

# PROPIEDADES DE LAS PARTÍCULAS SEDIMENTARIAS (CLASTOS)

- Tamaño de grano
- Redondez
- Esfericidad
- Forma
- Texturas superficiales
- Composición

# TEXTURA DE LAS ROCAS SEDIMENTARIAS CLÁSTICAS

En el concepto de textura se incluye a un conjunto de propiedades que describen las características de los individuos que componen a los sedimentos y sedimentitas.

Esas propiedades son:

TAMAÑO DE LOS INDIVIDUOS O GRANULOMETRÍA

FORMA DE LOS INDIVIDUOS

DISPOSICIÓN:

FÁBRICA (estudio de la orientación espacial de los individuos)

EMPAQUETAMIENTO (estudio de los contactos entre los individuos)

# EL TAMAÑO ES LA PROPIEDAD TEXTURAL MÁS IMPORTANTE DE LAS ROCAS CLASTICAS

¿Por qué?

Sirve para caracterizar a los sedimentos y sedimentitas

Se emplea para clasificar a los sedimentos y sedimentitas clásticos

Es útil en la interpretación de los procesos de acumulación

# CUÁL ES EL TAMAÑO DE UN CLASTO?

Si los clastos fueran esferas el tamaño podría definirse por su diámetro. No obstante, los clastos pueden describirse como elipsoides, definidos por tres ejes ortogonales (A, B, C). Para determinar su tamaño se emplea el diámetro nominal (diámetro de la esfera que tiene su mismo volumen):

$$\frac{\pi}{6} D^3 = \frac{\pi}{6} A.B.C$$

$$D^3 = A.B.C$$

$$D = \sqrt[3]{A.B.C},$$

que es definido como el tamaño medio geométrico.

Del mismo modo puede considerarse el tamaño medio aritmético:

$$(A+B+C)/3,$$

¿Y por qué no directamente B o A?

## EL CONCEPTO DE TAMAÑO DE GRANO

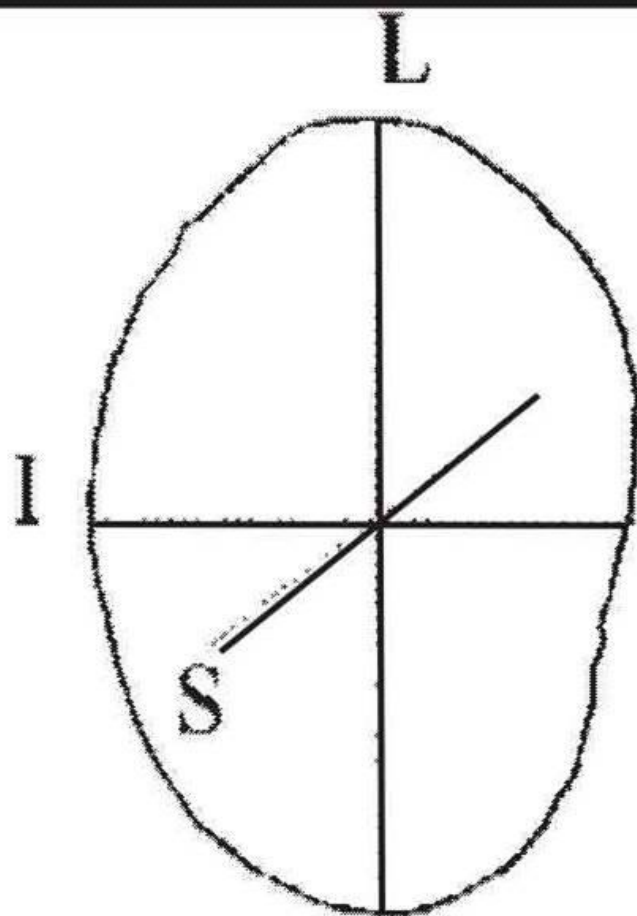
El diámetro promedio, el mayor, el de la esfera que lo circunscribe, el de la esfera del mismo volumen ?

“ Depende en gran medida de la posibilidad operativa de su medición, o sea el concepto de tamaño de grano se vuelve relativo”

## DIAMETRO MEDIO DE GRAVAS

Metodología: se mide con calibre

$$D_m = (L + l + S) / 3$$



L: eje mayor  
I: eje intermedio  
S: eje menor

# MEDICIÓN DEL TAMAÑO

Del método directo al método indirecto.

¿Cuántas determinaciones del tamaño?

La heterogeneidad de los sedimentos.

El muestreo, de los 200 fenoclastos a unos pocos gramos de arena, limo y/o arcilla.

Las técnicas de determinación granulométrica.

Está claro que medimos muchos tamaños en un depósito sedimentario, pero ... ¿cuál es el tamaño?

LA RESPUESTA EN EL EMPLEO DE LA  
ESTADÍSTICA

# LA DISTRIBUCIÓN DE LA HETEROGENEIDAD TEXTURAL

La **heterogeneidad textural** de los sedimentos implica que debemos considerar cómo se distribuyen los tamaños.

El modelo más aceptado para la distribución de tamaños es el lognormal, ya que si se parte de un conjunto de materiales o granos sueltos con una distribución de tamaños al azar, se verifica que en forma progresiva los procesos de abrasión y ruptura durante el transporte o de movilización selectiva de los individuos los acercan a la lognormalidad.

## LAS ESCALAS

El patrón de referencia de la distribución heterogénea de tamaños es la **escala granulométrica** que tiene un **punto de partida y una razón**.

Los valores de la escala permiten definir **intervalos granulométricos**



# Clasificaciones granulométricas

- Hopkins (1899): Escala decimal y geométrica parte de 1 mm y multiplica por 0,1. Mayor a 1mm grava, entre 1 mm y 0,001 arcilla fijando el límite entre la arena y el limo en 0,32 mm
- Atterberg (1903): Parte de 2mm y utiliza razón 0,1. Grava mayor a 2 mm, Arena entre 2 y 0,2 mm. Y la arcilla menor a 0,002 mm.

| U. S. Department of Agriculture scheme |                    | International scheme |                    |
|--|--------------------|----------------------|--------------------|
| Name of separate                       | Diameter (range)   | Fraction             | Diameter (range)   |
|  | <i>Millimeters</i> |                      | <i>Millimeters</i> |
| Very coarse sand <sup>1</sup> . . . .  | 2.0 -1.0           | I . . . . .          | 2.0-0.2            |
| Coarse sand . . . . .                  | 1.0 - .5           | II . . . . .         | .20-.02            |
| Medium sand . . . . .                  | .5 - .25           | III . . . . .        | .02-.002           |
| Fine sand . . . . .                    | .25- .10           | IV . . . . .         | Below .002         |
| Very fine sand . . . . .               | .10- .05           |                      |                    |
| Silt . . . . .                         | .05- .002          |                      |                    |
| Clay . . . . .                         | Below .002         |                      |                    |

<sup>1</sup> Prior to 1947 this separate was called fine gravel. Now fine gravel is used for coarse fragments from 2 mm. to 1/2 inch in diameter.

## ESCALA DE UDDEN-WENTWORTH (1922)

1. Utiliza razón 2 y  $\frac{1}{2}$
2. Escala raíz cuadrada de 2 = 1,41
3. Escala raíz cuarta de 2 = 1,19

## EL NÚMERO Phi (Krumbein, 1934)

$\Phi = -\log_2 dm$  (en mm)

*si*  $\Phi = -\log_2 2^n$

*entonces*  $\Phi = -n$

## EL NÚMERO Phi REDEFINIDO ( Mc Manus, 1963)

$\Phi = -\log_2 dm$  (en mm) / 1 mm

| mm     | phi | Name             |                        |
|--------|-----|------------------|------------------------|
| 256    | -8  | Boulders         | Gravel<br>Conglomerate |
| 128    | -7  |                  |                        |
| 64     | -6  | Cobbles          |                        |
| 32     | -5  |                  |                        |
| 16     | -4  |                  |                        |
| 8      | -3  | Pebbles          |                        |
| 4      | -2  |                  |                        |
| 2      | -1  | Granules         |                        |
|        |     |                  |                        |
|        |     | Very coarse sand | Sand<br>Sandstone      |
| 1      | 0   |                  |                        |
|        |     | Coarse sand      |                        |
| 0.5    | 1   |                  |                        |
|        |     | Medium sand      |                        |
| 0.25   | 2   |                  |                        |
|        |     | Fine sand        |                        |
| 0.125  | 3   |                  |                        |
|        |     | Very fine sand   | Mud<br>Mudrock         |
| 0.063  | 4   |                  |                        |
|        |     | Coarse silt      |                        |
| 0.031  | 5   |                  |                        |
|        |     | Medium silt      |                        |
| 0.0156 | 6   |                  |                        |
|        |     | Fine silt        |                        |
| 0.0078 | 7   |                  |                        |
|        |     | Very fine silt   | Mud<br>Mudrock         |
| 0.0039 | 8   |                  |                        |
|        |     | Clay             |                        |

# EL MAYOR AJUSTE DE LAS ESCALAS EN LOS ESTUDIOS SEDIMENTOLÓGICOS AVANZADOS

Las escalas de razón  $\sqrt{2}$  y  $\sqrt[4]{2}$

|                     |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                     |                     |                     |
|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Mm                  | 0,5                |                    |                    |                    | 0,25               |                    |                     |                     | 0,125               |
| Mm                  | 1/2                |                    |                    |                    | 1/4                |                    |                     |                     | 1/8                 |
| Razón 2             | $2^{-1}$           |                    |                    |                    | $2^{-2}$           |                    |                     |                     | $2^{-3}$            |
| Razón $\sqrt[2]{2}$ | $\sqrt[2]{2}^{-2}$ |                    | $\sqrt[2]{2}^{-3}$ |                    | $\sqrt[2]{2}^{-4}$ |                    | $\sqrt[2]{2}^{-5}$  |                     | $\sqrt[2]{2}^{-6}$  |
| Razón $\sqrt[4]{2}$ | $\sqrt[4]{2}^{-4}$ | $\sqrt[4]{2}^{-5}$ | $\sqrt[4]{2}^{-6}$ | $\sqrt[4]{2}^{-7}$ | $\sqrt[4]{2}^{-8}$ | $\sqrt[4]{2}^{-9}$ | $\sqrt[4]{2}^{-10}$ | $\sqrt[4]{2}^{-11}$ | $\sqrt[4]{2}^{-12}$ |
| Phi                 | 1                  | 1,25               | 1,5                | 1,75               | 2                  | 2,25               | 2,5                 | 2,75                | 3                   |

# LA TRANSFORMACIÓN DE LA ESCALA DE UDDEN A ESCALA $\Phi$ IMPLICA QUE PODEMOS TRANSFORMAR UNA DISTRIBUCIÓN LOGNORMAL EN UNA DISTRIBUCIÓN GAUSSIANA O DISTRIBUCIÓN NORMAL

La escala  $\Phi$  condensa un amplio espectro granulométrico en un rango mucho más reducido de valores numéricos.

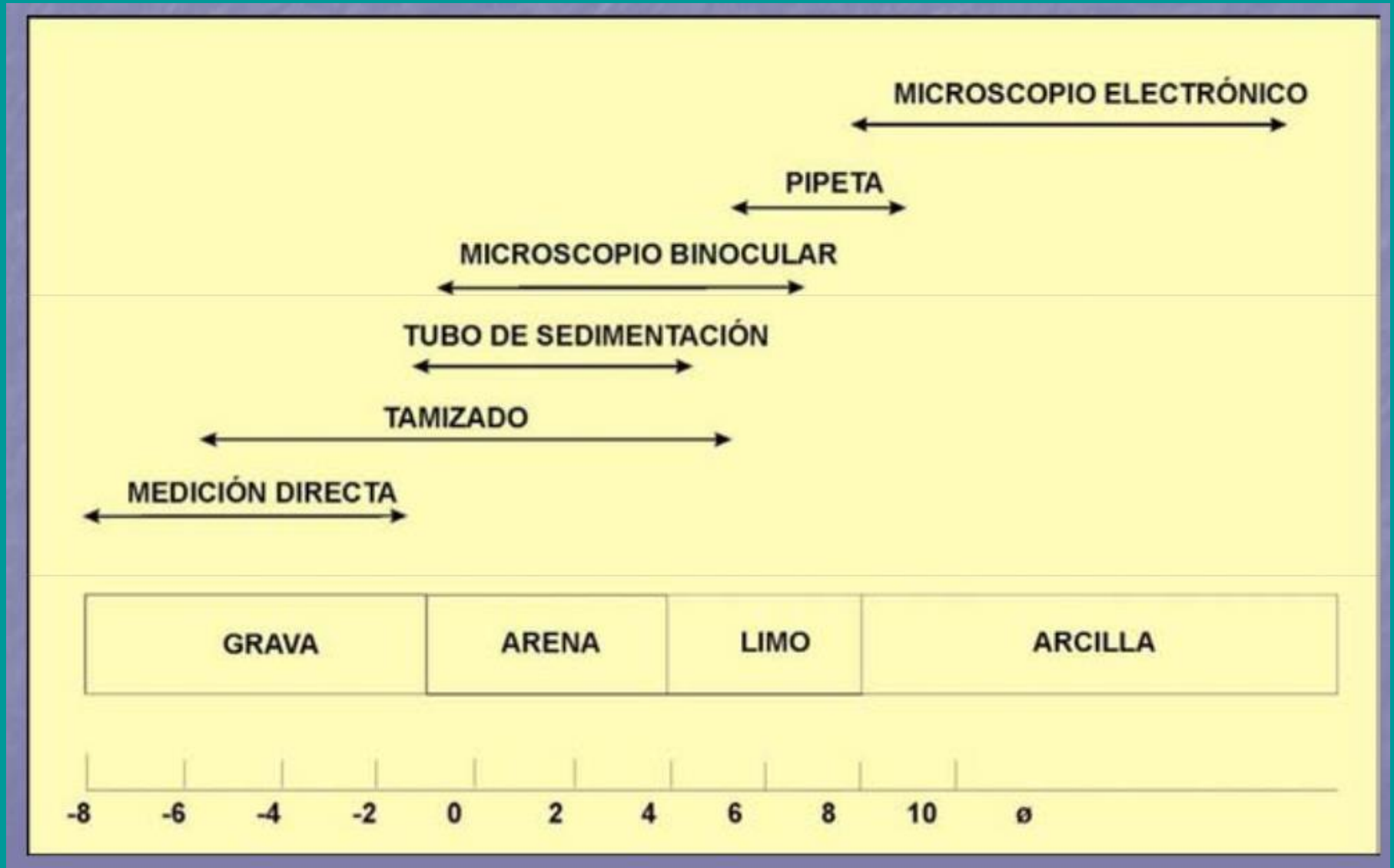
Se expande numéricamente hacia los rangos granulométricos más finos.

La distribución normal es simétrica.

Elimina los números irracionales.

Utiliza números simples y fáciles de recordar.

# GRANULOMETRÍA Y MÉTODOS PARA LA REALIZACIÓN DEL ANÁLISIS MECÁNICO



# OTRAS FORMAS DE DEFINIR EL DIÁMETRO DE GRAVAS

- ✓ EL DIÁMETRO NOMINAL DE WADELL (1932,1934):  
“El diámetro correspondiente a la esfera de igual volumen que el clasto” (el gráfico elaborado por Krumbein y Pettijohn (1938) permite un pasaje directo de volumen a diámetro nominal.
- ✓ EL DIÁMETRO INTERMEDIO
- ✓ EL DIÁMETRO MAYOR

# EL DIÁMETRO MEDIO DE ARENAS

Metodología: se emplean tamices tipo Tyler y el uso de una Ro-Tap.

Cuál es el diámetro medido ?

| Escala entera | Escala $^2\sqrt{2}$ | Escala $^4\sqrt{2}$ | Escala Phi | Abert. Tamiz |
|---------------|---------------------|---------------------|------------|--------------|
| 4,00          | 4,00                | 4,00                | -2,00      | 3,95         |
|               |                     | 3,36                | -1,75      | 3,33         |
|               |                     | 2,83                | -1,50      | 2,79         |
| 2,00          | 2,00                | 2,38                | -1,25      | 2,36         |
|               |                     | 2,00                | -1,00      | 1,98         |
|               |                     | 1,68                | -0,75      | 1,65         |
| 1,00          | 1,00                | 1,41                | -0,50      | 1,40         |
|               |                     | 1,19                | -0,25      | 1,17         |
|               |                     | 1,00                | 0,00       | 0,99         |
| 0,50          | 0,50                | 0,84                | 0,25       | 0,83         |
|               |                     | 0,71                | 0,50       | 0,70         |
|               |                     | 0,59                | 0,75       | 0,59         |
| 0,25          | 0,25                | 0,50                | 1,00       | 0,49         |
|               |                     | 0,42                | 1,25       | 0,42         |
|               |                     | 0,35                | 1,50       | 0,35         |
| 0,12          | 0,12                | 0,30                | 1,75       | 0,30         |
|               |                     | 0,25                | 2,00       | 0,25         |
|               |                     | 0,21                | 2,25       | 0,21         |
| 0,06          | 0,06                | 0,18                | 2,50       | 0,18         |
|               |                     | 0,15                | 2,75       | 0,15         |
|               |                     | 0,12                | 3,00       | 0,12         |
| 0,03          | 0,03                | 0,10                | 3,25       | 0,10         |
|               |                     | 0,09                | 3,50       | 0,09         |
|               |                     | 0,07                | 3,75       | 0,07         |
| 0,015         | 0,015               | 0,06                | 4,00       | 0,06         |



# EL DIÁMETRO MEDIO DE LIMOS Y ARCILLAS

Metodología: Método de la pipeta, Galehouse o de la velocidad de decantación. Ley de Stokes.

$$V = \frac{(P_p - P_f) \cdot g}{18u} \cdot D_m^2$$

*Siendo:*

P<sub>p</sub>: Peso específico de la partícula

P<sub>f</sub>: Peso específico del fluido

g: aceleración de la gravedad

D<sub>m</sub>: diámetro de la partícula

V: velocidad de decantación

u: viscosidad dinámica

Cúal es el diámetro medido ?

## EL DIÁMETRO MEDIO DE LIMOS Y ARCILLAS

$P_p$ ,  $P_f$ ,  $g$  y  $u$  son constantes a una temperatura de 20 °C y con pesos de partículas similares al cuarzo (2,65g/cm<sup>3</sup>)

*entonces*

$$C = 3,57 \cdot 10^4$$

*O sea*

$$Dm^2 = V / C$$

*y en nuestro caso*

$$Dm^2 = (x/t) / C$$

## ESTUDIOS GRANULOMETRICOS EN ROCAS CONSOLIDADAS

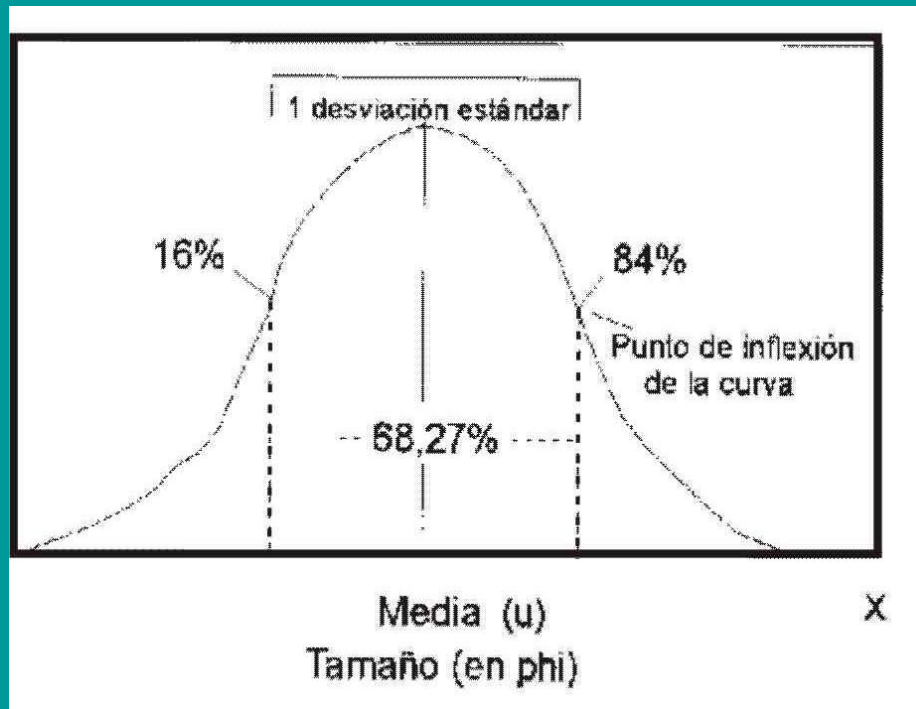
| Diámetro en mm | Velocidad cm/seg | Profundidad cm/seg | Hora-minuto-segundo |
|----------------|------------------|--------------------|---------------------|
| 0,0625         | 0,347            | 20                 | 00 00 58            |
| 0,0442         | 0,174            | 20                 | 00 01 58            |
| 0,0312         | 0,0889           | 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 --            |

# LIMITACIONES DEL MÉTODO DE LA PIPETA

- Las partículas de arcilla no son por lo general esféricas e incluso frecuentemente resultan planares.
- El peso específico no es necesariamente igual al del cuarzo
- La interacción entre partículas y el rozamiento con las paredes del tubo.
- La perturbaciones producidas al efectuar las extracciones con la pipeta.
- La presencia de agregados de arcilla.
- El tiempo empleado es muy alto para cada muestra.

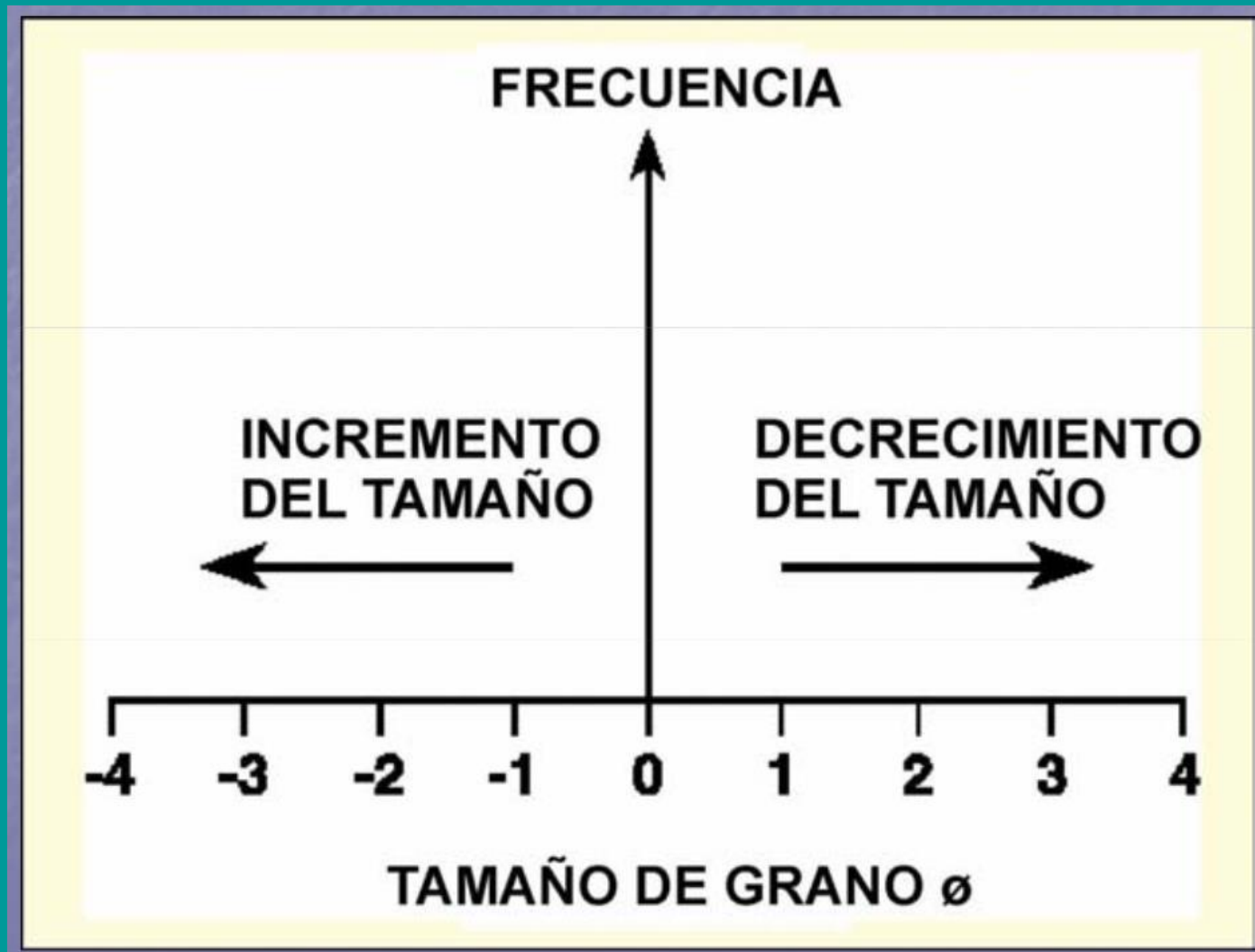
# LA DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA

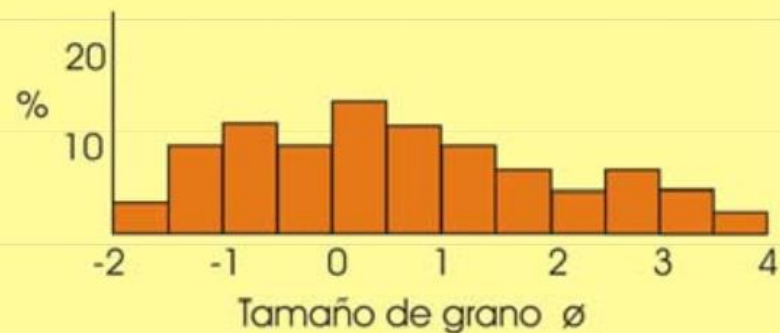
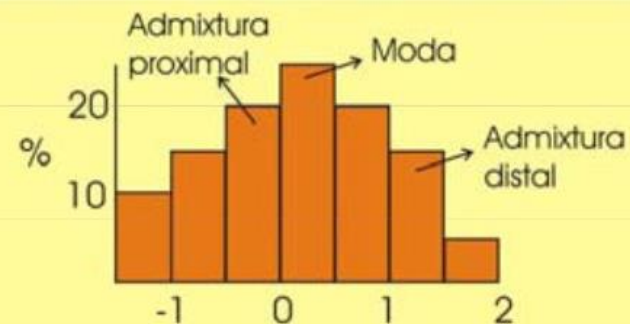
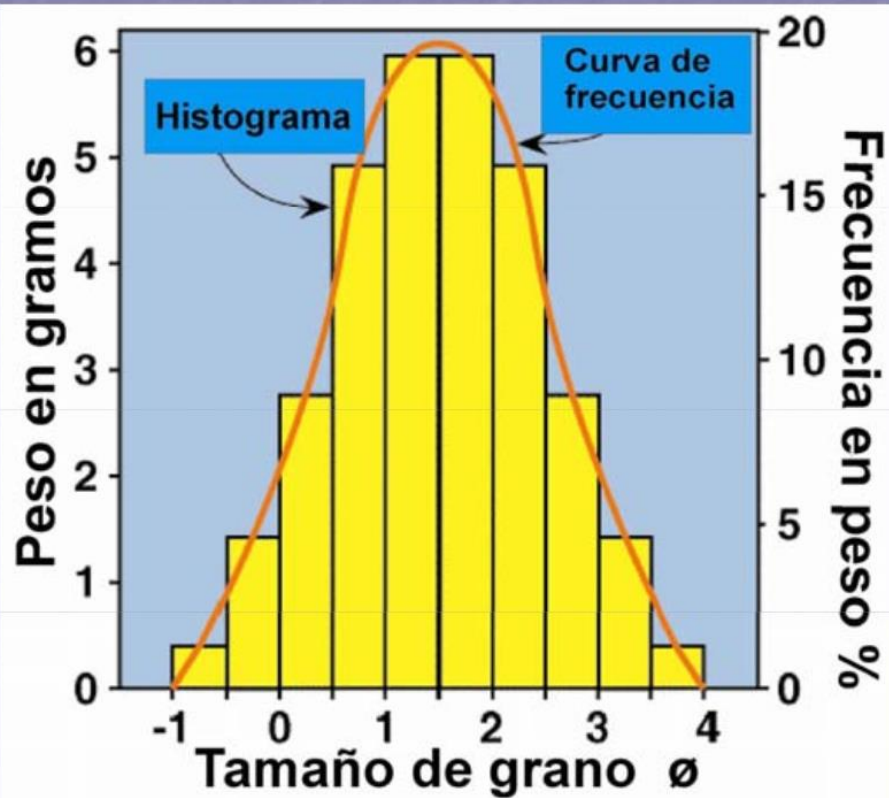
## 1 La distribución es normal o gaussiana



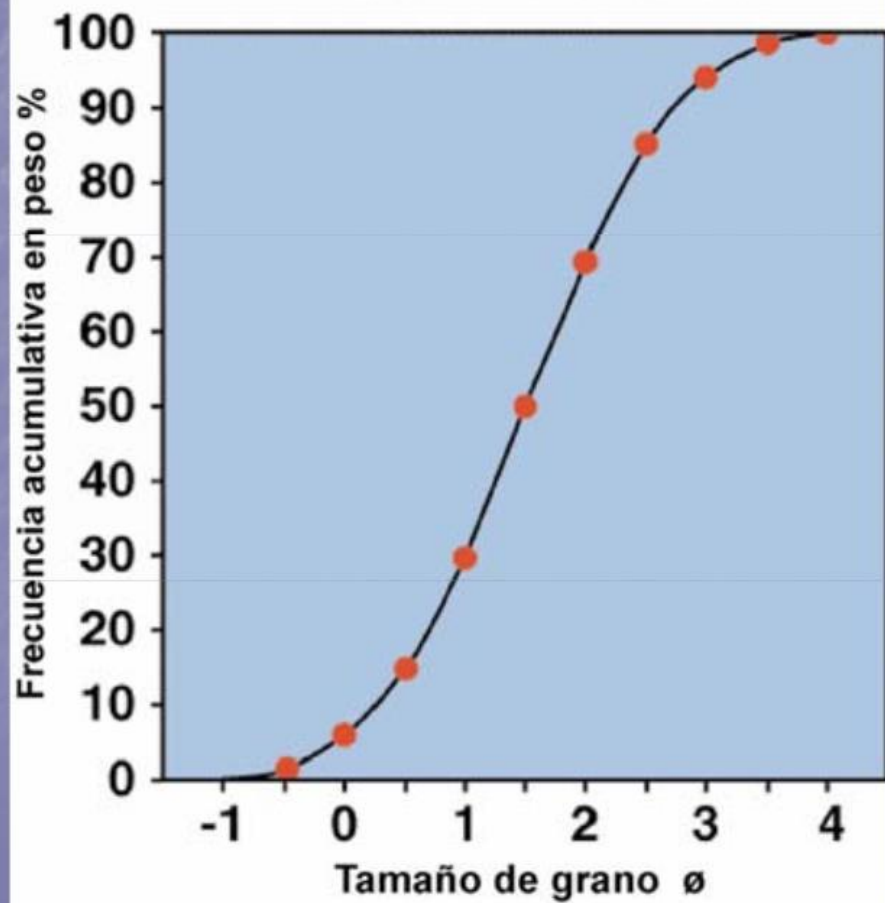
## 2. La ley de Rosin (Rosin y Rammler, 1934)

## 3. Distribuciones logarítmicas hiperbólicas

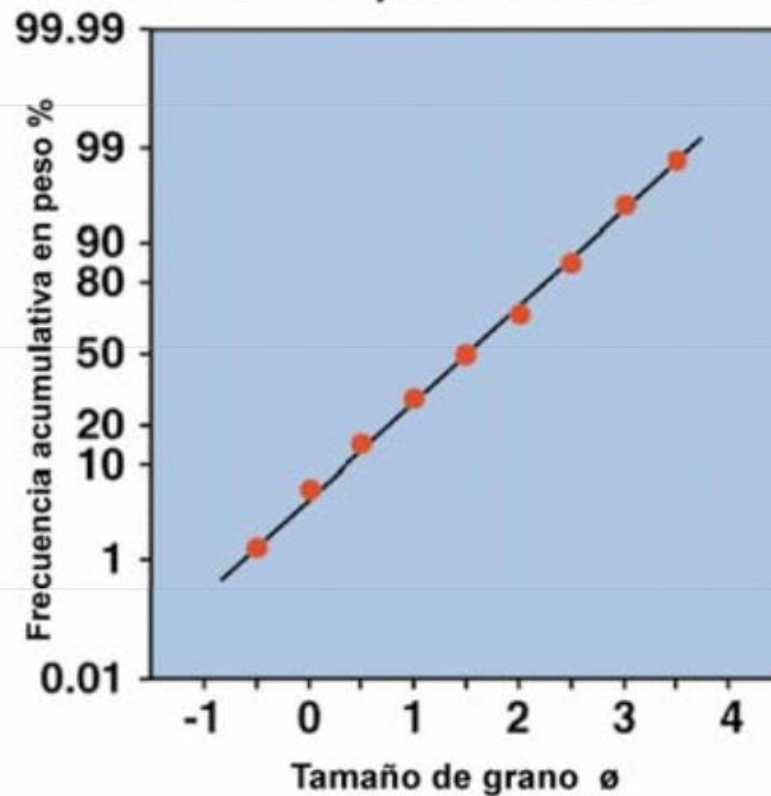




**Curva acumulativa  
en escalas aritméticas**



**Curva acumulativa  
escala probabilística**

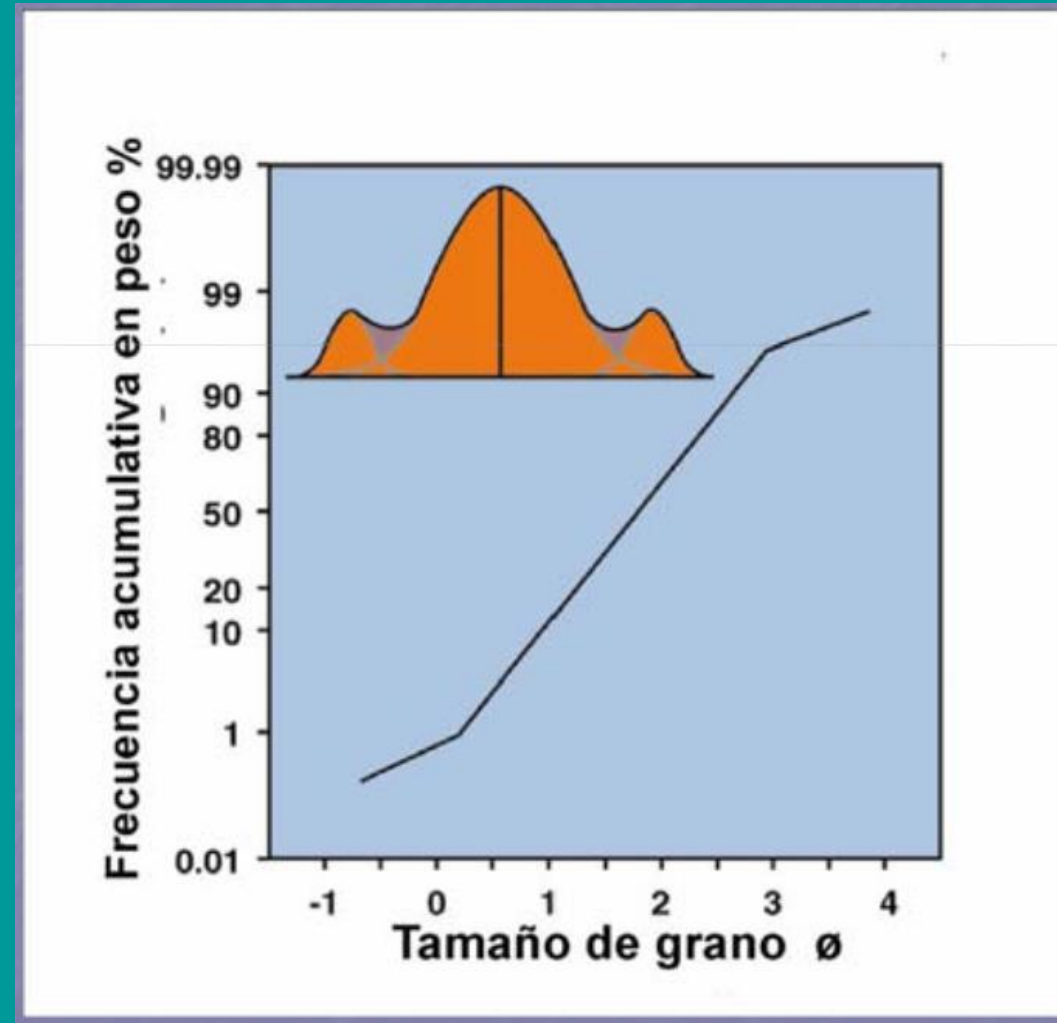


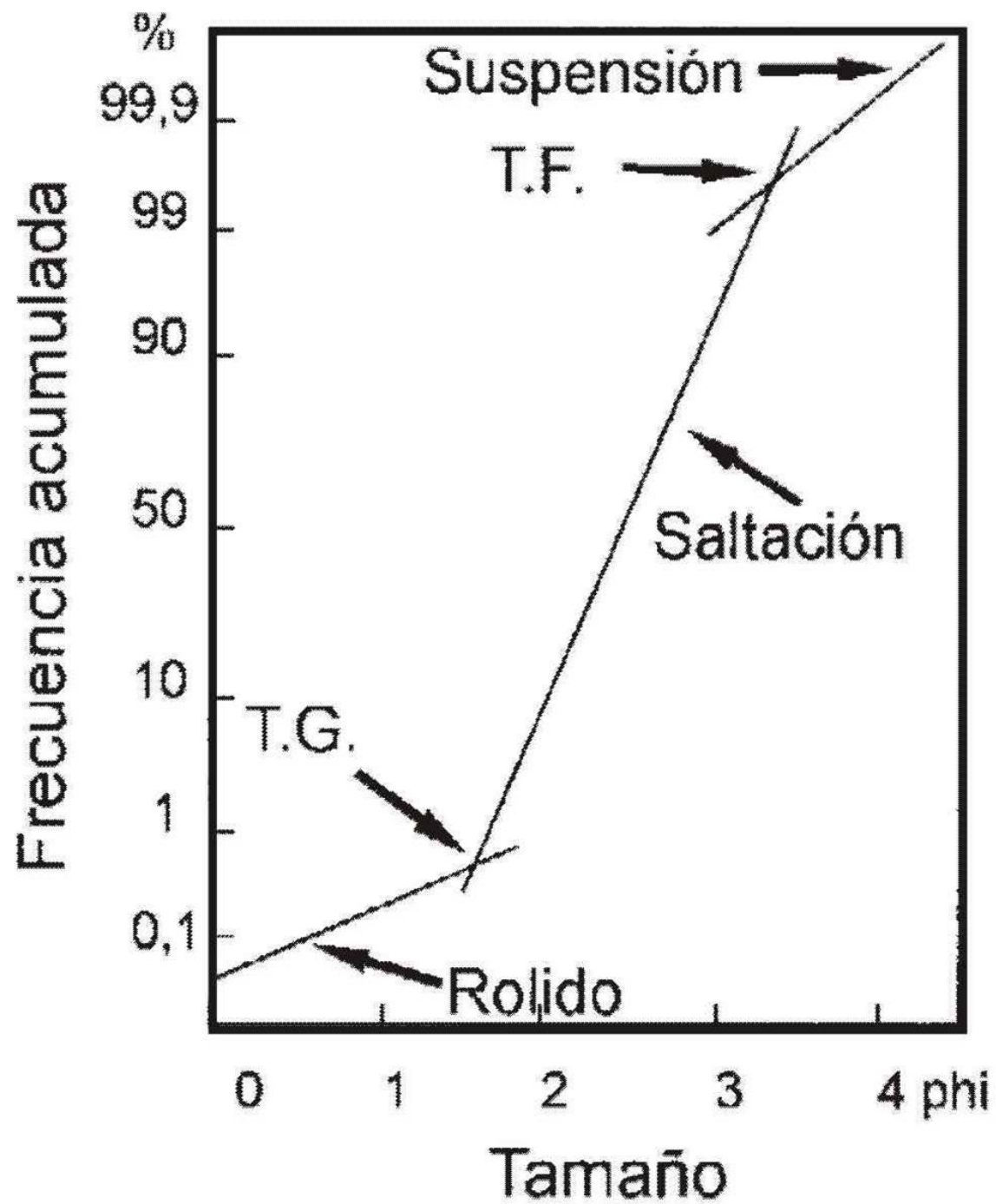


Es común que los sedimentos estén constituidos por más de una población con distribución normal.

En los gráficos acumulativos probabilísticos estas subpoblaciones aparecen como segmentos con distinta pendiente.

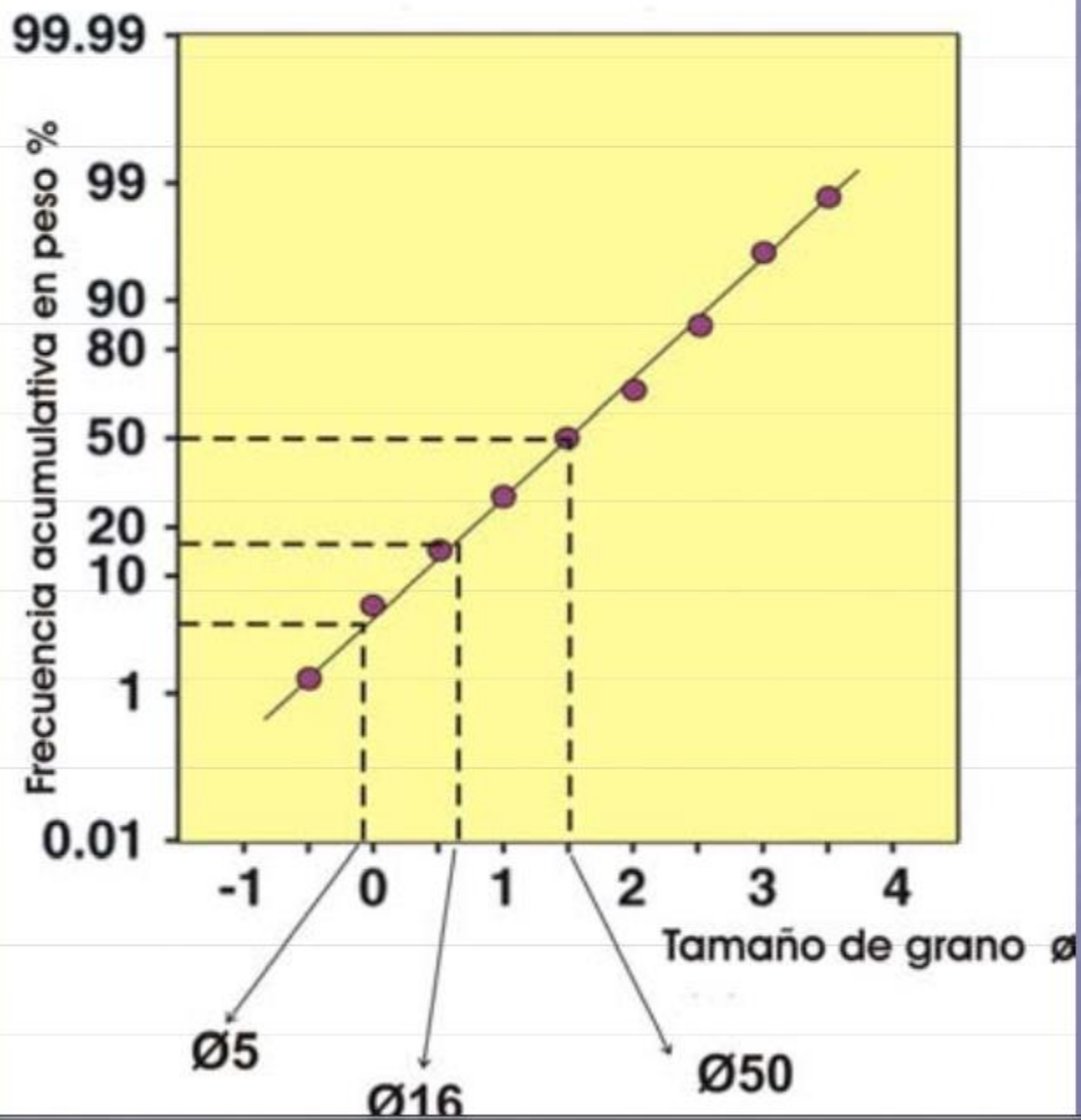
La presencia de subpoblaciones constituye otro apartamiento de la distribución normal





# LA DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA: PARÁMETROS ESTADÍSTICOS

- a. Método gráfico
- b. Método de momentos
- c. Medidas de tendencia central
- d. Medidas de cola o extremos



# LOS COEFICIENTES ESTADÍSTICOS DE FOLK Y WARD (1957)

$$\text{Media } (M_z) = \frac{\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84}}{3}$$

$$\text{Mediana } (Md_\phi) = \phi_{50}$$

$$\text{Desviación standard } (\sigma_i) = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{4} + \frac{\phi_{95} - \phi_5}{6,6}$$

$$\text{Asimetría } (Sk_i) = \frac{\phi_{84} + \phi_{16} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{84} - \phi_{16})} + \frac{\phi_5 + \phi_{95} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{95} - \phi_5)}$$

$$\text{Curtosis } (K_G) = \frac{\phi_{95} - \phi_5}{2,44(\phi_{75} - \phi_{25})}$$

# LA CALIFICACIÓN DE LOS COEFICIENTES ESTADÍSTICOS

| DESVIACIÓN STANDARD                                 | CURTOSIS  | ASIMETRÍA                                    |
|---|---|--|
| Extremadamente mal seleccionado<br>----- 4,00 ----- | Extremadamente leptocúrtica<br>----- 3,00 ----- | ----- 1,00 -----<br>Muy asimétrica positiva  |
| Muy pobremente seleccionado<br>----- 2,00 -----     | Muy leptocúrtica<br>----- 1,50 -----            | ----- 0,30 -----<br>Asimétrica positiva      |
| Pobremente seleccionado<br>----- 1,00 -----         | Leptocúrtica<br>----- 1,11 -----                | ----- 0,10 -----<br>Simétrica                |
| Moderadamente seleccionado<br>----- 0,70 -----      | Mesocúrtica<br>----- 0,90 -----                 | ----- -0,10 -----<br>Asimétrica negativa     |
| Moderadamente bien seleccionado<br>----- 0,50 ----- | Platicúrtica<br>----- 0,67 -----                | ----- -0,30 -----<br>Muy asimétrica negativa |
| Bien seleccionado<br>----- 0,35 -----               | Muy platicúrtica<br>----- -1,00 -----           |  |
| Muy bien seleccionado                               |   |  |

La **media** y la **mediana** son las medidas de la **tendencia central**. Reflejan la **energía cinética media** del agente de transporte.

La **desviación standard**, la **asimetría** y la **curtosis** son medidas de **dispersión**.

La desviación standard nos muestra el grado de **selección** granulométrica. Refleja el **tipo de agente de transporte** y es una medida de su grado de **fluidez o viscosidad**.

La **asimetría** muestra si la distribución es simétrica o asimétrica con respecto a la moda y la media. Las distribuciones con **asimetría positiva** poseen una cola de finos, mientras que las de **asimetría negativa** tienen una cola de materiales gruesos.

La **curtosis** es una medida comparativa entre la selección en el centro de la distribución y en los extremos o colas. La distribución **leptocúrtica** posee mejor selección en el centro que en las colas de la distribución. La inversa sucede en la distribución **platicúrtica**.



# CALCULO DE LOS PARÁMETROS ESTADÍSTICOS POR MÉTODO GRÁFICO

Moda: directamente del histograma

Mediana: de la curva acumulativa

Media: de la siguiente fórmula

$$\text{Media} = \frac{\text{phi } 84 + \text{phi } 50 + \text{phi } 16}{3}$$



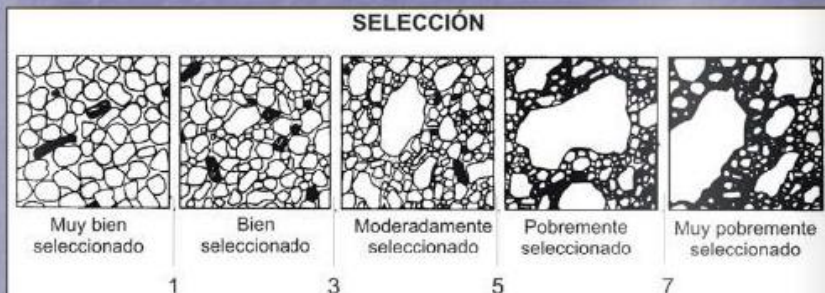
# CALCULO DE LOS PARÁMETROS ESTADÍSTICOS POR MÉTODO GRÁFICO

## SELECCIÓN

Selección  
(como desviación standar gráfica)

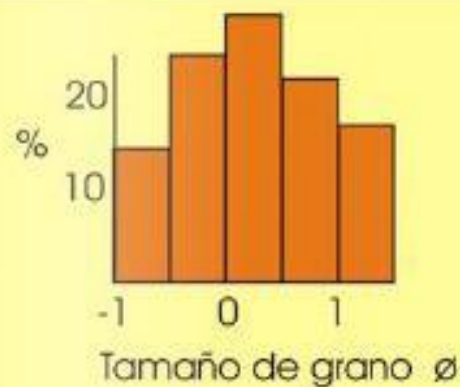
$$\frac{\phi 84 - \phi 16}{4} + \frac{\phi 95 - \phi 5}{6,6}$$

### VISUALIZACIÓN DE LA SELECCIÓN GRANULOMÉTRICA



Imágenes de selección de materiales clásticos (areniscas) vistos a la lupa (Compton, 1962). Los números representan los intervalos granulométricos incluidos en el 80% del material.

## VARIACIONES DE SELECCIÓN



Decrece la selección.

Aumenta el valor de la desviación standard  $\varnothing$ .

Se incrementa la viscosidad del agente de transporte.

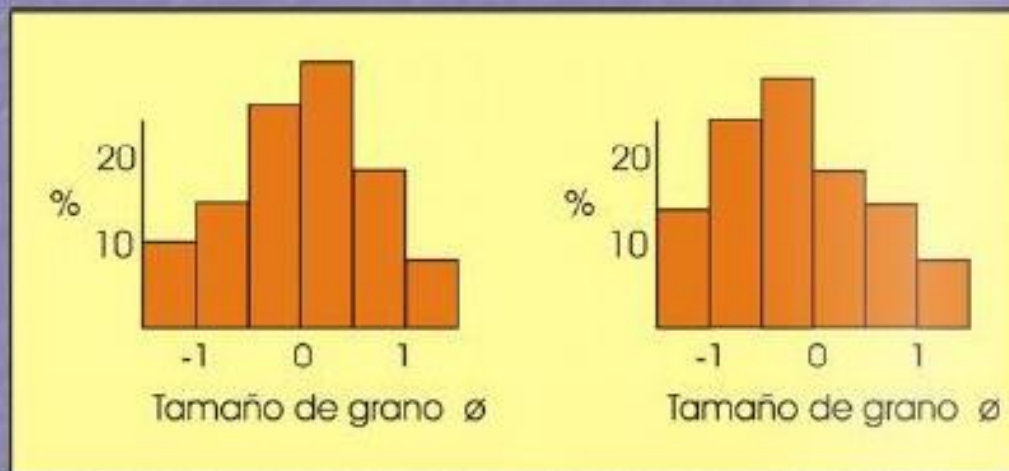
# CALCULO DE LOS PARÁMETROS ESTADÍSTICOS POR MÉTODO GRÁFICO

## ASIMETRÍA

### Asimetría Gráfica:

$$S = \frac{\phi 84 + \phi 16 - 2 (\phi 50)}{2 (\phi 84 - \phi 16)} + \frac{\phi 95 + \phi 5 - 2 (\phi 50)}{2 (\phi 95 - \phi 5)}$$

## VARIACIONES DE ASIMETRÍA



**Asimetría negativa**

**Cola de gruesos**

**Asimetría positiva**

**Cola de finos**

Las asimetrías positivas o negativas nos muestran apartamientos de la distribución normal

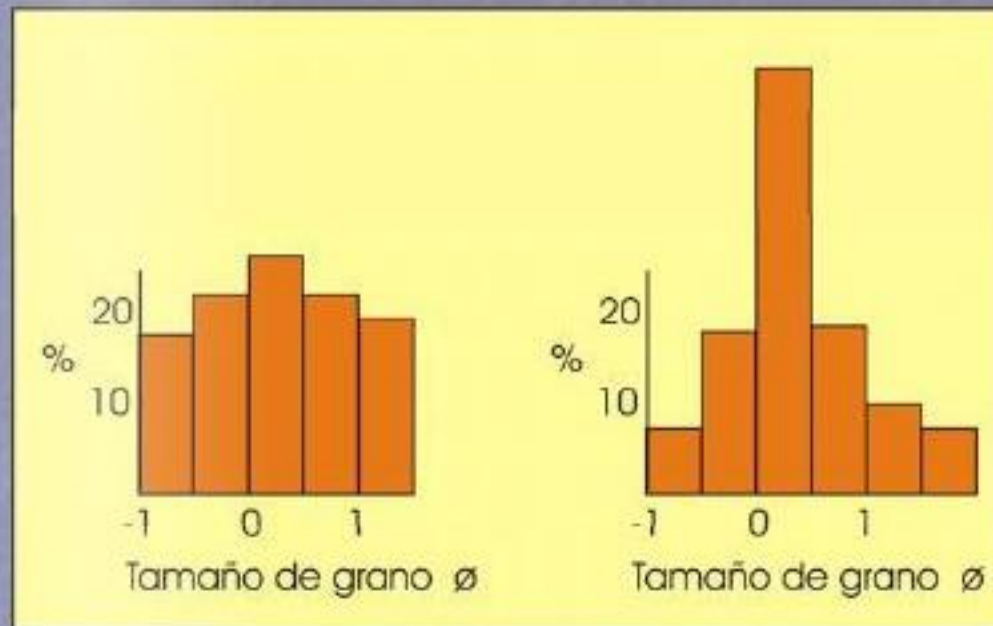
# CALCULO DE LOS PARÁMETROS ESTADÍSTICOS POR MÉTODO GRÁFICO

## AGUDEZA

**Graphic Kurtosis (K):**

$$K = \frac{\phi 95 - \phi 5}{2.44 (\phi 75 - \phi 25)}$$

## VARIACIONES DE CURTOSIS

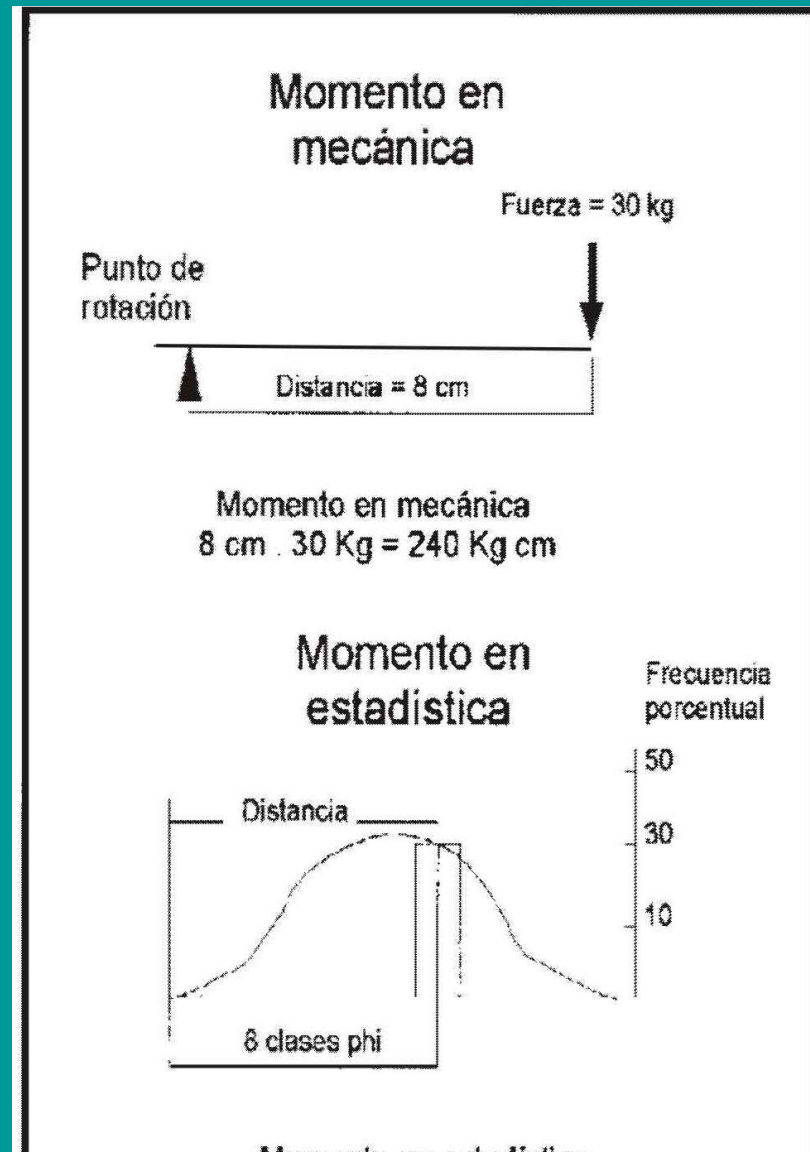


**Distribución  
platicúrtica**

Las distribuciones platicúrticas y leptocúrticas nos muestran apartamientos de la distribución normal

**Distribución  
leptocúrtica**

# PARÁMETROS ESTADÍSTICOS POR EL MÉTODO DE MOMENTOS



# PARÁMETROS ESTADÍSTICOS POR EL MÉTODO DE MOMENTOS

Primer momento: mediana

$$\mu = \sum_{i=1}^n x_i / n$$

Segundo momento: varianza- desviación estandar (selección)

$$\sigma^2 = \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2 / n$$

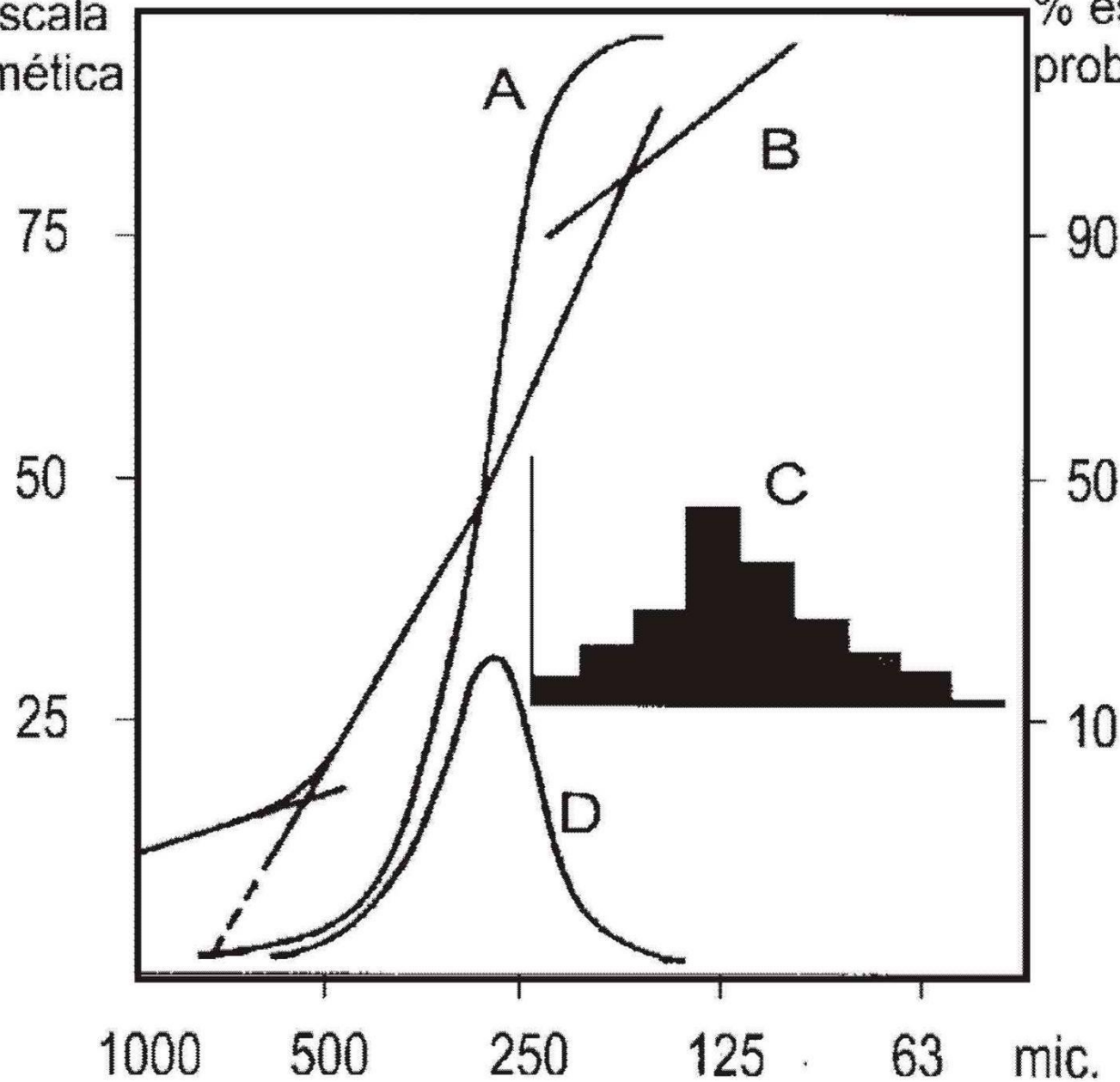
Tercer momento: Factor S-  
medida de asimetría

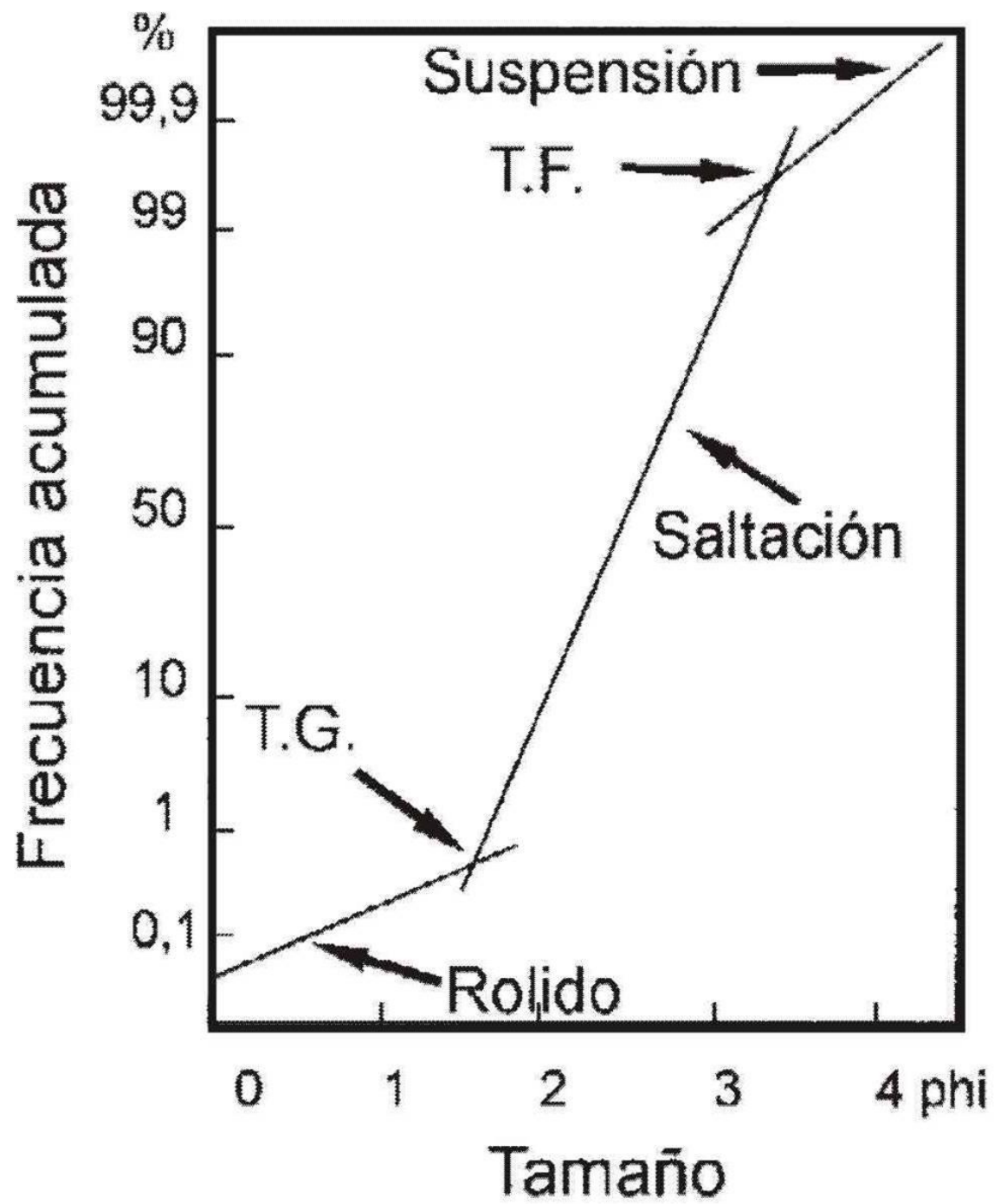
$$sk = \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^3 / n$$



% escala  
aritmética

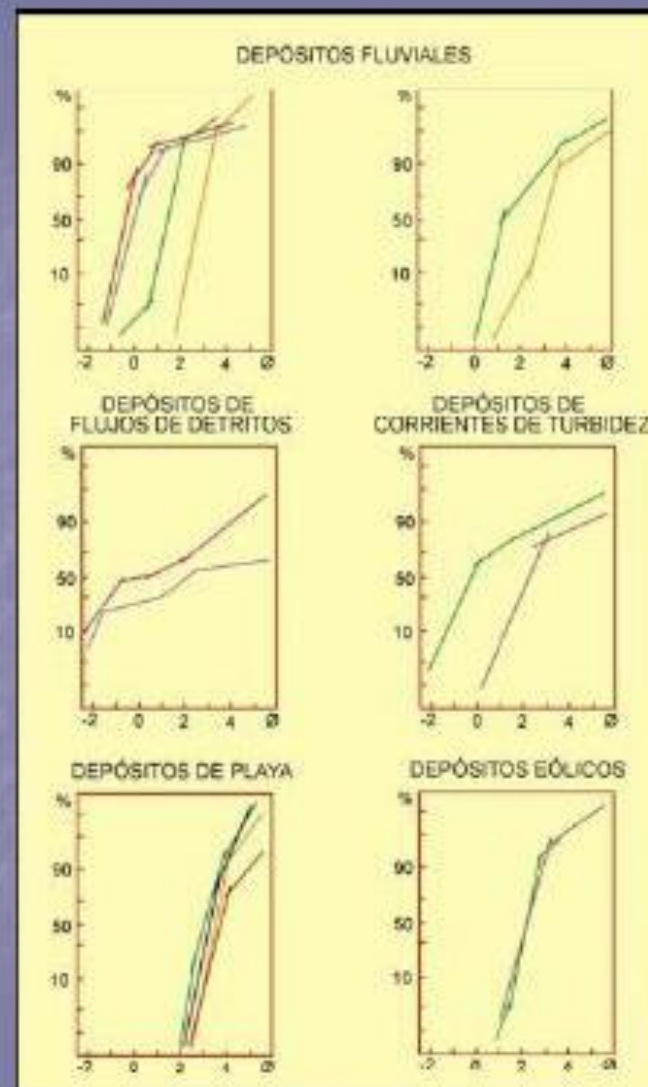
% escala de  
probabilidades

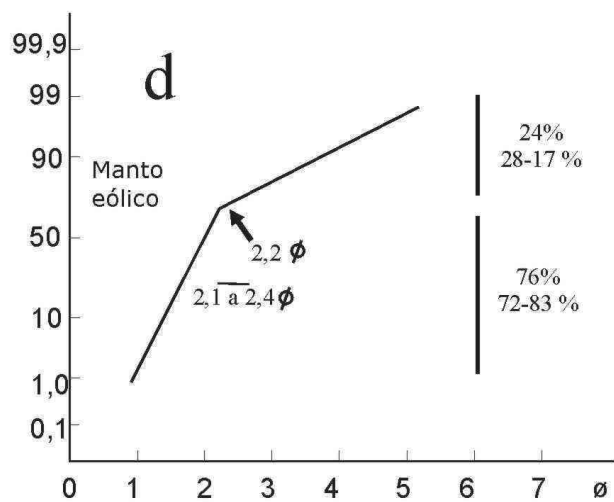
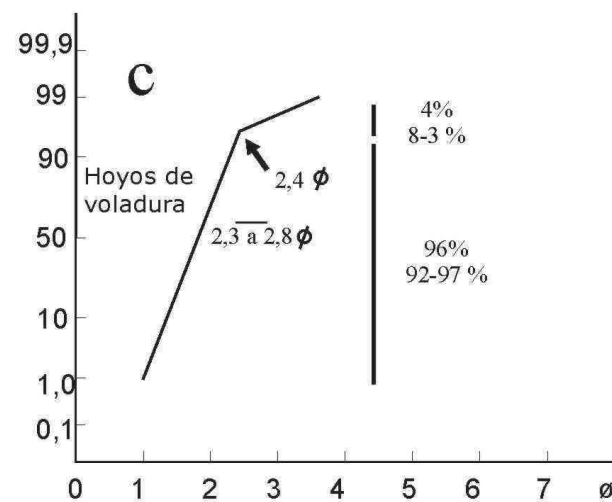
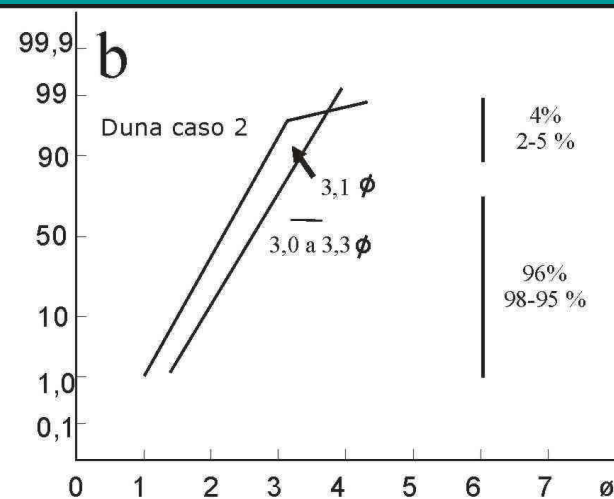
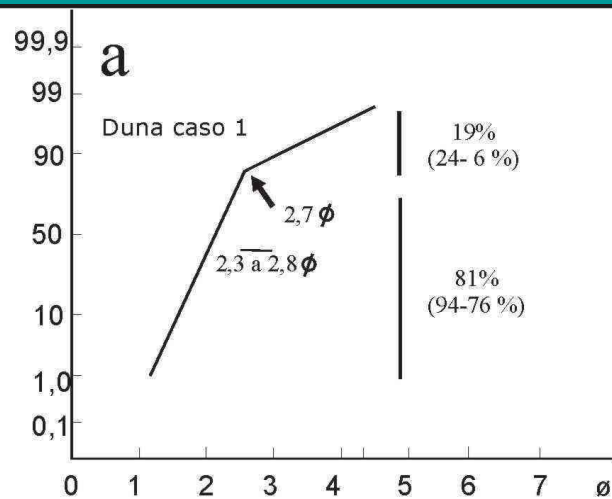


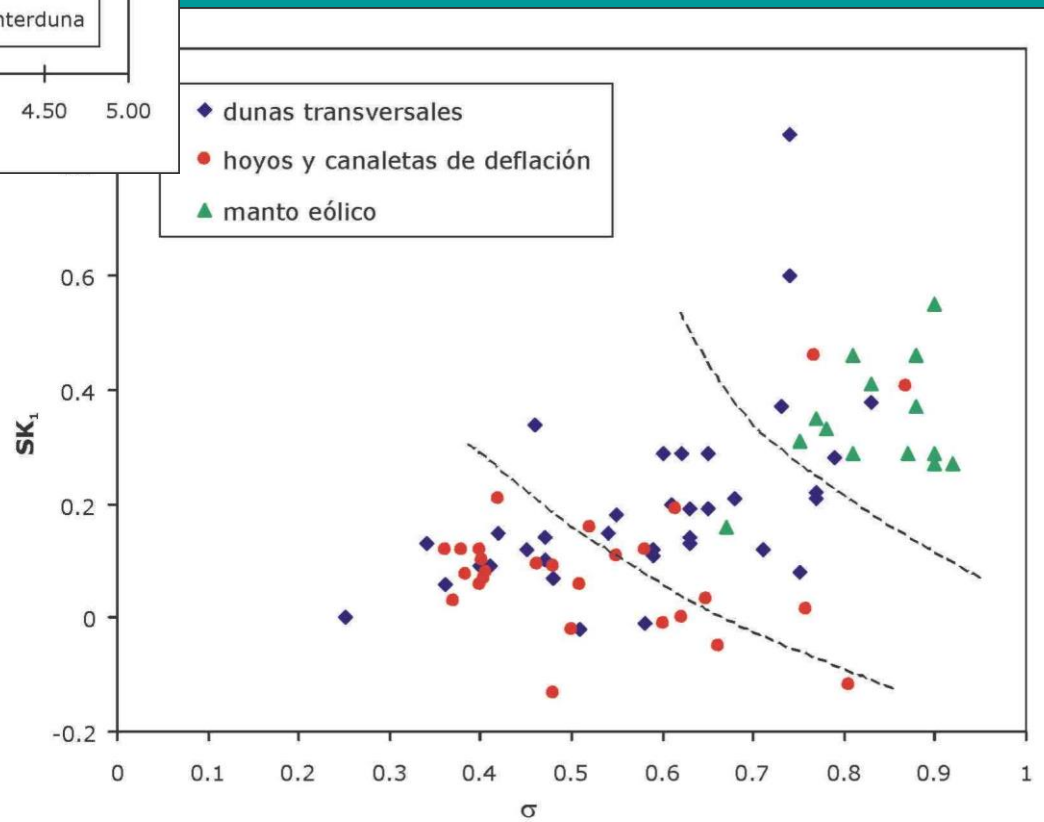
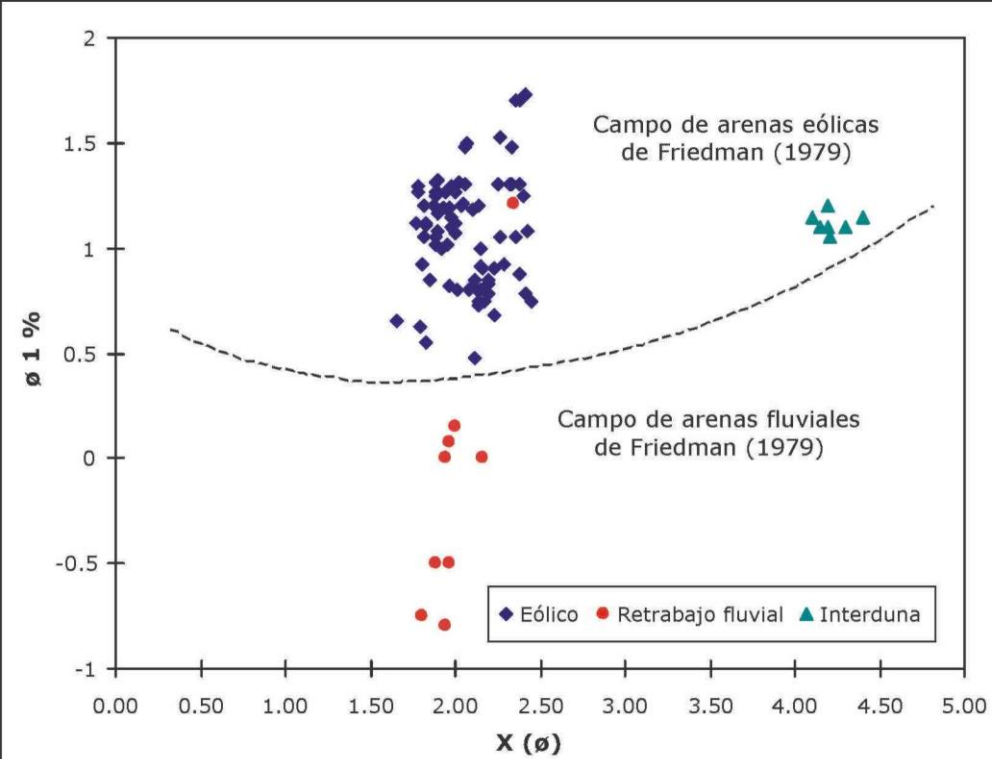


## LA DISTRIBUCIÓN ACUMULATIVA EN DISTINTOS TIPOS DE DEPÓSITOS SEDIMENTARIOS

Nótese las diferencias en el diseño de los gráficos.  
Reflexionar sobre los motivos de esas diferencias







| PARÁMETROS                      | AMBIENTES | EJEMPLOS  |
|---------------------------------|-----------|---|
| <i>Diagramas texturales</i>     |           |   |
| CM - CL                         | VA        | Passega (1964, 1967)  |
| Media vrs. desviación estándar  | R-DE-PM   | Friedman (1961), Moiola y Weiser (1968)   |
| Asimetría vrs. media            | R-MO-MD   | Stewart (1958)  |
| Asimetría vrs. media            | PM-DE     | Friedman (1961, 1967), Moiola y Weiser (1968)   |
| Asimetría vrs. media            | DEC-DED   | Moiola y Weiser (1968)  |
| Asimetría vrs. selección        | PM-R      | Friedman y Sanders (1978)   |
| Agudeza vrs. asimetría          | PM-DE-PD  | Mason y Folk (1958)   |
| Agudeza vrs. asimetría          | VA        | Sly (1978)  |
| Desv. de cuartiles vrs. media   | VA        | Buller y McManus (1972)   |
| Análisis modal                  | VA        | Wolcott (1988), Dias y Neal (1990)  |
| Diagramas de truncamiento       | VA        | Visher (1969), Limarino y Martínez (1991)   |
| Entropía                        |           | Forrest y Clark (1989)  |
| <i>Ecuaciones multivariadas</i> |           |   |
| Varios parámetros               | VA        | Sahu (1964), Allen et al. (1972), Landim y Frakes (1978), Spalletti (1979), Ghosh y Chatterjee (1994) |

Tabla 2.6: Algunos ejemplos de estudios de la distribución granulométrica aplicados a la caracterización ambiental. Referencias: VA=varios ambientes, R=fluvial (ríos), DE=dunas eólicas, PM=playas marinas, MO=marino sujeto a oleaje, MD=marino "tranquilo", PD=planicies de dunas.



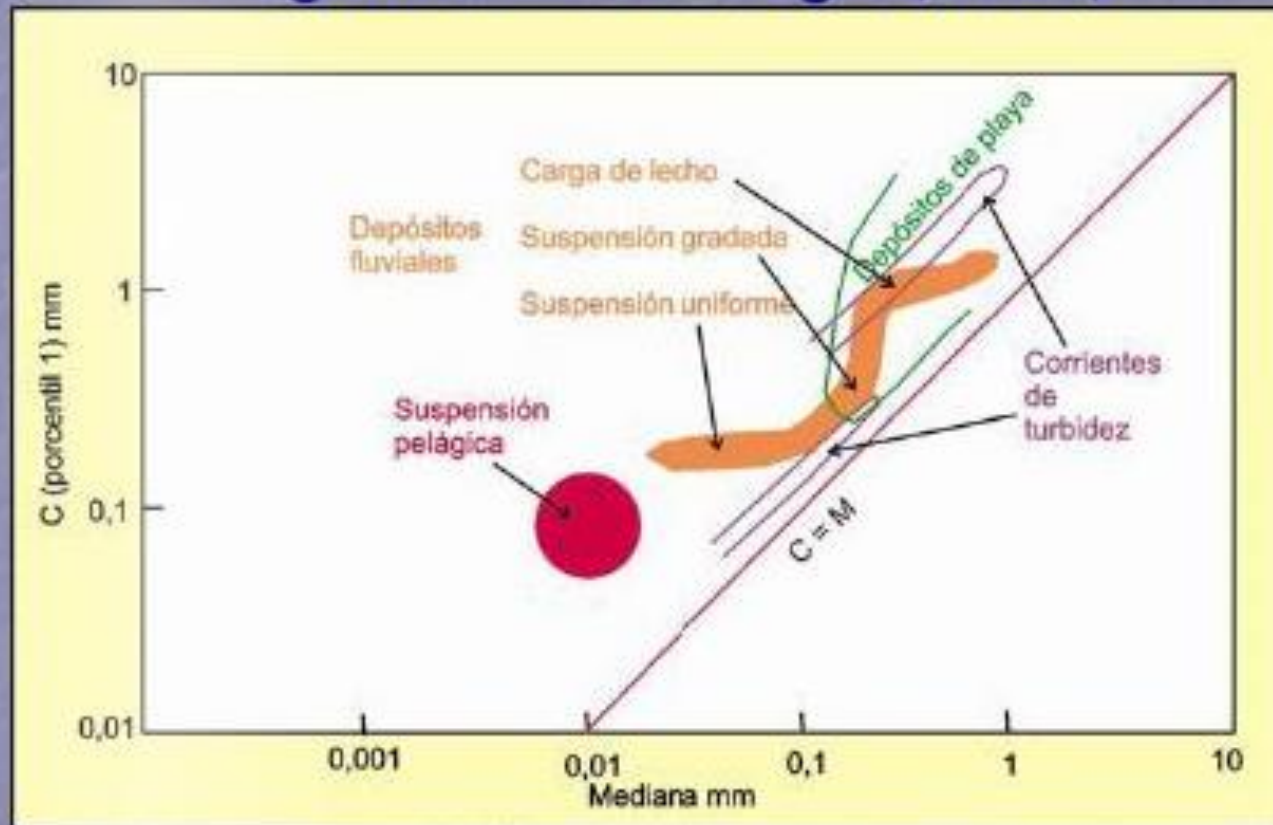
# ECUACIONES MULTIVARIADAS Y NÚMEROS DISCRIMINANTES

| ECUACIÓN  | NÚMERO DISCRIMINANTE | AMBIENTES                                 | AUTORES                |
|---|----------------------|---|------------------------|
| $R = -3,5688Mz + 3,7016\sigma_1^2 - 2,7066Sk_1 + 3,1135Kg$  | -2,7411              | $R < R_o$ eólico; $R > R_o$ playa         | Sahu (1964)            |
| $R = 0,2396Mz - 3,6445Sk_1 - 1,6351\phi_1 - 1,3777\sigma_1$ | -1,4186              | $R < R_o$ eólico; $R > R_o$ playa frontal | Spalletti (1979)       |
| $R = 0,00405Mz + 0,02381\sigma_1 - 0,05616Sk_1 + 0,10365Kg$ | 0,12809              | $R < R_o$ fanglomerado; $R > R_o$ till    | Landim & Frakes (1968) |
| $R = 0,7215Mz - 0,4030\sigma_1^2 + 6,7322Sk_1 + 5,2927Kg$   | 9,8433               | $R < R_o$ turbidita; $R > R_o$ fluvial    | Sahu (1964)            |

## Diagrama de Passega, 1964, 1977

### ANÁLISIS BIVARIADO Y RECONOCIMIENTO DE AMBIENTES Y PROCESOS SEDIMENTARIOS

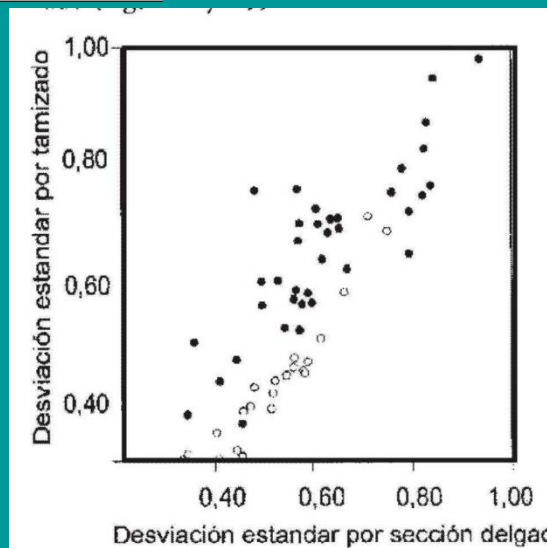
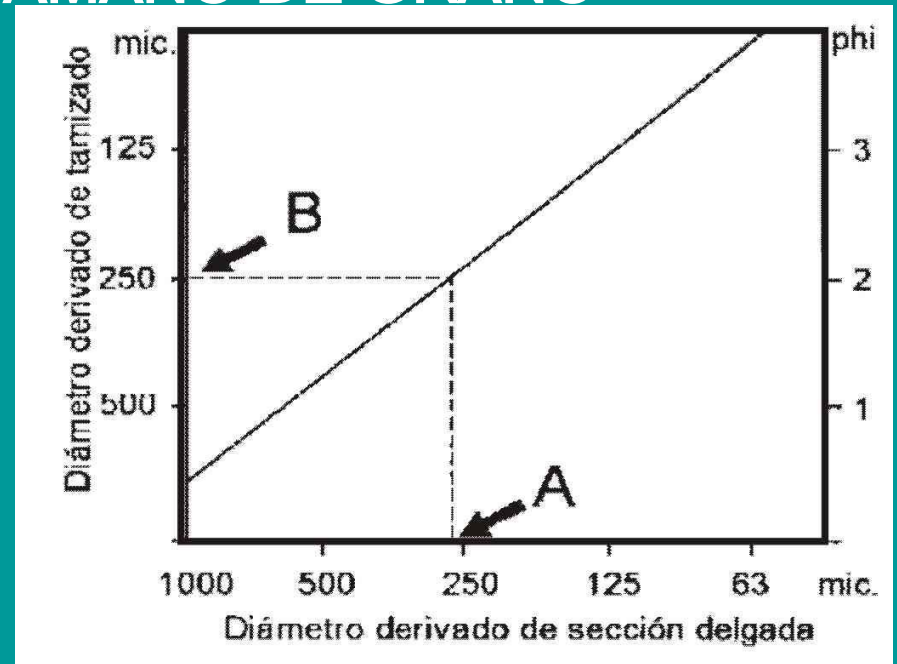
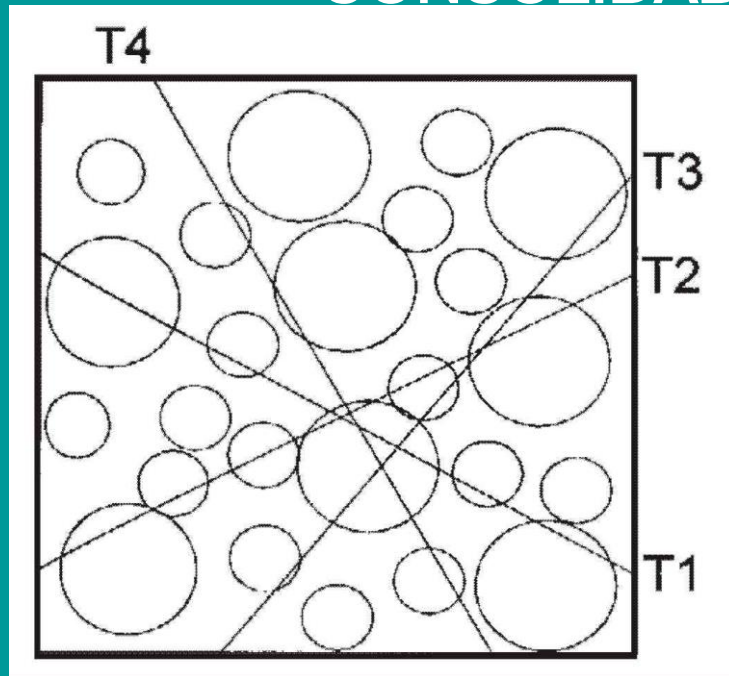
#### Diagrama de Passega (1964)



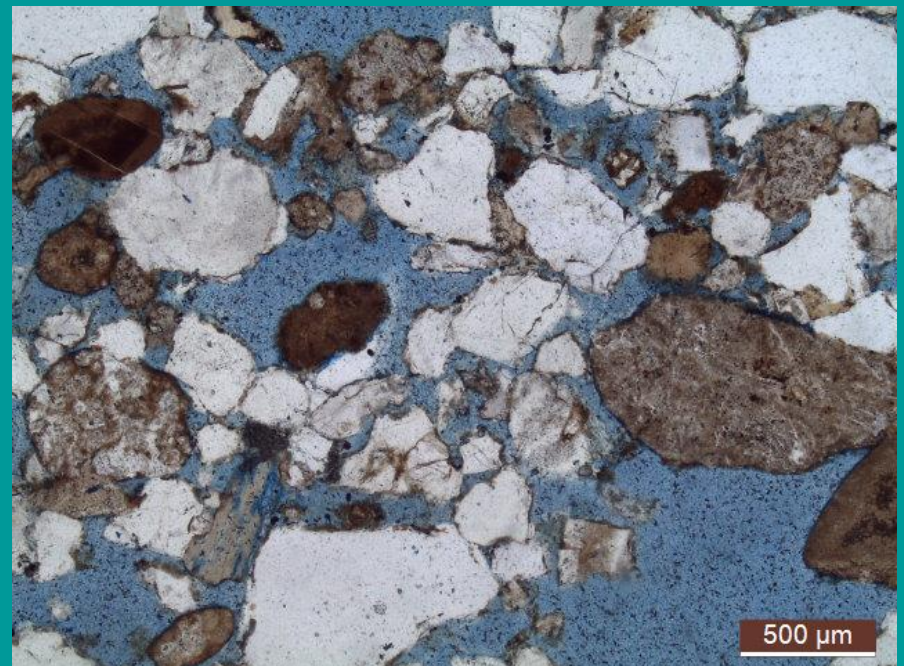
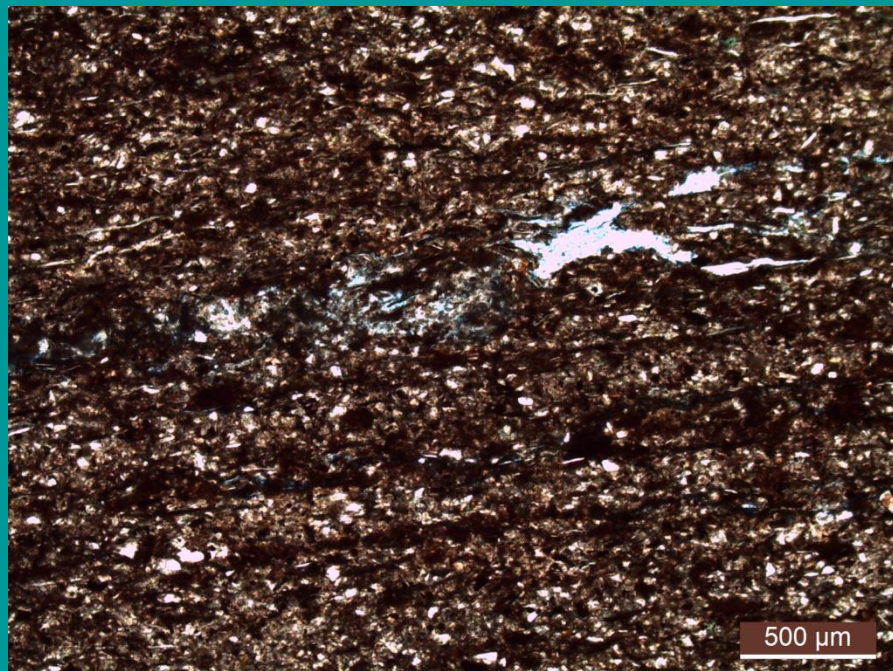
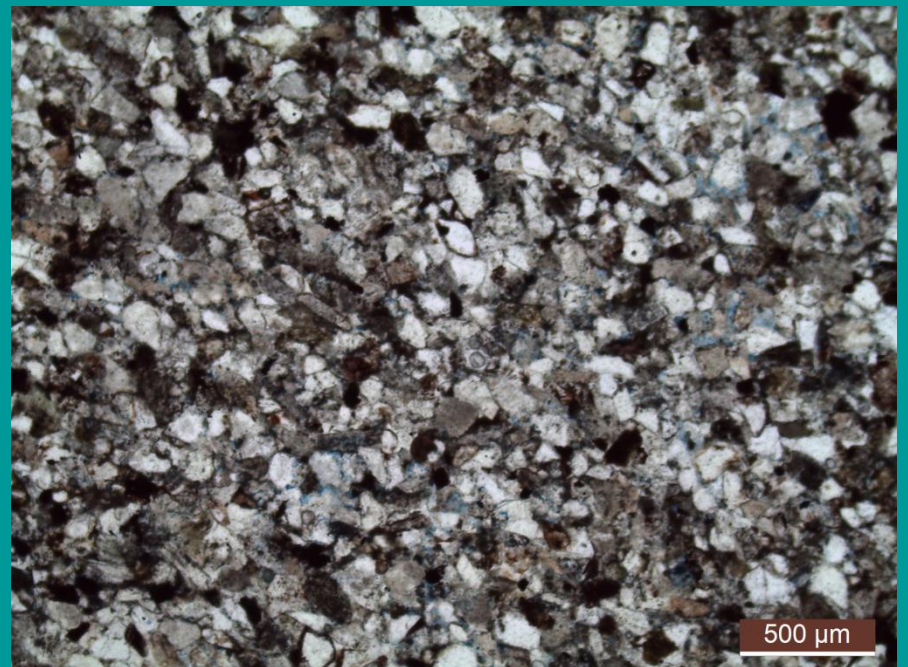
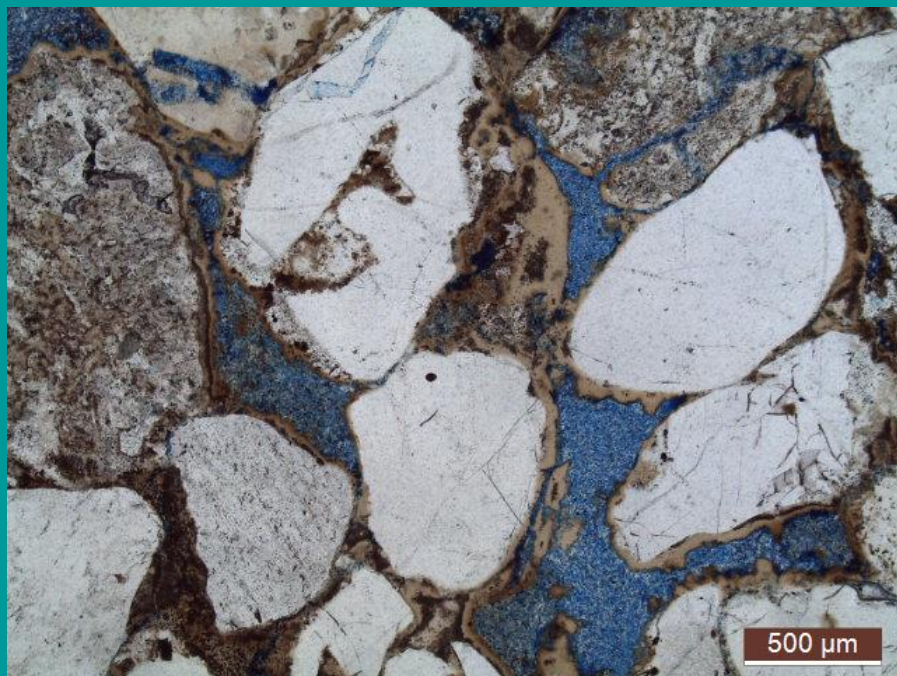
C representa a la competencia del agente de transporte,  
M a la energía cinética media del agente de transporte,  
y la distancia entre C y M es una medida aproximada de la selección.



# ESTUDIOS GRANULOMÉTRICOS EN ROCAS CONSOLIDADAS: TAMAÑO DE GRANO



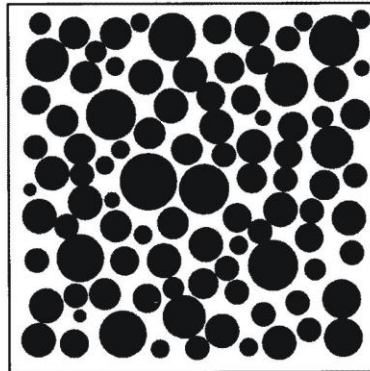




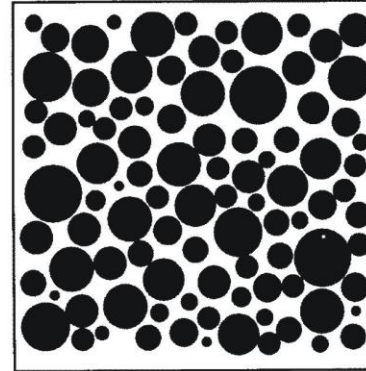


# ESTUDIOS GRANULOMÉTRICOS EN ROCAS CONSOLIDADAS: SELECCION

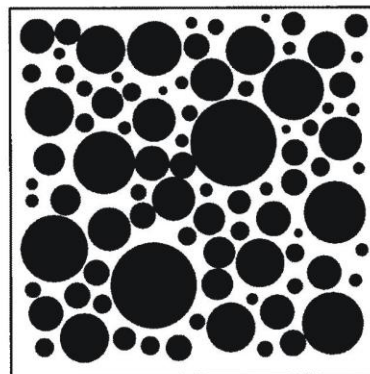
|                        |                             |
|------------------------|-----------------------------|
| Very well sorted       | 'Standard deviation' < 0.35 |
| Well sorted            | = 0.35–0.5                  |
| Moderately well sorted | = 0.5–0.71                  |
| Moderately sorted      | = 0.71–1.0                  |
| Poorly sorted          | = 1.0–2.0                   |
| Very poorly sorted     | > 2.0                       |



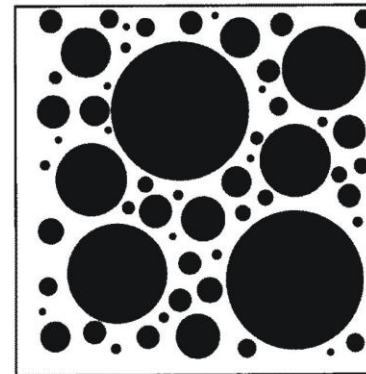
'Standard deviation' = 0.35



'Standard deviation' = 0.5



'Standard deviation' = 1.0



'Standard deviation' = 2.0

# FORMA DE CLASTOS

***Shape:*** redondez y forma en sentido bidimensional

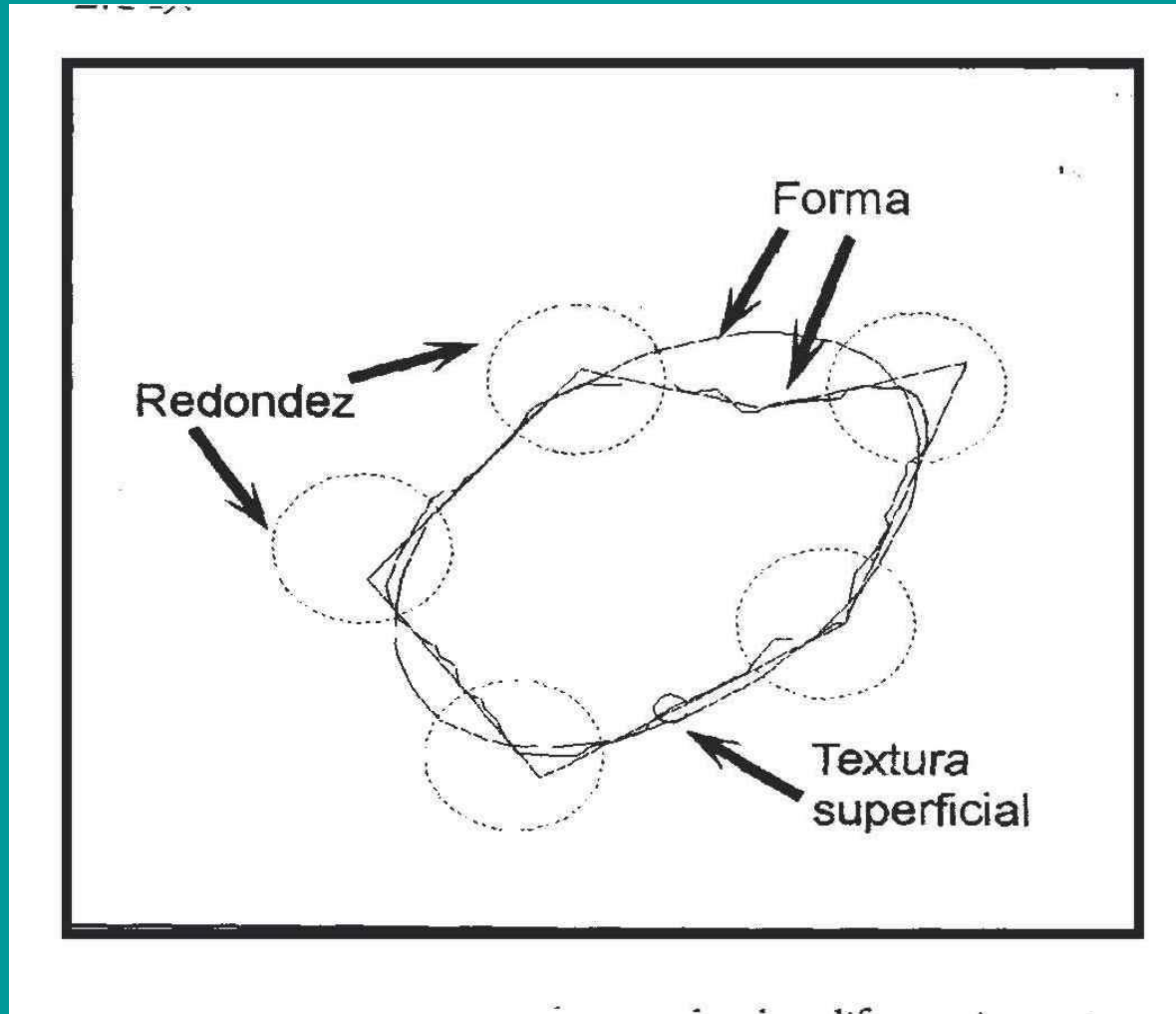
***Form:*** morfología tridimensional del clasto

**Forma en sentido bidimensional: redondez**

**&**

**Forma en sentido tridimensional: esfericidad,  
forma ppd. & texturas superficiales**

# FORMA DE CLASTOS



$$\text{Redondez } (\%) = \frac{r}{R} \times 100$$

# REDONDEZ

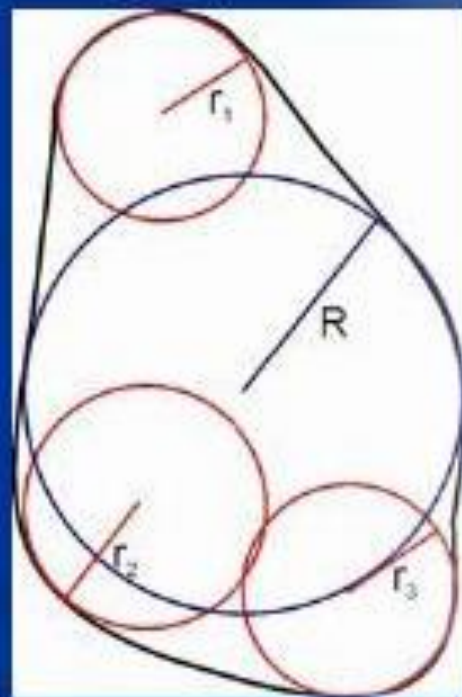
Se define como el **grado de curvatura** que presentan las **aristas y los vértices de un clasto**. Los clastos con un alto grado de curvatura son **redondeados** y los que poseen aristas y vértices agudos son **angulosos**.

El método tradicional para la determinación de la redondez fue establecido por Waddell (1932). Se efectúa sobre la máxima proyección del clasto (plano que contine a los ejes A y B).

La redondez se define como:

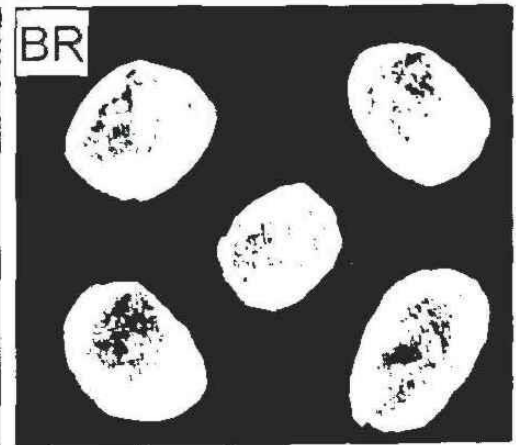
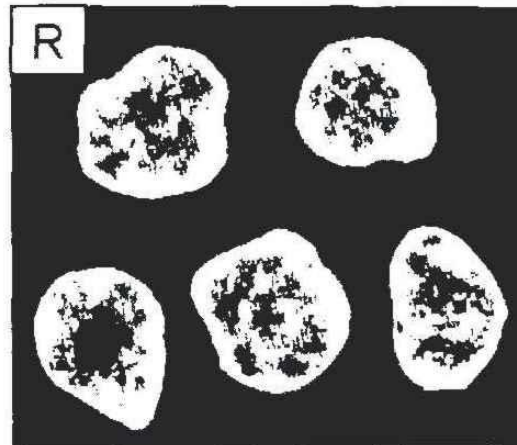
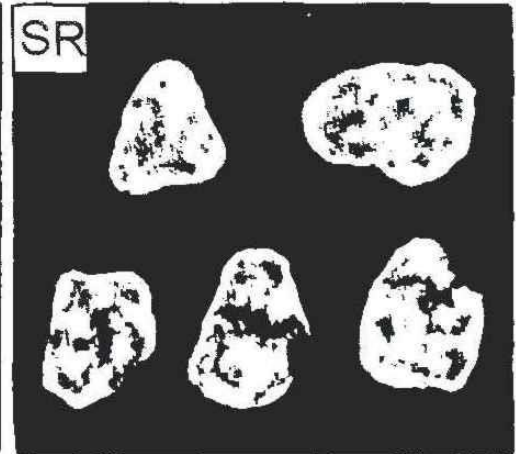
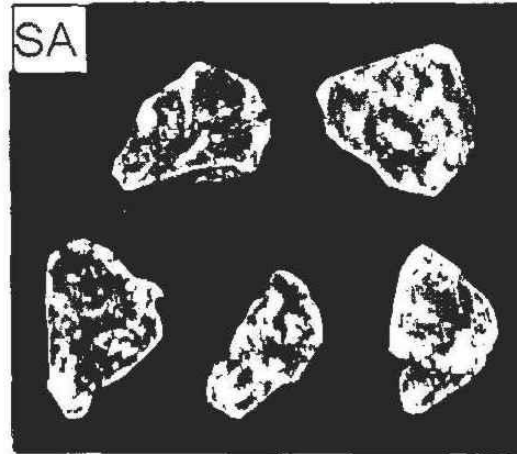
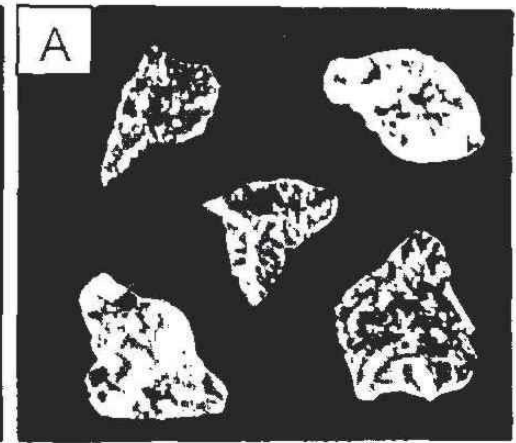
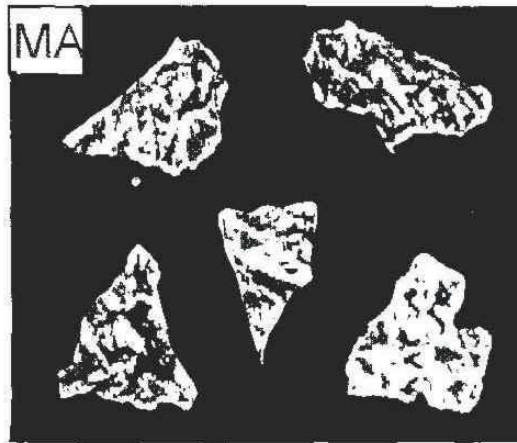
$$g = (\sum r_i / n_i) / R \leq 1,$$

o sea el valor promedio de los radios menores con respecto al radio del máximo círculo inscripto.



***Escala de comparación  
visual de Powers  
(1953)***

***Para redondez en  
arenas***





# LA ESCALA DE REDONDEZ

## Powers (1953)

| Intervalo de redondez | Valor medio del intervalo | Calificación   |
|-----------------------|---------------------------|----------------|
| 0,12 – 0,17           | 0,14                      | Muy anguloso   |
| 0,17 – 0,25           | 0,21                      | Anguloso       |
| 0,25 – 0,35           | 0,30                      | Subanguloso    |
| 0,35 – 0,49           | 0,41                      | Subredondeado  |
| 0,49 – 0,70           | 0,59                      | Redondeado     |
| 0,70 – 1              | 0,84                      | Muy redondeado |



# SEDIMENTOLOGÍA DE LA REDONDEZ

La fragmentación de las rocas por meteorización puede proveer clastos muy angulosos, pero también clastos redondeados (por ejemplo por escamación esferoidal).

La abrasión y desgaste de los clastos producen variaciones (incrementos) importantes en la redondez, aunque los efectos de ruptura pueden producir su decrecimiento.

Por tanto, la redondez se adquiere durante el transporte en agentes en los que el proceso de abrasión es efectivo (agua y aire).

Los depósitos producidos por flujos viscosos pueden tener clastos redondeados heredados de depósitos previamente formados por agentes newtonianos.

Los clastos más susceptibles al incremento de redondez son los de materiales blandos (por ejemplo carbonatos) y los de mayor granulometría.

En un agente de transporte lineal (por ejemplo fluvial) la redondez aumenta con la distancia. Este incremento es inicialmente muy elevado, pero luego tiende a estabilizarse alrededor de una cifra límite (alrededor de 0,8).

# CONCEPTO CLÁSICO DE ESFERICIDAD

La esfericidad de un clasto es una medida del grado de aproximación a la forma esférica.

Waddell (1933) definió a la **esfericidad operativa** como la relación que surge entre el volumen de un clasto y el de la esfera que lo circunscribe:

$$\Phi_0 = \sqrt[3]{\frac{\text{volumen del clasto}}{\text{volumen de la esfera}}}$$







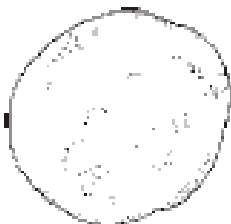





$$\Phi_0 = \sqrt[3]{\frac{\text{volumen del elipsoide}}{\text{volumen de la esfera}}}$$

$$\Phi_0 = \sqrt[3]{\frac{(\pi/6) ABC}{(\pi/6) A^3}}$$

$$\Phi_0 = \sqrt[3]{BC / A^2}, \text{ que puede expresarse como}$$

$$\Phi_0 = \sqrt[3]{BC / A^2} \leq 1$$

Recordar siempre que **A**, **B** y **C** son los **ejes ortogonales mayor, intermedio y menor** de un clasto.

|                 | Well rounded  | Rounded   | Subrounded   | Subangular  | Angular   | Very angular  |
|-----------------|---|---|--|---|---|---|
| Low sphericity  |  |  |  |  |  |  |
| High sphericity |  |  |  |  |  |  |

Redondez y esfericidad (Pettijohn, et al., 1987)



# GEOMETRICIDAD

La **geometricidad** mide el grado de semejanza que presentan los clastos con respecto a cuerpos geométricos patrones.

La geometricidad se define con el **diagrama de Zingg** (1935), sobre la base de los cocientes axiales  $B/A$  y  $C/B$ .

Recordar que **A**, **B** y **C** son los ejes ortogonales mayor, intermedio y menor de un clasto.

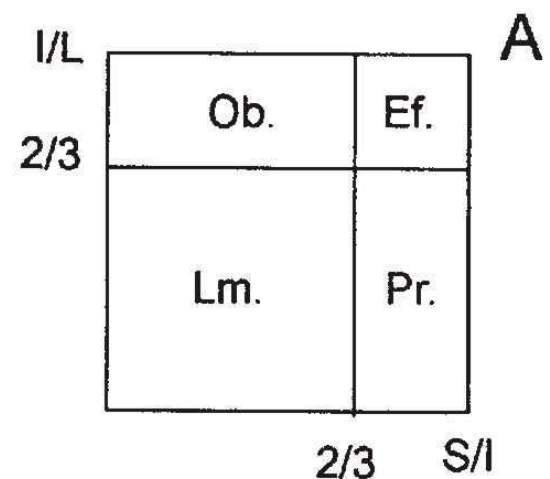
En el diagrama de Zingg se reconocen **cuatro geometricidades** básicas:

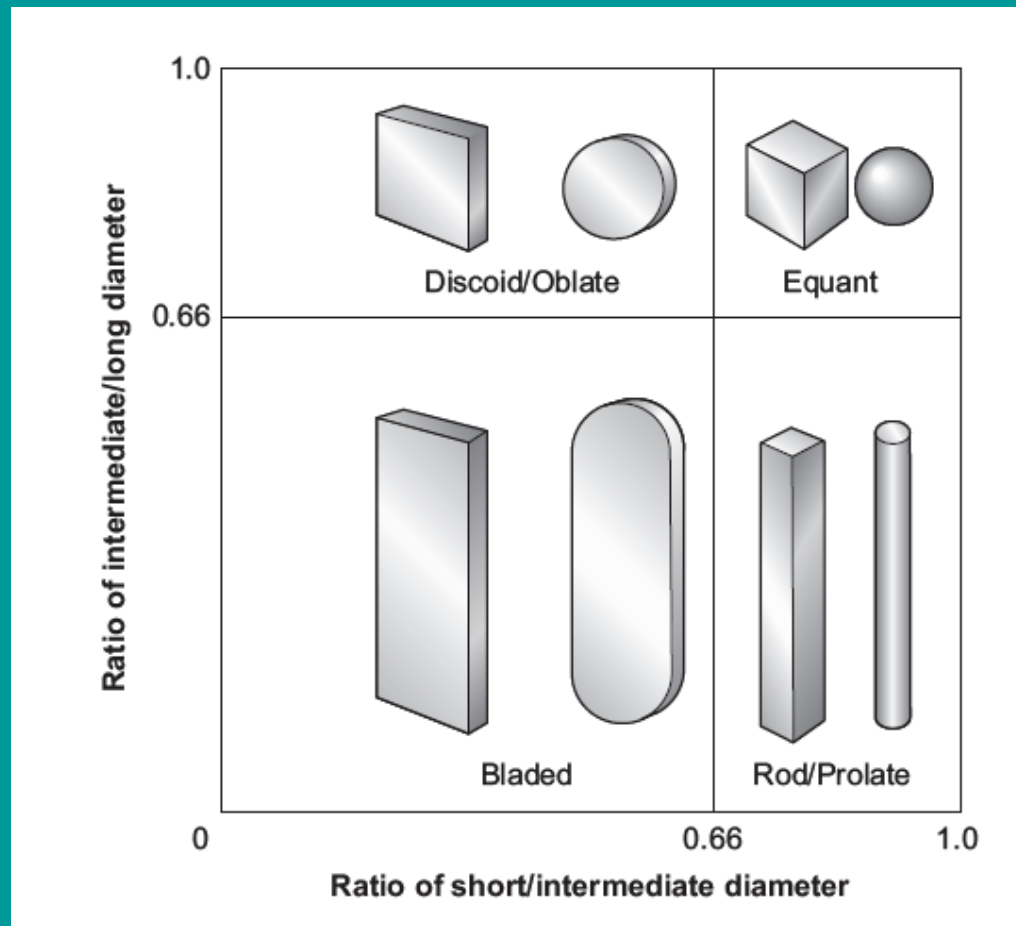
**Ecuante** ( $B/A$  y  $C/B$  mayores a 0,67)

**Prolada** ( $B/A$  menor a 0,67 y  $C/B$  mayor a 0,67)

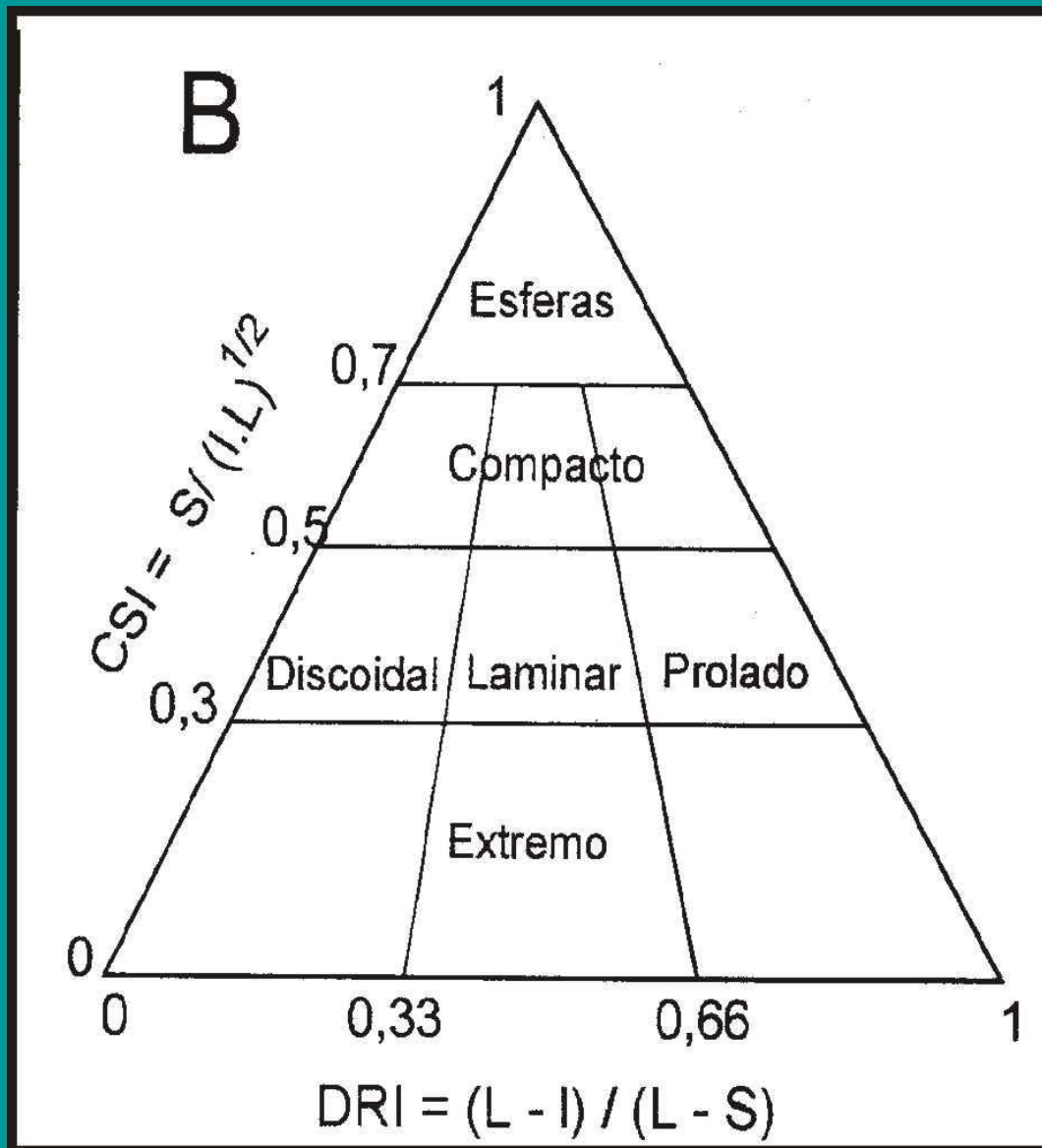
**Oblada** ( $B/A$  mayor a 0,67 y  $C/B$  menor a 0,67)

**Laminar** ( $B/A$  y  $C/B$  menores a 0,67)





***Diagrama de Zingg (1935)***



***Propuesta de Illenberber (1991)***

# OTRAS MANERAS DE DEFINIR LA GEOMETRICIDAD

## DIAGRAMA DE SNEED & FOLK (1958)





# CONTROLES SOBRE LA FORMA DE LOS CLASTOS

## ESTRUCTURAS DE LA ROCA MADRE

Las rocas masivas generan clastos de mayor ecuanticidad.

Las rocas foliadas, laminadas o esquistosas generan clastos aplanados.

## DUREZA

Los clastos blandos (por ejemplo carbonáticos) experimentan más rápidos cambios de forma que los duros (por ejemplo granito, cuarcita).

## PROCESOS DE TRANSPORTE

Los clastos cambian de forma por desgaste, astillado, aplastamiento y ruptura debido a procesos de colisión mutua y a interacción con el sustrato. Un agente efectivo para los cambios de forma es el que permite la colisión entre los clastos. Esos agentes son típicamente newtonianos (aire, agua).

El transporte traccional es mucho más efectivo en producir estos cambios de forma.

## TAMAÑO DE GRANO

Los cambios de forma son más efectivos en los clastos de mayor tamaño. Posiblemente esto está también relacionado con los mecanismos de transporte, ya que los individuos más gruesos son más susceptibles al transporte por tracción.



# LA FORMA DE LOS CLASTOS Y EL PROCESO DE TRANSPORTE SELECTIVO

Existe una relación directa entre la forma de los clastos y los mecanismos de transporte.

El fundamento es que la forma de los individuos puede retardar o acelerar la velocidad de caída o influir sobre la efectividad de los desplazamientos sobre el sustrato.

Así, el proceso de **transporte por tracción** es más efectivo en individuos con **geometrías ecuantas y proladas**, mientras que el de **suspensión** lo hace sobre clastos **oblados y laminares**.

Por tanto, la medida sobre la efectividad del transporte selectivo se hace sobre parámetros que discriminan entre las mencionadas geométricidades (Spalletti, 1976, 1985):

a) **La relación C/B**

b) **La relación de geométricidad:**

$$G = (\% \text{ ecuantas} + \% \text{ prolados}) / (\% \text{ oblados} + \% \text{ laminares})$$

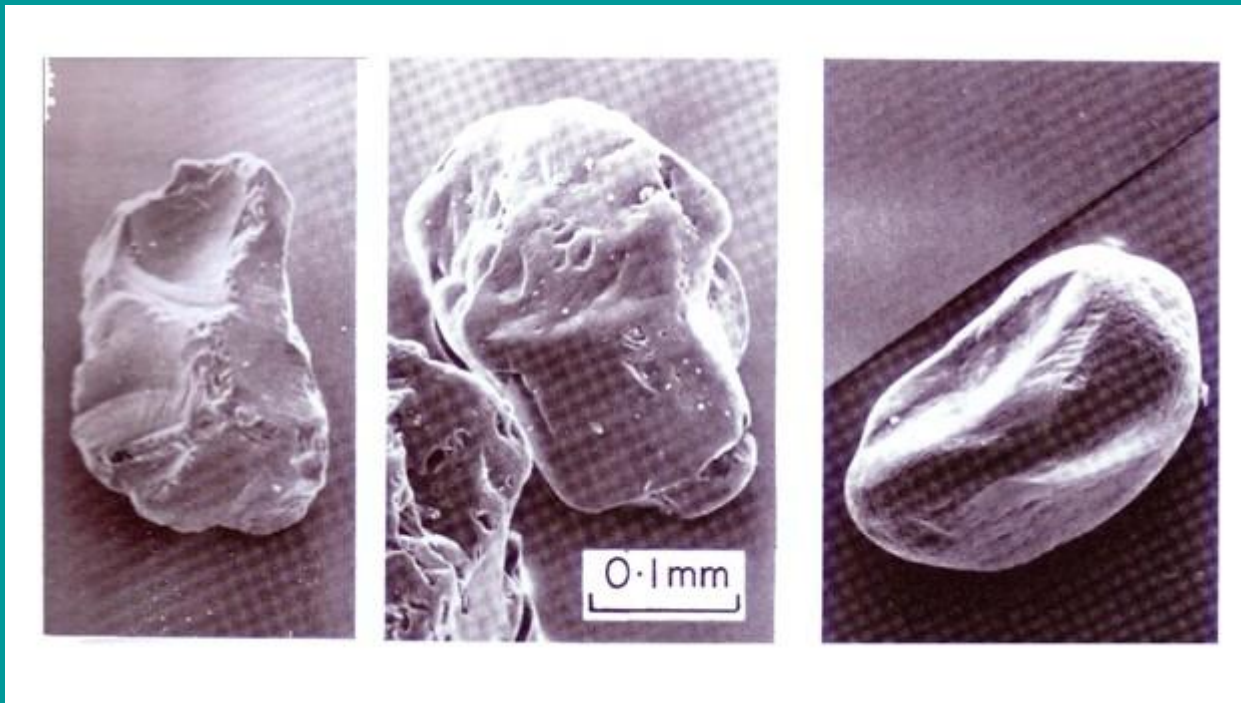
El incremento en el valor de ambos parámetros es indicativo de un proceso de transporte selectivo por tracción. A la inversa, su decrecimiento es una evidencia de transporte selectivo por suspensión.

# TEXTURAS SUPERFICIALES

Marcas de pequeña escala en la superficie de los clastos, producidas por acción mecánica o química.

Se estudian sobre todo en arenas utilizando microscopio Electrónico.

Se han definido grupos o suites que caracterizan tipos de transporte/ambientes



# ANÁLISIS DE LOS TIPOS DE EXTURAS SUPERFICIALES EN ARENAS

| Escala                   | Microtextura             | Ambiente o proceso sedimentario |         |         |        |
|--------------------------|--------------------------|---------------------------------|---------|---------|--------|
|                          |                          | Glacial                         | Fluvial | Litoral | Eólico |
| RASGOS MAYORES           | Alto relieve             | x                               |         | x       |        |
|                          | Relieve moderado         |                                 | x       | x       | x      |
|                          | Relieve bajo             |                                 |         | x       | x      |
| MARCAS NOTORIAS          | Fractura concoide        | x                               | x       | x       |        |
|                          | Crestas gradadas         | x                               |         |         | x      |
|                          | Escalones                | x                               | x       | x       | x      |
|                          | Bloques angulosos        | x                               |         | x       |        |
|                          | Placas imbricadas        | x                               |         |         | x      |
|                          | Bloques redondeados      |                                 | x       | x       | x      |
|                          | Tramos lisos             | x                               |         | x       |        |
|                          | Estrías rectas           | x                               |         | x       |        |
| MARCAS DE PEQUEÑA ESCALA | Escamaciones meandrosas  |                                 |         | x       |        |
|                          | Crestas rectas           | x                               |         |         |        |
|                          | Crestas meandrosas       | x                               |         |         | x      |
|                          | Incisiones               | x                               |         | x       |        |
|                          | Diseños en V             |                                 |         | x       | x      |
|                          | Oquedades ovoidales      | x                               |         |         |        |
|                          | Huecos en U              |                                 | x       |         |        |
|                          | Microfracturas concoides |                                 | x       |         |        |
|                          | Microarcos deprimidos    |                                 | x       |         |        |
|                          | Triángulos deprimidos    |                                 |         | x       |        |



## ***Algunos trabajos sobre tipos de texturas superficiales en diferentes ambientes***

| <b>TÓPICO</b>       | <b>EJEMPLOS</b>   |
|---------------------|---|
| <b>Glacial</b>      | Margolis y Kennett, 1971;<br>Rehmer y Hepburn, 1974;<br>Whalley y Krinsley, 1974;<br>Trombotto, 1985; Bull y Goudie, 1987 |
| <b>Eólico</b>       | Mazzullo y Ehrlich, 1983  |
| <b>Marino</b>       | Krinsley y McCoy, 1977; Hill y Nadeau, 1984; Hodel et al., 1988   |
| <b>Fluvial</b>      | Manker y Ponder, 1978; Bull y Goudie, 1987  |
| <b>Varios</b>       | Krinsley y Donahue, 1968;<br>Krinsley y Doornkamp, 1973;<br>Margolis y Krinsley, 1974; Higgs, 1979                        |
| <b>Piroclástico</b> | Heiken, 1972; Sheridan y Marshall, 1983; Kortemeier y Sheridan, 1983  |

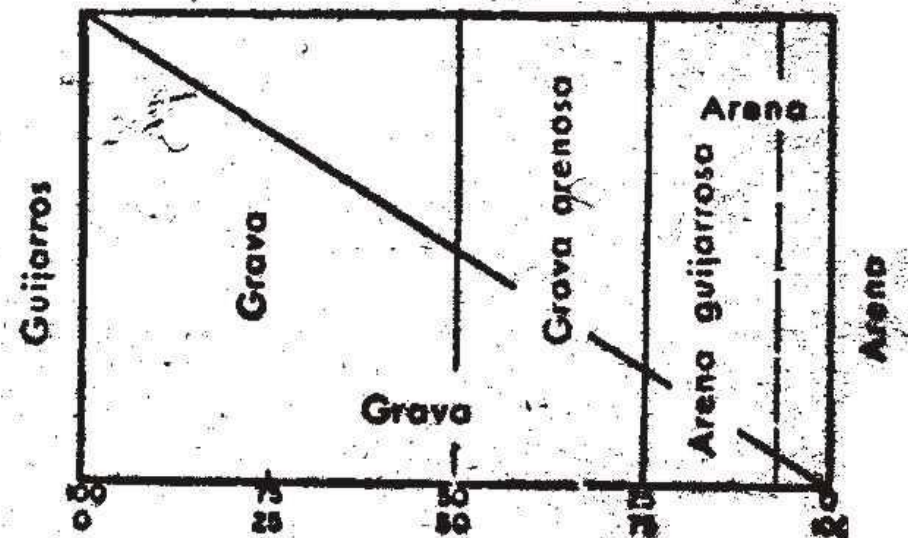
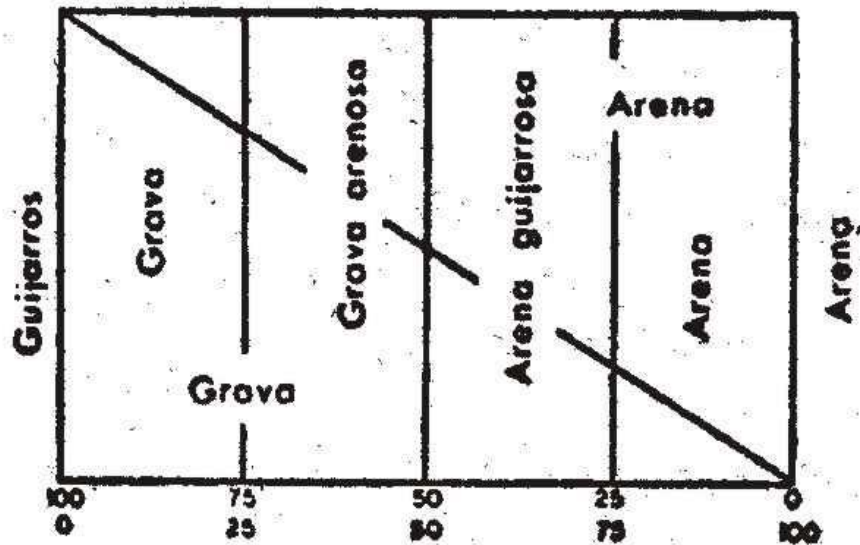
# PROPIEDADES DE LAS PARTÍCULAS SEDIMENTARIAS (CLASTOS)

- Tamaño de grano
- Redondez
- Esfericidad
- Forma
- Texturas superficiales
- Composición

# COMPOSICIÓN DE GRAVAS Y ARENAS

a. La textura

b. La mineralogía



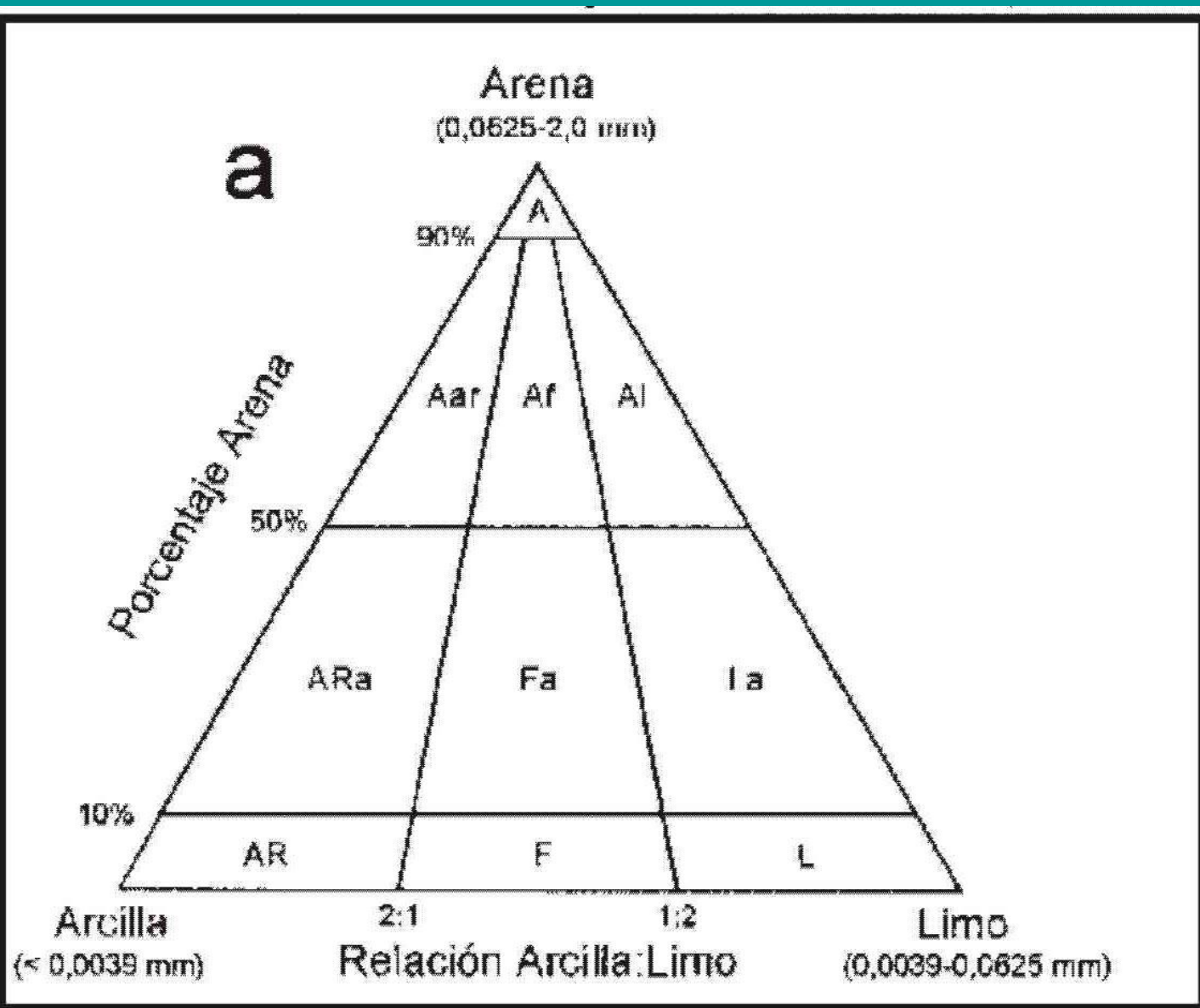
# COMPOSICIÓN MINERALÓGICA DE LAS GRAVAS

- CUARZO
- FRAGMENTOS LÍTICOS (ROCAS IGNEAS, METAMÓRFICAS O SEDIMENTARIAS)
- FELDESPATOS
- INTRACLASTOS
- BIOCLASTOS

# COMPOSICIÓN MINERALÓGICA DE LAS ARENAS

- Clasificación de mezclas (textura).
- Clastos de primer ciclo vrs. reciclados o policíclicos
- Clastos intra versus extracuenciales
- Clastos, matriz y pseudomatriz





# COMPOSICIÓN MINERALÓGICA PROMEDIO DE LAS ARENAS

- Cuarzo (65%): Monocristalino, policristalino, chert.
- Feldespato (10 – 15%): Ortosa, microclino, plagioclasa, sanidina.
- Fragmentos líticos (5 – 10%): sedimentitas, rocas metamórficas de bajo grado, de alto grado, igneas, vulcanitas, piroclastitas.
- Minerales pesados ( < 2%): Piroxenos, anfíboles, granate, rutilo.

# EL CONCEPTO DE MADUREZ

***Madurez mineralógica:*** Es una medida de la proporción de clastos ultraestables que muestra una roca.

***Madurez química:*** Se expresa en función de la proporción de sílice que muestra una arenisca.

***Madurez textural:*** Es una medida de la selección granulométrica.

***Madurez total:*** Término utilizado por algunos autores para expresar relaciones entre la madurez mineralógica y química o mineralógica y textural.

## madurez textural

**Inmaduro**

**submaduro**

**maduro**

**super  
maduro**

abundante matriz

matriz escasa o ausente

clastos poco seleccionados

clastos bien seleccionados

clastos angulosos a subredondeados

clastos  
redondeados

baja

discreta

alta

muy alta

**disipación total de la energía**