

## TRABAJO PRÁCTICO N° 1 ANÁLISIS MECÁNICO DE SEDIMENTOS

### Objetivos:

- Estudiar las técnicas para la determinación del tamaño de las partículas sedimentarias.
- Llevar a cabo un análisis estadístico de una serie de datos de granulometría.
- Realizar en el laboratorio un análisis mecánico de sedimentos areno-fangosos.
- Elaborar el análisis estadístico de los datos obtenidos y analizar dicha información desde el punto de vista geológico.

### Bibliografía recomendada:

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

### 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 debería 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). 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 ( $\phi$ ). 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:

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

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  
sedígrafo
3. Para pelitas: método de la pipeta  
sedígrafo
4. Para rocas muy consolidadas: medición en cortes delgados

Para detalles de estas técnicas consultar la bibliografía recomendada.

Cuando se trabaja con sedimentos o rocas poco consolidadas y antes de aplicar el método elegido las muestras deben prepararse, es decir para que las partículas estén sueltas y separadas entre si y puedan medirse 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 sino 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 ensayos 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.

### 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.

## 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

a) Separar la arena en su conjunto de la fracción limo-arcilla, mediante un tamiz de 62  $m\mu$  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 ( $<1/16mm$ ) 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 atrapados 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 el pincel.

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 ácuo (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  $m\mu$  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 conocidas. 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 cm<sup>3</sup> 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 min 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 figura 5 siguiente indica los principales valores (los diámetros pertenecen a la escala Udden- 2)

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 min. 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°C ± 1°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" 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°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. 6):

- 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 ésta 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:

$$\text{Intervalo } 1/16 - 1/32 \text{ mm} = \text{Peso A} - \text{Peso B} = X1$$

### Contador de partículas laser

Otra forma de determinar el tamaño de las partículas tamaño arena y limoarcilla es la utilización de un Contador de partículas laser 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.

### 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):

$$X^* (\text{media corregida}) = 0,934 \cdot X (\text{media en sección delgada}) + 0,376$$

$$\sigma^* (\text{selección corregida}) = 0,880 \cdot \sigma (\text{selección en sección delgada}) + 0,122$$

## ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS

### 1) REPRESENTACIONES GRÁFICAS

Tres son las representaciones gráficas que se realizan y acompañan a todo análisis granulométrico: histograma, curva de frecuencia y curva acumulativa (Fig. 11).

#### 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. 7).

#### 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 (Fig. 7), mientras que en papel de probabilidad es una línea recta (si la distribución es logarítmica normal) o casi recta. Para el cálculo de los parámetros estadísticos, por los métodos gráficos, conviene hacerlo en 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% o hasta el 0%, pues esos valores quedarían en el infinito. De esta manera, la curva se "estira" logrando representar los extremos de la misma (colas) con mayor definición, otorgándole mayor confiabilidad a los valores extraídos de estos sectores.

Para su construcción, se representan los datos en un sistema de ejes cartesianos. En el eje de ordenadas (probabilístico), se marca el porcentaje en peso (acumulativo) desde 0% hasta 100% y en el eje de abscisas (aritmético), se marcan los grados de tamaño o escala granulométrica, en milímetros o en escala phi.

En la curva representada en papel de escala aritmética, la moda queda representada en el punto de inflexión. La pendiente general de la curva indica el grado en que los individuos se acercan o alejan del grupo modal. La presencia de irregularidades en la pendiente suave de la curva, puede indicar grupos modales secundarios. Asimismo, el grado aproximado de selección puede verse a partir de la pendiente de la curva y del rango de tamaños que 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.

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 figura 10.

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 figura 10. 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. 12).

\* *Medidas Analíticas:*

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

\* *Medidas Gráficas:*

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

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 es la selectividad del medio (Fig. 8).

\* *Medidas Analíticas:*

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

\* *Medidas gráficas:*

Se obtienen valores de la curva acumulativa, según los diversos autores (Fig. 10).

### 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.

Analíticamente 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. 8 y 12).

### 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 curtosis (Kg) 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 Kg.

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 presentada por McManus (1988):

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

## UTILIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS ESTADÍSTICOS

Aunque en sus inicios los parámetros granulométricos fueron utilizados para hacer determinaciones e interpretaciones sobre los ambientes depositacionales donde se originaron los depósitos analizados (Mason y Folk, 1958; Passega, 1957, 1964; Friedman, 1961, 1969; entre otros) posteriormente cobro vigencia la idea actual de que por sí solos estos datos no permiten inferir el paleoambiente de depositación. 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.

Numerosos autores han realizado gráficos en los que se representan la variación de un parámetro con respecto a otro. Un ejemplo común es la media vs. asimetría, aplicada a sedimentos recientes. Folk y Ward (1957) graficó en tres dimensiones, la media, selección y

asimetría, y observaron una asociación sinuosidad doble (media vs. selección y media vs. asimetría) mientras que la relación selección vs. asimetría era circular. Este tipo de distribuciones han sido encontradas por muchos autores, debido a que existen dos poblaciones texturales que se mezclan en todas las proporciones, mientras son transportadas por el río.

El reconocimiento de mezcla de poblaciones puede hacerse a partir de la realización de histogramas o por los gráficos de truncamiento de Visher (1969). Especial cuidado debe tenerse al analizar los valores de asimetría en el caso de tener distribuciones bimodales (mezcla de dos poblaciones) ya que la predominancia de la población fina o gruesa hará que la asimetría tienda a ser más positiva o negativa respectivamente.

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.

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

- 1.- Ambiente fluvial
  - a) Canales y point-bar
    - selección general  $>1,2$
    - en ríos entrelazados frecuentemente el valor es  $>1,3$
    - asimetría: predominan valores +
  - b) Planicie aluvial
    - selección considerablemente  $>2$
    - asimetría siempre -
- 2.- Ambiente eólico
  - a) Dunas
    - selección, generalmente mejor que 1
    - simétricas o asimetría +. Tamaño medio de grano: 0,15-0,35 mm
  - b) Loess
    - selección, mayor o igual a 1,4
    - asimetría + (considerable cantidad de material fino)
    - tamaño medio frecuente: 0,62-0,06 mm
- 3.- Ambiente marino
  - a) Playa
    - selección, generalmente varía entre 1,1-1,23
    - asimetría -
  - b) Planicie de marea y áreas de plataforma
    - selección, generalmente muy pobre
    - asimetría -
  - c) Marino profundo
    - depósitos compuestos de arcillas y limos

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 (Fig. 14). 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 ploteo de frecuencia acumulativa en papel de probabilidad da una curva compuesta por una serie de segmentos donde cada segmento indica una subpoblación simple (Fig. 15). 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. Estas ideas llevaron a hacer una aproximación del ambiente depositacional. Es así que Visser (1969) relacionó las formas de estas curvas con el modo de transporte y publicó curvas típicas de varios ambientes modernos y antiguos. La figura 16 resume la información de la distribución de los tamaños de grano para algunos ambientes.

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 reduciendo la porosidad y bloqueando muchas interconexiones.

## BIBLIOGRAFÍA

- Blasi, A., 1981. Relación tamaño de grano-selección en sedimentos actuales. *Asoc. Min. Petr. Sed. Rev.* 12 (1-2): 1-10.
- 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.
- Cheetham, 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.
- Dixon, W.J. y F.J. Massey, 1970. *Introducción al análisis estadístico*, Mc Graw-Hill (México) 483 pag.
- Doeglas, D., 1968. Grain-size indices, classification and environment; *Sedimentology*, 10: 83-100.
- Flemming, B.W., 1977. The use of relative sorting as a meaningful parameter in the interpretation of depositional processes. *Joint Gso/Uct. Marine Geol. Progr. Techn. Report. N°9*, 85-93.
- Folk, R.L., 1966. A rereview of grain-size parameters, *Sedimentology* 6 829:73-93.
- Folk, R.L., 1968. *Petrology of sedimentary rocks*, 2da. edc., Hemphill's Ed. 170 pag.
- Folk, R.L. y W.C. Ward, 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 lognormality of grain distribution of sandstones. *Jour. Geol.*, 70 p. 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.
- Füchtbauer, H. y Müller, G., 1970. *Sedimente und Sedimentgesteine*. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- Galehouse, J.S., 1971. *Sedimentation analysis*. En: Carver, R.E. (Ed.), *Procedures in Sedimentary Petrology*: New York, Wiley-Interscience: 69-94.
- Hand, B., 1967. Differentiation of beach and dune sands, using settling velocities of light and heavy minerals. *Jour. Sed. Petrol.*, 37: 514-521.
- Harrel, J.A. y K. A. Eriksson, 1979. Empirical conversion equations for thin-section and sieve derived size distribution parameters. *Journal of Sedimentary Petrology* 49: 273-280.
- Inman, D.L., 1949. Sorting of sediments in the light fluid mechanics, *Jour. Sed. Pet.* 19: 51-70.

- Krumbein, W. y F. Pettijohn, 1938. Manual of sedimentary petrology, Appleton-Century- Crofts Ed., 549 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. *Jour. Sed. Petrol.* 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.
- Passega, R. y Byramjee, 1969. Grain size image of clastic deposits. *Sedimentology*, 13: 233-252.
- Pettijohn, F.J., 1963. Rocas Sedimentarias. EUDEBA. Buenos Aires.
- Reineck, H.E. y I.B. Singh, 1980. Depositional sedimentary environments. Springer-Verlag. Berlín. 549 pag.
- 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 C.O. Limarino, 1997. Petrología y diagénesis de rocas clásticas, Asociación Argentina de Sedimentología, Publicación Especial N° 1.
- Slingerland, R.L., 1977. The effects of entrainment on the hydraulic equivalence relationships of light and heavy minerals in sands. *Jour. Sed. Petrol.*, 47: 753-770.
- 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 M.M. Mazzoni, 1979. Caracteres granulométricos de arenas de playa frontal, playa distal y médano del litoral bonaerense. *Asoc. Geol. Arg. Rev.* XXXIV (1): 12-31.
- Stapor, F.W., 1973. Heavy mineral concentrating processes and density shape size equilibria in the marine and coastal dune sands of the Apalachicola, Florida region. *Jour. Sed. Petrol.*, 43: 396-407.
- Trask, P.D., 1932. Origin and Environment of Source Sediments in Petroleum. Gulf Publishing Company, Houston, Texas, 324 pp.
- 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.
- Von Engelhardt, W., 1940. The distinction of water and wind-sorted sands on the basis of grain size distribution of their light and heavy components. *Chemie der Erde*, 12: 445-465.
- Wentworth, C.K., 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology* 27: 377-392.
- White, J.R. y E.G. Williams, 1967. The nature of a fluvial process by settling velocities of heavy and lighth minerals. *Jour. Sed. Petrol.*, 37: 530-539.

## DESARROLLO DEL TRABAJO PRÁCTICO

Se procesaran y analizaran 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).

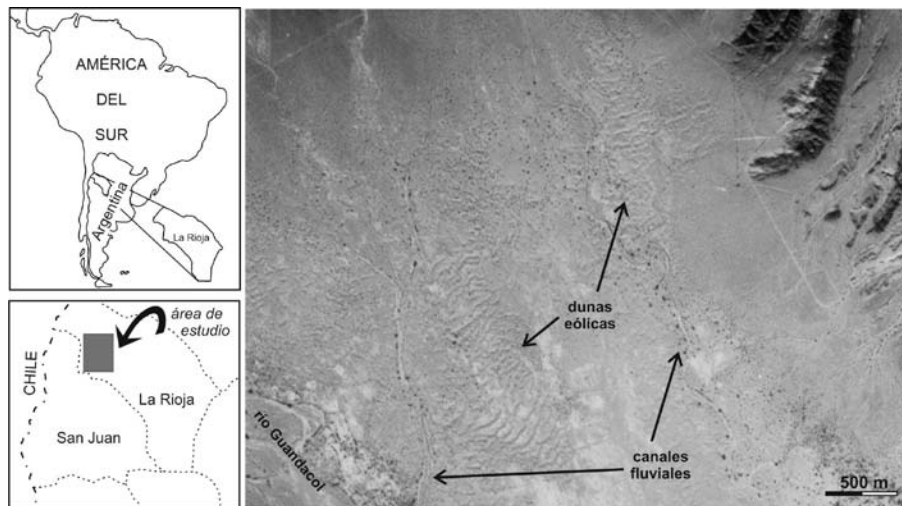


Figura 1. Ubicación y detalle del área de muestreo

### 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 del valle del río Guandacol, 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:

intervalo de clase $\mu\text{m}$	escala UW $\mu\text{m}$	escala UW phi	marca de clase (mc)	peso neto	frecuencia (%) f	frecuencia acumulada (%)	f.mc	media (M)	(mc-M) <sup>2</sup>	f.(mc-M) <sup>2</sup>
x1-x2	> x2		x1,5							
x2-x3	x3		x2,5							
xn-xy	xn									
	< xy					100				
					100		$\sum f.mc$			$f.(mc-M)^2$

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

selección =  $\sqrt{f.(mc-M)^2/100}$

Planilla para los cálculos por medidas gráficas:

muestra	$\phi 1$	$\phi 5$	$\phi 16$	$\phi 25$	$\phi 50$	$\phi 75$	$\phi 84$	$\phi 95$	Mediana	Selección	Agudeza	Asimetría

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)	$\sqrt{\frac{\sum f \cdot (m - x)^2}{100}}$	$\frac{(\phi 84 - \phi 16)}{4} + \frac{(\phi 95 - \phi 5)}{6,6}$
asimetría (SK <sub>1</sub> )	$\frac{\sum f \cdot (m - x)^3}{100 \cdot \sigma^3}$	$\frac{(\phi 16 + \phi 84 - 2 \cdot \phi 50)}{2 \cdot (\phi 84 - \phi 16)} + \frac{(\phi 5 + \phi 95 - 2 \cdot \phi 50)}{2 \cdot (\phi 95 - \phi 5)}$
mediana (Md)		$\phi 50$
agudeza (K <sub>c</sub> )	$\frac{\sum f \cdot (m - x)^4}{100 \cdot \sigma^4}$	$\frac{(\phi 95 - \phi 5)}{2,44 \cdot (\phi 75 - \phi 25)}$

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; φxx, tamaño de grano (phi) 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 ( $\phi$ ) con valores negativos hacia a izquierda. NO OLVIDE INDICAR NOMBRE Y UNIDADES DE LOS EJES.

- Histograma
- Frecuencia acumulada (papel aritmético)
- 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 ( $\phi$ )	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 ( $\phi$ )	Grados de la escala UW o F&W	Phi ( $\phi$ )	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) Cómo relacionaría los resultados de los puntos 2, 3 y 4 con los procesos que originaron cada uno de los depósitos.

	U. Wentworth (mm)	2 (mm)	4 (mm)	phi	tamiz	
	Bloque	1024,0000		-10,00		
	_____	256,0000	_____	-8,00		
	Guijarro	128,0000		-7,00		
<b>G</b>	_____	64,0000	_____	-6,00		
<b>R</b>		32,0000		-5,00		
<b>A</b>	Guija	16,0000		-4,00		
<b>V</b>	_____	8,0000		-3,00	4	
<b>A</b>	_____	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
<b>A</b>	_____			0,59500	0,75	30
<b>R</b>	_____	0,5000	0,50000	0,50000	1,00	35
<b>E</b>				0,42000	1,25	40
<b>N</b>	Mediana		0,35400	0,35400	1,50	45
<b>A</b>	_____			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	
<b>L</b>	Mediano		0,02200	0,02200	5,50	
<b>I</b>	_____			0,01880	5,75	
<b>M</b>	_____	0,0156	0,01560	0,01560	6,00	
<b>O</b>				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	
<b>A</b>			0,00276	0,00276	8,50	
<b>R</b>				0,00232	8,75	
<b>C</b>	_____	0,0020	0,00195	0,00195	9,00	
<b>I</b>				0,00164	9,25	
<b>L</b>			0,00138	0,00138	9,50	
<b>L</b>				0,00116	9,75	
<b>A</b>	_____	0,0010	0,00098	0,00098	10,00	
				0,00082	10,25	
			0,00069	0,00069	10,50	

Figura 1



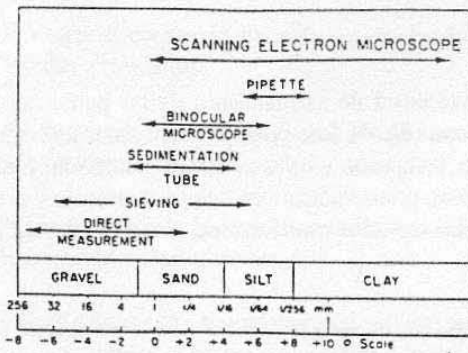


FIGURE Range of applicability of different techniques of size analysis.

Figura 2 Terminology and class intervals for grade scales.

U.S. Standard sieve mesh	Millimeters	Phi (φ) units	Wellsworth size class		
Use wire squares	475	-12	Boulder		
	250	-10			
	150	-8			
GRAVEL	100	-6	Cobble		
	60	-4			
	40	-2	Pebble		
	20	0			
	10	2			
SAND	4.75	4	Very coarse sand		
	2.0	6			
	0.85	8			
	0.425	10	Coarse sand		
	0.25	12			
	0.15	14			
	0.075	16	Fine sand		
	0.0425	18			
	0.025	20			
	SILT	0.0075	24	Coarse silt	
		0.00425	26		
		0.0025	28	Medium silt	
		0.0015	30		
		MUD	0.00075	32	Fine silt
			0.000425	34	
0.00025	36		Very fine silt		
0.00015	38				

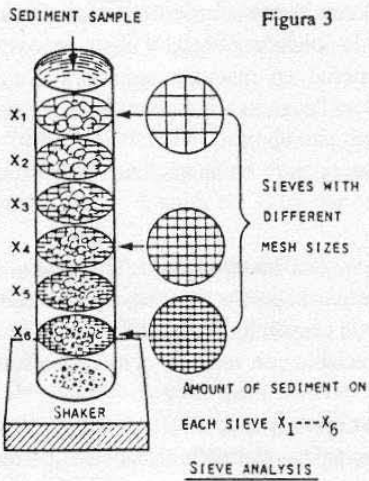


Figura 3

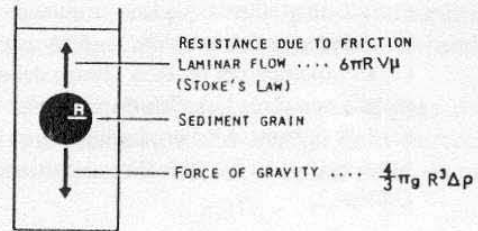


Figura 4 The forces acting on a falling sediment grain. We can then work out the relationship between settling velocity of sediment grains in water and grain size (radius).

Figura 5 Table of settling times, after Krumbein & Pettijohn (1961)

Phi	mm	µm	Depth (cm)	h	min	s
4.0	0.063	63	20			58
4.5	—	—	20		1	56
5.0	0.0312	31.2	10		1	56
5.5	—	—	10		3	52
6.0	0.0156	15.6	10		7	42
6.5	—	—	10			15
7.0	0.0078	7.8	10			31
7.5	—	—	10		1	1
8.0	0.0039	3.9	10		2	3
8.5	—	—	10		4	5
9.0	0.00195	1.95	10		8	10
9.5	—	—	10		16	21
10.0	0.00098	0.98	10		32	42
10.5	—	—	5		32	42
11.0	0.00049	0.49	5		65	25

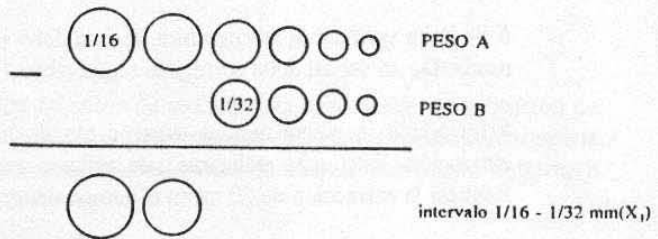


Figura 6 Obtención del peso del intervalo granulométrico 1/16 - 1/32 mm a partir de la resta de dos pipeteadas sucesivas.

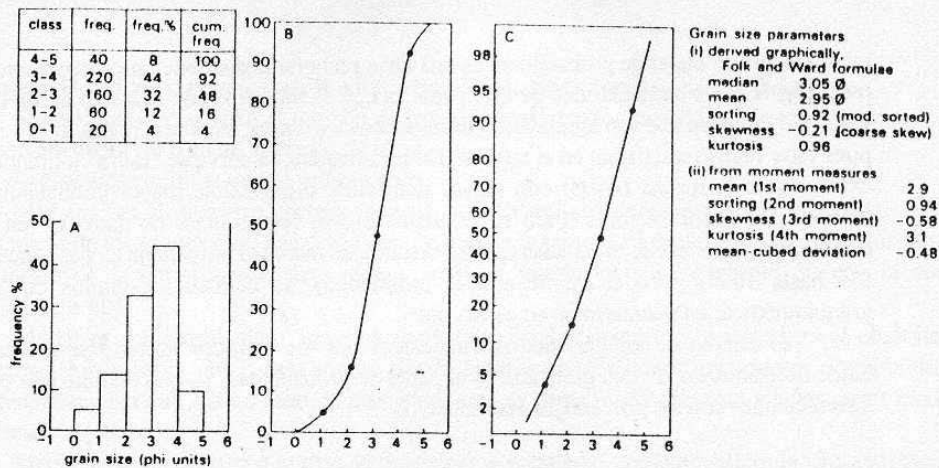


Figura 7 An example of the graphic presentation of grain-size data (500 grain-size measurements from a sandstone), presented as a histogram (A), and cumulative frequency curves plotted with an arithmetic scale (B) and log probability scale (C). Also given are the grain-size parameters derived from the data (i) graphically using Folk & Ward's formulae of Table 2.2 and (ii) using the method of moments formulae of Table 2.3.

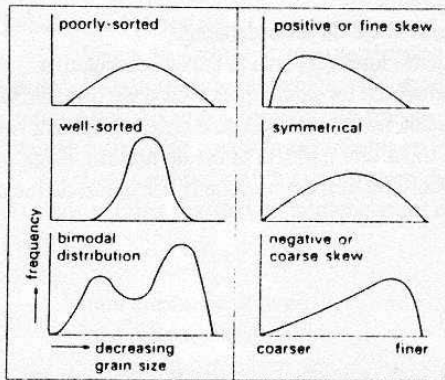


Figura 8 Smoothed frequency distribution curves showing types of sorting and skewness.

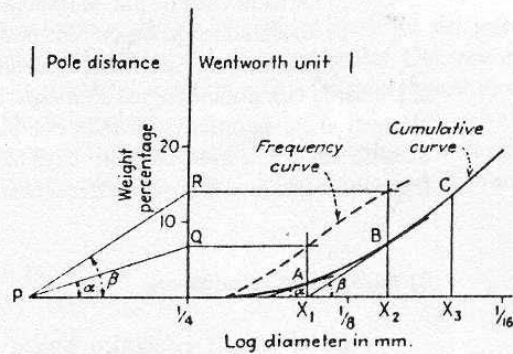


Figura 9 Graphic differentiation of cumulative curve. [After Krumbein, J. Sed. Pet., 4 (1934), 71.]

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)	$\sqrt{\frac{\sum f \cdot (m - x)^2}{100}}$	$\frac{(\phi_{84} - \phi_{16})}{4} + \frac{(\phi_{95} - \phi_5)}{6,6}$
asimetría (SK <sub>1</sub> )	$\frac{\sum f \cdot (m - x)^3}{100 \cdot \sigma^3}$	$\frac{(\phi_{16} + \phi_{84} - 2 \cdot \phi_{50})}{2 \cdot (\phi_{84} - \phi_{16})} + \frac{(\phi_5 + \phi_{95} - 2 \cdot \phi_{50})}{2 \cdot (\phi_{95} - \phi_5)}$
mediana (Md)		φ <sub>50</sub>
agudeza (K <sub>G</sub> )	$\frac{\sum f \cdot (m - x)^4}{100 \cdot \sigma^4}$	$\frac{(\phi_{95} - \phi_5)}{2,44 \cdot (\phi_{75} - \phi_{25})}$

Figura 10. 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<sub>xx</sub>, tamaño de grano (phi) para el percentil del xx % de la curva acumulativa.

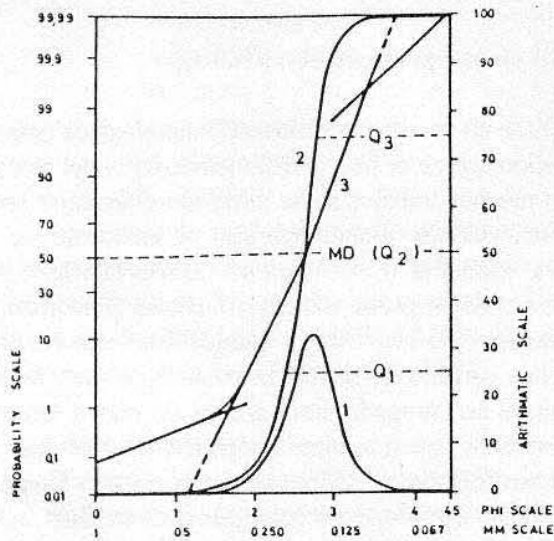


Figure 11 Diagram showing three common types of sediment distribution curves. 1 Frequency curve; 2 cumulative curve; 3 log-probability curve. Curves 1 and 2 are plotted on an arithmetic scale; curve 3 is plotted on a log-probability scale. Three commonly calculated parameters  $Q_1$ ,  $Q_2$  (M.D.), and  $Q_3$  are marked. (Modified after VISHER, 1969)

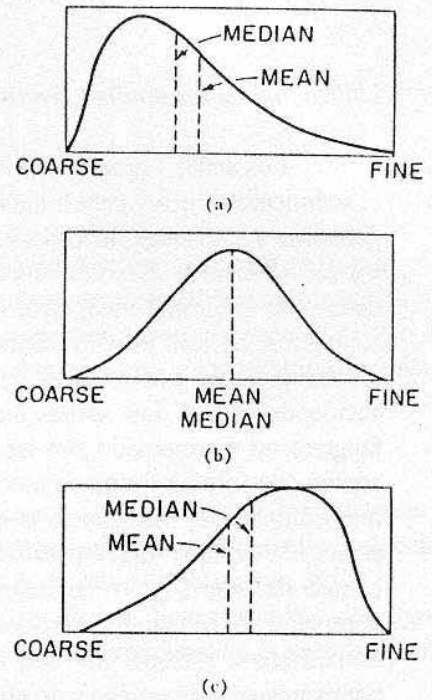


Figure 12 Curves showing positively skewed (7a), symmetrical (7b), and negatively skewed (7c) distributions.

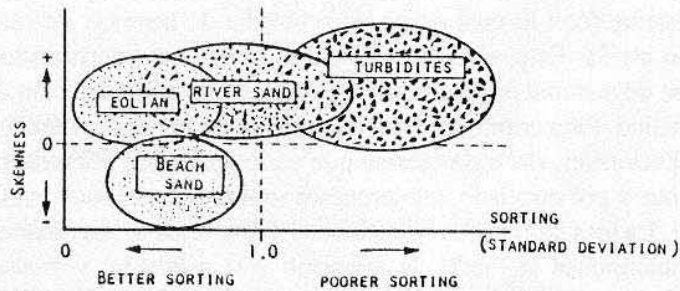
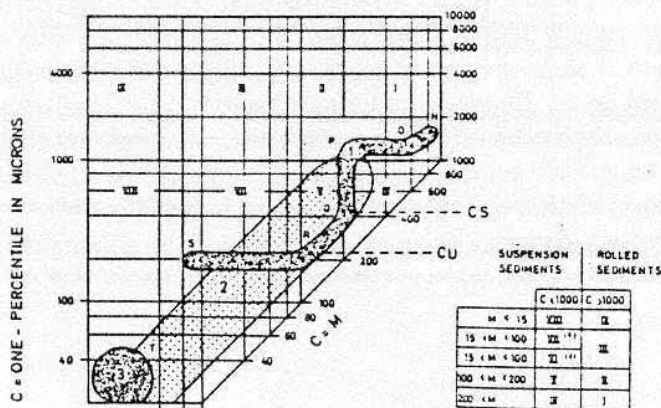


Figure 13 Sorting and skewness of grain-size distribution parameters which are suitable for distinguishing between sediments deposited through various processes and in different environments of deposition



M = MEDIAN IN MICRONS

- 1 TRACTION CURRENT DEPOSIT
- 2 TURBIDITES
- 3 QUIET WATER SUSPENSION DEPOSITS

Figure 14 The C/M pattern of sediments and their significance in interpretation of mechanism of transport. Traction current deposits can be differentiated into various parts depending upon mode of transport. N/O = rolling sediments; O.P = rolling sediments with some suspension sediments; P/Q = graded suspension with some rolled sediments; Q/R = graded suspension (saltation) deposits; R/S = uniform suspension; T = pelagic suspension. CS is maximum grain size transported as graded suspension; CU is maximum grain size transported as uniform suspension. Segments I, II, III, and IX are denoted by  $C > 1$  mm. Here mainly rolled sediments are incorporated. Suspension is of minor importance. Segments IV, V, VI, and VII are denoted by  $C < 1$  mm. Mainly suspension sediments, rolled sediments  $< 1$  mm may be incorporated. The pattern of turbidity current deposits runs parallel to limit  $C = M$ . (Based on PASSEGA, 1957, 1964; PASSEGA and BYRAMJEE, 1969)

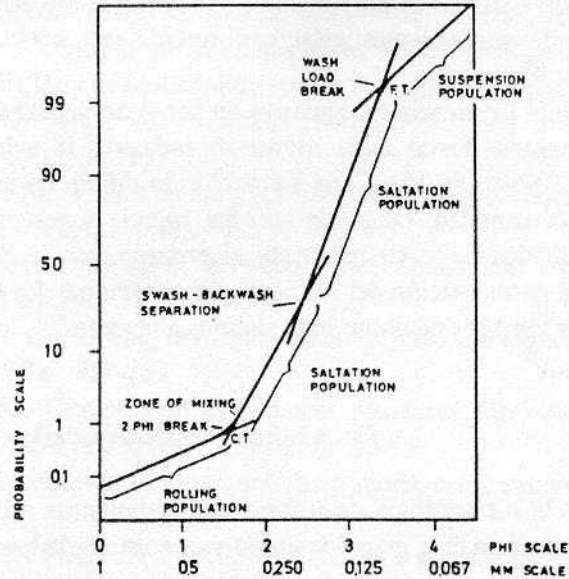


Figure 15 Grain-size distribution curve plotted on a probability scale. Different log-normal subpopulations become apparent. Each subpopulation can be related to a mode of sediment transport. C. T. is the coarse truncation point; F. T. is the fine truncation point. (Modified after VESHER, 1969)

Figure 16 Grain size characteristics of sands of various environments. (After VESHER, 1969)

Environment	Saltation population (A)				Suspension population (B)				Rolling population (C)			
	%	Sorting	C.T. Phi.	F.T. Phi.	%	Sorting	Mixing A and B	F.T. Phi.	%	Sorting	C.T. Phi.	Mixing A and C
Fluvial	65 to 98	Fair	-1.5 to -1.0	2.75 to 3.50	2 to 35	Poor	Little	> 4.5	Varies	Poor	No limit	Little
Natural levee	0 to 30	Fair	2.0 to 1.0	2.0 to 3.5	60 to 100	Poor	Much	> 4.5	0-5			None
Tidal channel	20 to 80	Good	1.5 to 2.0	1.5 to 7.5	0 to 20	Poor to Good	Much	3.5 to > 4.5	0-70	Fair to Good	-0.5 to -1.5	Average
Tidal inlet	30 to 65	Good	1.25 to 1.75	2.0 to 2.5	2 to 5	Fair to Good	Average	3.5 to 4.0	30-70	Fair to Good	-0.5 to No limit	Average
Beach	50 to 99	2 populations Excellent	0.5 to 2.0	3.0 to 4.25	0 to 10	Fair to good	Little	3.5 to > 4.5	0-50	Fair	-1.0 to No limit	Average
Plunge zone	20 to 90	Good	1.5 to 2.5	3.0 to 4.25	0 to 2	Good	Much	3.0 to > 4.5	10 to 90	Fair to Poor	No limit	Average
Shoal area	30 to 95	Good	2.00 to 2.75	3.5 to > 4.5	0 to 2	Poor to fair	Little	3.5 to > 4.5	5-70	Fair to Poor	0.0 to -2.0	Much
Wave zone	35 to 90	Good to excellent	2.00 to 3.00	3.0 to > 4.5	5 to 70	Fair to Poor	Much	3.75 to > 4.5	0-10	Poor	0.0 to No limit	Little
Dune	97 to 99	Excellent	1.0 to 2.0	3.0 to 4.0	1 to 3	Fair	Average	4.0 to > 4.5	0-2	Poor	1.0-0.0	Little
Turbidity current	0 to 70	Fair to Poor	1.0 to 2.5	0.0 to 3.5	30 to 100	Poor	Much	> 4.5	0-40	Fair to Poor	No limit	Much

C.T. = coarse truncation point      A = saltation population      C = rolling population  
 F.T. = fine truncation point      B = suspension population

Curva de frecuencia acumulativa (papel de probabilidades)

