas donde los componentes se forman por precipitación química.
- 4) **Organógenas**: en éstas los componentes de las rocas se formaron por la actividad biológica, las más características son las rocas carbonáticas.

En algunos casos las rocas sedimentarias tienen una composición variada donde se "mezclan" clastos de distinto origen en distintas proporciones, por lo que para clasificarlas se toma en cuenta la composición dominante. En el esquema de la figura 1 (Nichols, 1999) se muestran los componentes principales de las rocas sedimentarias.

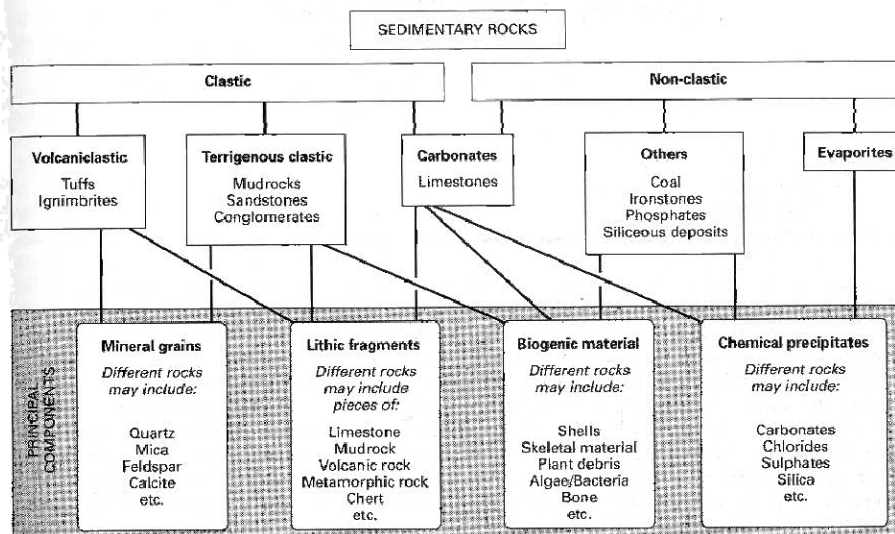
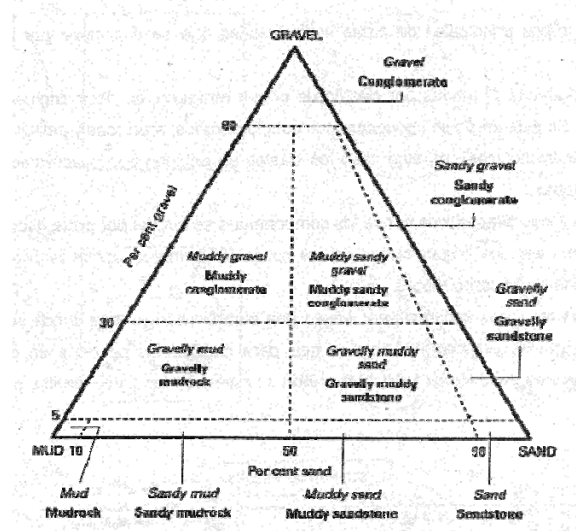


Figura 1: Principales constituyentes de las rocas sedimentarias (tomado de Nichols, 1999).

ROCAS EPICLÁSTICAS

Las rocas **epiclásticas** se clasifican por el tamaño de los clastos en: “conglomerados” (o psefitas) dominadas por clastos tamaño grava, “areniscas” (o psamitas) si están formadas principalmente por clastos tamaño arena y “pelitas” si predominan clastos tamaño limo y arcilla. La figura 2 sintetiza la nomenclatura utilizada para las rocas epiclásticas según la propuesta de Folk *et al.* (1970). En los conglomerados y areniscas se distinguen tres componentes principales: clastos, matriz y cemento. Los clastos conforman el armazón de la roca mientras que la matriz (material clástico de tamaño menor a los clastos del armazón) y el cemento (precipitado químico) conforman el material ligante que une ese armazón. Las pelitas incluyen a las limolitas (compuestas mayormente por limos) y las arcilitas (por arcillas). En las pelitas no es posible realizar esta distinción ya que la mayor parte de los clastos que las conforman son de tamaño muy pequeño y semejante.

Figura 2: Nomenclatura utilizada para las rocas epiclásticas según la propuesta de Folk *et al.* (1970) (tomado de Nichols, 1999).



Psefitas

La proporción de clastos tamaño grava que debe tener una roca para ser considerada un conglomerado depende según que clasificación se use, variando entre un 30 y un 50% (véase Scasso y Limarino, 1997). Aquí se tomará para clasificarlos el límite de 30% siguiendo el esquema de la figura 2.

Una diferenciación importante es entre “brechas”, cuando los clastos son angulosos y “conglomerados” si los clastos son redondeados. Los otros parámetros para clasificar los conglomerados son la composición dominante de los clastos y el tipo de matriz. En cuanto al primero se diferencian en “polimícticos” si los clastos son de composición variada, “monomícticos” si los clastos son de una única composición, y “oligomícticos” si están formados exclusivamente por clastos cuarzosos. Por su parte, si la matriz es arenosa se denominan “ortoconglomerados” y si es fangosa (limo y arcillas) “paraconglomerados”.

Las psefitas pueden clasificarse, en forma descriptiva, en base a las siguientes características:

1- Tamaño de los clastos:

Aglomerados: psefitas cuyos esqueletos están constituidos por clastos tamaño bloque (>256 mm.).

Conglomerados: psefitas cuyos esqueletos están constituidos por clastos tamaño grava (entre 2 y 256 mm.).

2- Redondeamiento de los clastos:

Brechas: psefitas cuyos clastos son angulosos o muy angulosos.

Conglomerados: psefitas cuyos clastos son redondeados o subredondeados.

3- **Fábrica:**

Clasto-sostén: los clastos tamaño grava se tocan formando un esqueleto que se sostiene por sí mismo.

Matriz-sostén: los clastos tamaño grava “flotan” en la matriz.

4 - **Tipo de matriz:**

Ortoconglomerados: la matriz que se encuentra entre los clastos tamaño grava es arenosa.

Paraconglomerados: la matriz que se encuentra entre los clastos tamaño grava es pelítica.

5- **Litología:**

Monomícticos: los clastos tamaño grava son de una sola litología. Esta puede ser cualquiera (ej: calizas, basaltos, granitos, rocas volcánicas, areniscas, etc).

Oligomícticos: los clastos tamaño grava son exclusivamente cuarzosos.

Polimícticos: los clastos tamaño grava son de varias litologías.

Ejemplos:

Una roca con matriz arenosa, cuyos fragmentos tamaño grava son de composición basáltica, se denominará ortoconglomerado monomíctico. En cambio, una roca con matriz pelítica, cuyos clastos tamaño grava están compuestos por areniscas, basaltos y calizas, se denominará paraconglomerado polimíctico.

Para clasificar los conglomerados en esta práctica se utilizará la clasificación propuesta por **Limarino et al. (1996)**, en Scasso y Limarino, 1997) de la figura 3 que clasifica a las rocas psefitas en base a tres parámetros principales: 1. tipo de fábrica, 2. textura y 3. composición de los clastos. Los dos primeros factores son interpretados como indicadores de mecanismos de transporte y depositación y además el tipo de fábrica puede indicar la relación temporal existente entre la depositación de los clastos y la matriz. Asimismo, la composición de los clastos es indicadora de proveniencia y refleja la madurez composicional.

En esta clasificación se reconocen dos clases principales en función del tipo de fábrica, las "clasto-psefitas" (clasto-conglomerados o clasto-brechas según el redondeamiento de la fracción mayor a 2 mm) y las "matriz-psefitas", según los fenoclastos se encuentren en contacto unos con otros o "flotando" dentro del material ligante. Así como también la textura de la matriz se emplea para distinguir entre ortoconglomerados (matriz arenosa) y paraconglomerados (matriz fangosa), independientemente del tipo de fábrica que presente la roca. La composición de los clastos es graficada dentro de un sistema ternario, que presenta en su vértice superior las especies más estables (cuarzo, chert y cuarcitas). El vértice izquierdo representa las áreas de aporte de basamento cristalino o metamórfico de alto grado, incluye a clastos de granitoides, gneises y feldespato y el vértice derecho incluye al resto de los clastos líticos, generalmente lábiles y de grano fino (sedimentitas, metamorfitas de bajo y mediano grado, volcanitas, calizas, etc.).

De esta manera, en cada triángulo se reconocen seis campos: 1. Oligomíctico, 2. Subarcósico, 3. Sublítico, 4. Polimíctico, 5. Arcósico y 6. Lítico.

Es importante destacar que cuando se realiza una descripción sólo con la muestra de mano en ocasiones resulta difícil distinguir la matriz del cemento por lo que se describen las características del material intersticial en su conjunto como “material ligante”.

Otra clasificación de psefitas es la de Boggs (1992) que modificó la clasificación genética de Pettijhon (1975). En la figura 4 se puede observar los distintos tipos de conglomerados y brechas según su origen.

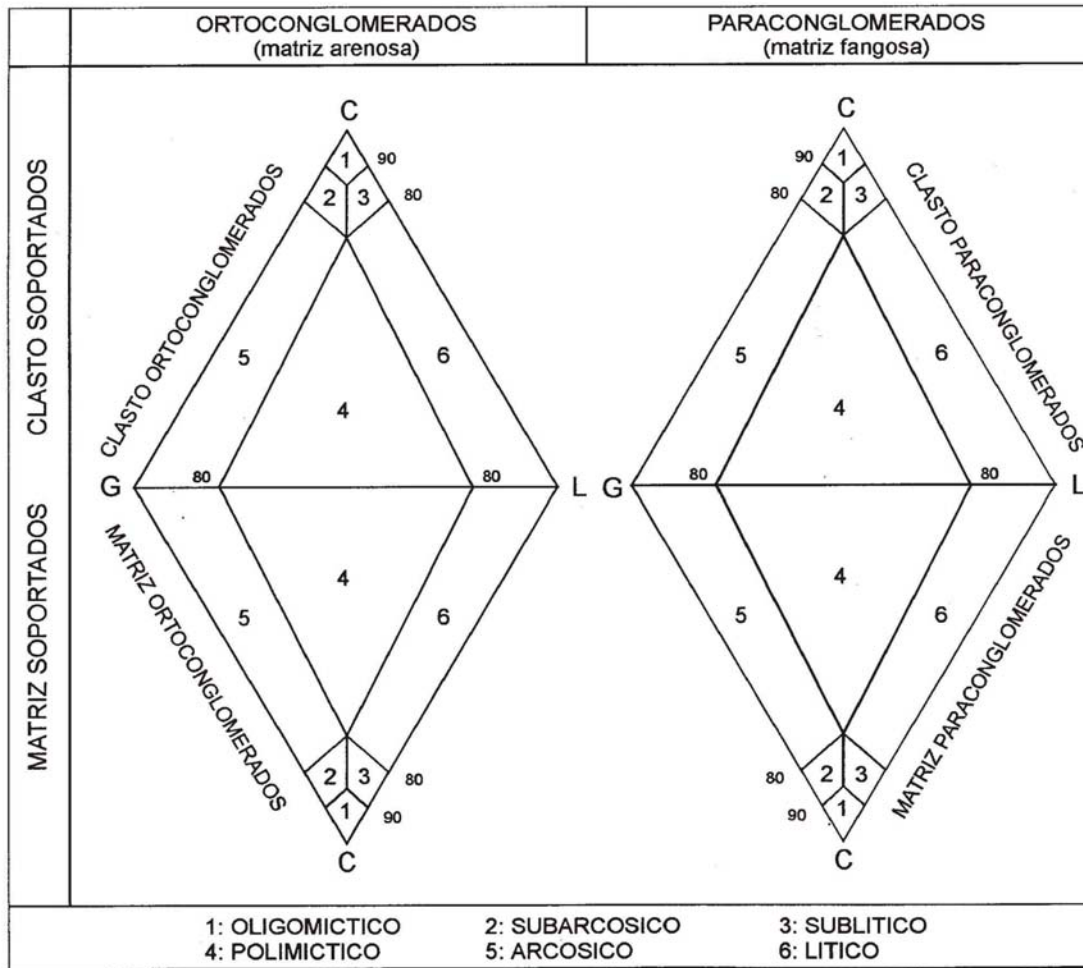


Figura 3: Modelo de clasificación de psefitas basado en la textura de la matriz, composición de los clastos y fábrica (de Limarino et al., 1996, tomada de Scasso y Limarino 1997). Ref.: C= cuarzo + chert + cuarcitas, G= granitos + gneises + feldespatos y L= fragmentos líticos restantes.

Tipos Principales	Subtipos	Origen de los clastos
Conglomerados y brechas epiclásticas	Conglomerados y brechas extraformacionales	Ruptura de rocas más antiguas de cualquier tipo a través de procesos de meteorización y erosión: depositados por flujos fluidos (agua, hielo) y flujos gravitatorios.
	Conglomerados y brechas intraformacionales	Fragmentación penecontemporánea de lechos sedimentarios débilmente consolidados: depositados por flujos fluidos y flujos gravitatorios.

Brechas volcánicas	Brechas piroclásticas	Erupciones volcánicas explosivas, magmáticas o freáticas. Depositadas por flujos piroclásticos o de caída.
	Autobrechas	Rotura de lava parcialmente congelada, viscosa debido al movimiento continuo de la lava.
	Brechas hialoclásticas	Ruptura de magma coherente y caliente originando fragmentos vítreos. Se debe al contacto con agua, nieve o sedimento saturado en agua.
Brechas cataclásticas	Brechas de deslizamiento (<i>slump</i> y <i>landslide</i>)	Rotura de roca debido a esfuerzos extensivos e impacto durante el deslizamiento de masas de roca.
	Brechas tectónicas	Rotura de roca frágil como resultado de movimientos corticales.
	Brechas de colapso	Rotura de roca frágil debido al colapso dentro de una apertura creada por solución y otros procesos.
Brechas de disolución		Fragmentos que quedan como residuo insoluble al disolverse el resto del material.
Brechas de impacto		Brechamiento de roca debido al impacto de meteoritos.

Figura 4: Cuadro de los tipos de conglomerados y brechas según su origen.
Tomado de Boggs (1992) modificado de Pettijhon (1975).

Un término frecuente en la descripción de conglomerados es **diamictita** (Flint *et al.*, 1960) para definir rocas sedimentarias silicoclásticas, mal seleccionadas, que contienen partículas tamaño grava de muy variados tamaños con una matriz fangosa.

Estructuras de los conglomerados

En general presentan un reducido número de estructuras, pueden ser masivas o macizas (sin estructura) y también presentar estratificación horizontal o inclinada poco a bien desarrollada. La estratificación entrecruzada tabular y en artesa se presenta en algunos conglomerados, como por ejemplo los de origen fluvial.

Pueden presentar gradación normal, inversa, o no tener gradación. Cabe también mencionar estructuras de rellenos de canal y lentes de grava.

En la Figura 5 se puede observar distintos tipos de estratificación en conglomerados: a) estratificación horizontal con contacto transicional; b) estratificación horizontal e inclinada; c) estratificación entrecruzada y horizontal cercano al ángulo de descanso y conglomerados no estratificados (d).

Tipos de Flujos

En el cuadro de la Figura 6, se resumen los dos tipos principales de flujos. Los **flujos hiperconcentrados** son aquellos que presentan una concentración de sedimento en agua > 50% y el transporte de las partículas es en masa mientras que en los **flujos normales o fluidos**, esta concentración es < 50% y los granos se transportan como partículas individuales (grano a grano).

Dentro de los flujos hiperconcentrados se reconocen los **Flujos Cohesivos o flujos de detritos**, en los cuales el transporte de los granos es el resultado de la resistencia de la matriz pelítica. Estos flujos generan depósitos matriz-soportados y con estructura caótica.

En los **Flujos Hiperconcentrados No Cohesivos o flujos granulares** el transporte se da por presión dispersiva generada por las colisiones entre los granos de arena. Los granos más gruesos se mueven hacia las regiones de menor cizalla, en la parte superior del flujo, dando

por resultado una gradación inversa. Los depósitos generados por estos flujos pueden ser matriz-soportados con o sin gradación inversa o clasto-soportados con gradación inversa.

Los **flujos fluidos o normales** se caracterizan por generar depósitos clasto-soportados con estructuras tractivas (masivos, gradación directa, estratificaciones entrecruzadas, estratificación horizontal, imbricación).

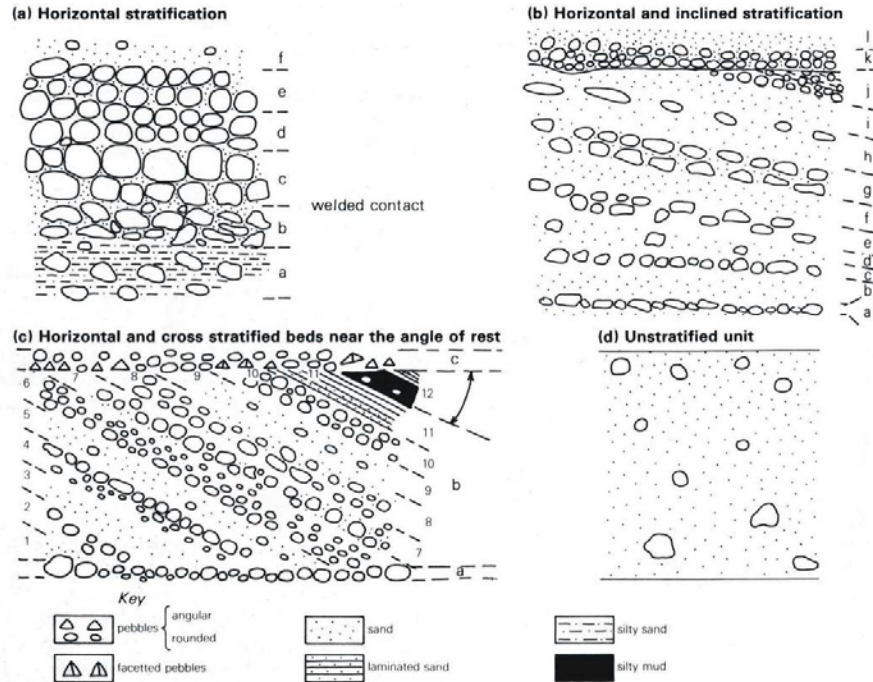


Figura 5: Estratificación en conglomerados: a) estratificación horizontal con contacto transicional; b) estratificación horizontal e inclinada; c) estratificación entrecruzada y horizontal cercano al ángulo de descanso; d) no estratificados. Tomado de Collinson y Thompson 1989.

FLUJOS HIPERCONCENTRADOS (sedimento/agua > 50%)	Cohesivos (<i>Flujos de detritos</i>) "resistencia de la matriz"	Paraconglomerados Matriz soportados Estructura caótica
	No cohesivos (<i>Flujos granulares o friccionales</i>) "Presión dispersiva"	Ortoconglomerados Matriz soportados con o sin gradación inversa. Clasto soportados con gradación inversa
FLUJOS FLUIDOS O NORMALES (sedimento/agua < 50%)	Paraconglomerados u ortoconglomerados (matriz infiltrada) Clasto soportados Estructuras: Masivos, gradación directa, estratificaciones entrecruzadas, estratificación horizontal, imbricación.	

Figura 6 - Cuadro de tipos de flujos

En el gráfico de la figura 11 del TP2 se observa la relación entre la velocidad de la corriente, el tamaño de grano, las formas de lecho de pequeña y mediana escala y las estructuras

sedimentarias internas de los depósitos fluviales (tomado de Einsele, 2000). El límite entre el régimen de flujo alto y bajo depende principalmente de la profundidad del agua. Las formas de lecho de gran escala y sus estructuras internas resultan de la fluctuación de la profundidad del agua y de las velocidades de las corrientes.

Descripción de psefitas en muestra de mano

El siguiente listado incluye las principales características a observar en muestras de mano de psefitas y no implica estricto orden en las descripciones. No debe olvidarse, sobre todo en las rocas de grano muy grueso, que resulta de vital importancia la descripción de campo completa y detallada, pues una muestra de mano puede no ser representativa.

- Granulometría: la roca se clasifica según el tamaño de grado más abundante:

CONGLOMERADO (BRECHA)			AGLOMERADO	
FINO		MEDIANO	GRUESO	
Granulo 2-4 mm.	Guija 4-16 mm.	Guijarro 16-64 mm.	Guijón 64-256 mm.	Bloque >256 mm.

- Color: puede usarse la Tabla de Colores de la *Geological Society of America (The Rock Color Chart)*. Color de roca fresca y de superficie de alteración.

- Grado de consolidación: suelta, friable (los granos se separan con los dedos), consolidada (los granos se separan con un cortaplumas), muy consolidada (los granos no se separan con un cortaplumas).

- Estructuras

- Textura: clasto-sostén o matriz-sostén.

- Fracción clástica:

- tamaño: utilizando la escala de Udden-Wentworth. Es importante medir el tamaño del clasto mayor y el tamaño promedio.

- redondez: grado de angulosidad de los clastos, utilizando escalas de comparación visual (Fig. 7).

- forma: de acuerdo al método de Zingg (equidimensional, oblada o tabular, laminar, prolada, Fig. 8) o de Sneed y Folk (1958, equidimensional, discoidal, laminar, prolada, Fig. 9)

- selección: se estima de acuerdo a la diferencia de grados Udden entre los clastos de mayor y menor tamaño; buena (1 a 3 grados Udden), moderada (3 a 7 grados Udden), mala (más de 7 grados Udden).

- fábrica: disposición de los clastos (existencia o no de orientación de los clastos en la roca).

- composición de los clastos: mineralógica y/o litológica.

- Material ligante: estimar su tipo; tamaño de grano, composición, porcentaje, si se reconoce matriz; composición, distribución, porcentaje si se reconoce el tipo de cemento.

- Porosidad: distribución, porcentaje, características, etc.



Figura 7: Grados o categorías de redondeamiento para clastos. Para cada grado se muestran clastos con baja y alta esfericidad. De Pettijohn et al. (1987).

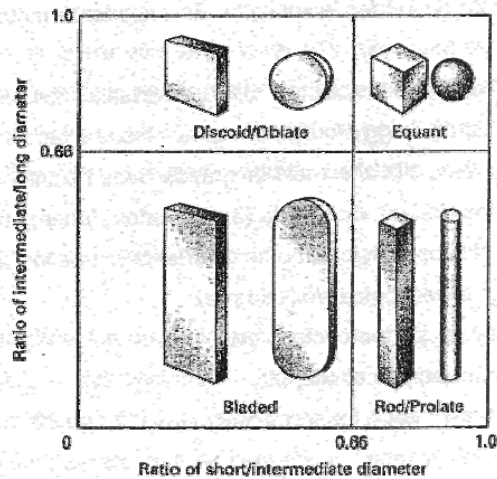


Figura 8 - Clasificación de formas de gravas según Zingg (1935).

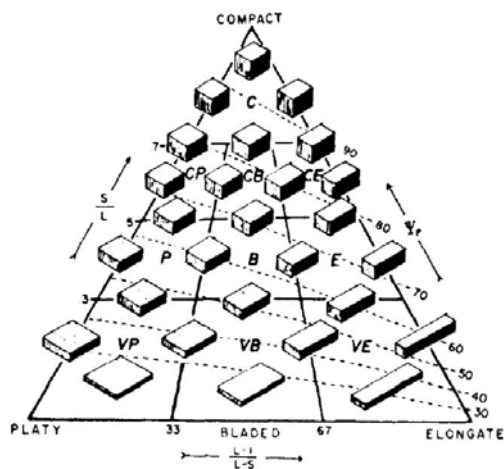


Figura 9 - Diagrama ternario de Sneed y Folk (1958) para clases de forma y curvas de isoesfericidad (Ψ p). Las letras corresponden a las diferentes clases de forma, C: esféricas (COMPACT), E: proladas o elongadas (ELONGATE), P: discoidales (BLADED), B: laminares (PLATY), V: muy (*very*).

Ejemplo de descripción:

Muestra N° Formación:
Clasificación: Clasto ortoconglomerado polimíctico

Conglomerado mediano a grueso, de color amarillo verdoso pálido (10Y 8/2), con numerosos parches de color naranja rojizo mediano (10R 6/6), consolidado. Puede observarse una incipiente estratificación gradada normal y cierta orientación subparalela de los clastos.

Presenta textura clasto-sostén, donde la fracción clástica que forma el 70% de la muestra está integrada por clastos de calizas (90% de la fracción clástica), de tamaño variado desde guijarros hasta guijones, redondeados, de hábito equidimensional a prolado, algunos de cuyos individuos presentan indicios de disolución, por lo que se observa en ellos una superficie corroída.

El resto de la fracción clástica (10%), se halla integrada por clastos de cuarzo, equidimensionales y subredondeados, cuyo tamaño no supera los 20 mm.

De lo expresado anteriormente se desprende que la selección de la fracción grava es moderada.

El material psamítico que constituye la matriz conforma el 15% de la roca, su granulometría se encuentra comprendida entre los tamaños arena mediana y gruesa y está compuesto en su casi totalidad por clastos de cuarzo y, en menor medida, por feldespatos tabulares.

El cemento constituye el 5% de la muestra, es principalmente carbonático, y forma pequeñas drusas, no rellena todos los espacios vacíos, por lo que se observa porosidad intergranular (10%). Cabe mencionar la presencia de pequeñas dendritas de manganeso.

Psamitas (Areniscas)

Las areniscas son rocas epiclásticas dominadas por fragmentos tamaño arena (entre 0,062 mm y 2 mm) y formadas por un esqueleto o armazón detrítico (los clastos), cemento (minerales autigénicos precipitados durante la diagénesis), matriz (clastos menores a 0,030 mm o 30 μ m) y poros (espacios vacíos que quedan entre los componentes de la arenisca). Debido al tamaño de grano fino de los clastos que forman estas rocas la descripción y clasificación se realiza mejor a partir del estudio de secciones delgadas al microscopio petrográfico, donde se distingue la fracción clástica, la matriz (< 0,03 mm) y el cemento (minerales autigénicos que rellenan espacios que originalmente eran poros abiertos). Sin embargo, en los estudios de campo resulta importante realizar una clasificación preliminar de las areniscas así como tomar nota de las características salientes de las mismas (como color, estructuras sedimentarias, presencia de clastos mayores a 2 mm, etc.).

Los componentes clásticos de las areniscas incluyen fragmentos de minerales (mucho más frecuente que en los conglomerados) y fragmentos de rocas (fragmentos líticos). Entre los primeros los más abundantes son cuarzo y feldespatos y, en menor medida, minerales micáceos y pesados, mientras que los fragmentos líticos incluyen aquellos de rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias. Justamente es la composición de los clastos, determinada a partir del conteo de clastos en secciones delgadas, junto con el porcentaje de matriz, lo que permite clasificar a las areniscas. Para ello se utilizan diferentes diagramas de clasificación. Los más utilizados son la clasificación de Dott modificada por Pettijohn *et al.* (1987) y la de Folk *et al.* (1970).

Las areniscas se clasifican en función de la composición de los constituyentes mayoritarios de los clastos (cuarzo, feldespatos y fragmentos líticos) y en el porcentaje de matriz. Existe gran cantidad de clasificaciones, pero las más utilizadas son la de Dott, modificada por Pettijohn *et al.* (1973) y la de Folk *et al.* (1970) (Fig. 10).

El estudio de la composición de las areniscas (*Estudios de procedencia*, Scasso y Limarino, 1997), resulta un importante indicador de la región de procedencia o proveniencia de los detritos y de las características tectónicas de dicha región. Para este tipo de análisis se determinan las modas detríticas de las areniscas, es decir los porcentajes de los distintos componentes que conforman la fracción clástica, ploteando en diagramas triangulares los porcentajes de varias combinaciones de granos.

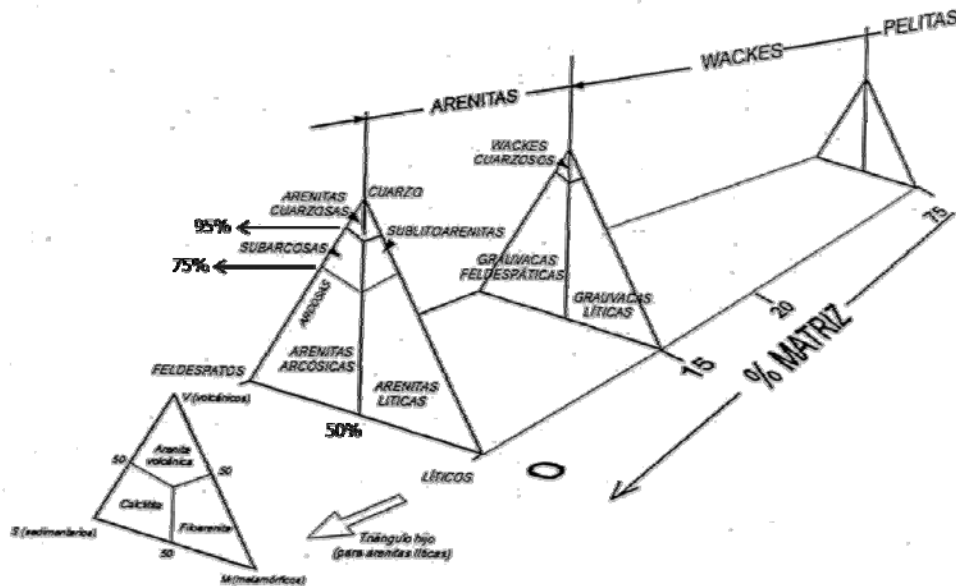


Figura 10 - Diagrama de clasificación de Dott, modificado por Pettijohn *et al.* (1987)

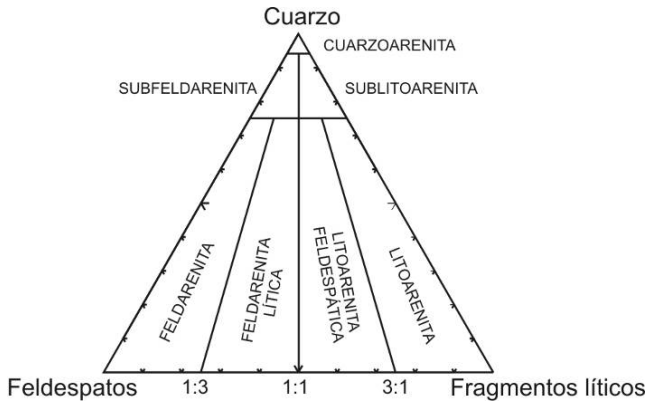


Figura 11: Diagrama de clasificación de Folk et al. (1970)

Pelitas

Las pelitas constituyen el 50% de todas las rocas sedimentarias del registro geológico. Están compuestas principalmente por partículas de fango, menores de $63 \mu\text{m}$, que caen dentro del rango de limo grueso a las arcillas más finas (Chamley, 1989; Weaver, 1989). El término fangolita se utiliza como sinónimo de pelitas o también a pelitas sin fisilidad. En inglés se utilizan los términos *mudrock*, *mudstone* o *shale*, éste último generalmente para las pelitas con fisilidad (lutitas en castellano). La composición granulométrica promedio de los fangos actuales es de alrededor de 40% de arcilla, 45% de limo y 15% de arena (Picard, 1971). Como las pelitas pueden contener hasta un 50% de partículas tamaño arena una clasificación sencilla se presenta en la figura 11. Las pelitas no presentan tanta variedad de estructuras sedimentarias como las areniscas pero es importante que cuando se estudian si presentan laminación, laminación ondulítica u ondulitas aisladas en las más arenosas, laminaciones heterolíticas, bioturbación, clastos aislados de areniscas o gravas, fisilidad, etc. Otra característica importante a describir es el color, propiedad que está relacionada con la presencia de distintos minerales de arcillas (verdes si presentan glauconita o clorita, blancas si son ricas en caolín), materia orgánica (pelitas negras o marrones), minerales de Fe (colores verdosos o grises si el Fe está como ferroso y rojas o castañas rojizas si es férrico), pirita (colores negros o grises muy oscuros), etc.

Debido al tamaño de grano muy fino de las pelitas el estudio de su composición mineralógica se realiza principalmente mediante la técnica de difracción de rayos X que permite cuantificar en forma aproximada a las fases minerales. Otras metodologías son la microscopía electrónica de barrido (MEB), y de transmisión (de mayor resolución), estudios con microsonda y análisis químicos.

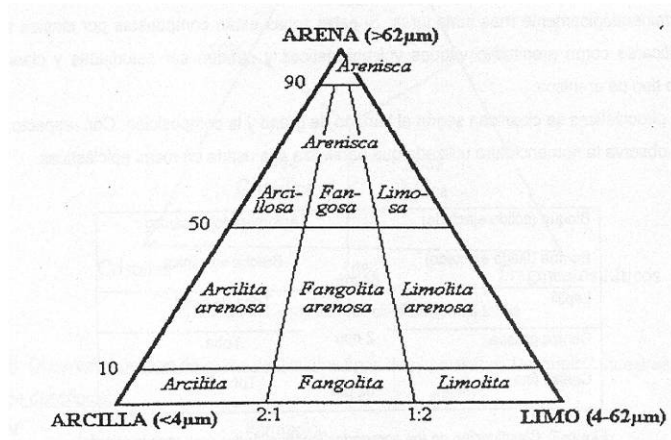


Figura 12. Diagrama de clasificación de los sedimentos epiclásticos basados en el contenido de arcilla, arena y limo (modificado de Folk, 1974).

Los componentes minerales principales de las pelitas son los minerales de arcilla y las micas, el cuarzo y los feldespatos. Shaw y Weaver (1965) estimaron la composición mineralógica promedio de más de 400 muestras de pelitas procedentes principalmente del Fanerozoico de Estados Unidos, obteniendo una composición promedio de un 61% de minerales de arcillas, 31% de cuarzo y chert, 4,5% de feldespatos, 3,6% de carbonatos, 1% de materia orgánica y menos de 0,5% de óxidos de hierro. Tener presente, sin embargo, que la composición de las pelitas es muy variable dependiendo del ambiente de sedimentación, clima al momento de su depositación, edad, estado de alteración, etc.

ROCAS PIROCLÁSTICAS

El término **volcaniclástico** se aplica a todas aquellas rocas ricas en detritos volcánicos, independientemente del origen de los mismos, es decir ya sean originados directamente por vulcanismo explosivo (rocas piroclásticas) o bien por la erosión de rocas y sedimentos volcánicos preexistentes (rocas volcaniclásticas). Estas rocas son muy comunes en el registro sedimentario, especialmente en cuencas adyacentes a arcos volcánicos. Las rocas compuestas mayoritariamente por fragmentos de rocas volcánicas más antiguas son clasificadas como líticas volcánicas (ej: arenitas líticas volcánicas), en tanto se reserva el término piroclásticas para rocas volcaniclásticas primarias.

Las rocas piroclásticas ocupan una posición intermedia entre las rocas magmáticas y las rocas sedimentarias. Esto es debido a que tienen un origen magmático, debido a una erupción volcánica explosiva, pero los componentes son transportados como partículas sedimentarias. Para que un depósito pueda ser considerado piroclástico debe contener más del 75% de su volumen en piroclastos, el material restante, puede ser epiclástico (material clástico normal), orgánico, químico de origen sedimentario o de origen autigénico.

El término tefra está muy generalizado en la literatura y se aplica a cualquier material eyectado por un volcán sin distinción de tamaño. El componente principal de la tefra es el vidrio, que junto con los cristales se incluyen en el grupo de los *elementos principales*. Otros constituyentes son los fragmentos líticos de erupciones previas (*elementos accesorios*) que son arrancados del aparato volcánico y los fragmentos de la roca de caja sean éstos volcánicos o no (*elementos accidentales*).

Componentes

Los componentes de las rocas piroclásticas han sido divididos en tres categorías mayores: los vítreos, los cristalinos y los líticos. La relación volumétrica entre ellos se utiliza con criterio nomenclatural (Fig.2).

1) Los componentes vítreos son los más diagnósticos de las rocas piroclásticas y los que producen las características texturales, físicas y cromáticas distintivas de las mismas. Ellos pueden ser subdivididos en dos grandes grupos según el tipo de magma a partir del cual fueron originados aunque obviamente pueden encontrarse todas las categorías intermedias.

Entre los fragmentos vítreos básicos el término escoria ha sido utilizado para describir bloques y bombas de basaltos y menos frecuentemente de andesitas generalmente de colores oscuros: negros, castaños y rojizos. Estos corresponden a partes del magma en erupción y en muchos casos sus formas aerodinámicas (bombas) son indicadoras de que el enfriamiento se produjo en el aire durante su vuelo. Entre los componentes vítreos ácidos se encuentran los fragmentos pumíceos y las trizas. Estos fragmentos, de tamaño variado desde lápilli a ceniza y ocasionalmente mayores, se caracterizan por su aspecto alveolar dado por una alta densidad de vesículas cilíndricas o esféricas, formas irregulares a ecuantas y composición ácida y más raramente intermedia. Las trizas son fragmentos de las paredes de las burbujas caracterizadas por sus formas semilunares, triangulares o en Y, muy angulosas.

2) Los componentes cristalinos son en promedio los constituyentes minoritarios, sus máximos modales se encuentran en los grados equivalentes a arena mediana y gruesa. Los cristaloclastos se caracterizan por sus formas euhedrales, combinadas con frecuentes engolfamientos y alta fracturación y corresponden a las mismas especies minerales presentes en las lavas.

3) La participación de los componentes líticos en las tefras se encuentra fuertemente desplazada hacia las fracciones granulométricas más gruesas en las que se mezclan en proporciones variables con bloques, bombas y lapilli de tipo pumíceo o escoriáceo. Están constituidos por litoclastos volcánicos macizos o poco vesiculares y más raramente por rocas no volcánicas. Estos componentes reconocen diferentes composiciones y también procedencias (fragmentos volcánicos de la misma erupción, fragmentos de rocas volcánicas originadas en explosiones anteriores, fragmentos del sustrato geológico del volcán o componentes orgánicos tales como maderas, espículas de esponjas, diatomeas, ostrácodos, etc.).

Para clasificar las tobas se cuantifica mediante el uso de microscopio petrográfico la relación volumétrica entre los componentes vítreos, cristalinos y líticos (Fig. 13). Los componentes vítreos (fragmentos de vidrio) son los más diagnósticos y los que producen las características texturales, físicas y cromáticas distintivas de estas rocas. El término escoria se utiliza para describir a los fragmentos vítreos tamaño bloque y bomba de basaltos y menos frecuentemente de andesitas generalmente de colores oscuros (negros, castaños, rojizos). Por su parte, los componentes vítreos ácidos incluyen a los fragmentos pumíceos y las trizas. Los primeros aparecen desde tamaño lapilli a ceniza y se caracterizan por su aspecto alveolar dado por una alta densidad de vesículas cilíndricas o esféricas. Las trizas son fragmentos de las paredes de las burbujas por que poseen formas semilunares, triangulares o en Y, muy angulosas. Los fragmentos de cristales (componentes cristalinos) son componentes minoritarios, más comunes en las granulometrías más finas. Los cristaloclastos se caracterizan por sus formas euhedrales, con frecuentes engolfamientos y alta fracturación. Por último, los componentes líticos predominan en las fracciones granulométricas más gruesas. Están constituidos por clastos de rocas volcánicas y más raramente no volcánicas. La abundancia de materiales inestables hace que las tobas sean rocas muy lábiles a la diagénesis y suelen presentar una asociación mineralógica autigénica característica, en la cual se destacan las ceolitas y las arcillas del grupo de la montmorillonita.

Si se verifica que existe una mezcla de material piroclástico y epiclástico o que el material de origen volcánico presenta signos de haber sido retrabajado (rocas con estructuras sedimentarias) la roca puede denominarse tufita (Fig. 16). La abundancia de materiales inestables hace que las tobas sean rocas muy lábiles a la diagénesis y suelen presentar una asociación mineralógica autigénica característica, en la cual se destacan las ceolitas y las arcillas del grupo de la montmorillonita.

Clasificaciones

El origen mixto de estas rocas dio lugar a que diversos criterios fueran usados para clasificarlas:

- El origen del material piroclástico.
- La composición química y petrográfica de las lavas.
- Las proporciones relativas entre fragmentos líticos, cristalinos y vítreos (Fig. 13).
- Las formas y dimensiones de los fragmentos (Figs. 14,15) y la composición.

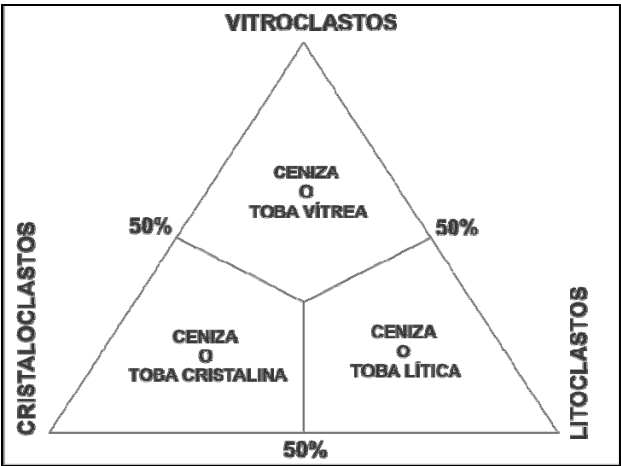


Figura 13. Diagrama de clasificación de tobas según la composición de los fragmentos (Pettijohn et al., 1987).

Tamaño de grano promedio (mm)	Piroclastos	Depósito piroclástico	
		Principalmente no consolidado (tefra)	Principalmente consolidado (roca piroclástica)
64	Bomba o bloque	Estrato de aglomerado de bloques y bombas, tefra de bloques	Brecha piroclástica
	Lapilli	Capa o estrato de lapilli, tefra de lapilli	Lapillita
2	Ceniza de grano grueso	Ceniza gruesa	Toba (de ceniza) gruesa
	Ceniza de grano fino (polvo)	Ceniza fina (polvo)	Toba (de ceniza) fina o chonita
1/16			

Figura 14. Clasificación y nomenclatura de piroclastos y rocas piroclásticas bien seleccionadas basada en el tamaño de grano (Schmid, 1981)

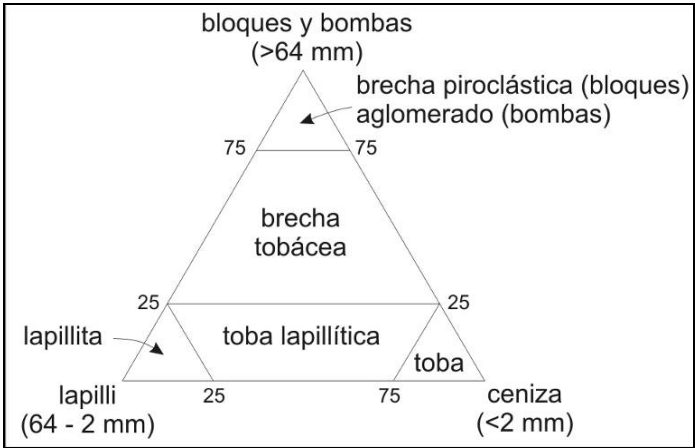


Figura 15. Clasificación de rocas piroclásticas según el tamaño de grano (Fisher, 1966)

Tamaño de grano promedio (mm)	Piroclastos	Tufitas (mezcla de epiclastos y piroclastos)	Epiclástica (volcánica o no volcánica)
64	Brecha piroclástica, aglomerado	Conglomerado o brecha tobácea	Conglomerado o brecha
2	Lapillita		
1/16	gruesa	Arenisca tobácea	Arenisca
1/256	Toba fina	Limolita tobácea	Limolita
		Arcilita tobácea	Arcilita
Cantidad de material piroclástico	100% - 75%	75% - 25%	25%-0%

Figura 16. Términos usados para rocas piroclásticas mixtas y epiclástica (Schmid, 1981)

Transporte y depositación

El material piroclástico está expuesto a distintos procesos de transporte y depositación lo que dará lugar a productos (rocas) diferentes:

1. Depósitos piroclásticos de caída (pyroclastic fall):

En las erupciones muy explosivas la tefra de tamaño de grano lapilli y ceniza es expulsada hacia grandes alturas en la atmósfera por la misma explosión (corrientes de aire ascendente que impulsan a la nube eruptiva) y es redirigida por el viento que la hace viajar grandes distancias antes de caer a la superficie terrestre bajo la influencia de la gravedad. La tefra acumulada suele formar mantos que cubren el relieve, teniendo muchas veces una composición bastante uniforme. Estas características y el hecho que representan eventos geológicamente instantáneos, hacen de estos depósitos niveles guías en la correlación litoestratigráfica.

2. Depósitos de flujos volcaniclásticos

Existen cuatro tipos principales de flujos volcaniclásticos de los cuales dos se vinculan directamente a erupciones explosivas: los flujos piroclásticos y las oleadas piroclásticas (*surges*). Los otros dos flujos pueden estar relacionados directa o indirectamente con las erupciones y son los deslizamientos volcánicos o avalanchas de detritos y los lahares, éstos con características cercanas a los flujos de detritos.

- a. Flujos piroclásticos: se desplazan a alta velocidad y a favor de la gravedad como flujos producidos por dispersiones de gas y sólidos con alta concentración de partículas. Son densos, calientes y laminares. La expansión de los gases del magma, junto con el aire que es entrampado a medida que el flujo avanza, contribuye a darle fluidez, siendo capaces de ascender pendientes en función de su velocidad.
- b. Oleadas piroclásticas (Surges): son flujos rápidos, turbulentos (alto régimen de flujo) y subaéreos, con baja carga de piroclastos (relación gas/sólido muy alta) que generalmente acompañan a los flujos piroclásticos. Conforman depósitos delgados y de grano fino que cubren la topografía en forma de manto con sus acumulaciones más espesas en los sectores más deprimidos y valles. Presentan estructuras tractivas como dunas, antidunas, laminación horizontal o de bajo ángulo de alto régimen de flujo y gradación inversa.
- c. Deslizamientos volcánicos y avalanchas: Los deslizamientos son movimientos en masa de materiales sin que éstos pierdan su coherencia interna. Sin embargo, a medida que

el deslizamiento progresa pendiente abajo, puede perder cohesión y transformarse en un movimiento rápido de bloques y otros sedimentos, con escasa o nula participación de agua, es decir avalancha de detritos.

- d. Depósitos de lahar: son flujos que presentan mezclas de agua y detritos volcánicos no consolidados y que se producen en las pendientes más pronunciadas de los aparatos volcánicos. Son depósitos matriz-sostenidos con mala selección y cada unidad puede desarrollar espesores de decenas de metros. Los lahares presentan un comportamiento dinámico y texturas similares a los flujos de detritos.

ROCAS CARBONÁTICAS

Las rocas carbonáticas por definición contienen más del 50% de componentes compuestos por carbonatos; los minerales más abundantes son calcita, aragonita y dolomita. Son rocas de interés económico, ya que conforman el 25% del registro sedimentario, constituyen importantes acuíferos y reservorios de hidrocarburos, son también la fuente de la industria cementera y se utilizan como rocas de aplicación. Se distinguen dos tipos principales: las calizas (compuestas en más de un 90% por carbonato de calcio: calcita y/o aragonita) y las dolomías (compuestas en más de un 90% por carbonato de calcio y magnesio: dolomita). Las calizas se forman fundamentalmente por procesos biológicos y bioquímicos (rocas organógenas), aunque también el carbonato de calcio puede precipitar directamente de una solución, en lagos, en el mar o dentro del suelo (rocas químicas). Se requiere la suma de una serie de factores para la depositación de carbonato, entre los que los más importantes son: temperatura, salinidad, profundidad y suministro de material silicoclástico. La mayoría de los carbonatos se forman en el mar, en las regiones tropicales y subtropicales, pero también se presentan en zonas continentales (lagos, suelos, etc.). Los principales constituyentes de una roca carbonática son:

PARTÍCULAS	Carbonáticas (aloquímicos)	a) No esquelatales: oolitas peloides intraclastos agregados b) esquelatales: fósiles
	Terrígenas	Monominerales Fragmentos líticos
MATERIAL LIGANTE (ortoquímico)	Micrita (fango carbonático) Microesparita Esparita	

Aloquímico: partícula carbonática policristalina de origen intracuencial.

- **Oolita**: partícula esférica a elipsoidal, cuyo diámetro es menor a 2 mm. Presenta estructura interna concéntrica y/o radiada. Pueden o no tener un núcleo. Se forman típicamente en aguas agitadas bajo la acción del oleaje.
- **Peloide**: cuerpo esférico a elipsoidal o aún irregular, formado por carbonato cripto o microcristalino, sin estructura interna. Son más comunes en ambientes de baja energía como albuferas o planicies de marea.
- **Intraclastos**: fragmentos derivados de sedimentos carbonáticos parcialmente consolidados,

erodados y depositados dentro de la misma cuenca, con escaso transporte, se producen por ejemplo por desecación de fangos carbonáticos en planicies de marea.

- **Agregados:** unión de varias partículas carbonáticas cementadas por calcita o materia orgánica.
- **Partículas esqueléticas:** restos, fragmentados o completos de organismos que presentan esqueletos o exoesqueletos carbonáticos. La distribución y desarrollo de los organismos responde a determinadas características de profundidad, temperatura, salinidad, tipo de sustrato y turbulencia, propias de cada subambiente carbonático, por lo tanto el reconocimiento de especies o grupos aporta evidencias paleoambientales.

Ortoquímico: material calcáreo que aglutina los aloquímicos.

- **Micrita** (matriz): calcita microcristalina ($< 4 \mu\text{m}$).
- **Microesparita:** calcita microcristalina cuyo tamaño está generalmente comprendido entre 4 y 20 μm .
- **Esparita** (cemento): calcita cristalina límpida, cuyo tamaño es superior a 20 μm .

Las clasificaciones más utilizadas para rocas carbonáticas son las de Dunham (1962), la modificada por Embry y Klovan (1971) y por Wright (1992) (Fig. 17), y la de Folk (1962, Fig. 18), esta última requiere el uso de microscopio petrográfico.

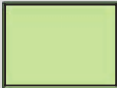




Dolomías

Al igual que las calizas, las dolomías pueden agruparse de acuerdo con su composición mineralógica y a partir de criterios texturales. Su origen puede ser diagenético o sindepositacional (cemento). Las dolomías pueden clasificarse en (1) dolomías singenéticas cuando se forman penecontemporaneamente en el ambiente sedimentario, (2) dolomías diagenéticas cuando se forman por reemplazo de sedimentos carbonáticos durante la litificación, y (3) dolomías epigenéticas cuando resultan del reemplazo en sectores localizados, asociados a fracturas y fallas.

Rocas mixtas

Los sedimentos compuestos por mezcla de materiales carbonáticos y siliciclásticos son muy comunes en los ambientes costeros. Sin embargo, no pueden clasificarse con los esquemas de rocas carbonáticas. Mount (1985) propuso una clasificación descriptiva para este tipo de rocas, basado en cuatro componentes (1) partículas siliciclásticas tamaño arena: cuarzo, feldespatos, líticos, etc., (2) fango-siliciclástico: arcillas y limo, (3) partículas carbonáticas o aloquímicas: peloides, ooides, etc. ($>20 \mu\text{m}$), y (4) fango carbonático: micrita (definida como $<20 \mu\text{m}$). El nombre del sedimento refleja el tipo de partícula dominante, así como el componente autígeno más abundante (Fig. 19).

Dunham (1962)

Textura depositacional reconocible				Textura depositacional no reconocible
Componentes originales no se forman ligados		Componentes originales se forman ligados durante la depositación. Intercrecimiento, laminación contraria a la gravedad, etc. Ej: arrecifes, corales estromatolitos.		
Con fango				
Sin fango (o menor a 5 %)				
Fango sosten		Grano sosten		
Partículas <10%	Partículas >10%			
Mudstone	Wackestone	Packstone	Grainstone	Boundstone
				

Caliza cristalina

Dunham (1962) modificado por Embry y Klován (1971)

Alóctonos: componentes originales no se forman ligados durante la depositación						Autóctonos: componentes originales se forman ligados durante la depositación		
menos de 10% de partículas >2 mm				más de 10% de partículas >2 mm				
Con fango			Sin fango	Matriz sosten	Grano (>2mm) sosten	Según organismos		
Fango sosten		Grano sosten				Constructores	Incrustantes y ligantes	Entrampadores
Partículas (>0,3 mm y <2 mm)	Partículas (>0,3 mm y <2 mm)							
<10%	>10%					Boundstone		
Mudstone	Wackestone	Packstone	Grainstone	Floatstone	Rudstone	Frame-stone	Bind-stone	Baffle-stone

Dunham (1962) y Embry y Klován (1971) modificado por Wtíght (1992)

Depositacionales				Biogénicos			Diagenéticos					
menos de 10% de partículas >2 mm							Según organismos			Diagénesis no obliterante		
Con fango		Sin fango		Constructores	Incrustantes y ligantes	Entrampadores				Cemento componente principal	Contactos planos entre los granos	Contactos estilolíticos entre los granos
Fango sosten		Grano sosten					Sparstone (>10 mm)	Dolosparstone (>10 mm)				
Partículas >0,3 mm y <2 mm	Partículas >0,3 mm y <2 mm											
<10%	>10%											
Mudstone	Wackestone	Packstone	Grainstone	Framestone	Bindstone	Bafflestone	Cemenstone	Grainstone condensado	Grainstone suturado	Micro-sparstone (<10 mm)	Dolomicro-sparstone (<10 mm)	
	más de 10% de partículas >2 mm											
	Floatstone	Rudstone										

Figura 17. Clasificación de rocas carbonáticas de Dunham (1962), modificada por Embry y Klovan (1971) y por Wright (1992)

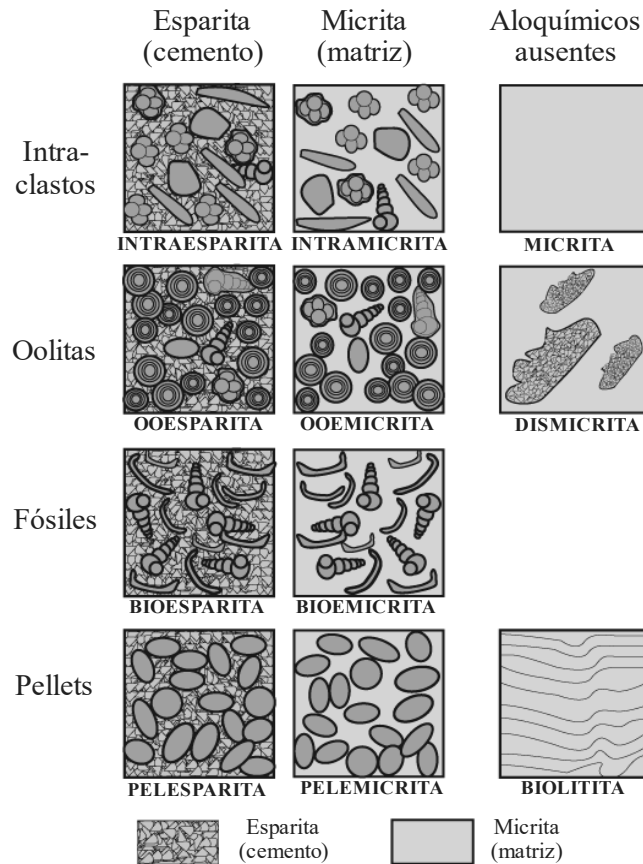


Figura 18. Clasificación de rocas carbonáticas de Folk (1962).

Otros tipos de rocas carbonáticas

Calcrete: rocas de origen continental compuesta predominantemente, pero no exclusivamente, por carbonato de calcio que se presenta en varias formas, desde pulverulento y nodular, hasta formar bancos continuos, masivos, laminados o con textura pisolítica. Es el resultado de la introducción desplazante y/o reemplazante de carbonatos vadosos en suelos, rocas o sedimentos. Las texturas características son: a) micrita asociada a abundante material arcilloso o microesparita con textura microgranular, donde flotan granos tamaño arena, limo y hasta grava de diversa composición, b) reemplazo parcial o total de algunos granos por calcita, c) venas rellenas por esparita, d) rellenos esparíticos de grietas producidas por bioturbación, f) presencia de pisolitas vadosas, g) laminación irregular. El origen de estos carbonatos es variado, pero comúnmente están asociados a procesos edáficos en climas semiáridos estacionales, por lo que resultan buenos indicadores paleoclimáticos.

Coquina: sedimentita formada por restos de conchillas cementadas. Granulométricamente estos fragmentos son tamaño grava y menos comúnmente arena. Petrográficamente son en general *grainstones* (bioesparitas) y su grado de cementación es variable, desde algo friable a bien consolidada.

Creta: caliza blanca, de grano fino, porosa, blanda y friable, compuesta por restos de microorganismos pelágicos. Petrográficamente es una biomicrita.

Marga: sedimento o sedimentita compuesta por partes aproximadamente iguales de arcillas y carbonato de calcio, ninguno de los cuales debe superar el 65% ni ser inferior al 35% de la roca. Por lo general son poco coherentes y de color gris; pueden ser palustres, lacustres o marinas.

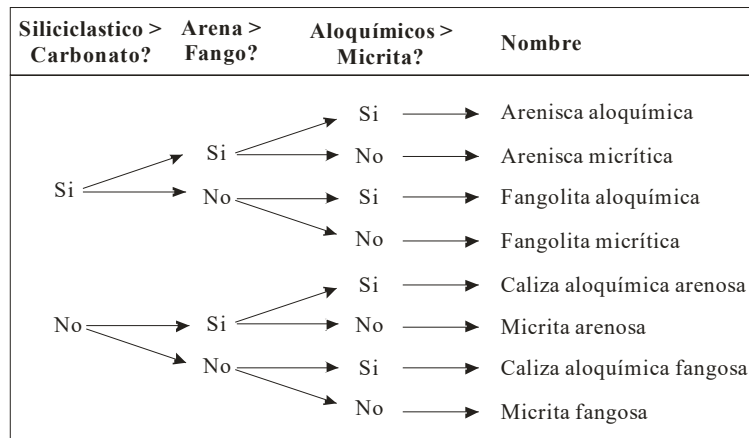


Figura 19. Clasificación de Mount (1985) para rocas mixtas.

ROCAS QUÍMICAS (EVAPORITAS)

Las evaporitas son sedimentos originados por la precipitación de sales a partir de una solución. Por lo tanto, su mineralogía refleja la composición y la salinidad del agua que esta siendo evaporada. Los principales minerales evaporíticos son yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), anhidrita (CaSO_4), halita (NaCl) y sales de potasio y magnesio. En la figura 15 se listan los minerales evaporíticos más comunes en ambientes marinos y continentales. Al contrario que las rocas clásticas y de forma semejante a las carbonáticas, la mayor parte de los sedimentos evaporíticos no son transportados sino que se forman en el lugar, tanto en ambientes marinos como continentales. En muchos casos dan origen a secuencias muy espesas, algunas de más de 1000 metros de espesor denominadas "gigantes salinos". Las condiciones para la formación de evaporitas son: cuencas hidrológicamente cerradas, climas áridos y semiáridos (alta evaporación), depresiones originalmente profundas o áreas con rápida subsidencia durante la acumulación de las evaporitas, ambientes con muy bajo aporte de sedimentos clásticos (que no "ahoguen" la precipitación de sales)

Es común que las evaporitas aparezcan de forma cristalina, laminar, nodular, rosetas (de yeso), como laminaciones de sales, pelitas ricas en sales, junto con matas algales o formando una mezcla caótica de cristales en una matriz fangosa masiva. Además, estas rocas poseen frecuentemente estructuras de deformación y polígonos y grietas de desecación. Las rocas químicas más características son el yeso y la anhidrita. El estudio de las evaporitas se realiza mediante el análisis de secciones delgadas pero principalmente a partir de análisis químicos.

Table 1 Common evaporate minerals. From Hardie (1984).

anhydrite	CaSO_4	leonhardite	$\text{MgSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
aphtalite (glaserite)	$\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot (\text{Na,K})\text{SO}_4$	leonite	$\text{MgSO}_4 \cdot \text{K}_2\text{SO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
antlerite	$\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	loewite	$2\text{MgSO}_4 \cdot 2\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
aragonite	CaCO_3	magnesium calcite	$(\text{Mg},\text{Ca})_{1-x}\text{CO}_3$
bassanite	$\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$	mirabilite	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
bischofite	$\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	nahcolite	NaHCO_3
bloedite (astrakhanite)	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	natron	$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
burkeite	$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 2\text{Na}_2\text{CO}_4$	pentahydrate	$\text{MgSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
calcite	CaCO_3	pinsonite	$\text{CaCO}_3 \cdot \text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
camalite	$\text{MgCl}_2 \cdot \text{KCl} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	polyhalite	$2\text{CaSO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot \text{K}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
dolomite	$\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$	rimmite	$\text{FeCl}_2 \cdot \text{NaCl} \cdot 3\text{KCl}$
epsomite	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	sanderite	$\text{MgSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
gairussite	$\text{CaCO}_3 \cdot \text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	schoenite (picromerite)	$\text{MgSO}_4 \cdot \text{K}_2\text{SO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
glauconite	$\text{CaSO}_4 \cdot \text{Na}_2\text{SO}_4$	shorite	$2\text{CaCO}_3 \cdot \text{Na}_2\text{CO}_3$
gypsum	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	sythite	KCl
halite	NaCl	syngenite	$\text{CaSO}_4 \cdot \text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$
hanksite	$9\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{KCl}$	tachyhydrite	$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{MgCl}_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$
hexahydrate	$\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	thenardite	Na_2SO_4
kainite	$\text{MgSO}_4 \cdot \text{KCl} \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$	thomsonite	$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$
kieserite	$\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	trona	$\text{NaHCO}_3 \cdot \text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
langbeinite	$2\text{MgSO}_4 \cdot \text{K}_2\text{SO}_4$	vanthofite	$\text{MgSO}_4 \cdot 3\text{Na}_2\text{SO}_4$

Figura 20. Minerales evaporíticos más comunes en ambientes marinos y continentales (de Walker y James, 1992)

Bibliografía

- Boggs, S., 1992. Petrology of sedimentary rocks. MacMillan, New York, 707 pp.
- Cas, R.A.F., Wright, J.V., 1987. Volcanic Successions. Modern and Ancient, Allen and Unwin, London, 529 pp.
- Chamley, H., 1989. Clay sedimentology. Springer-Verlag, 623 pp.
- Collinson, J.D. y Thompson, D.B. 1989. Sedimentary structures. Routledge, 207 pp.
- Dunham, R. J., 1962. Classification of Carbonate Rocks According to Depositional Texture. En: Ham, W. E. (ed.), Classification of Carbonate Rocks, AAPG Memoir 1: 108-121.
- Embry, A. F. y Klovan, J. E., 1972. Absolute water depth limits of Late Devonian paleoecological zone. Geol. Rundsch, 61: 672-686.
- Fisher, R.V., 1966. Mechanism of deposition from pyroclastic flows. Amer. J. Sci. 264, 287-298.
- Flint, R.F., Sanders, J.E. y Rodgers, J., 1960. Diamictite, a substitute term for symmictite. Geol. Soc. Am. Bull 71: 1809-1810.
- Folk, R. L., 1962. Spectral Subdivision of Limestone Types. En: Ham, W. E. (ed), Classification of Carbonate Rocks, AAPG Memoir 1: 62-84.
- Folk, R.L., 1974. Petrology of sedimentary rocks. Hemphills, Austin Tex., 170 p.
- Folk, R.L., Andrews, P.B. y Lewis, D.W., 1970. Detrital sedimentary rock classification and nomenclature for use in New Zeland. New Zeland Journal of Geology and Geophysics 13: 937-968.
- Mazzoni, M., 1986. Procesos y depósitos piroclásticos. Asociación Geológica Argentina. Serie B Didáctica y Complementaria N° 14, 115 pp.
- Mount, J., 1985. Mixed siliciclastic and carbonate sediments: a proposed first-order textural and compositional classification. Sedimentology 32: 435-442.
- Nichols, G., 2009. Sedimentology and Stratigraphy, Wiley-Blackwell, (2nd Edition), 432 pp.
- Pettijohn, F.J., 1975. Sedimentary rocks. Harper, New York, 628 pp.
- Pettijohn, F.J., Potter, P.E. y Siever, R., 1987. Sand and sandstone. Springer-Verlag, New York, 553 pp.
- Picard, M.D. ,1971. Classification of fine-grained sedimentary rocks. Journal of Sed. Pet., 41: 179-195.
- Scasso, R.A. y C.O. Limarino, 1996. Petrología y diagénesis de rocas clásticas. Asociación Argentina de Sedimentología, Publicación Especial n° 1: 258 pp.
- Schmid, R. 1981. Descriptive nomenclature and classification of pyroclastic deposits and fragments: Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks. Geology 9: 41-43.
- Tucker, M.E., 1991. Sedimentary petrology. An introduction to the origin of sedimentary rocks. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 260 pp.
- Weaver, C.E., 1989. Clays, Muds, and Shales. Elsevier Science Publishers, Amsterdam, 819 pp.
- Wright, V.P., 1992. A revised classification of limestones. Sedimentary Geology 76: 177-186.
- Zingg, Th., 1935. Beitrag zur Schotteranalyse. Schweiz. Min. u. Petr. Mitt. 15, 39-140.

DESARROLLO DEL TRABAJO PRÁCTICO

Responder el siguiente cuestionario

- 1) Indique, para las rocas epiclásticas, los porcentajes que determinan los límites para definir cada tipo; ej. conglomerados al menos 30% de clastos tamaño grava (> a 2 mm).
- 2) ¿Por qué es importante la distinción entre brechas y conglomerados?
- 3) ¿De qué depende la forma de los clastos?
- 4) ¿Qué es un conglomerado polimíctico y uno monomíctico?
- 5) ¿Cuáles dos elementos de los conglomerados resultan definitorios para inferir el tipo de flujo que les dio origen? Señale entonces las distintas características y los tipos de flujos correspondientes.
- 6) ¿Qué es el material ligante en los conglomerados y cómo puede estar formado?
- 7) ¿Qué procedimiento utilizaría para determinar el tipo de material ligante en un conglomerado?
- 8) ¿Qué estructuras sedimentarias pueden encontrarse en un conglomerado? ¿Por qué los conglomerados masivos resultan tan abundantes, en muchas sucesiones mucho más frecuentes que los conglomerados con estructuras sedimentarias?

- 9) ¿Qué es una diamictita? ¿Qué término de la clasificación de Scasso y Limarino (1997) emplearía como sinónimo de diamictita?
- 10) ¿Qué es un intraclasto?
- 11) Señale y explique cuales son los elementos que constituyen las areniscas.
- 12) Indique al menos cinco (5) tipos de clastos que pueden encontrarse en las areniscas.
- 13) ¿Por qué los fragmentos de rocas son menos frecuentes en las areniscas que en los conglomerados?
- 14) ¿Cómo puede determinarse el tipo de roca madre que aportó sedimentos para formar las areniscas y conglomerados? ¿Tiene un nombre particular este tipo de estudios?
- 15) ¿Qué es una pelita? ¿Cuál es la composición granulométrica y petrográfica de las pelitas?
- 16) ¿De qué depende el color de las pelitas?
- 17) ¿Qué se obtiene a partir de los análisis de difracción de rayos X de las pelitas?
- 18) Describa los componentes de las rocas piroclásticas.
- 19) ¿Qué son las trizas?
- 20) Señale mediante que elementos se pueden clasificar las rocas piroclásticas.
- 21) ¿Qué es una roca carbonática? Describa con sus palabras que orígenes pueden tener.
- 22) ¿Qué tipo de condiciones ambientales de energía evidencian las partículas carbonáticas conocidas como oolitas?
- 23) ¿Cómo se denominan a los fragmentos de organismos en las rocas carbonáticas? ¿Por qué resulta significativa la determinación de los tipos de organismos presentes?
- 24) ¿En que tipos de rocas, epiclásticas o carbonáticas, cree que son más comunes los intraclastos? ¿Con qué otro nombre se conoce a los intraclastos en las rocas carbonáticas?
- 25) ¿Cuáles son los ambientes típicos donde se forman las rocas evaporíticas?
- 26) ¿Porqué las sucesiones de evaporitas son muy importantes en los reservorios de hidrocarburos?

Ejercicio 1: Observar muestras de mano de distintos tipos de conglomerados. Describir (véase guía de Descripción de psefitas en muestra de mano) y clasificar (clasificación de Scasso y Limarino 1997) al menos 3 psefitas en muestras de mano cubriendo los distintos tipos (conglomerado clasto y matriz soportado, conglomerado monomítico y polimítico, ortoconglomerado y paraconglomerado). Señalar también para cada muestra las características del flujo y la madurez textural y composicional.

Ejercicio 2: Observar al menos cuatro muestras de mano de distintos tipos de areniscas, a ojo desnudo y con lupa binocular, prestando atención a las siguientes características:

- Color: puede usarse la Tabla de Colores de Munsell. Color de roca fresca y de superficie de alteración.
- Grado de consolidación: suelta, friable (los granos se separan con los dedos), consolidada (los granos se separan con un cortaplumas), muy consolidada (los granos no se separan con un cortaplumas).
- Estructuras sedimentarias
- Fractura: irregular, astillosa, concoide.

Ejercicio 3: Observar muestras de mano de distintos tipos de pelitas, ¿qué elementos pueden describirse a ojo desnudo o con la ayuda de lupa binocular en estas rocas?

Ejercicio 4: Observar muestras de mano de distintos tipos de piroclásticas.

Ejercicio 5: Observar muestras de mano de distintos tipos de rocas carbonáticas.

Ejercicio 6: Observar muestras de mano de distintos tipos de rocas químicas.

TRABAJO PRÁCTICO N° 5 ROCAS SEDIMENTARIAS

Objetivo: En base a las descripciones de roca realizadas a partir de observaciones en microscopio petrográfico determine:

1. Tipo de Roca, utilizando en cada caso la clasificación correspondiente (véase TP4).
2. Grado de madurez mineralógica (sólo para areniscas)
3. Grado de soterramiento (bajo, intermedio o alto).

Roca 1: Roca de textura clasto-sostén, donde el 100 % de la fracción clástica corresponde a clastos de cuarzo monocristalino, de tamaño arena mediana a muy fina (0,4 a 0,07 mm), bien seleccionados, no orientados. Los clastos están bien redondeados y los contactos entre clastos son cóncavo-convexos. La roca no tiene matriz ni porosidad y esta cementada por sílice microgranular, ocupando el cemento el 5 % de la roca.

Roca 2: Roca de textura clasto-sostén, donde la fracción clástica ocupa el 80 % de la roca, el 12 % corresponde al cemento, tiene 3 % de matriz y 5 % de porosidad. Los clastos son de tamaño arena mediana a gruesa (0,6 a 0,4 mm), bien seleccionados y presentan contactos tangenciales entre clastos. La mayoría de los clastos son de feldespatos (60 %) y también hay clastos de cuarzo mono y policristalinos (15%), fragmentos líticos (25%) y de micas como minerales accesorios. La roca esta cementada por carbonatos con textura microgranular en parches en tanto los clastos presentan pátinas de óxidos de hierro.

Roca 3: Roca de textura clasto-sostén compuesta mayormente por fragmentos de rocas volcánicas (75 % de la roca), cementados por sílice microcristalina y clorita fibrosa radial (20 %). El 5 % de la roca esta ocupado por matriz. La fracción clástica es tamaño arena muy fina a muy gruesa (0,067 a 1,84 mm), mal seleccionada. Esta formada en un 80 % por fragmentos volcánicos, subangulosos a subredondeados y que presentan texturas felsíticas y microlíticas. El resto de la fracción clástica son fragmentos líticos de rocas plutónicas, subredondeados a redondeados. Los clastos presentan contactos tangenciales a rectos.

Roca 4: Roca de textura matriz-sostén en la cual la fracción clástica (70 %) está compuesta por cuarzo monocristalino (30 %), feldespatos (30 %) y fragmentos líticos (40 %). Entre los fragmentos líticos predominan los de rocas sedimentarias muy deformados (80 %), y el resto corresponde a fragmentos de rocas volcánicas (20 %), angulosos a subangulosos. Los clastos son de tamaño arena mediana a muy gruesa, moderadamente seleccionados. La roca tiene un 18 % de matriz, y esta cementada por clorita y carbonato, microgranular y en parches.

Roca 5: Roca de textura clasto-sostén compuesta por una fracción clástica que constituye el 60% y una matriz que representa el 40% restante. La fracción clástica está integrada por un 25% de litoclastos, 25% de cristaloclastos y 50% de vitroclastos, que alcanzan tamaños de 1,4 milímetros. Los fragmentos líticos son fragmentos de rocas, mayormente con texturas porfíricas. Los cristaloclastos corresponden a cristales de plagioclasa (75%), cuarzo (10%), opacos (8%), piroxenos (5%) y circón (2%). Los vitroclásticos se distribuyen entre trizas (70%) y fragmentos pumíceos (30%). Las trizas, cuyos tamaños alcanzan los 0,3 milímetros, están compuestas por vidrio fresco de color rosado y están moderadamente deformadas. La matriz está compuesta por fragmentos muy finos de vidrio con desvitrificación incipiente. La roca tiene cavidades que se encuentran en su mayoría rellenas por carbonatos.

Roca 6: Roca de textura clasto-sostén, con un 60% de fracción clástica y 40% de matriz. Los clastos están distribuidos entre litoclastos (50%), cristaloclastos (35%) y vitroclastos (15%), de tamaño arena mediana a gruesa, moderadamente seleccionada. Los litoclastos están

representados por fragmentos de rocas volcánicas con distintas texturas. Los cristaloclastos de se distribuyen en un 50% de cuarzo, que muestra engolfamientos; 25% de feldespatos potásico, con moderada a fuerte alteración a arcillas y en algunos casos engolfados; 20% de plagioclasas con alteración a sericita y carbonatos; y un 5% de biotita. Los vitroclastos de esta muestra están representados por trizas frescas poco deformadas, de 0,2 milímetros. La matriz de la roca está compuesta por vidrio volcánico fresco. Toda la roca se encuentra teñida por óxidos de hierro que se ubican en los intersticios o rellenando fracturas y que son los responsables del color rojo de la roca.

Roca 7: Roca de color gris, bien consolidada, masiva, donde se destacan partículas carbonáticas bien seleccionadas, con tamaño modal inferior a 1 mm y escasos fragmentos esqueléticos elongados que alcanzan un tamaño máximo de 2 mm. Presenta textura grano-sostén, donde las partículas carbonáticas (65 % de la muestra) están representadas por oolitas (75 % de los granos), que tienen un núcleo micrítico y un tamaño de entre 600 y 800 μm . El 15 % de los granos está formado por restos fracturados y angulosos de bivalvos y gastrópodos, con tamaño variable entre 230 μm y 2 mm. Las partículas están aglutinadas por fango carbonático (micrita) (15% de la muestra). La porosidad resulta de tipo secundario por disolución de partículas esqueléticas. Se observan también microestilolitas de contorno suturado que cortan a las oolitas.














TRABAJO PRÁCTICO N° 6 ESTRATIGRAFÍA

Objetivo: Estudiar los conceptos principales de la Estratigrafía mediante la realización de cuestionarios teóricos y ejercicios prácticos.

A) CUESTIONARIO

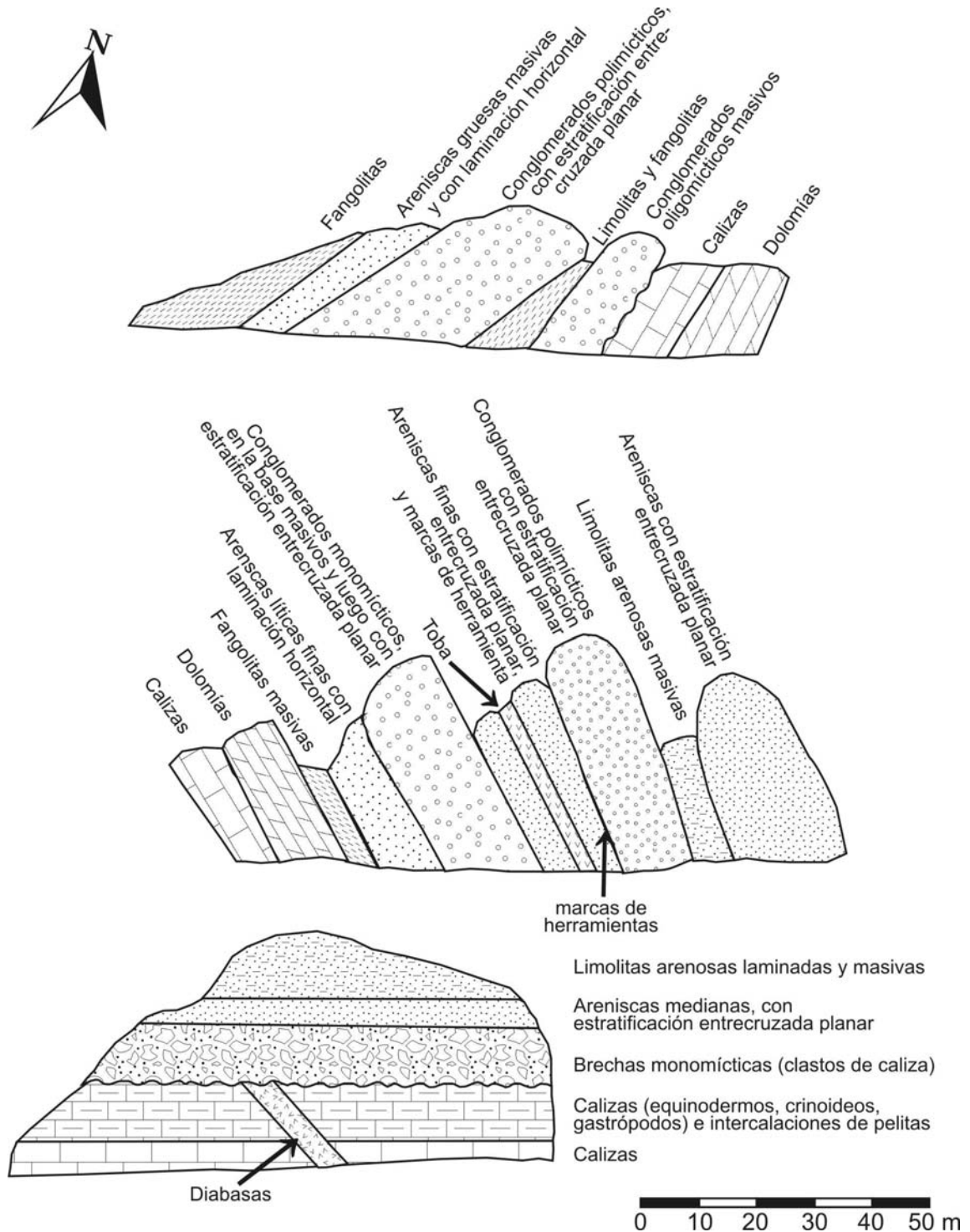
- 1) Explique con sus palabras en que consiste la Estratigrafía y cuales son sus objetivos.
- 2) Describa los principios de la estratigrafía.
- 3) ¿Cuál es la definición más completa de estrato? ¿Por qué el concepto de estrato es importante en geología?
- 4) ¿Qué tipo de unidades estratigráficas existen? Describa cada una de ellas.
- 5) ¿Cuál es la diferencia entre las unidades cronoestratigráficas y las geocronológicas?
- 6) Mencione los tipos de superficies limitantes.
- 7) ¿Qué es un hiato?
- 8) ¿Qué es un perfil estratigráfico?
- 9) Describa los criterios para diferenciar discordancias en el registro sedimentario.
- 10) Explique los mecanismos de formación de al menos dos criterios que permiten diferenciar paracordancias o superficies de omisión.
- 11) ¿Qué es un fósil guía?
- 12) ¿Qué es una biozona? ¿Qué tipos de biozonas fueron definidas?
- 13) ¿Cuál es la diferencia entre ritmicidad y ciclicidad?
- 14) ¿Puede evaluarse la duración de un hiato?
- 15) Explique con sus palabras el concepto de correlación en Estratigrafía y que tipos de correlación pueden realizarse.
- 16) ¿A qué proceso se describe con la denominación de regresión?
- 17) ¿Cómo se denomina al proceso por el cual la sedimentación migra hacia el interior de la cuenca? Realice un esquema que represente dicho proceso.
- 18) ¿Qué es la Estratigrafía Secuencial?
- 19) ¿Qué es una secuencia depositacional?
- 20) ¿Qué es un cortejo depositacional?
- 21) ¿Qué es una somerización? ¿Cómo se denomina a las secuencias que representan ciclos de somerización?
- 22) ¿Qué es una superficie de máxima inundación?
- 23) ¿Cuál es el factor primario que determina la generación de una cuenca sedimentaria?

Algunas rastras utilizadas para la realización de perfiles estratigráficos

LITOLOGÍA	ESTRUCTURA INTERNA	OTROS
 brechas	 bancos masivos	 cadilitos
 conglomerados	 estratificación entrecruzada en artesa	 grietas de desecación
 areniscas	 estratificación entrecruzada planar	 microfósiles marinos
 limolitas arenosas	 laminación horizontal	 invertebrados marinos
 pelitas/fangolitas	 laminación ondulítica de oleaje	 microflora
 tobas	 laminación ondulítica de corriente	 megaflores
 calizas	TIPOS DE CONTACTOS	
 dolomías	 erosivo	 lineación parting
	 neto	 marcas subestratales

B) PERFILES LITOLÓGICOS

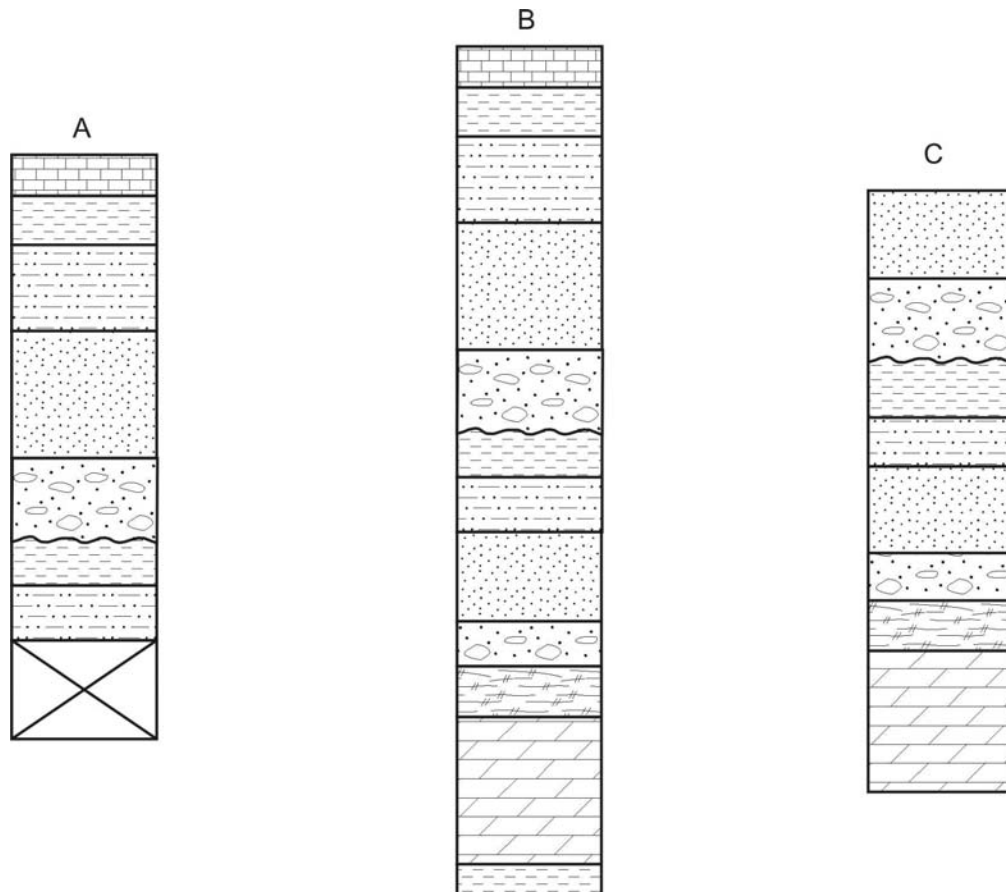
Represente los afloramientos esquematizados en la figura en perfiles litológicos tipo Selley (1:1000). Una vez realizadas las columnas intente correlacionarlas. Marque las discordancias presentes.



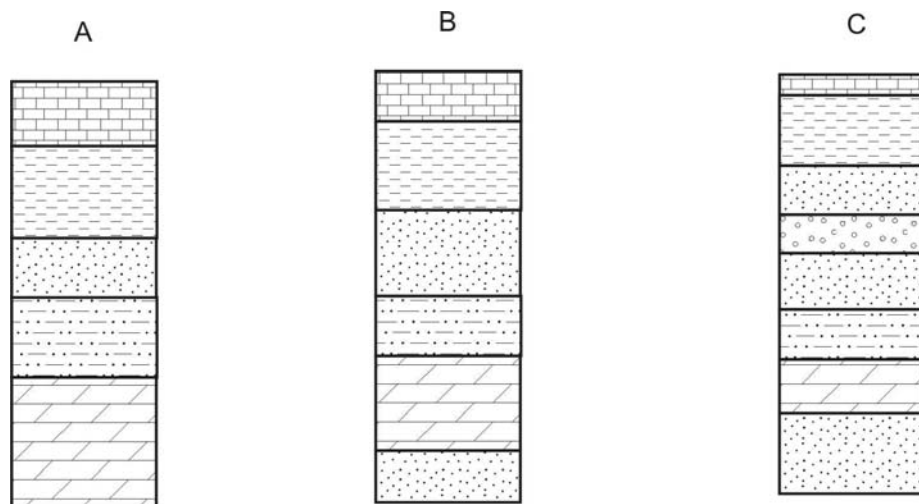
C) CORRELACIÓN ESTRATIGRÁFICA

En este ejercicio deberá correlacionar las distintas secciones estratigráficas por su litología. Evalúe en cada caso que factores pueden haber sido responsables de los cambios observados en las distintas localidades relevadas.

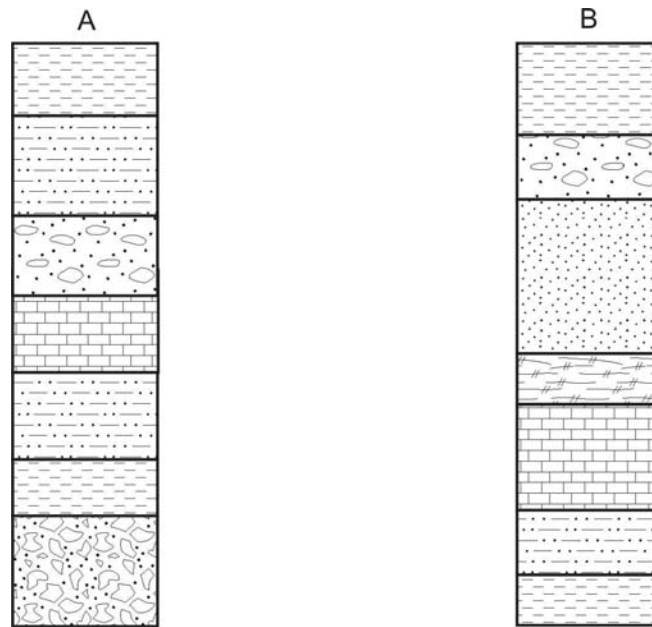
1)



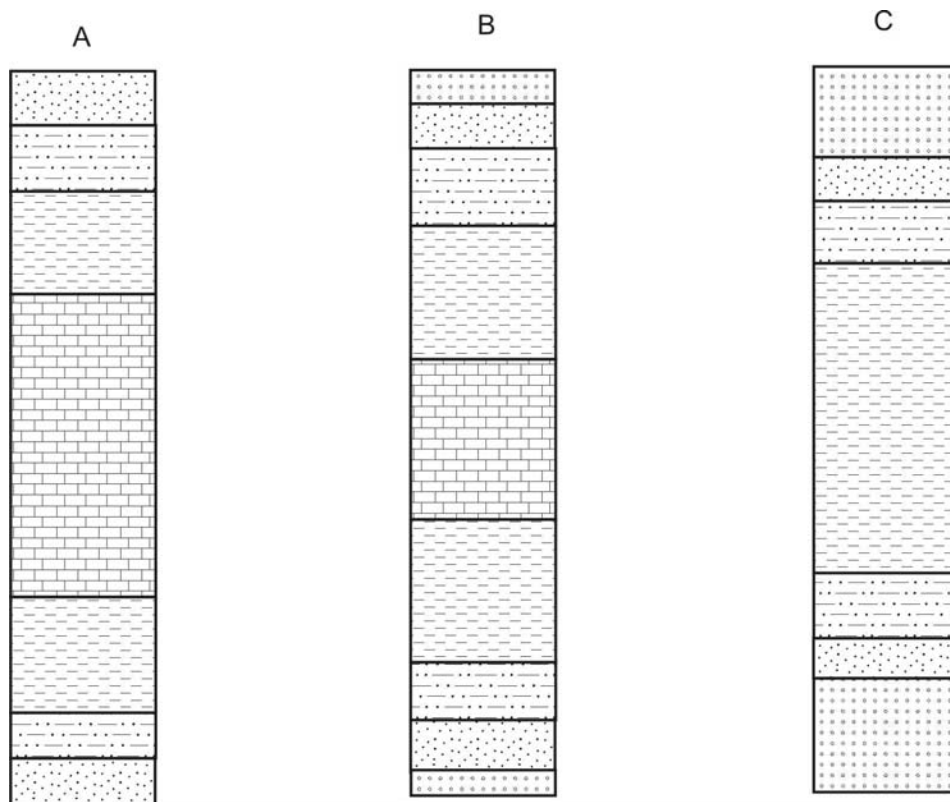
2)



3)

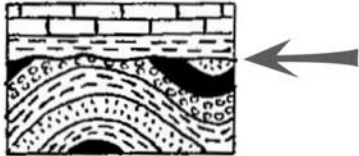


4)

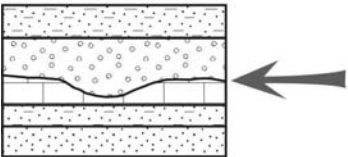


D) TIPOS DE DISCONTINUIDADES

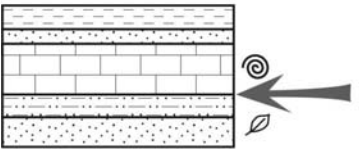
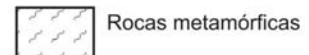
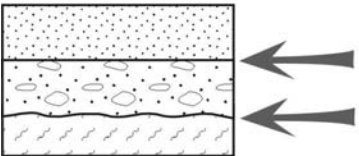
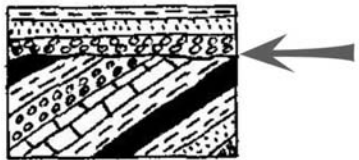
Señalar en cada esquema que tipo de discontinuidad está indicada por la flecha.



2) Describa brevemente la sucesión de eventos ejemplificados en la figura precedente



3) ¿A qué proceso sedimentario puede deberse la superficie de la figura precedente?



☉ corales, esponjas, briozoos, amonites

☐ restos de licofitas, calamites y cordaitales

4) ¿Qué tipo de superficie limitante se inferiría si la sucesión no fuera fosilífera?