



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Manual de prácticas de
laboratorio de Petrología
Sedimentaria**

MATERIAL DIDÁCTICO

Que para obtener el título de

Ingeniero Geólogo

P R E S E N T A

Ulises Zeus Hernández Tapia

ASESOR DE MATERIAL DIDÁCTICO

M.E. Miguel Ildefonso Vera Ocampo



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2017

“Todo comienza con pequeñas acciones”

– Anónimo

“La medida de lo que somos es lo que hacemos con lo que tenemos”

– Vince Lombardi

Agradecimientos

Primero que nada, agradezco a mis padres, Rosalinda Tapia Mecalco y José Luis Hernández Martínez, quienes me han apoyado sin medida a lo largo de toda mi educación y me han guiado para ser la persona que hoy soy.

A mis hermanos, Luis y Javier que sin duda me han ayudado cuando lo he necesitado.

A mis abuelos, tíos y primos que han estado al pendiente de mi desempeño y que me dan ánimo constante para mi titulación.

Al Ingeniero, Maestro, casi Doctor, Miguel Ildefonso Vera Ocampo, que es mi maestro, consejero y amigo, quien me ha soportado por más de tres años y el día de hoy dirige el presente trabajo para titularme y comenzar a vivir la ingeniería.

A mis sinodales, el Maestro en Ciencias, Noé Santillán Piña, los Maestros en Ingeniería, Isabel Domínguez Trejo y Alberto Herrera Palomo, y el Doctor Carlos Eduardo Garza González-Vélez, quienes me han apoyado y motivado para realizar el presente manual.

A los profesores de todos los niveles educativos, que me compartieron sus conocimientos y que gracias a ellos hoy dan lugar a un profesionalista más, especialmente a todos aquellos profesores que también se preocuparon por ser maestros.

Por último, pero no menos importantes...

¡¡A mis amigos!! todas aquellas personas extraordinarias que me han acompañado y apoyado, durante estos años, con los que he convivido y con quiénes las prácticas de campo simplemente se convirtieron en experiencias y momentos fenomenales.

...Como diría Gustavo Cerati... “Gracias... totales”



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División:

DICT

Área/Departamento:

Ingeniería Geológica

Contenido

Introducción.....	1
Justificación	2
I. Antecedentes teóricos de sedimentología	3
I.1. Origen y evolución de las rocas sedimentarias	3
I.1.1. Transporte y agentes de transporte	3
I.1.2. Ambiente de depósito	4
I.1.3. Diagénesis.....	5
I.2. Conceptos básicos	5
I.2.1. Movilidad de los óxidos.....	5
I.2.2. Estabilidad mineral	6
II. Petrografía de rocas clásticas.....	7
II.1. Composición de las rocas sedimentarias clásticas	7
II.2. Textura de las rocas clásticas	9
II.3. Estructuras sedimentarias.....	20
III. Petrogénesis de rocas clásticas.....	22
III.1. Análisis de procedencia mineralógica	23
III.2. Ambiente tectónico	28
III.3. Diagénesis de rocas clásticas	30
IV. Petrografía de rocas carbonatadas	31
IV.1. Composición de rocas carbonatadas.....	31
IV.2. Textura de las rocas carbonatadas	33
IV.2.1. Texturas cristalinas	39
V. Petrogénesis de rocas carbonatadas.....	40
V.1. Análisis ambiental.....	41
V.2. Facies de sistemas carbonatados.....	46
V.3. Diagénesis de rocas carbonatadas.....	48



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División:

DICT

Área/Departamento:

Ingeniería Geológica

VI. Otras propiedades de las rocas	49
VI.1. Color	49
VI.2. Grado de consolidación	49
VI.3. Grado de meteorización.....	50
Prácticas de laboratorio	
Práctica 1. Análisis granulométrico de sedimentos clásticos	52
Práctica 2. Análisis de procedencia de sedimentos clásticos	66
Práctica 3. Petrología de conglomerados y brechas	75
Práctica 4. Petrología de areniscas	83
Práctica 5. Petrología de calizas	92
Recomendaciones	101
Referencias bibliográficas	103
Bibliografía complementaria.....	105
Anexos	
Anexo 1. Tablas para estimación visual de porcentajes	
Anexo 2. Papel semilogarítmico para curva acumulativa	
Anexo 3. Formato para el informe del análisis de procedencia de sedimentos clásticos	
Anexo 4. Formato para el informe de identificación e interpretación de conglomerados y brechas	
Anexo 5. Formato para el informe de identificación e interpretación de areniscas	
Anexo 6. Formato para el informe de identificación e interpretación de calizas y dolomías	



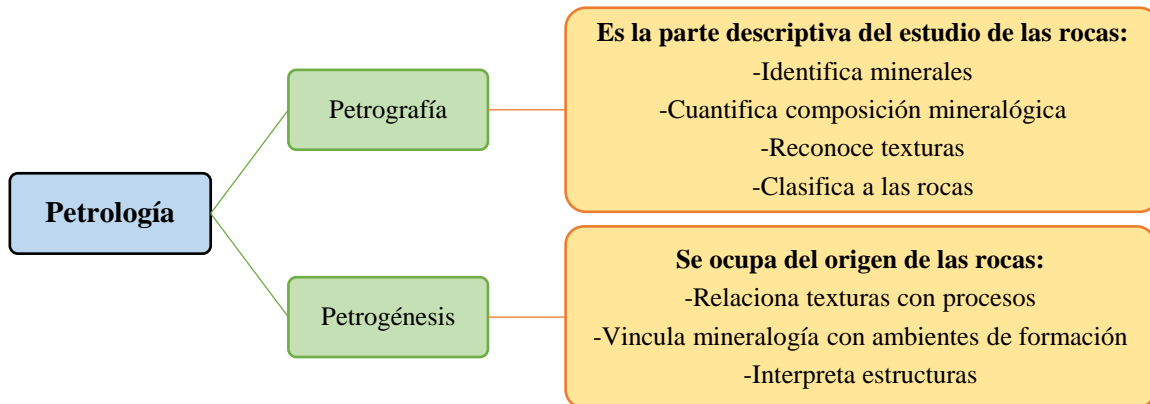
Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica

Introducción


La geología es la ciencia que estudia la historia de la Tierra, la petrología es una rama de la geología que estudia la génesis de las rocas y su descripción, por tanto, la petrología sedimentaria trata sobre la descripción e interpretación geológica de las rocas sedimentarias, se divide en petrografía y petrogénesis. La petrografía se encarga de describir y cuantificar los componentes. La petrogénesis se ocupa de interpretar el origen de las piedras al conocer los procesos que les dieron lugar.

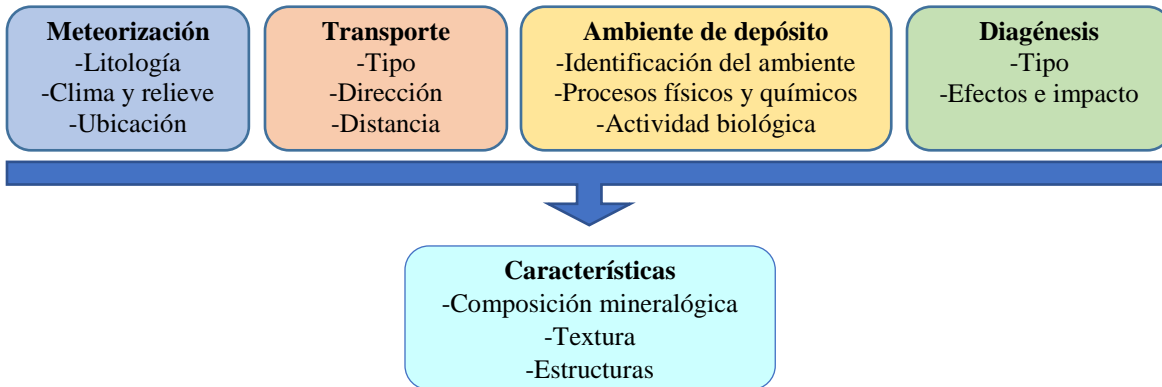


Esquema A.1 Ramas de la petrología y su alcance.

Como ya se mencionó, la petrografía describe los componentes de las rocas, por lo que, este manual está enfocado en la descripción de los componentes y textura de las rocas para su clasificación de acuerdo a la nomenclatura más utilizada en el medio ingenieril.

Con base en el estudio petrográfico de las características presentes en la roca, se interpreta la meteorización, el transporte, ambiente de depósito y la diagénesis para así establecer la génesis de la roca (petrogénesis).

	<h1>Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria</h1>	
Secretaría/ División:	DICT	Área/Departamento: Ingeniería Geológica



Esquema A.2 Procesos y características de las rocas

El ingeniero geólogo debe aprender a equilibrar estas dos ramas de la petrología y aplicarlas en la vida profesional. Si bien, la petrografía es un área que brinda habilidades para la identificación de las rocas, la petrogénesis ayuda a entender los procesos que les dieron origen y así cuantificar los recursos aprovechables económicamente asociados a las rocas sedimentarias.


Justificación

El presente trabajo fue elaborado como apoyo para la realización de las prácticas de laboratorio del curso de Petrología Sedimentaria, asignatura que se imparte en el séptimo semestre de la carrera de Ingeniería Geológica en la Facultad de Ingeniería. Éste se complementa con el material (ejemplares de roca, láminas delgadas, etc.) para su estudio en el laboratorio de petrología de dicha Facultad.

Este manual está enfocado para que los alumnos de la carrera de Ingeniería Geológica adquieran y desarrollen habilidades para la descripción de las características de las rocas sedimentarias y su posterior clasificación e interpretación geológica, así como determinar una posible aplicación ingenieril de las rocas estudiadas.

Para la interpretación de las características de las rocas, el manual incluye material adicional y referencias como son tablas de identificación de minerales, atlas de texturas de rocas (ígneas, metamórficas y sedimentarias), atlas de microfósiles, etc., algunas elaboradas con el fin específico para cada área de conocimiento y otras para su consulta en internet.

Las prácticas consideradas en este manual van desde la interpretación de sedimentos clásticos hasta la clasificación e interpretación de rocas clásticas y no clásticas especialmente las carbonatadas.

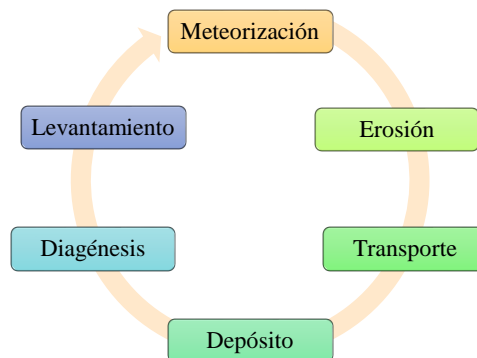
	<h1>Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria</h1>	
Secretaría/ División: DICT	Área/Departamento: Ingeniería Geológica	

I. Antecedentes teóricos de sedimentología

I.1. Origen y evolución de las rocas sedimentarias

El proceso de formación de las rocas sedimentarias inicia cuando las rocas preexistentes se meteorizan y erosionan formando sedimentos que posteriormente son transportados y depositados en sitios llamados “cuencas sedimentarias” en donde el sedimento es sepultado y es sometido a una serie de procesos diagenéticos que lo consolidan y compactan dando origen a las rocas sedimentarias.

Cuando las rocas sedimentarias son expuestas nuevamente debido a una erosión intensa o un levantamiento tectónico, son susceptibles de ser meteorizadas nuevamente y repetir los procesos. Esta secuencia de procesos se denomina “Ciclo sedimentario”.



Esquema A.3 Ciclo sedimentario

I.1.1. Transporte y agentes de transporte

El transporte es el movimiento de los granos de sedimento por acción de la gravedad, o la de algún otro medio, como el viento, el agua en forma de corrientes fluviales o marinas y el hielo. Las partículas pueden viajar en suspensión, arrastre, tracción o saltación de acuerdo con el tamaño de la partícula, tipo de transporte, la velocidad y la capacidad de carga.

Aunque la velocidad a la que se erosionan, transportan y depositan partículas en cada uno de estos medios, son objeto de estudio de la Sedimentología, es importante retomar estos conceptos ya que el transporte en condiciones especiales produce diversas texturas y estructuras sedimentarias que se conservan en las rocas y que al analizarlas se infiere como fueron estas condiciones de transporte y depósito.



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica

I.1.2. Ambiente de depósito

De acuerdo con Selley (1970) un ambiente de depósito está definido como un conjunto de variables físicas, químicas y biológicas que corresponden a una unidad geomorfológica de determinada forma y tamaño. Este ambiente puede ser un lugar de sedimentación, no depósito o erosión y en general, es una alternancia de estos procesos.

Existen distintas clasificaciones para los ambientes sedimentarios, la más común de ellas los ubica en tres depósitos primarios: continentales o terrestres, de transición y marinos. Estos a su vez se dividen en varios ambientes, que también son divididos en subambientes. En la tabla siguiente se muestra una clasificación simplificada de los ambientes de depósito.

Depósito primario	Subambiente
Continental	*Abanico aluvial *Corriente trenzada *Corriente meandriforme
	*Eólico Lacustre Glacial
Transición	*Deltaico *Playa/ isla de barrera *Estuario/ laguna Llanura de marea
Marino	*Planicie del delta *Frente del delta *Prodelta
	Plataforma continental **Arrecife orgánico Talud continental Mar profundo
*Depósito predominantemente siliciclástico **Deposito predominantemente carbonatado Ambientes no marcados con un asterisco(s) pueden ser sitios de depósito siliciclástico, carbonatado, evaporítico o mixto dependiendo de las condiciones geológicas.	

Tabla A.1 Clasificación simplificada de los ambientes de depósito. Modificado de Boggs, 2009.



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica

I.1.3. Diagénesis

La diagénesis involucra a todas las transformaciones que sufren los sedimentos como consecuencia de la acción conjunta de procesos físicos, químicos y biológicos, desde el momento de su depósito hasta el comienzo del metamorfismo o hasta que vuelven a ser expuestos a los efectos de la meteorización (Archer,2010). Estos procesos suceden a temperaturas y presiones propias de la superficie de la corteza terrestre.

I.2. Conceptos básicos

I.2.1. Movilidad de los óxidos

Con base en los estudios de Goldich (1938) y otros autores, se han logrado obtener los cambios químicos que ocurren durante la meteorización, mediante la comparación de la composición del sedimento meteorizado con respecto a la composición de la roca fresca de la que procede.

A partir de estos análisis se observa que el aluminio y el fierro permanecen inertes y son poco propensos para que viajen en solución cuando la roca es meteorizada, por otra parte, el calcio y el sodio son los primeros óxidos en perderse durante este proceso.

En la tabla siguiente se observa el orden en que se pierden los óxidos según varios autores.

Orden	Steidtmann (1908)	Leith y Mead (1915)	Goldich (1938)	Selley (1974)
1	CaO	CaO	Na ₂ O	CaO
2	MgO	Na ₂ O	CaO	Na ₂ O
3	Na ₂ O	MgO	MgO	MgO
4	K ₂ O	K ₂ O	K ₂ O	K ₂ O
5	SiO ₂	SiO ₂	SiO ₂	SiO ₂
6	Fierro	Fierro	Al ₂ O ₃	Fierro
7	Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Fierro	Al ₂ O ₃

Tabla A.2 Orden en que se pierden los óxidos en la meteorización. Modificado de Pettijohn, 1975.



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica

I.2.2. Estabilidad mineral

La estabilidad mineral se refiere a la estabilidad química y estructural en la que un mineral puede permanecer en equilibrio sin alterarse o disolverse, se relaciona en gran medida con la movilidad de los óxidos, de tal manera que los minerales que contienen Ca y Na en su composición son menos estables que aquellos que no los contienen.

Es importante destacar que la estabilidad mineral, está asociada a la resistencia a la disolución o descomposición de un mineral, mas no a su estabilidad mecánica, o resistencia a la abrasión. (Pettijohn, 1975)

Una de las secuencias más conocidas de estabilidad de los minerales comunes es la propuesta por Goldich (1938), esta secuencia se basa en el estudio del suelo producido por la meteorización de las rocas y tiene gran semejanza con la secuencia de cristalización de Bowen. (Figura A.1)

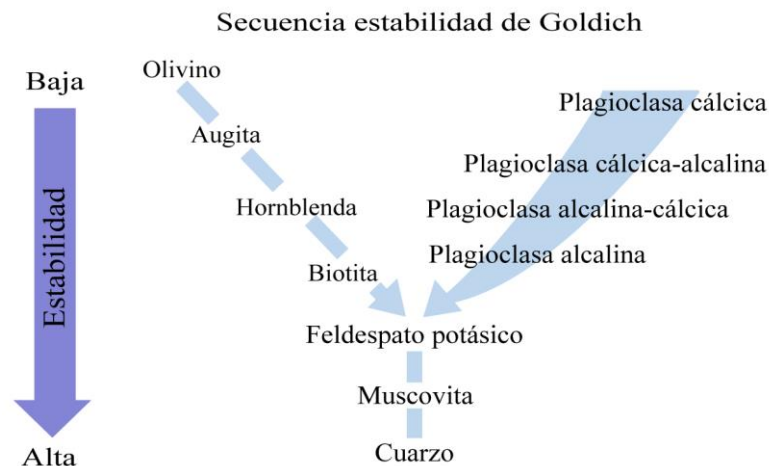


Figura A.1 Secuencia de estabilidad de los minerales de Goldich, 1938. Modificado de Pettijohn, 1975.

Por otro lado, autores como Pettijohn (1941) y Sindowski (1949) agruparon los minerales pesados de acuerdo al grado de estabilidad con base en el análisis de sedimentos antiguos y la pérdida selectiva de algunas especies minerales.

En la Tabla A.3 se muestra el nivel de estabilidad de los minerales pesados más comunes según Pettijohn (1983).



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica

Grupo	Nivel de estabilidad	Minerales más comunes
Ligeros	Intermedio	Muscovita, biotita (menos estable que la muscovita)
Pesados	Ultraestable	Zircón, turmalina, rutilo, anatasa (escasa)
	Intermedio	Apatita, epidota, granate, cianita, monacita, sillimanita, estauroлита, titanita, zoisita
	Inestable	Hornblenda, augita, actinolita, diópsida, hiperstena, andalusita, olivino (muy inestable)
Opacos	Intermedio	Hematita, ilmenita, magnetita

Tabla A.3 Minerales accesorios comunes y su estabilidad relativa de Pettijohn, 1983.
Modificado de Ulmer-Scholle et al., 2014.

II. Petrografía de rocas clásticas.

La petrografía en rocas clásticas consiste en la descripción y cuantificación de los componentes (minerales, líticos, etc.) y en la identificación y la descripción de la textura presente en la roca. Con base en estos atributos se nombra de acuerdo a las clasificaciones más comunes, siendo el caso de las rocas clásticas las establecidas por Pettijohn, Folk y Dott.

A continuación, se mencionan las generalidades y antecedentes para la descripción de la composición y textura de las rocas clásticas. La clasificación de este grupo de rocas se incluye en las prácticas 3 y 4 de este manual.

II.1. Composición de las rocas sedimentarias clásticas

La composición de un sedimento o roca clástica se asocia principalmente a la durabilidad y estabilidad química y física de sus componentes. Por ello se encuentra predominantemente representada por cuarzo, feldespato y fragmentos de roca, aunque también es común encontrar micas, minerales pesados y otros minerales.

Dependiendo del tamaño de grano, presente en la roca, la identificación de estos componentes puede realizarse a simple vista o con ayuda de una lupa, si el tamaño de grano es muy fino la identificación deberá realizarse al microscopio petrográfico, donde se apoyará con las propiedades ópticas de los minerales.

Para clasificar a los fragmentos de roca se hará énfasis en la textura, tamaño de grano y color. La clasificación debe ser simple y no debe ser muy específica ya que pueden faltar características que se perdieron durante el proceso sedimentario.

La identificación depende mucho de la experiencia y habilidad de la persona que analiza, se recomienda ampliamente tener conocimientos de mineralogía, mineralogía óptica, petrología ígnea, petrología metamórfica y las bases de petrología sedimentaria.



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica

La cuantificación de componentes se debe realizar mediante la estimación visual de porcentajes con ayuda de tablas comparativas que se encuentran en el Anexo 1 de este manual. También se puede realizar con contador de puntos, así como con otros métodos (por ej. Descentrado de objetivos, ocular reticulado, etc.). En la Tabla A.4 se mencionan los principales componentes clásticos presentes en los sedimentos terrígenos y rocas sedimentarias.

Principales componentes clásticos de los sedimentos y rocas sedimentarias (conglomerados, areniscas y lutitas)	
Minerales	
Cuarzo	Cuarzo monocristalino y policristalino
Feldespato	Feldespato-K y plagioclasas
Minerales arcillosos	Caolinita, illita, esmectita, clorita y sepiolita
Material glauconítico	Comúnmente mezcla mineral, incluyendo glauconita
Micas	Muscovita (sericita), y biotita
Carbonatos	Calcita, dolomita, siderita y ankerita
Evaporitas	Yeso, anhidrita, y otros
Minerales pesados (no opacos)	Gran cantidad de minerales comunes formadores de roca con gravedad específica >2.9
Minerales pesados (opacos)	Hematita, limonita, goethita, magnetita, ilmenita, leucoxeno, pirita, marcasita.
Zeolitas	Producto de alteración común de vidrio volcánico
Material biogénico y orgánico	
Materia esquelética calcárea	Foraminíferos, gasterópodos, equinodermos, etc.
Materia esquelética silíceo	Radiolarios, dinoflagelados, diatomeas
Material fosfático	Incluyendo la apatita, colofano (conodontos, braquiópodos)
Materia orgánica	Incluye palinomorfos, kerógenos, macerales
Fragmentos de roca*	
Rocas ígneas	Incluye todos los tipos de rocas plutónicas, hipabísales y volcánicas
Rocas metamórficas	Incluye todos los tipos de rocas metamórficas
Rocas sedimentarias	Incluye todos los tipos de rocas sedimentarias

Tabla A.4 Principales componentes de los sedimentos y rocas sedimentarias (conglomerados, areniscas y lutitas). Modificado de Stow 2006.



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica

II.2. Textura de las rocas clásticas

La textura de rocas clásticas de manera general está constituida por: el esqueleto, la matriz o cementante y la porosidad. La Figura A.2 esquematiza la relación entre estos componentes.

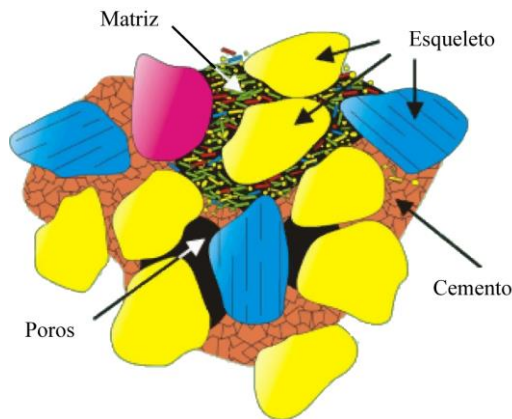


Figura A.2 Esquema de la textura de una roca clástica. Modificado de Atlas de Petrología Sedimentaria. Disponible en: <http://webs.ucm.es/info/petrosed/index.html>.

❖ Esqueleto

Son los clastos o granos que se asocian a la parte rígida de una roca sedimentaria clástica de tal manera que forman el armazón. En función del tamaño de los clastos que conforman el esqueleto se diferencian tres grupos de depósitos clásticos consolidados (rocas): conglomerados (clastos mayores a 2 mm), areniscas (clastos de 2 a $1/16$ de milímetro), y lutitas (clastos menores a $1/16$ de milímetro); y sus correspondientes términos no consolidados (sedimentos): gravas, arenas, limos /arcillas respectivamente.

Cuando los clastos están en contacto y son el soporte de la roca se llama clasto-soportado. Si estos son pocos y casi no se tocan, está soportado por la matriz y se llama matriz-soportado (Boggs, 2009). A continuación se mencionan y describen los parámetros texturales necesarios para la observación del esqueleto de las rocas clásticas:

▪ Parámetros texturales

El término textura es asociado a los aspectos geométricos de los distintos componentes de un sedimento o roca. El tamaño de grano, la selección o clasificación, la forma, la redondez, la orientación, el empaque, la madurez y la porosidad son los principales aspectos para describir la textura de una roca sedimentaria clástica. Los atributos texturales ayudan a interpretar el ambiente de depósito, la distancia y agente de transporte. A continuación se describen estos parámetros:



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica


1. Tamaño de grano

Es uno de los parámetros más importantes en el estudio de sedimentos y rocas sedimentarias. Las escalas de tamaño surgen como resultado de los estudios de sedimentos realizados por Udden (1914) y Wentworth (1922). Posteriormente, Krumbein (1934) estableció una escala phi (Φ), donde: $\text{phi} = -\log_2 d_{[\text{mm}]}$, donde cada límite textural de Wentworth es un número entero.

En la Tabla A.5 se muestran las clases de tamaños para sedimentos terrígenos de acuerdo a Wentworth (1922) y Krumbein (1934).

Milímetros (mm)	Escala Phi (Φ) Krumbein	Clases de tamaño de Wentworth	
4096	-12	Bloque	Gravas
256	-8	Canto	
64	-6	Guijarro	
4	-2	Gránulo	
2	-1	Arena muy gruesa	
1	0	Arena gruesa	Arenas
1/2 — 0.5	1	Arena media	
1/4 — 0.25	2	Arena fina	
1/8 — 0.125	3	Arena muy fina	
1/16 — 0.0625	4	Limo grueso	
1/32 — 0.0312	5	Limo medio	Limos
1/64 — 0.0156	6	Limo fino	
1/128 — 0.0078	7	Limo muy fino	
1/256 — 0.0039	8		
0.00006	14	Arcilla	Arcillas

Tabla A.5 Clasificación granulométrica de los sedimentos de Wentworth (1922) y Krumbein (1934).
Modificado de Ulmen-Scolle (2014).

	<h1>Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria</h1>
Secretaría/ División: DICT	Área/Departamento: Ingeniería Geológica

También existen otros términos descriptivos de tamaño que han sido propuestos para reemplazar los términos comunes como grava, arena y arcilla. En la tabla siguiente pueden observarse dichos términos.

Textura	Términos comunes	Términos derivados del griego	Términos derivados del latín
Grueso	Grava (gravillento)	Sefita (sefítico)	Rudita (rudáceo)
Mediano	Arena (arenoso)	*Sammita (sammítico)	Arenita (arenáceo)
Fino	Arcilla (arcilloso)	Pelita (pelítico)	Lutita (lutáceo)

Tabla A.6 Términos descriptivos de tamaño de Grabau, 1913. Modificado de Pettijohn, 1975. *Algunos autores incluyen los limos gruesos dentro de este grupo.

2. Clasificación (selección)

Es la medida de la dispersión en el tamaño del sedimento, numéricamente corresponde a la desviación estándar. Cuando el tamaño del sedimento es muy variable se dice que este se encuentra muy pobremente clasificado tendrá una desviación estándar mayor y cuando el tamaño de los clastos es muy similar, se dice que el sedimento se encuentra muy bien clasificado, con una desviación estándar menor.

La clasificación refleja los niveles de energía del agente de transporte y el grado de retrabajo. Se estima visualmente empleando la clasificación de Compton (1962). (Figura A.3)

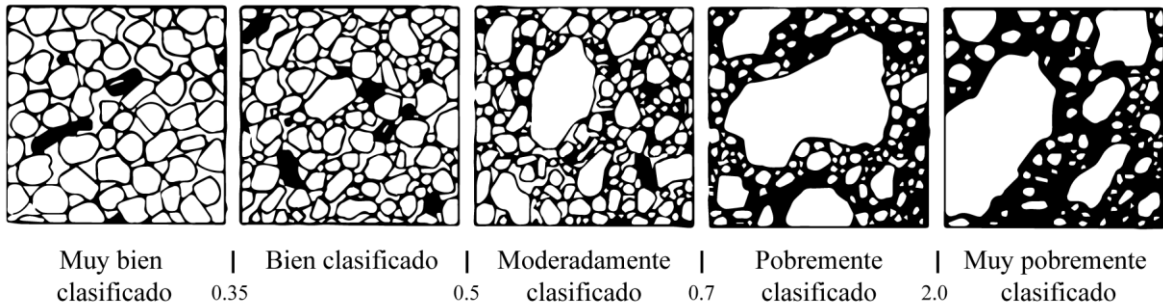


Figura A.3 Patrón para la estimación visual de la clasificación y sus términos descriptivos (clases) de Compton, 1962. Los números en la parte inferior corresponden a valores de desviación estándar. Modificado de Stow, 2006.



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica

3. Forma

Es la relación que guardan entre si los diámetros de los tres ejes principales de una partícula (largo, intermedio y corto). Esta característica es determinada al comparar con la clasificación cuantitativa de Zingg (1935). En la Figura A.4, se observan las formas definidas por Zingg (1935) a partir de las relaciones entre sus diámetros.

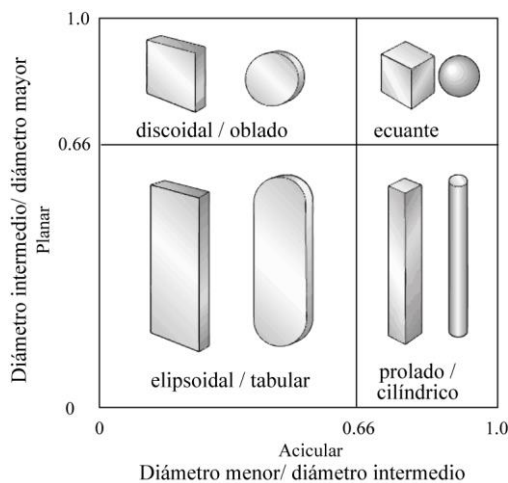


Figura A.4 Forma de los clastos de Zingg, 1935. Modificado de Nicols, 2009.

A partir de su forma es posible interpretar la forma original de un clasto, ya que, la forma final de los clastos depende de la forma inicial de la partícula. En la Figura A.5 se muestran las formas principales de los clastos y su interpretación sobre el posible origen.











Forma	Interpretación
 esférica  ecuante	Proveniente de rocas de composición y estructura uniforme (granito, dolerita, arenisca, gneiss, etc)
 tabular  discooidal	Proveniente de rocas con estratificación muy delgada y minerales aplanados (muchas rocas sedimentarias, micas)
 prolada  tubular  oblada	Proveniente de esquistos y algunas rocas metamórficas, también de minerales elongados (esquistos y algunos gneisses)
   biogénica (varias)	Proveniente de fuentes biogénicas primarias o secundarias

Figura A.5 Principales formas de las partículas y la interpretación sobre su procedencia. Modificado de Stow, 2006.



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica

4. Esfericidad

Es la medida de aproximación de una partícula a una esfera. La esfericidad es una característica heredada de la forma original por lo que las lajas pueden llegar a ser redondeadas con el tiempo, pero permanecer siempre con forma discoidal. Cuando es una esfera perfecta la esfericidad es 1.0, y cualquier otra forma tendrá un valor de esfericidad menor a este (Figura A.6).

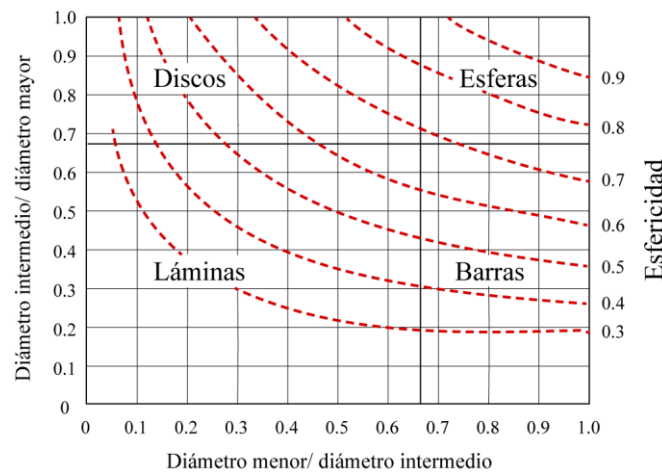



Figura A.6 Esfericidad expresada en valores de 0.3 a 0.9 asociado con la forma de los clastos de Krumbein and Sloss (1963). Modificado de Pettijohn, 1975.

5. Redondez

Es el grado de desgaste que presentan las aristas y esquinas de la partícula, está en función de la historia de transporte, cuando los bordes de los clastos se desgastan al golpear unos contra otros, o contra el lecho de un río, lo que se incrementa con la distancia de transporte.

Para determinar la redondez y la esfericidad de una partícula, se compara con cartas de estimación visual que presentan granos que varían desde muy anguloso hasta bien redondeado. La Figura A.7 muestra la relación entre estos atributos (Powers, 1953).

	<h1>Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria</h1>	
Secretaría/ División: DICT	Área/Departamento: Ingeniería Geológica	

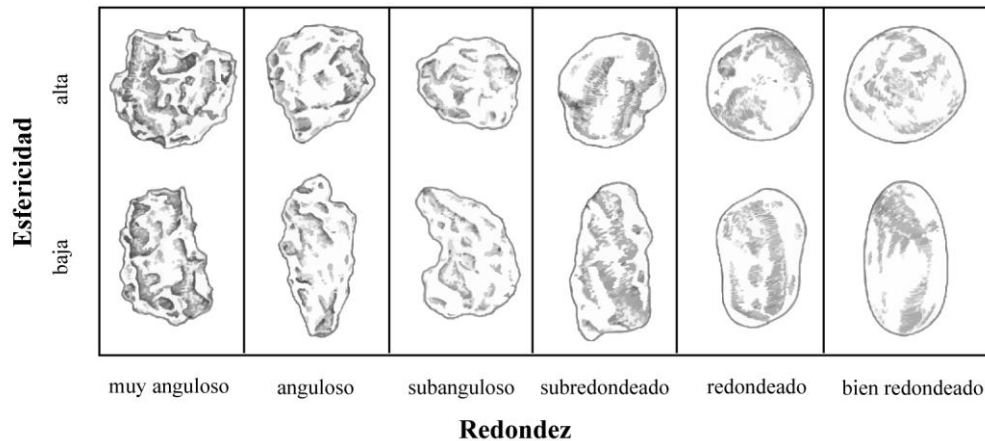


Figura A.7 Carta de comparación visual para redondez y esfericidad de Powers, 1953.
Modificado de Stow, 2003.

6. Texturas superficiales

Son aquellos rasgos menores de la superficie de un grano que son independientes del tamaño, forma y redondez, tales como estrías, marcas de percusión, lustre, etc. Es útil determinar este tipo de texturas ya que algunas de ellas están relacionadas a su origen. Por otro lado, estas marcas superficiales se borran o se marcan con poca abrasión o poco transporte, por lo que registran más fácilmente la última etapa de transporte antes del depósito. El análisis de estos rasgos se restringe a los sedimentos ya que se eliminan durante la elaboración de una lámina delgada.

Las texturas superficiales se agrupan en dos categorías, una relacionada con la opacidad y el lustre de la superficie del fragmento y la otra con marcas en la superficie.

7. Empaque

Es el acomodo de los granos individuales y la manera en que éstos se encuentran en contacto con sus vecinos. De acuerdo con Graton y Fraser (1935), existen dos tipos extremos de arreglos: cúbico (abierto) y romboedral (cerrado), en la Figura A.8 se observan ambos tipos de empaque. Esta característica tiene influencia directa en la porosidad ya que, de acuerdo al tipo de arreglo, el espacio entre granos será mayor para el cúbico o menor para el romboedral.



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica

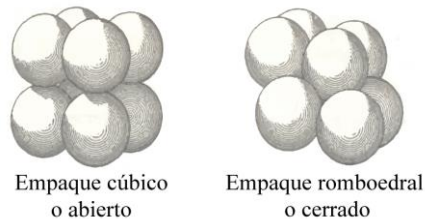


Figura A.8 Tipos de empaque representado por partículas esféricas de igual tamaño, Graton, 1935. Modificado de Pettijohn, 1975.

Así mismo, y con base en el espaciamiento que exista entre los granos y la cantidad de matriz en el sedimento, los contactos pueden ser flotantes, puntuales, tangenciales, longitudinales, cóncavo-convexos o suturados, como se muestra en la Figura A.9.

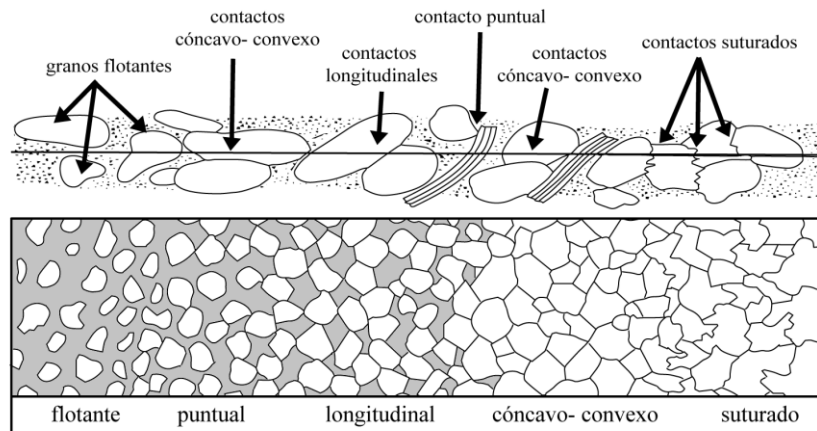


Figura A.9 Tipos de contactos entre granos, desde los soportados por la matriz hasta los granos suturados. Modificado de Castro 1989 y Pettijohn et al., 1987.

8. Orientación

Es el acomodo de los elementos dentro de la roca con base en su eje mayor. La orientación o falta de orientación de los clastos en la roca se produce durante la acumulación del sedimento cuando una corriente constante alinea, paralela o perpendicularmente, los clastos elongados o discoidales en la misma dirección. Así mismo, la orientación también puede ocurrir posteriormente por procesos diagenéticos o de deformación.



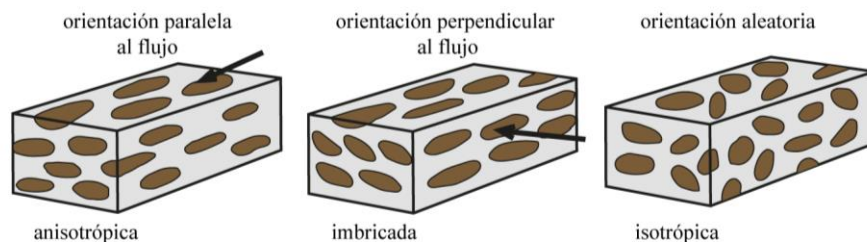
Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica

La orientación de un elemento se describe en función del rumbo e inclinación del eje de mayor longitud del clasto en la roca. A continuación, se muestran las distintas orientaciones en sedimentos de grano grueso y fino (Figura A.10).

Sedimentos de grano grueso (grava, arena y limo grueso)



Sedimentos de grano fino (lodo, arcilla y micrita)

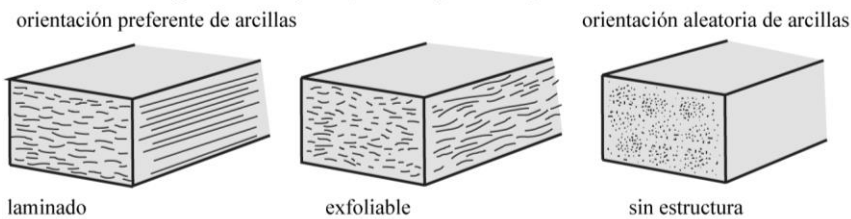



Figura A.10 Orientación de las partículas en sedimentos gruesos y finos. Modificado de Stow, 2006.

9. Madurez mineralógica y textural

La madurez mineralógica es el grado de estabilidad de los componentes minerales que se encuentran en la roca o sedimento. Un sedimento o roca mineralógicamente supermadura es aquel que contiene un gran porcentaje de minerales o fragmentos de roca estables químicamente y/o resistentes a la abrasión o disolución (cuarzo, zircón, turmalina, pedernal, cuarcita, etc.), mientras que un sedimento o roca mineralógicamente inmaduro es aquel que contiene gran porcentaje de minerales o fragmentos de rocas inestables químicamente y/o frágiles o poco resistentes a la abrasión o disolución (feldespatos, calcita, anfíboles, piroxenos, fragmentos de rocas carbonatadas, lutitas, etc.).

La madurez mineralógica se inicia desde la meteorización y se remarca durante el transporte del sedimento camino hacia el depósito, en este trayecto los minerales y fragmentos más frágiles se rompen y se vuelven cada vez más finos, mientras que, los inestables tienden a alterarse y disolverse o desintegrarse. En la Tabla A.7, se muestran los términos y composición asociada para clasificar la madurez mineralógica.

	<h1>Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria</h1>		
Secretaría/ División:	DICT	Área/Departamento:	Ingeniería Geológica

Término de madurez	Composición común
Inmaduro	Abundan las plagioclasas y el cuarzo, dependiendo de la fuente de sedimento se pueden encontrar micas, anfíboles, algunos piroxenos, olivino o andalusita; son comunes los fragmentos de roca de esquistos, filitas y pizarras, así como fragmentos volcánicos e ígneos de composición básica.
Submaduro	Predominan los feldespatos potásicos (ortoclasa-microclina) puede presentar clorita, epidota, piroxenos, cianita, estauroлита, sillimanita y glauconita; se preservan líticas volcánicos de composición intermedia.
Maduro	Contiene cuarzo policristalino en abundancia, se pueden encontrar micas y granates. Los fragmentos volcánicos si los hay, suelen ser de composición ácida.
Supermaduro	Contiene cuarzo monocristalino y minerales pesados como zircón, rutilo y turmalina. También pueden encontrarse fragmentos de cuarcita o pedernal.

Tabla A.7 Términos de madurez mineralógica y su composición común. Modificado de Silva, 2011.

Por otro lado, la madurez textural es el contenido de material fino, el grado de redondez de los clastos y selección de los sedimentos o clastos. Los sedimentos o rocas texturalmente inmaduros son aquellos que tienen más del 5% de matriz fina, los clastos son angulosos y son pobremente seleccionados. En cambio, los sedimentos o rocas supermaduros son aquellos que no presentan matriz, los clastos están bien redondeados y se encuentran muy bien seleccionados. Entre ambos extremos existen términos intermedios denominados submaduros y maduros.

Una manera para determinar la madurez textural de un sedimento o roca clástica es mediante la secuencia establecida por Folk (1968), ésta se basa en el contenido de arcillas, la selección y la redondez de los granos. (Tabla, A.8)

Secuencia para determinar la madurez textural.	
Paso 1 Madurez	Contenido de arcillas (material micáceo menor a 30 μm . excluyendo material autigénico a) Sí es mayor al 5 %, es inmaduro b) Sí es menor que 5%, determinar selección
Paso 2 Clasificación	Selección a) Sí la clasificación es mayor que 0.5 σ , es submaduro b) Sí la clasificación es menor que 0.5 σ , determinar redondez
Paso 3 Redondez	Redondez a) Sí los granos son subangulosos a angulosos (en la escala de Powers), es maduro b) Sí la redondez son subredondeados a bien redondeados, es supermaduro

Tabla A.8 Secuencia para determinar la madurez textural de Folk, 1968. Modificado de Pettijohn et al., 1987.



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica

La madurez textural se produce durante el transporte del sedimento hacia la cuenca de depósito, mientras son transportados los sedimentos se redondean y se clasifican, eliminando los minerales inestables y los minerales arcillosos. Por este motivo mayor grado de energía durante el transporte, mayor redondez y clasificación. No es común que los conglomerados se encuentren bien clasificados, estos son inmaduros o submaduros texturalmente. En la Figura A.11 se puede observar el estado de madurez textural para arenas de acuerdo al contenido de arcillas y grado de clasificación y redondez de los clastos (Folk, 1951).

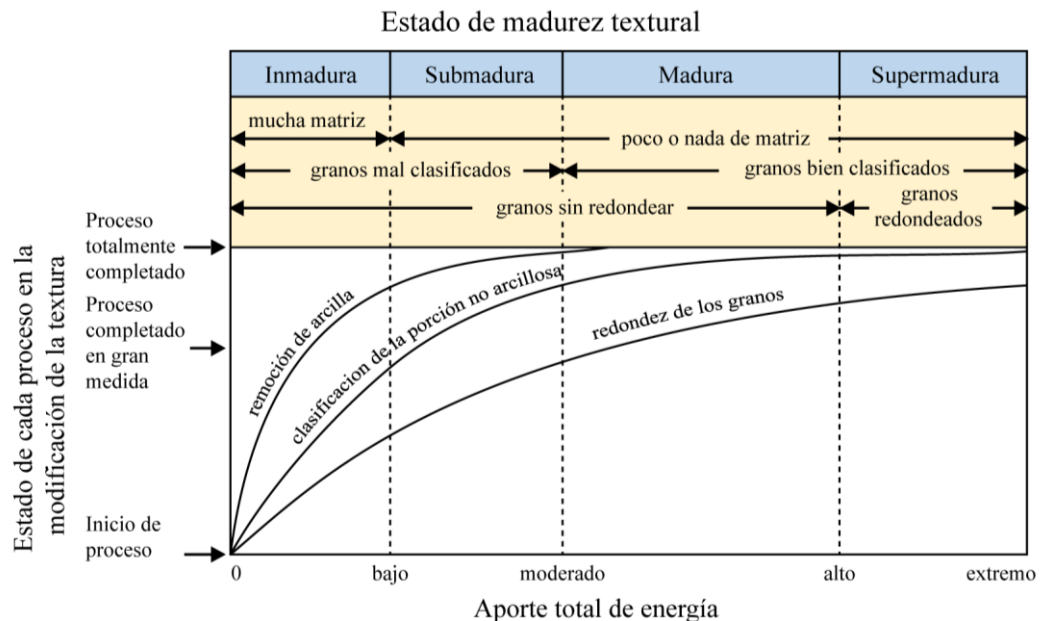


Figura A.11 Madurez textural de areniscas es mostrada en función de la energía cinética de Folk, 1951. Modificado de Boggs, 2009.

❖ Matriz

Es el sedimento de grano fino (lodo) que se encuentra entre los clastos del esqueleto y da cohesión al sedimento, en la mayoría de los sedimentos es contemporáneo su depósito al de los clastos.

La composición de la matriz suele ser similar a la de los clastos que soporta, cuando su tamaño es de limos o arcillas puede estar constituida de minerales arcillosos y óxidos de hierro. Su abundancia se determina en porcentaje y puede o no, estar presente en la roca.



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica

❖ Cementante

Es el material resultante de procesos de precipitación a partir de soluciones acuosas iónicas o coloidales que circulan e interaccionan con las rocas, éste se genera en su mayoría durante la diagénesis de los clastos.

El porcentaje de cementante puede ser variable y su existencia en las rocas clásticas es uno de los factores que producen una reducción en la porosidad. Los cementantes más abundantes son calcáreos, silíceos o ferruginosos. En la Tabla A.9 se muestran los principales cementantes en rocas sedimentarias.

Material cementante	
Silicatos	Principalmente cuarzo, calcedonia, ópalo, feldespato, zeolitas
Carbonatos	Principalmente calcita, también aragonita, dolomita, siderita
Óxidos de hierro	Hematita, limonita, goethita
Sulfatos	Anhidrita, yeso, barita, celestita

Tabla A.9. Principales cementantes en rocas sedimentarias. Modificado de Stow 2006.

❖ Porosidad

Son los espacios vacíos que se encuentran entre los granos de una roca, depende del tamaño de los granos, selección y tipo de empaque de las partículas. La porosidad total de una roca es el porcentaje de espacio vacío entre el volumen total de dicha roca, por otro lado, la porosidad efectiva es la cantidad de poros interconectados con respecto al volumen total de la roca.

Por su génesis, la porosidad se divide en primaria y secundaria. La porosidad primaria es la resultante del proceso de depósito y la porosidad secundaria es la que se genera debido a procesos postdepósito o diagenéticos.

La cuantificación de la porosidad se puede obtener mediante la estimación visual de porcentajes con ayuda de tablas comparativas que se encuentran en el Anexo 1 de este manual o con otros métodos de cuantificación petrográfica. Los términos y tipos de porosidad empleados son tomados de la nomenclatura de porosidad en rocas carbonatadas propuesta por Choquette y Pray, 1970. (ver Figura A.19)

En la naturaleza, estos espacios son susceptibles de ser ocupados por fluidos como gas, vapor, petróleo o agua, por lo que es importante determinar el volumen de poros.

Asociado a este término se encuentra la Permeabilidad que es la capacidad que tiene una roca de permitir el paso de fluidos a través de ella sin alterar su estructura interna.



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica

Se dice que una roca es permeable si permite el paso de una cantidad apreciable de fluido en un tiempo determinado, e impermeable si la cantidad que pasa a través de ella es insignificante o nula.

La permeabilidad depende de la porosidad (porosidad efectiva), geometría de los poros, tamaño de garganta de poro, viscosidad del fluido y presión a la que está sometido el fluido.

II.3. Estructuras sedimentarias

Son todos aquellos rasgos mayores que, de manera general, se observan o estudian mejor en el afloramiento que en muestras de mano o lámina delgada. Éstas se forman durante el proceso o después del depósito. Su estudio es importante ya que proveen información que resulta significativa en la reconstrucción de los procesos y ambientes de depósito de la roca.

Las estructuras sedimentarias de acuerdo a su origen se clasifican en tres tipos: mecánicas (primarias), químicas (diagenéticas o secundarias) y orgánicas (biogénicas). Las estructuras mecánicas o primarias dependen principalmente de la velocidad de la corriente y la tasa de sedimentación. Las estructuras diagenéticas o secundarias son producto de la acción química penecontemporánea con la sedimentación y las estructuras biogénicas son consecuencia directa o indirecta de la acción orgánica.

En la Tabla A.10 se muestra la clasificación de estructuras sedimentarias y algunos ejemplos de cada tipo.



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria


Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica

Estructuras mecánicas	Estructuras diagenéticas	Estructuras biogénicas
<p>A) Basadas en la geometría</p> <ol style="list-style-type: none"> Laminaciones Estratificación <p>B) Como parte interna de la estratificación</p> <ol style="list-style-type: none"> Estratificación cruzada Estratificación gradada <p>C) Generadas en la base del plano de estratificación</p> <ol style="list-style-type: none"> Calcos de carga Grietas de desecación Marcas de corriente (scour marks) Marcas de golpeteo (tool marks) Calcos de surcos <p>D) Formadas en la superficie del plano de estratificación</p> <ol style="list-style-type: none"> Rizaduras simétricas Rizaduras asimétricas Lineación primaria Surcos y anillos Huellas de lluvia Impresiones y hoyuelos <p>E) Estratificación deformada</p> <ol style="list-style-type: none"> Estructuras de bolas y almohadas Pliegues sinsedimentarios Diques sedimentarios Estructuras de carga 	<p>A) Estructuras de disolución</p> <ol style="list-style-type: none"> Estilolitas Zonas de corrosión Vacuolas y cavidades <p>B) Estructuras acrecionales</p> <ol style="list-style-type: none"> Nódulos Concreciones Agregados cristalinos (esferulitas, rosetas, cristales de arena) Vetillas Bandeamiento de color <p>C) Estructuras compuestas</p> <ol style="list-style-type: none"> Geodas Septarias Cono en cono 	<p>A) Petrificaciones</p> <p>B) Estromatolitos</p> <ol style="list-style-type: none"> Oncolitos Thombolitos Cortezas de algas <p>C) Icnofósiles</p> <ol style="list-style-type: none"> Marcas de reposo Huellas de arrastre Estructuras de residencia Estructuras de alimentación Huellas de apacentamiento

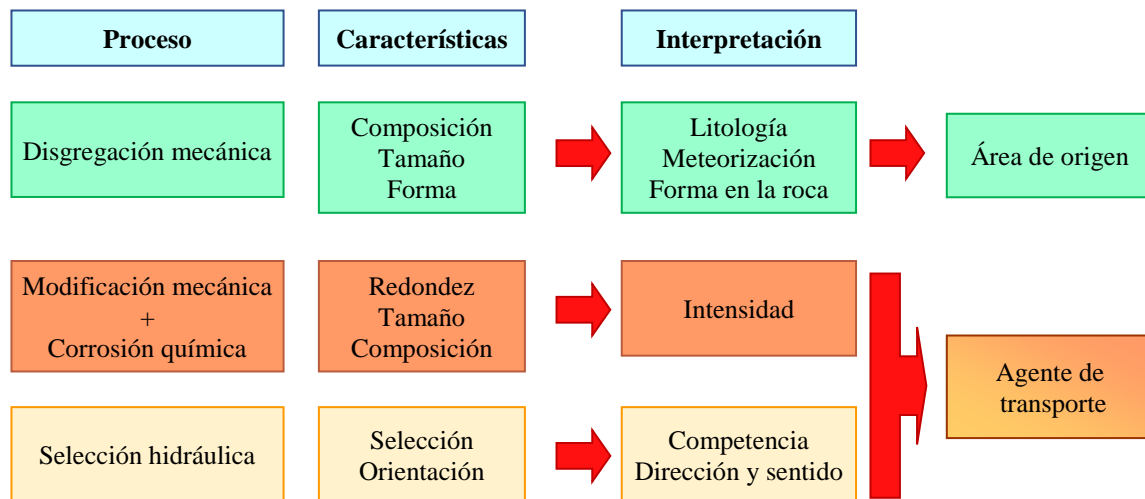
Tabla A.10 Clasificación de las estructuras sedimentarias. Modificado de Pettijohn, 1975.

Para una mejor interpretación y clasificación de las estructuras sedimentarias se recomienda consultar las fuentes de información recomendadas dentro de la bibliografía complementaria.

	<h1>Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria</h1>	
Secretaría/ División: DICT	Área/Departamento: Ingeniería Geológica	

III. Petrogénesis de rocas clásticas.


Una vez concluida la petrografía de una roca clástica es posible interpretar la génesis de ésta con base en las características observadas. Como se expone en el diagrama siguiente los procesos sedimentarios a lo largo del tiempo dejan sobre los granos características (composición, textura y estructuras sedimentarias) con las que se apoya la interpretación geológica.



Esquema A.4 Procesos, características e interpretación de las rocas clásticas.

Por tanto, el estudio de la composición proporciona información sobre la historia del depósito (relieve, clima, tectónica) y la litología del área de origen, mientras que la textura (y estructuras sedimentarias), determinan el transporte (tipo de fluido, intensidad, duración, selección hidrodinámica) y depósito del sedimento.

Es importante aclarar que, con base en el análisis de una sola característica como la composición, la textura o las estructuras sedimentarias es posible obtener información relevante de la génesis, pero sí estas características se relacionan con la geometría y la secuencia vertical, cartografiadas en el campo, este análisis tendrá una interpretación con cercana a la realidad.

	<h1>Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria</h1>	
Secretaría/ División:	DICT	Área/Departamento: Ingeniería Geológica

III.1. Análisis de procedencia mineralógica

A continuación se mencionan los principales minerales constituyentes de las rocas clásticas y su procedencia de acuerdo a la interpretación de sus características:

❖ Procedencia del cuarzo.

Debido a su gran dureza, tenacidad y estructura química es considerado un mineral muy estable y difícil de destruir meteoricamente (Folk, 1980). Esto ayuda a determinar las condiciones climáticas, la distancia de la fuente de aporte y sí se logra determinar el tipo de cuarzo es posible determinar la litología de dónde este procede.

También, es posible clasificar al cuarzo de acuerdo a sus variedades, monocristalino, cuando se trata de un cristal simple formando el grano, o policristalino, cuando hay más de un cristal de cuarzo por grano, cada variedad de cuarzo se asocia a una procedencia distinta.

Para determinar la procedencia de este mineral según la clasificación de Krynine (1946) es necesario observar las siguientes características físicas y ópticas.

- Extinción
- Inclusiones
- Forma

Dependiendo del tipo de extinción, inclusiones y forma del cuarzo se puede determinar si el ambiente de formación es plutónico, volcánico, metamórfico (recristalización, esquistos o deformado) o hidrotermal.

En la Tabla A.11 se muestran las características antes mencionadas de los distintos tipos de cuarzo y la procedencia asociada a éstas.



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica

Tipo de cuarzo	Extinción	Inclusiones	Forma	Procedencia	Observaciones
Ígneo	Recta o ligeramente ondulante	Algunas vacuolas y a veces algunos microlitos	Casi equidimensional	Plutónico. Granítico o muchos otros	-
	Recta	Casi sin inclusiones	Hexagonal bipirámidal, aristas rectas y esquinas redondeadas, con bahías.	Volcánico	Puede presentar cristales negativos
Metamórfico	Recta o ligeramente ondulante	Inclusiones de micas	Granos alargados, compuestos con bordes rectos	Esquistos	-
	Recta o ligeramente ondulante	Algunos microlitos o vacuolas	Mosaico de granos equidimensionales	Recristalizado	Es fácil confundir con granos de arena cementados por cuarzo
	Fuertemente ondulante	Algunos microlitos y vacuolas	Unidades cristalinas alargadas, lenticulares	Deformación	Los bordes pueden ser rectos o suturados
Lechoso o hidrotermal	Semicompuesta, recta u ondulante	Abundantes vacuolas	Granos grandes o guijarros	Veta o pegmatítico	Estructuras en forma de peine, a veces con clorita vermicular, raramente con cristales fantasmas zoneados

Tabla A.11 Características de los distintos tipos de cuarzo y su procedencia. Modificado de Krynine, 1946.



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica

❖ Procedencia de los feldespatos

El origen de este mineral puede ser variado, aunque en general, casi todo el feldespato en los sedimentos clásticos tiene procedencia ígnea y metamórfica (Folk, 1980). En la Tabla A.12 se muestra la procedencia y estabilidad de los feldespatos más comunes en sedimentos.

Mineral	Procedencia	Estabilidad
Ortoclasa	Plutónico, metamórfico o sedimentario	Estable en condiciones superficiales
Sanidina	Volcánico	Inestable
Microclina	Plutónico, metamórfico o sedimentario	Estable en condiciones superficiales
Anortoclasa	Rocas volcánicas ricas en sodio. Ocurrencia rara	Inestable
Albita	Plutónico o metamórfico	Aparentemente estable en condiciones superficiales
Oligoclasa	Ígneo intermedio o sedimentario	Inestable
Andesina	Ígneo intermedio o sedimentario	Inestable
Labradorita	Ígneo básico	Altamente inestable
Bytownita y Anortita	Ígneo básico. Ocurrencia rara	Extremadamente inestables

Tabla A.12 Origen y estabilidad de los feldespatos más comunes en los sedimentos. Modificado de Folk, 1980.

De acuerdo con Folk, la intensidad del proceso de desintegración de los feldespatos se regula por el clima, pero la duración del tiempo a través del cual la desintegración tiene lugar se determina por el relieve. Las regiones de fuerte relieve están sometidas a una rápida erosión, de tal manera que el feldespato no es destruido y se deposita en la cuenca. Si el relieve es suave, la velocidad de erosión es lenta, y si el clima es favorable el feldespato se desintegrará totalmente.

De esta manera, el feldespato clástico en los sedimentos es un buen indicador para la interpretación de paleoclimas y comparándolo con el cuarzo es posible interpretar la tectónica y fisiografía (relieve) a la que estuvo sometido. Con base en esto, Folk (1980) elaboró un diagrama que muestra la relación de la meteorización de los feldespatos con base en la intensidad (clima) y el tiempo (Figura A.12).



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica

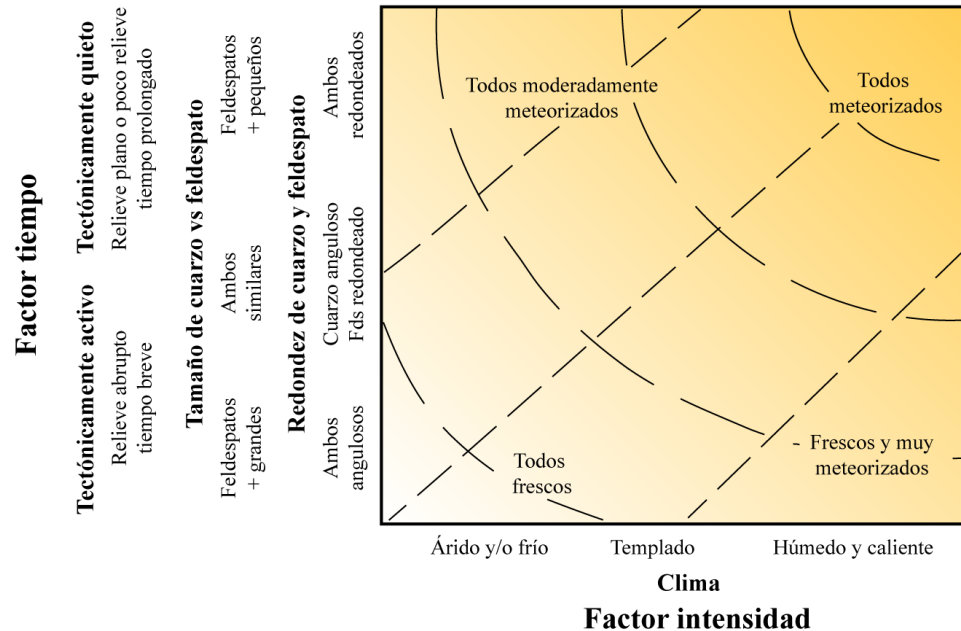


Figura A.12 Diagrama para la interpretación de los feldespatos a partir de la intensidad y tiempo Folk, 1980. Las líneas rectas indican la homogeneidad en la meteorización, variando desde muy homogéneo (arriba a la izquierda) a muy heterogéneo (abajo a la derecha). Las líneas curvas indican el promedio de meteorización (todos frescos abajo a la izquierda, todos meteorizados arriba a la derecha) y también la abundancia aproximada de feldespatos, incrementando la posibilidad de ser encontrado hacia abajo a la izquierda.

Modificado de Folk, 1980.

❖ Procedencia de los fragmentos de roca

Debido a que los líticos provienen de la destrucción de rocas preexistentes, pueden relacionarse con un tipo litológico determinado y proporcionar explícitamente la información sobre su procedencia. Por otro lado, el tamaño y forma de los fragmentos da información sobre la energía e intensidad de transporte a la que han sido sometidos.

Si los fragmentos de roca están compuestos principalmente por cuarzo o micas (muscovita) son moderadamente estables, mientras que los formados por plagioclasas, carbonatos, minerales pesados o minerales arcillosos son altamente inestables en climas cálidos y húmedos y tienden a desintegrarse fácilmente, por tanto, dependiendo su composición, pueden servir como indicadores paleoclimáticos.



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica

❖ Procedencia de las micas

Debido a la facilidad con la que éstas se separan en láminas, no es común encontrar micas clásticas en rocas sedimentarias maduras. Por lo que al hallar micas en un sedimento se puede interpretar que éste no ha sufrido mucho transporte. Si los cristales de mica se encuentran redondeados son indicadores de corrientes suaves con movimientos de vaivén (Krynine, 1940).

En cuanto a estabilidad, la muscovita es mucho más estable que la biotita, esto debido a su composición química. En la Tabla A.13 se menciona la procedencia y estabilidad de las micas más comunes en sedimentos:


Mineral	Procedencia	Estabilidad
Biotita	Rocas ígneas ácidas a máficas, rocas volcánicas y rocas metamórficas	Inestable
Muscovita	Rocas metamórficas y rocas ígneas ácidas	Estable, excepto en climas muy cálidos y húmedos
Clorita	Hidrotermal o metamórfico. Mineral de alteración	Inestable
Sericita	Mineral de alteración	Inestable

Tabla A.13 Origen de las micas comunes en las rocas y su estabilidad, Modificado de Pettijohn et al., 1987.

❖ Procedencia de los minerales pesados

A pesar de su poca abundancia en los sedimentos y rocas sedimentarias, el estudio de estos minerales es de gran importancia para determinar la procedencia, transporte y meteorización del sedimento en una correlación y estudios paleogeográficos.

De acuerdo con Pettijohn, (1975) el contenido de minerales pesados en el sedimento está en función de la litología de la fuente de aporte, la estabilidad mineral, la durabilidad y la resistencia a la abrasión. En la Tabla A.14 se muestra la procedencia de los minerales pesados comunes en los sedimentos de acuerdo con Pettijohn et al., 1987.

	<h1>Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria</h1>
Secretaría/ División: DICT	Área/Departamento: Ingeniería Geológica

Procedencia	Minerales pesados comunes
Rocas ígneas ácidas	Apatita, brookita, hornblenda, monacita, rutilo , titanita, turmalina (variedad rosa) , zircón ; muscovita , biotita
Pegmatitas	Casiterita, dumortierita, fluorita, granate, monacita, topacio, turmalina (variedad azul) , wolframita, xenotima; muscovita
Rocas ígneas básicas	Augita, cromita, diópsida, hiperstena, ilmenita, magnetita, olivino, espinela; granate variedad piropo en rocas ultrabásicas
Rocas metamórficas de contacto	Andalucita, condrodita, corindón, granate, flogopita, estauroлита, topacio, vesuvianita, wollastonita, zoisita
Rocas metamórficas regionales	Andalucita, biotita , condrodita, epidota, granate, glaucofano, cianita, muscovita , sillimanita, estauroлита, titanita, zoisita-clinozoisita
Sedimentos retrabajados	Barita, menas de hierro, leucoxeno, rutilo , turmalina (como granos redondeados), zircón (como granos redondeados)

Tabla A.14 Procedencia de los minerales pesados comunes en las rocas de Pettijohn et al., 1987. Los nombres en rojo son los minerales ultraestables, y los nombres en verde generalmente son clasificados como minerales ligeros. Modificado de Ulmen-Scholle et al., 2014

III.2. Ambiente tectónico

Una manera para conocer el entorno tectónico asociado a la fuente de aporte es mediante los diagramas de Dickinson et al. (1979,1983). Esta serie de diagramas pueden considerarse fundamentales para determinar de la procedencia de un sedimento, ya que se logra inferir la tectónica asociada a la fuente de aporte en tres grupos principales: orógeno reciclado, arco magmático y bloque continental.

En general, estos diagramas se basan en la relación que existe entre los tres componentes principales de los sedimentos clásticos, cuarzo (Qt), feldespato (F) y fragmentos de roca (L), aunque, si se toman parámetros secundarios de estos componentes, se logran variaciones en los diagramas que permiten detallar subambientes tectónicos a partir de los grupos antes mencionados. (Tabla A.15)

Algunas de estas variaciones en los componentes principales son: cuarzo monocristalino (Qm), cuarzo policristalino (Qp), plagioclasas (P), feldespatos alcalinos (K), fragmentos de roca volcánicos (Lv) y fragmentos de roca sedimentarios y metamórficos (Ls).

Un ejemplo de éstos están en el diagrama QtFL donde el vértice Qt toma en cuenta todos los granos de cuarzo (incluyendo granos policristalinos como pedernal y cuarcita), el vértice F corresponde a los feldespatos monocristalinos y el vértice L son los fragmentos de roca inestables; y el diagrama QmFLt, donde el vértice Qm considera exclusivamente granos de cuarzo monocristalino, el vértice F son los feldespatos monocristalinos y el vértice Lt contiene todos los fragmentos de roca incluidos los compuestos por cuarzo. (Figura A.13)



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica

Tipo de procedencia	Ambiente tectónico	Composición de areniscas
Cratón estable	Plataforma estable o en el interior del continente	Areniscas cuarzosas (ricas en Qt) con altas relaciones Q_m/Q_p y K/P
Basamento levantado (basament uplift)	Borde de rift o ruptura transforme	Areniscas cuarzo-feldespáticas (ricas en Q_m y F) con bajas concentraciones de L_t y relaciones similares de Q_m/F . Relación K/P similar a la de la fuente de aporte.
Arco magmático	Arco de isla o arco continental	Areniscas volcanoclásticas y feldespato-líticas (ricas en F) con altas relaciones de P/K y L_v/L_s . Si están expuestas rocas plutónicas entonces las areniscas son cuarzofeldespáticas (ricas en Q_m y F).
Orógeno reciclado	Complejos de subducción o cinturones de pliegues y cabalgaduras	Areniscas cuarzo-líticas (ricas en Q_t y L_t) con bajas concentraciones de F y L_v y relaciones variables de Q_m/Q_p y Q_p/L_s

Tabla A.15 Composición de las areniscas procedentes de diferentes ambientes tectónicos a partir de los diagramas QFL Dickinson (1986).

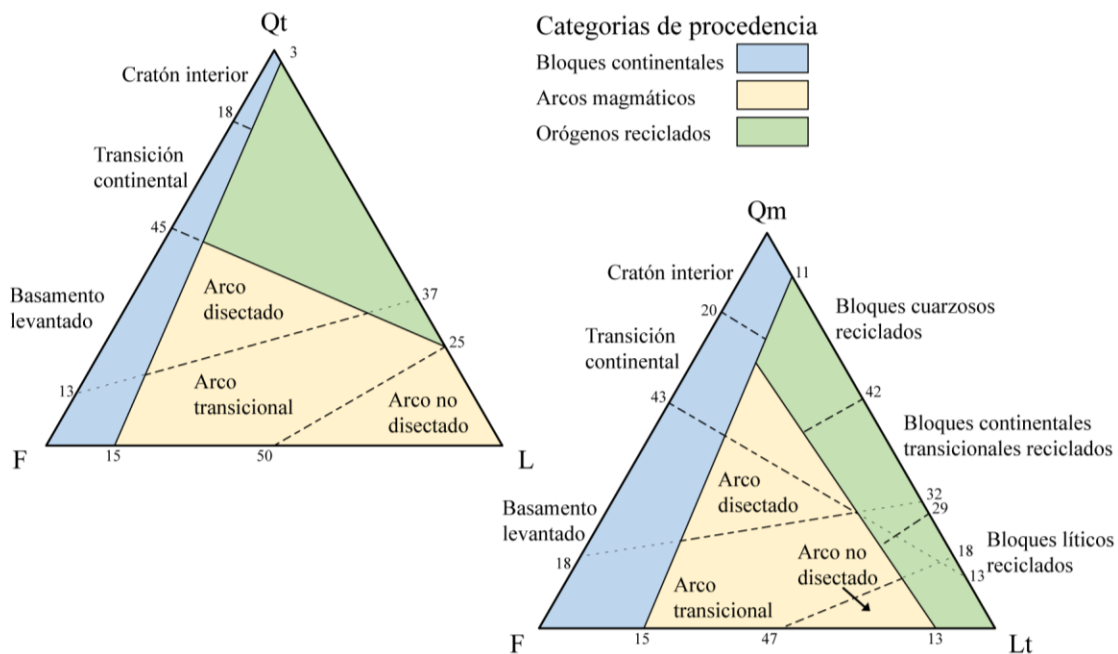



Figura A.13 Distribución de las arenas derivadas de diferentes procedencias con base en los diagramas QtFL y QmFLt de Dickinson, 1983. Los números a lo largo de borde de los diagramas son porcentajes de composición medidos desde el vértice más cercano. Modificado de Boggs, 2009.


	<h1>Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria</h1>
Secretaría/ División: DICT	Área/Departamento: Ingeniería Geológica

III.3. Diagénesis de rocas clásticas

La diagénesis puede modificar la textura y mineralogía de una roca (en el caso de areniscas) y en general, destruye, en mayor o menor medida, la información sobre la procedencia de una roca. Estos procesos dependen de la composición y tamaño del sedimento, velocidad de acumulación del sedimento, composición química y flujo de los fluidos, textura, profundidad de sepultamiento y edad. A continuación se describen y muestran las evidencias resultado de los distintos procesos diagenéticos:

Proceso	Descripción	Evidencias
Fracturamiento	Rompimiento de minerales debido a un exceso de presión entre granos.	Vetillas rellenas total o parcialmente
Compactación	Reacomodo (empaquetamiento) de los granos por procesos de compresión que involucra una reducción de la porosidad.	Clásticos deformados (micas), fracturamiento de clásticos (cuarzo), Boehm lamellae, contactos largos y cóncavo convexos, bordes suturados (microestilolitas)
Deformación	Cambio de forma debido a procesos mecánicos asociados a compresión.	Granos fracturados, micas y maclas de feldespatos deformadas
Disolución	Desaparición química de minerales inestables y cementantes por cambios de pH, se asocia con el aumento de porosidad en las rocas.	Bordes corroídos y contactos engolfados, reemplazamiento parcial del cuarzo u otros minerales clásticos por carbonato, superficies grabadas en los granos de cuarzo, juntas estilolíticas y microestilolíticas, pérdida selectiva de algunas especies de minerales pesados, inclusiones del mineral menos soluble en el más soluble, moldes, geodas y otras oquedades
Cementación	Precipitación química de minerales que se encuentran en solución acuosa dentro de los poros de las areniscas. Este proceso une los granos y rellena los poros. Los cementantes más comunes son: sílice, carbonatos, sulfatos y óxidos de hierro	Sobrecrecimientos, bordes corroídos, contactos engolfados, texturas poikilotópicas
Reemplazamiento	Cambio de un mineral inestable a otro de mayor estabilidad.	Inclusiones del mineral reemplazado en el nuevo mineral, contactos engolfados y residuos aislados por extremo engolfamiento, pseudomorfismo
Sobrecrecimiento	Crecimiento secundario de un mineral debido a que la precipitación química de una composición similar a la del mineral.	Crecimientos subedrales a euedrales alrededor de granos
Recristalización	Cambio en el tamaño de minerales criptocristalinos o microcristalinos.	Cristales pequeños tienden a conjuntarse para formar cristales mayores
Autigénesis	Precipitación de nuevos minerales en los poros de las rocas sedimentarias, éstos se presentan como cristales euedrales.	Los minerales autígenos generalmente son o tienden a ser euedrales, los cristales euedrales atraviesan estructuras primarias

Tabla A.16 Procesos diagenéticos, descripción y evidencias.

	<h1>Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria</h1>	
Secretaría/ División:	DICT	Área/Departamento: Ingeniería Geológica

IV. Petrografía de rocas carbonatadas

Del mismo modo que las rocas clásticas, la petrografía de rocas carbonatadas consiste en el análisis de la composición, textura y estructuras presentes en la roca. Con base en estos atributos se nombra de acuerdo a las clasificaciones de Dunham y Folk.

A continuación, se mencionan las generalidades y antecedentes para la descripción de la composición y textura de las rocas carbonatadas. La clasificación de este grupo de rocas se expone en la Práctica 5 de este manual.

IV.1. Composición de rocas carbonatadas

En el caso de las rocas carbonatadas su composición está dada esencialmente por la precipitación de minerales cuyos elementos se encuentren disueltos en el agua. Estos minerales principalmente son carbonatos como calcita, dolomita, aragonita, siderita y ankerita, aunque también se pueden encontrar minerales (clásticos y autigénicos) como cuarzo, calcedonia, feldspatos, etc. A continuación, se describen las características de estos componentes:

❖ Carbonatos

Los minerales más abundantes en las rocas carbonatadas son la calcita y la dolomita, y los menos comunes son aragonita, siderita y ankerita. Estos minerales son resultado de la precipitación directa o indirecta (orgánica) de CaCO_3 en una cuenca (ambientes marinos principalmente).

En general, estos carbonatos se presentan en forma de agregados cristalinos o microcristalinos como lodo o cemento calcáreo, o también como parte de estructuras compuestas (aloquímicos). En la Tabla A.17 se muestra el modo de aparición de los carbonatos comunes.

Ópticamente, los carbonatos presentan características muy similares y no es posible diferenciarlos en lámina delgada, esto debido a que todos pertenecen al sistema trigonal, excepto la aragonita que pertenece al sistema ortorrómbico. Por esta razón se recurre a análisis químicos para distinguirlos.



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica

Mineral	Fórmula	Sistema cristalino	Aparición
Calcita	CaCO ₃	Trigonal	a) En ciertos esqueletos carbonáticos. b) Como lodo (micrita). c) Como cemento (espatita).
Dolomita	CaMg(CO ₃) ₂	Trigonal	a) Ampliamente como roca cristalina diagenética. b) También en asociación penecontemporánea con evaporitas.
Aragonito	CaCO ₃	Ortorrómico	En ciertos esqueletos carbonáticos. Es inestable y pasa al polimorfo estable.
Magnesita	MgCO ₃	Trigonal	En cantidades pequeñas dentro de las mallas del aragonito y la calcita de origen esquelético.
Ankerita (ferrodolomita)	Ca(Mg,Fe)(CO ₃) ₂	Trigonal	Una variedad menor de la dolomita.
Siderita	FeCO ₃	Trigonal	Encontrada en concreciones y oolitos.

Tabla A.17 Aparición de los principales carbonatos Selley, 1976. Modificado de Arche, 2010.

Una manera de diferenciar algunos carbonatos es mediante el uso de tintes, tal como el colorante *rojo de alizarina S* que se emplea para distinguir calcita de dolomita y el *ferrocianuro potásico* que permite diferenciar los carbonatos ferrosos y no ferrosos. En la Tabla A.18 se muestran las características de solubilidad al ácido clorhídrico y tinción de los carbonatos.

Mineral	Solubilidad al ácido clorhídrico diluido y frío	Color de tinción con rojo de alizarina S	Color de tinción con ferrocianuro potásico	Resultado final
Calcita (no ferrosa)	Marcada	Rosa a marrón rojizo	Ninguno	Rosa a marrón rojizo
Calcita ferrosa	Marcada	Rosa a amarrón rojizo	Azul pálido o intenso, según el contenido de hierro	Malva a azul
Dolomita (no ferrosa)	Lenta	Ninguno	Ninguno	Sin colorear
Dolomita ferrosa	Lenta	Ninguno	Azul muy pálido	Azul muy pálido (se ve verdoso o turquesa)
Siderita	Insoluble	Ninguno	Azul oscuro	Azul oscuro

Tabla A.18 Características de solubilidad al ácido clorhídrico y tinción de los carbonatos. Modificado de Addams, 1985.



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica

❖ Otros componentes

Además de los minerales carbonatados antes mencionados existen otros componentes que pueden o no estar presentes en las rocas carbonatadas. Algunos de estos minerales son característicos de condiciones ambientales dadas. A continuación se mencionan de manera general algunos de estos componentes:

- Sílice (cuarzo, feldespato, calcedonia,)
- Silicatos (glauconita)
- Fosfatos (colofano)
- Sulfuros (pirita)
- Sulfatos (yeso, anhidrita)
- Minerales arcillosos

Para consultar las propiedades de estos minerales se recomienda el uso de fuentes de información recomendadas incluidas en la bibliografía complementaria.

IV.2. Textura de las rocas carbonatadas

La textura en las rocas carbonatadas, al igual que las rocas clásticas, se encuentra determinada por: el esqueleto, el material aglutinante (matriz o cementante) y la porosidad. Estos elementos difieren de su similar en las rocas clásticas (forma, tamaño, composición, etc.) y se pueden ver de manera esquemática en la Figura A.14.

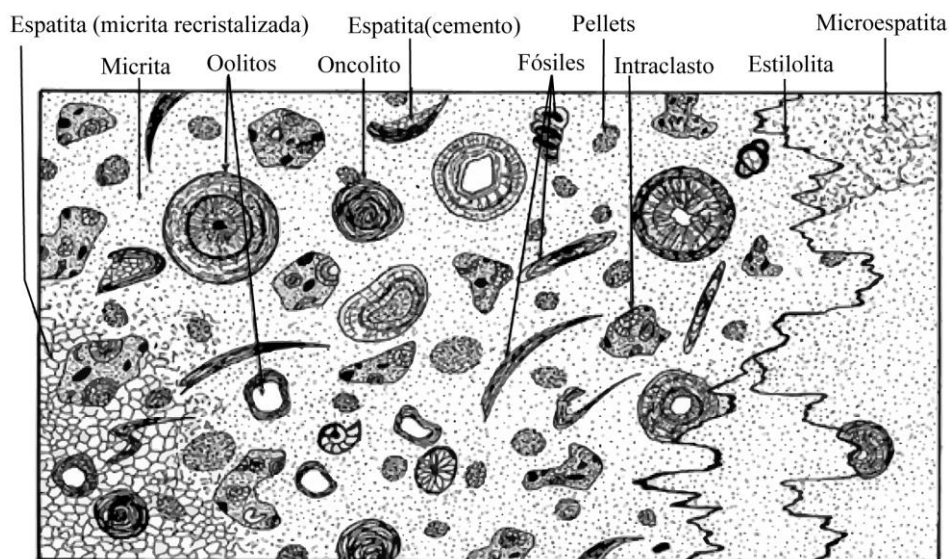


Figura A.14 Esquema de la textura en las rocas carbonatadas. Modificado de Castro, 1989.



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT


Área/Departamento: Ingeniería Geológica

❖ Esqueleto

A diferencia de las rocas clásticas el esqueleto en las rocas químicas está conformado por cristales y por componentes denominados aloquímicos. Estos son granos producidos por la precipitación química o bioquímica dentro de la cuenca de depósito, o muy próxima a ella, por lo que su composición principalmente es de carbonato de calcio. Los principales aloquímicos son: oolitos, oncolitos, pellets, fósiles, intraclastos, cortoides y agregados de granos. A continuación se describen estos componentes:

Aloquímico	Descripción
Oolitos	Son granos esféricos o elipsoidales, de diámetro entre 0.25 y 2 mm, presentan una estructura interna en forma de capas concéntricas o radiales de calcita desarrolladas alrededor de un núcleo de origen diverso, son estructuras de forma y tamaño uniforme.
Oncolitos	Son granos redondeados de diámetro mayor a 2 mm que presentan una capa exterior concéntrica sobre un núcleo de origen diverso. La capa superficial se debe al crecimiento de algas cianofíceas que atrapan y fijan partículas finas de sedimento.
Pellets	Son granos más o menos redondeados compuestos por micrita que no presentan estructura interna, en general son productos fecales. Su diámetro máximo es de 0.5 mm.
Fósiles	Son organismos completos (bioformas) o fragmentos de ellos (bioclastos) que quedan preservados en la roca. En su gran mayoría son conchas de una gran variedad de organismos (moluscos, gasterópodos, braquiópodos, equinodermos, artrópodos, foraminíferos, corales, algas, entre otros). Originalmente están compuestos de calcita o aragonito, este último caso al ser más inestable tiende a disolverse dejando el molde.
Intraclastos	Son granos con forma y tamaño variable. Estos están formados por fragmentos irregulares constituidos de sedimento carbonatado que fueron depositados en la cuenca, parcialmente litificados, y posteriormente fueron retrabajados, formando así nuevos granos sedimentarios. Su composición puede ser muy variada e incluir cualquier tipo de aloquímicos.
Cortoides	Son granos de cualquier aloquímico anterior rodeado por una fina capa de micrita.
Agregados de granos	Son grupos o agregados irregulares de granos reconocibles (aloquímicos), están cementados por micrita o espatita de grano fino. En típico que estos agregados exhiban formas botroidales.

Tabla A.19 Principales aloquímicos de las rocas carbonatadas.

	<h1>Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria</h1>
Secretaría/ División: DICT	Área/Departamento: Ingeniería Geológica

▪ **Parámetros texturales**

Como menciona Pettijohn (1975), las rocas carbonatadas tienen un origen poligenético, en parte pueden considerarse clásticas y por otra parte químicas y bioquímicas. Debido a esto, las calizas presentan una variedad de texturas que no ocurren en cualquier grupo de rocas. Cuando las calizas son sedimentadas mecánicamente, muestran texturas similares a las presentes en sedimentos clásticos no carbonáticos (tamaño de grano, clasificación, forma, redondez, empaque, orientación), por el contrario, si las calizas son formadas bioquímicamente presentan texturas y estructuras biohermales y arrecifales.

Los parámetros texturales en este grupo de rocas ayudan a interpretar el ambiente de depósito y los procesos diagenéticos.

1. Tamaño de grano

Se emplea la misma clasificación de Wentworth para clásticos y no clásticos. Como se muestra en la Figura A.15 el tamaño varía de acuerdo al aloquímico presente en la roca.

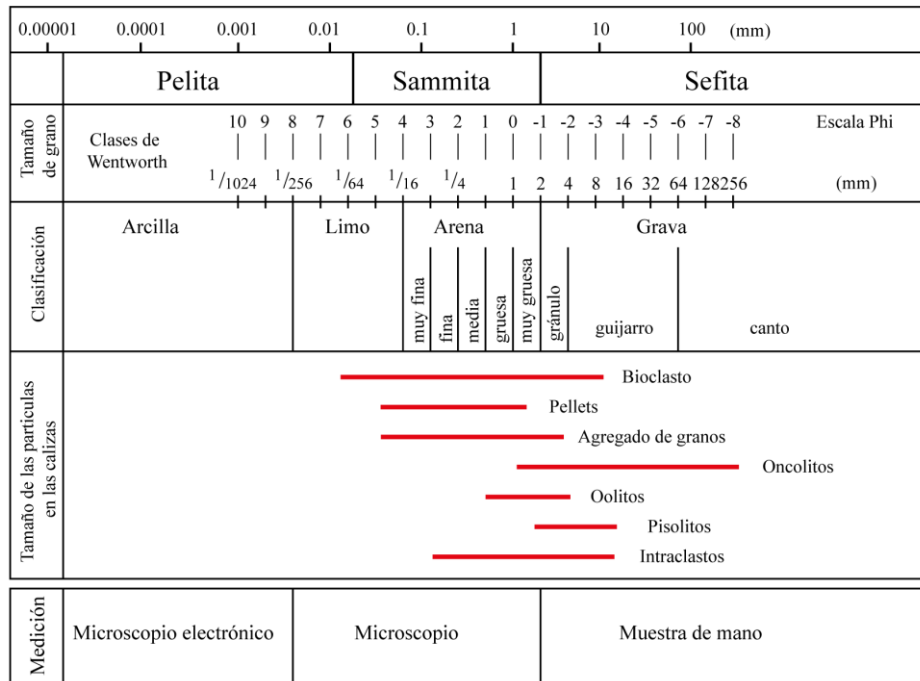



Figura A.15 Clasificación de tamaño de grano de sedimentos o partículas carbonatadas, Vossmerbäumer, 1976. Modificado de Flügel, 1982

2. Clasificación (selección)

	<h1>Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria</h1>	
Secretaría/ División:	DICT	Área/Departamento: Ingeniería Geológica

En las rocas carbonatadas, la clasificación refleja los niveles de energía presente durante el depósito de los sedimentos. Al igual que en rocas clásticas, se estima visualmente empleando la clasificación de Compton (1962). (Figura A.3)

3. Forma

La forma en sedimentos carbonatados es muy variable y depende del aloquímico. De manera general, los aloquímicos que presentan formas más irregulares son los intraclastos y las bioformas. En la Tabla A.19 (pág. 34) se describen los principales aloquímicos y sus formas. En el caso de las bioformas se recomienda apoyarse de un atlas de microfósiles para su identificación.

4. Esfericidad

Al igual que en rocas clásticas, se estima visualmente cuando es una esfera perfecta la esfericidad es 1.0, y cualquier otra forma tendrá un valor de esfericidad menor a este. Generalmente, la esfericidad se asocia con la redondez como se muestra en la tabla de comparación visual (Figura A.6) de Krumbein and Sloss (1963).

5. Redondez

Es el grado de desgaste que presentan las aristas y esquinas de la partícula, en los carbonatos; esta característica es producida por condiciones de alta energía en el ambiente de depósito. Una clasificación para determinar la redondez de bioclastos (especialmente fragmentos de conchas) es la propuesta por Pilkey et al., 1967.

Esta clasificación está conformada por cuatro clases, la clase 1 comprende partículas sin redondez, las clases 2 y 3 son caracterizadas por el incremento de la redondez, la clase 4 incluye partículas bien redondeadas a muy bien redondeadas (Figura A.16).

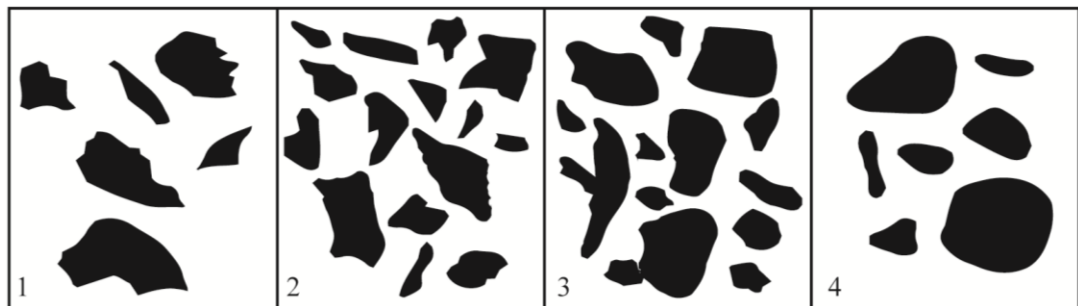


Figura A.16 Carta de comparación visual para redondez de bioclastos de Pilkey et al. (1967). Modificado de Flügel, 2010.



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica

También, es posible determinar la redondez y esfericidad mediante cartas de comparación visual que combinan ambas características. (Figura A.17)

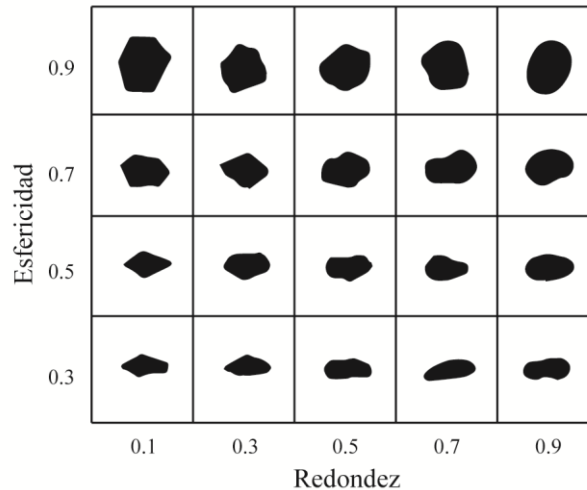


Figura A.17 Carta de comparación visual para redondez y esfericidad de las partículas. Modificado de Flügel, 2010.

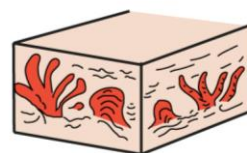
6. Empaque

Es el espaciamiento o patrón de densidad de las partículas, para su descripción se emplean los mismos criterios que en clásticos.

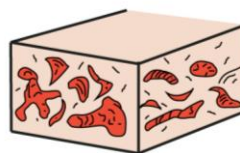
7. Orientación

De acuerdo a la génesis, las rocas carbonatadas pueden presentar distintos arreglos. Como se muestra en la Figura A.18, la orientación de las calizas biogénicas depende del crecimiento de los organismos presentes en el ambiente de depósito. Si la roca carbonatada es sedimentada mecánicamente, la orientación es la misma que en rocas clásticas.

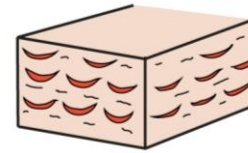
Sedimentos biogénicos (calizas)



bioherma, en posición de crecimiento



bioherma, con distribución aleatoria



moluscos/braquiópodos en posición de crecimiento

Figura A.18 Orientación de las partículas en sedimentos biogénicos. Modificado de Stow, 2006.



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica

❖ Aglutinantes

Los aglutinantes son material carbonatado formado por la precipitación química directa en la cuenca de depósito, se distinguen dos tipos de aglutinantes: micrita y espatita.

- **Micrita:** es un carbonato de calcio de tamaño inferior a $5 \mu\text{m}$ (calcita microcristalina cuya abreviación es micrita, Folk (1959), debido a su tamaño no se logran observar granos de micrita al microscopio petrográfico, sino que se ve sólo una masa uniforme de tonos más o menos oscuros. La micrita suele asociarse a la fracción fina o matriz en las rocas carbonatadas, aunque también puede ser precipitada como cemento.
- **Espatita:** es un carbonato de calcio de tamaño mayor a $5 \mu\text{m}$ que fácilmente pueden llegar a medir 1 mm. Este componente generalmente precipita posterior al depósito del sedimento carbonatado y puede encontrarse rellenando poros, cavidades, fracturas o como cemento entre los aloquímicos. En secciones delgadas la espatita se diferencia de la micrita por su color más claro y ya que aparece como un mosaico de cristales.

De acuerdo a su origen la espatita se diferencia en:

- Ortoespatita: Se origina como un cemento en poros intergranulares o intragranulares
- Pseudoespatita: Formada por procesos neomórficos (reemplazamiento, recristalización)

❖ Porosidad

Son los espacios vacíos que se encuentran entre los granos de la roca, por su génesis, la porosidad se divide en primaria y secundaria. La porosidad primaria es la resultante del proceso de depósito y la porosidad secundaria es la que se genera debido a procesos postdepósito o diagenéticos. Los tipos de porosidad más comunes de acuerdo con Choquette y Pray (1970) se muestran en la Figura A.19.

La cuantificación de la porosidad se debe realizar mediante la estimación visual de porcentajes con ayuda de tablas comparativas que se encuentran en el Anexo 1 de este manual.



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica

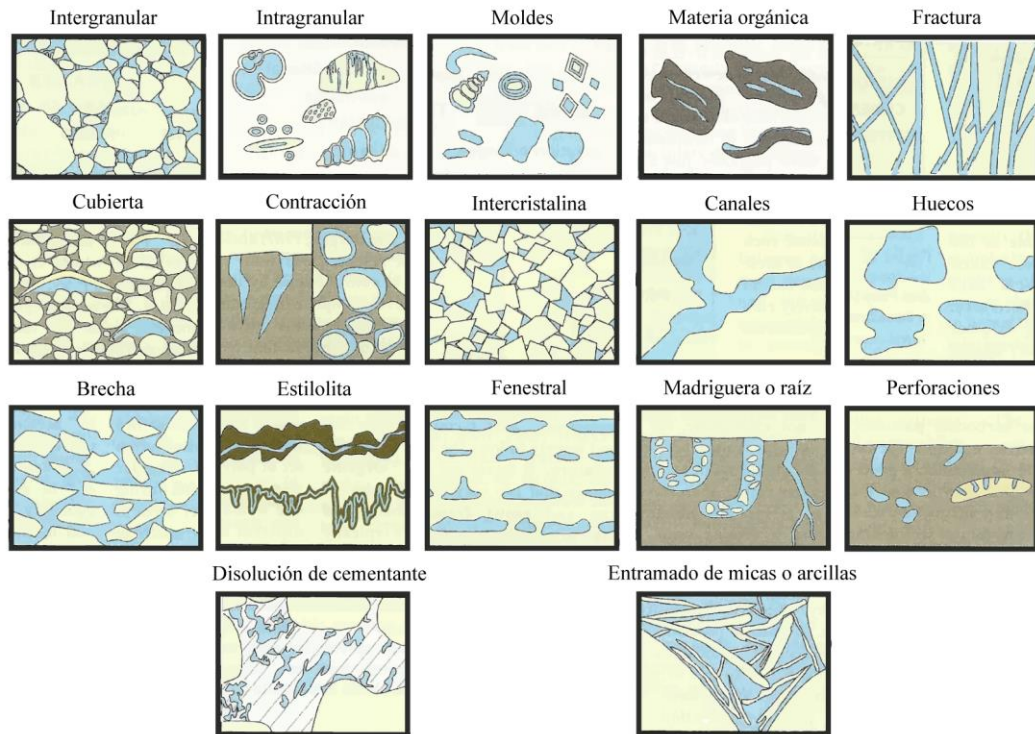


Figura A.19 Tipos de porosidad de Choquette y Pray, 1970. Modificado de Ulmen-Scholle et al., 2014.

IV.2.1. Texturas cristalinas

Las rocas con texturas cristalinas suelen denominarse granulares o sacaroideas (Pettijohn et al., 1975), y se dividen en grano grueso (macrocristalina), grano medio (mesocristalina), grano fino (microcristalina) y grano muy fino (criptocristalina). En la Tabla A.20 se muestran las texturas cristalinas de acuerdo al tamaño de grano.

Las texturas cristalinas en las rocas sedimentarias no clásticas son resultado de la cristalización de soluciones acuosas o en estado de gel, también pueden producirse por cristalización de materiales microcristalinos. Son análogas a texturas producidas en rocas ígneas o metamórficas y suelen compartir términos para su descripción.



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica

Texturas cristalinas		
I. Macrocristalina granoblástica: > 0.75 mm	Equigranular (bordes de los granos suturados o en mosaico)	Xenotópica (abundantes cristales anedrales) Hipidiotópica (abundantes cristales subedrales) Idiotópica (abundantes cristales euedrales)
	Inequigranular (bordes de los granos suturados o en mosaico)	Xenotópica Hipidiotópica (abundantes cristales subedrales)
II. Mesocristalina porfidoblástica: de 0.20 a 0.75 mm	Equigranular	
	Inequigranular	Porfidoblástica dominante Porfidoblástica subordinada (separados y aislados)
III. Microcristalina sólo reconocible al microscopio: de 0.01 a 0.20 mm	Equigranular	
	Inequigranular	Material criptocristalino dominante Material criptocristalino subordinado
IV. Criptocristalina menor a 0.01 mm		

Tabla A.20 Texturas cristalinas, Friedman, 1965. Modificado de Pettijohn, 1975.

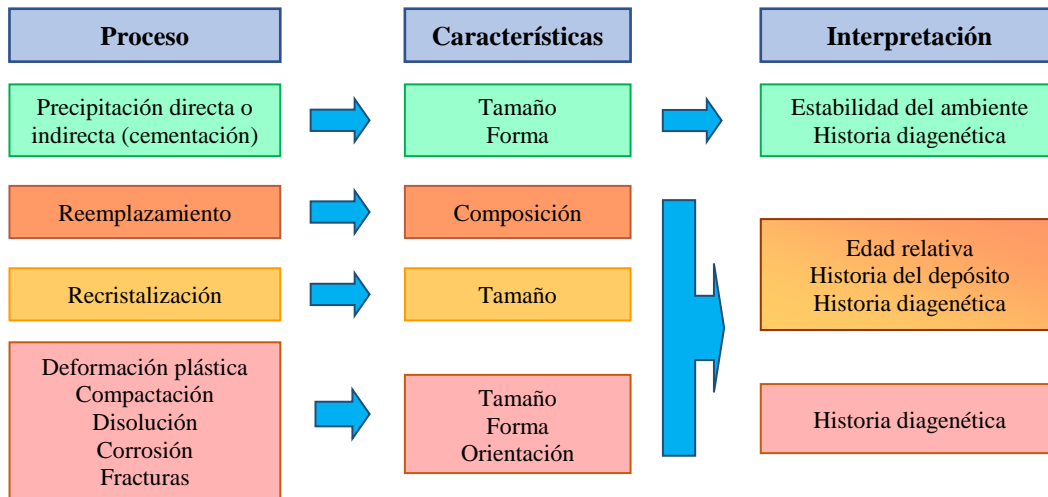
V. Petrogénesis de rocas carbonatadas

Dado que las rocas carbonatadas se forman dentro de la cuenca de depósito, no es posible determinar la fuente de aporte, ni los procesos de meteorización, erosión y transporte que sufrió antes de su depósito. En cambio, sólo es posible interpretar las condiciones ambientales durante la precipitación química o bioquímica, ambiente de depósito y los procesos posteriores correspondientes a la diagénesis.

Como se observa en el esquema siguiente, los procesos que intervienen en la formación de las rocas carbonatadas están asociados principalmente con fenómenos químicos, que se ven reflejados en el tamaño, forma, composición y orientación de los constituyentes de estas rocas.

A continuación se mencionan algunos de los criterios para determinar las condiciones ambientales y diagénesis de las rocas carbonatadas con base en la mineralogía, textura y organismos fósiles presentes. Si se requiere una interpretación más completa se recomienda consultar los textos de análisis de microfacies de rocas carbonatadas.

	<h1>Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria</h1>
Secretaría/ División: DICT	Área/Departamento: Ingeniería Geológica



Esquema A.5 Procesos, características e interpretación de las rocas carbonatadas.

V.1. Análisis ambiental

El análisis ambiental consiste en determinar las condiciones físicas, químicas y biológicas presentes en el ambiente de depósito al momento de la sedimentación de las rocas carbonatadas. Para interpretar estas condiciones se requiere tomar en cuenta cada uno de los componentes descritos en el análisis petrográfico y con base en la composición mineralógica, texturas, estructuras y fósiles es posible determinar el ambiente sedimentario.

A continuación se describen los criterios para determinar el movimiento de agua (energía), profundidad, potencial de reducción-oxidación (Eh), potencial de acidez-alcalinidad (pH), salinidad y temperatura:

❖ Movimiento de agua (energía)

Es una condición física cuya interpretación se asocia a la relación matriz-partículas, tamaño, selección, forma y redondez de las partículas, además de ciertas estructuras y aloquímicos presente. Como se muestra en la Tabla A.21 es posible establecer el nivel de energía aproximada con base en estas características.



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica

Características	Baja energía	Transicional	Alta energía	Comentarios
Matriz (micrita)	Común	Algunas veces presente	Ausente	En ambientes de alta energía el lodo puede ser fijado por películas algáceas
Relación partícula/micrita	1: 9	1: 9 a 9:1	9:1	Debe tenerse precaución cuando se consideren inversión textural y bioclastos autóctonos y alóctonos
Tamaño y selección de las partículas	Selección pobre	Selección pobre a moderada	Selección pobre a muy buena	No es válida para partículas cuyo tamaño primario esté dado por factores biológicos (por ejemplo: estado de crecimiento determinado por la edad) o por un modo especial de origen (por ejemplo: pellets fecales); útil para bioclastos
Forma y redondez de las partículas	Baja esfericidad, no redondeadas	Incremento de la esfericidad; bien redondeada a muy bien redondeada	Bien redondeada a muy bien redondeada	Especialmente válido para bioclastos; las inversiones texturales son frecuentes
Estructuras	Estructuras de espacio abierto presentes; abundantes estromatactis	Estructuras de espacio abierto, birdseyes presentes	Estructuras de espacio abierto presentes; birdseyes abundantes	Debido a la variedad de orígenes diferentes, las estructuras de espacios abiertos no son buenas indicadores de la energía del agua
Textura de depósito	Soportada por lodo; partículas generalmente no orientadas	Soportada por lodo; partículas algo orientadas	Soportada por granos; partículas más orientadas (imbricación) a veces estratificación cruzada	Muy general
Oolitos	Oolitos de fibras radiales	Oolitos de fibras radiales, oolitos micríticos, oolitos de estructura tangencial, oolitos superficiales raros	Oolitos normales y superficiales, estructuras tangenciales	El control de facies de oolitos de fibras radiales es probable pero no es completamente comprobable
Litoclastos		Plasticlastos comunes; extraclastos presentes	Plasticlastos presentes, imbricación, extraclastos comunes	Téngase cuidado con la inversión textural
Pellets	Pellets fecales	Pseudopellets, pellets fecales		Los pellets fecales son cementados más rápidamente en ambientes de baja energía, preservándose mejor
Oncolitos		Cambios en la velocidad de la corriente		Existen grandes dificultades en la comparación de oncolitos recientes y antiguos
Cortoides		Común	Presente	Las cubiertas de micrita originadas por perforaciones algáceas, se presentan preferentemente en ambientes de relativa baja energía; las otras formas de origen no están relacionadas con la energía del agua
Agregados de granos		Originados en áreas con circulación restringida		La ausencia de una matriz micrítica en muchas calizas constituidas de agregados granulares posiblemente se deba a la no sedimentación
Partículas de terrígenos	Materiales de grano fino comunes	Materiales de grano y grueso presentes	Materiales de grano fino ausentes, de grano grueso abundantes	Muy diferente que depende del material erosionado, del relieve topográfico y de las condiciones sedimentarias en el área de depósito

Tabla A.21 Indicaciones de microfacies de diversa energía del agua. Modificado de Flügel, 2010.



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica

❖ Profundidad

Es una condición física cuya interpretación se asocia a la presencia de algunos aloquímicos y organismos. Como se muestra en las Figuras A.20 es posible establecer una profundidad aproximada con base en éstos.

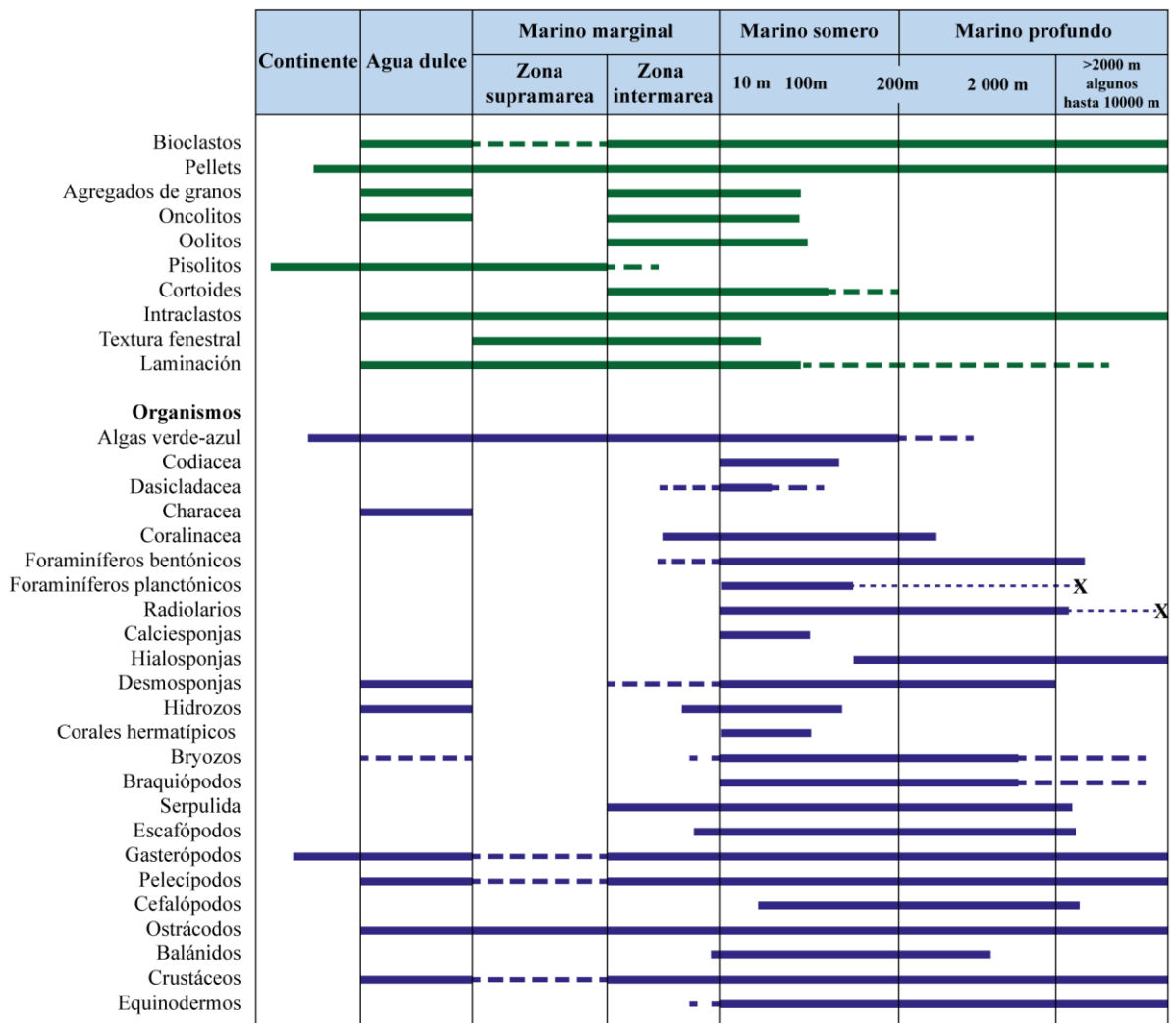


Figura A.20 Aloquímicos y organismos presentes a distintos intervalos de profundidad. X= Alóctono. Modificado de Flügel, 2010.



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica

❖ Temperatura

Es una condición química del ambiente cuya interpretación se asocia a presencia de organismos propios de temperaturas favorables o no, para la precipitación de carbonatos. Como se muestra en la Figura A.21 es posible establecer la temperatura aproximada con base en los organismos mencionados.

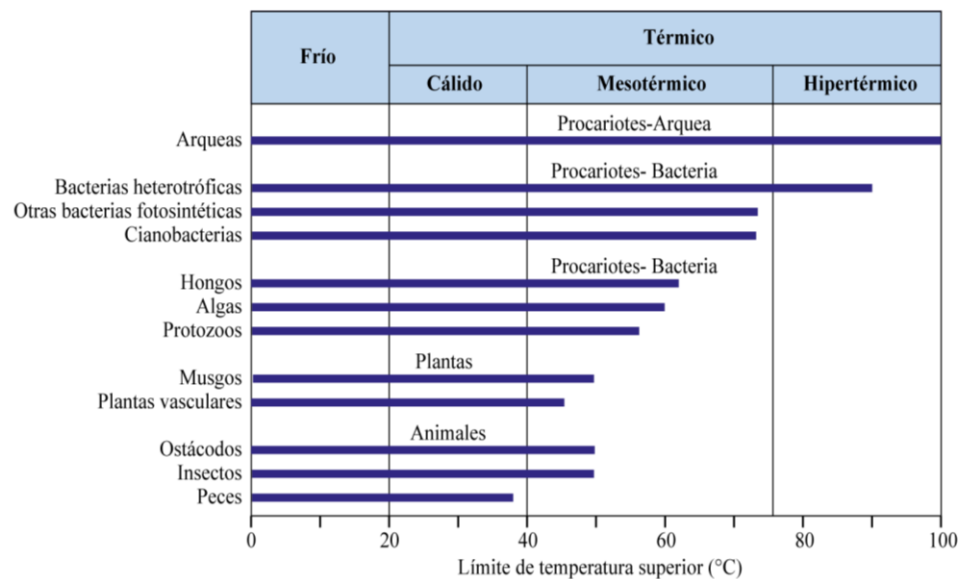


Figura A.21 Organismos presentes a diferentes regímenes de temperatura en primavera. Brock, 1994. Modificado de James y Jones, 2015.

❖ Potencial de Acidez-Alcalinidad (pH)

Es una condición química del ambiente cuya interpretación se asocia a presencia de minerales y organismos propios de cierto potencial de acidez-alcalinidad (pH). Como se muestra en la Tabla A.22 es posible establecer el pH aproximado con base en los criterios mencionados.

Criterio	Potencial de acidez-alcalinidad (pH)
Ausencia de carbonatos	Fuertemente ácido
Presencia de pedernal	Ácido (pH < 7.0)
Pirita presente	Neutro (7.0 < pH < 7.8)
Depósito de calcita	pH mayor o igual a 7.8
Ausencia de cuarzo	Alcalino (pH > 7.8)

Tabla A.22 Criterios para determinar el potencial de acidez-alcalinidad (pH) aproximado en el ambiente de depósito. Vera, 2017.



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica

❖ Potencial de Reducción–Oxidación (Eh)

Es una condición química del ambiente cuya interpretación se asocia a presencia de minerales y organismos propios de cierto potencial de reducción–oxidación. Como se muestra en la Tabla A.23 es posible establecer el Eh aproximado con base en los criterios mencionados.

Criterio	Potencial de reducción–oxidación (Eh)
Sulfuros de fierro (también Glauconita)	Medio reductor
Siderita	Ambiente intermedio
Hematita	Medio oxidante
Ausencia de fauna bentónica	Bajo potencial de oxidación
Braquiópodos fosfáticos, conodontos, restos de peces, esporas, polen	Fuertemente reductor
Alto contenido (> 2-3%) de materia orgánica	Ausencia de oxígeno

Tabla A.23 Criterios para determinar el potencial de reducción–oxidación (Eh) aproximado en el ambiente de depósito. Vera, 2017

❖ Salinidad

Es una condición química del ambiente cuya interpretación se asocia a presencia de minerales y organismos propios de una salinidad específica. Como se muestra en la Tabla A.24 los minerales que sirven como criterio de salinidad son los carbonatos, sulfatos, halita, y sales de K y Mg.

Tipos de agua	Salinidad (‰) o (g/L)	Precipitados
Agua dulce	< 0.5 (0.1)	-----
Salobre	0.5 a 36	-----
Marino Normal	36	Carbonatos
Mesosalina	>36 - 140	Carbonatos evaporíticos, no fosilíferos, oolíticos. Dolomías finamente laminadas.
Penesalina	>140 – 250	Sulfato cálcico (yeso, anhidrita)
Salina	>250 – 320	Sulfato cálcico (yeso, anhidrita)
Salina	>320 – 350	Cloruro de sodio (halita)
Hipersalina (Supersalina)	> 350	Sales de K – Mg. Biota ausente o incipiente

Tabla A.24 Criterios para determinar la salinidad con base en la mineralogía presente. Vera, 2017.

Por otro lado, la Figura A.22 muestra los niveles de salinidad para los aloquímicos y organismos.



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica

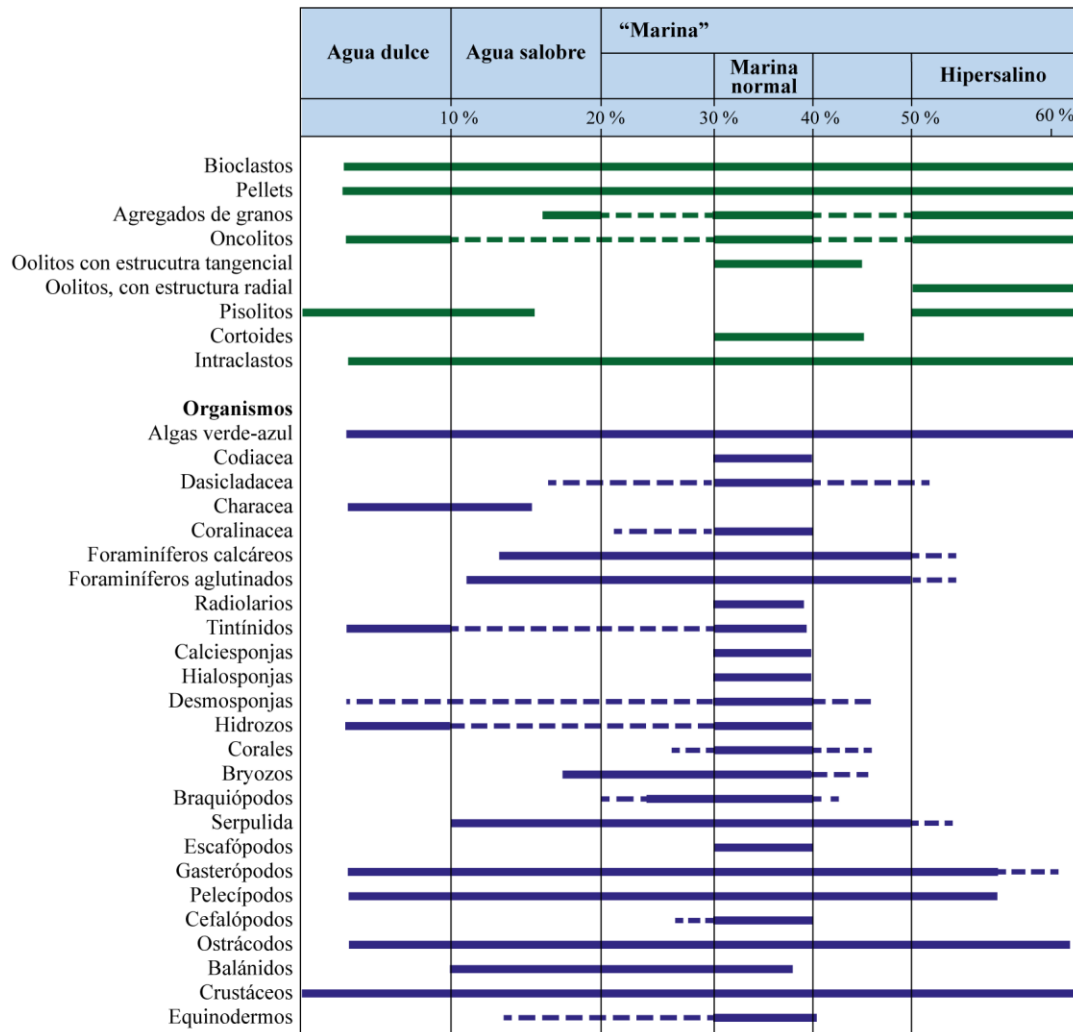


Figura A.22 Aloquímicos y organismos a diferentes rangos de salinidad. Modificado de Flügel, 2010.

V.2. Facies de sistemas carbonatados

Las facies de sistemas carbonatados o facies de Wilson (1975) son un modelo elaborado a partir del estudio de una gran cantidad de plataformas carbonatadas actuales y antiguas. En este modelo de facies, Wilson toma en cuenta no sólo los niveles de agitación en la plataforma, sino también otros factores hidrológicos, climáticos, orgánicos, tectónicos (Arche, 2010).

Este modelo teórico de Wilson es bastante útil para la interpretación de facies en plataformas antiguas, y determinar ambientes de formación de los carbonatos. En la Tabla A.25 se esquematizan las facies de Wilson y las características propias de cada una de ellas.

Zonas	I Cuenca	III Plataforma de mar abierto	III Pie de talud	IV Talud	V Arrecife o margen de plataforma	VI Arenas del borde de la plataforma	VII Plataforma de laguna abierta	VIII Plataforma restringida	IX Llanura supramareal evaporítica (Sabkha)
	<p>Nivel de base del oleaje normal</p> <p>N. oxigenación</p> <p>Nivel de base del oleaje en tormentas</p> <p>N.b. oleaje normal</p> <p>→ aumenta salinidad →</p> <p>37-45 ppm > 45 ppm</p>								
Facies	Cuenca (Exuxínica o evaporítica). a) Clásticos finos. b) Carbonatos. c) Evaporitas.	Plataforma abierta (marino nerítico abierto). a) Carbonatos. b) Lutitas.	Carbonatos del pie de talud. Límite de la plataforma profunda.	Talud. a) Sedimentos de grano fino con deslizamientos. b) Calcaremitas. c) Lodos calcáreos.	Arrecife a) Boundstone. b) Acumulaciones de restos orgánicos y fangos.	Calcaremitas del borde de la plataforma. a) Bajíos. b) Islas con dunas.	Plataforma abierta (lagunas abiertas). a) Bancos de calcarenitas. b) Áreas de wackestone y mudstone, biohermas. c) Áreas con terrígenos.	Plataforma restringida. a) Wackestone en lagunas y bahías. b) Calcaremitas en canales de marea. c) Lodos calcáreos en llanuras de marea. d) Siliciclásticos finos intercalados.	Llanura supramareal evaporítica. a) Anhidrita nodular y dolomita en sabkhas. b) Evaporitas laminadas en charcos.
Litología	Lutitas o limos oscuros, calizas en bancos delgados, relleno evaporítico en caso de desecación.	Calizas muy fosilíferas intercaladas con margas, estratos bien diferenciados.	Calizas de grano fino, localmente con silex.	Variable, dependiendo de la turbulencia del agua en la parte superior del talud. brechas y calcarenitas.	Calizas y dolomías masivas.	Calcaremitas oofíticas o dolomías.	Variable, carbonatos y clásticos.	Generalmente dolomías y calizas dolomíticas.	Dolomita y anhidrita irregularmente laminadas, pueden graduar a lechos rojos.
Organismos	Exclusivamente fauna neotónica y localmente abundante en los planos de estratificación.	Organismos con concha infaunales y epifaunales muy diversos.	Restos bioclásticos resedimentados en su mayor parte de las zonas más someras.	Colonias y restos bioclásticos resedimentados del arrecife.	Organismos constructores de armazones rígidos. Comunidades «in situ».	Pocos organismos autóctonos, la mayor parte resedimentados del arrecife. Las conchas están generalmente desgastadas por abrasión.	Generalmente carece de fauna de mar abierto. Aparecen moluscos, esponjas, foraminíferos, algas verdes y cianofíceas. Parches arrecifales.	Fauna muy limitada. Gasterópodos, algas (principalmente cianofíceas), foraminíferos (milióidos) y ostracodos.	Fauna alóctona excepto las algas formadoras de los estromatolitos
Microfacies tipo	1. Espiculita wackestone y packstone. 2. Calcimolita microbioclástica. 3. Mudstone y wackestone pelágicos.	1, 2. Wackestone con conchas completas. 9. Wackestone bioclástico. 10. Packstone-wackestone bioclástico con granos esqueléticos desgastados.	2 y 3. Microbrecha o packstone bio-litoclástico.	4. Grainstone o floatstone bioclástico. 6. Rudstone arrecifal.	7. Boundstone, arrecife de plataforma marginal. 11. Grainstone de bioclásticos oncolitizados. 12. Coquina packstone, grainstone o rudstone bioclástico.	11, 12. Grainstone de bioclastos oncolitizados. 14. Depósitos de, brechas erosivas. 15. Oolitos bien seleccionados.	8, 9, y 10. Grainstone con pellets. 17. Grapestone, pelespatita. 18. Grainstone de foraminíferos y dasycladáceas (algas).	16, 17 y 18. Micrita laminada fenestral-peletoidal. 21. Mudstone espongiostromico. 22. Micrita con grandes oncoides. 23. Micrita pura no laminada. 24. Rudstone o floatstone.	20. Mudstone estromatolítico laminado. 23. Micrita pura no laminada. Anhidrita enterolítica.

Tabla A.25 Esquema general de distribución de facies en el modelo estándar de Wilson, 1975. Modificado de Arche 2010.



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica

Como se muestra en la figura anterior, el modelo teórico completo de Wilson consta de nueve zonas estándar que pueden presentarse en cualquier plataforma carbonatada, estos son: I Cuenca, II Plataforma de mar abierto, III Pie de talud, IV Talud, V Arrecife o margen de plataforma, VI Arenas del borde de la plataforma, VII Plataforma de laguna abierta, VIII Plataforma restringida y IX Llanura supramareal evaporítica (Sabkha); debido a que el desarrollo de estas zonas depende de una gran variedad de factores es común que no se encuentren todas las zonas en una plataforma carbonatada.

V.3. Diagénesis de rocas carbonatadas


Como ya se mencionó en el apartado III.3. Diagénesis de rocas clásticas, la diagénesis es un proceso postdepósito que puede modificar la textura y mineralogía de una roca. En las rocas carbonatadas los procesos diagenéticos son los mismos, aunque la autigénesis y la cementación son los procesos más evidentes.

La dolomitización es probablemente el proceso diagenético más importante en las rocas carbonáticas ya que la mayor parte de la dolomita presente en estas rocas es producto de dolomitización, es decir del reemplazamiento de calcita o aragonita por dolomita (Tabla A.26).

De acuerdo a los procesos presentes se busca deducir la sucesión de eventos diagenéticos que permita establecer la evolución de la porosidad principalmente con fines ingenieriles.

Proceso	Descripción	Evidencias
Dolomitización	Reemplazamiento de minerales carbonatados (calcita y aragonita) por dolomita.	Inclusiones del mineral reemplazado en el nuevo mineral, contactos engolfados y residuos aislados por extremo engolfamiento, pseudomorfismo

Tabla A.26 Procesos diagenéticos, descripción y evidencias (continuación de Tabla A.16).

	<h1>Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria</h1>
Secretaría/ División: DICT	Área/Departamento: Ingeniería Geológica

VI. Otras propiedades de las rocas

Además de la textura y composición, es útil determinar otras propiedades físicas de las rocas que si bien no son determinativas en la clasificación de la roca son de gran importancia en la aplicación ingenieril de ésta. A continuación, se mencionan y describen estas propiedades.

VI.1. Color


Es la propiedad más evidente en las rocas, aunque no es determinativo, su descripción puede orientar la clasificación de la roca. Para una descripción precisa del color se debe comparar con una guía estándar de colores como la elaborada por Goddard *et al.* (1948) o el sistema de colores de Munsell. Algunas causas del color en las rocas sedimentarias se describen en la Tabla A.27.

Color	Causa probable
Rojo	Hematita
Amarillo/pardo	Hierro hidratado óxido /hidróxido
Verde	Glauconita, clorita
Gris	Poca materia orgánica
Negro	Mucha materia orgánica
Con manchas	Parcialmente lixiviado
Blanco/sin color	Lixiviado

Tabla A.27 Color de las rocas sedimentarias y sus posibles causas. Modificado de Tucker, 2003.

VI.2. Grado de consolidación

Es el grado de coherencia de una roca, las propiedades mecánicas dependen fundamentalmente de que tan unidos se encuentren sus componentes. Si sus componentes están unidos rígidamente éstas se encuentran muy consolidadas, por el contrario, si los granos que forman la roca se encuentran unidos débilmente la roca es friable. Estos términos son usados tanto para la descripción de rocas como para los sedimentos clásticos. A continuación, se describen los grados de consolidación (Tabla A.28):

	<h1>Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria</h1>
Secretaría/ División: DICT	Área/Departamento: Ingeniería Geológica

Grado de consolidación	Descripción
Sin consolidar	Suelto, sin cemento en absoluto.
Muy friable	Se deshace fácilmente entre los dedos.
Friable	Al frotar con los dedos libera muchos granos. Se requiere un golpe suave con el martillo para desintegrar la muestra.
Dura	Los granos se pueden separar de la muestra con una navaja. Se rompe fácilmente con un golpe leve del martillo
Muy dura	Los granos son difíciles de separar con la navaja. Es difícil de romper con el martillo
Extremadamente dura	Se rompe con varios golpes fuertes del martillo

Tabla A.28 Grado de consolidación de las rocas sedimentarias. Modificado de Tucker, 2003.

VI.3. Grado de meteorización

Se denomina meteorización de las rocas a las modificaciones experimentadas en la composición o estructura por la acción de agentes atmosféricos. Estos cambios son importantes ya que modifican las propiedades físicas y mecánicas de las rocas.

A causa de la meteorización, la roca sana pasa gradualmente a suelo dependiendo la intensidad y duración de la misma. Para describir el grado de meteorización de una roca se han creado escalas empíricas que son meramente descriptivas. En la Tabla A.29 se muestra una escala para determinar el grado de meteorización de las rocas establecida por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (1978).

Grado de meteorización	Descripción
Sano	No se aprecia ningún signo visible de meteorización. Puede observarse una ligera decoloración.
Ligeramente meteorizado	El material presenta un aspecto decolorado u oxidado tanto en las discontinuidades como en la propia roca. La resistencia de la roca es algo menor que la de la roca sana.
Moderadamente meteorizado	Se ha meteorizado menos del 50% del material. La roca puede estar sana o decolorada, presentándose en grandes bloques.
Fuertemente meteorizado	Se ha meteorizado más del 50% del material. La roca, que puede estar sana o decolorada, está en bloques discontinuos.
Completamente meteorizado	El material está completamente meteorizado, pero mantiene intacta la estructura original de la roca
Suelo residual	Todo el material se ha convertido en suelo. Se ha perdido la estructura y la textura. El cambio de volumen es apreciable.

Tabla A.29 Grado de meteorización de las rocas. ISRM (1978)



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica

Prácticas de laboratorio.

Práctica 1. Análisis granulométrico de sedimentos clásticos

Práctica 2. Análisis de procedencia de sedimentos clásticos

Práctica 3. Petrología de conglomerados y brechas

Práctica 4. Petrología de areniscas

Práctica 5. Petrología de calizas y dolomías



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica

Laboratorio de Petrología

Análisis granulométrico de sedimentos clásticos

Nº de práctica: #1

Nombre completo de los alumnos		Firma
Nº de equipo:	Fecha:	Grupo:
Calificación:	Profesor:	

Elaborado por:	Revisado por:	Autorizado por:	Vigente desde:
Ulises Z. Hernández Tapia	M.E. Miguel I. Vera Ocampo		



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica

1. Seguridad en la ejecución

	Peligro o fuente de energía	Riesgo asociado
1	Ro-Tap	Lesiones físicas asociadas al aproximarse mientras se encuentra funcionando.

2. Objetivo de aprendizaje

Que el alumno desarrolle habilidades para realizar el análisis granulométrico, desde la recepción de la muestra, preparación, ejecución del método, obtención y manejo de datos recabados para interpretación geológica y su posible aplicación ingenieril.

3. Recursos a emplear

- Bolsas de plástico
- Lona o hule de aproximadamente 1x1 m
- Marcador indeleble
- Masking tape
- Brochas
- Espátula o cuchara de acero

Equipos

- Agitador mecánico (Ro-Tap)
- Báscula con capacidad para 2 kg y precisión de 0.01 g
- Tamices
- Tapa y fondo (depósito de residuos)



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica

4. Fundamento teórico

El análisis granulométrico es un método para determinar la distribución del tamaño de las partículas en los sedimentos, consiste en hacer pasar partículas de sedimentos a través de mallas (tamices o cribas) de diferente apertura, de tal manera que las partículas se puedan ir separando (clasificando) de acuerdo las **clases de tamaño** establecidas por Udden-Wentworth (1922).

A través del análisis granulométrico de los sedimentos se logran obtener, con las ecuaciones de Folk y Ward (1957), los parámetros estadísticos, como son: media, mediana, moda, desviación estándar, asimetría, entre otros. Estos se relacionan con los procesos físicos que transportaron a esos sedimentos y el ambiente de depósito de los mismos.

Para determinar el posible ambiente sedimentario del depósito del sedimento, se han elaborado diagramas mediante el estudio y análisis de cientos de muestras de distinta procedencia. Spalletti (1980) desarrolló un diagrama para identificar sedimentos depositados en los ambientes fluvial, glacial, eólico, playa y abanico aluvial, basado en los estudios de Mazzoni en 1977.

Las aplicaciones de este método son relevantes, no sólo desde el punto de vista científico sino también para cuestiones de ingeniería, especialmente si se trata de agregados para materiales de construcción.

I. Presentación de conceptos

• Parámetros estadísticos:

- Media (M_z): aproximación del promedio granulométrico de una distribución dada.
- Mediana (M_d): tamaño que corresponde al percentil 50 u ordenada del ϕ_{50} en la curva acumulativa. Implica que el 50% de la muestra es mayor al percentil 50 y el otro 50% es menor.
- Moda (M_o): es el punto más alto del histograma, corresponde a la clase (tamaño) de sedimento de mayor abundancia en el sedimento.
- Desviación estándar (σ_1): es el grado de dispersión de las clases granulométricas a partir de la moda.



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica

- Curtosis (K_G): es una medida comparativa entre la selección en el centro de la distribución y en los extremos. La distribución leptocúrtica posee mejor selección en el centro que en los extremos. El caso contrario sucede en una distribución platicúrtica.
- Asimetría (Sk_1): sesgamiento con respecto a la moda y la media. Una asimetría positiva posee una tendencia hacia sedimentos finos, un valor negativo representa una desviación hacia los sedimentos gruesos.

A continuación se muestran los valores límites de la desviación estándar, curtosis y asimetría para los coeficientes de Folk y Ward (1957) y la clasificación verbal de estos parámetros.


Desviación estándar	Curtosis	Asimetría
Extremadamente mal clasificado ----- 4,00 -----	Extremadamente leptocúrtica	----- 1,00 -----
Muy pobremente clasificado ----- 2,00 -----	Muy leptocúrtica	Muy asimétrica positiva ----- 0,30 -----
Pobremente clasificado ----- 1,00 -----	Leptocúrtica	Asimétrica positiva ----- 0,10 -----
Moderadamente clasificado ----- 0,70 -----	Mesocúrtica	Simétrica ----- -0,10 -----
Moderadamente bien clasificado ----- 0,50 -----	Platicúrtica	Asimétrica negativa ----- -0,30 -----
Bien clasificado ----- 0,35 -----	Muy platicúrtica	Muy asimétrica negativa ----- -1,00 -----
Muy bien clasificado		

Tabla 1.1. Valores límites de la desviación estándar, asimetría y curtosis para los coeficientes de Folk y Ward (1957).

- **Ambiente sedimentario**

Para determinar el posible ambiente sedimentario del que proceden los sedimentos analizados, Friedman (1962) establece grupos de desviación estándar para arenas medias y finas de varios orígenes. (Tabla 1.2)

Otra forma de determinar el ambiente sedimentario es mediante el diagrama de Spalletti (1980) que compara media y desviación estándar. En este diagrama es posible identificar sedimentos depositados en ambiente fluvial, glacial, eólico, playa y abanico aluvial. (Figura 1.1)

	<h1>Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria</h1>
Secretaría/ División: DICT	Área/Departamento: Ingeniería Geológica

A continuación, se muestran la tabla de clasificación de Friedman (1962) y el diagrama de Spalletti (1980).

Desviación estándar (σ_1)	Clases de clasificación	Ambientes de arenas
<0.35	Muy bien clasificado	Dunas costeras y lagos; muchas playas (foreshore); comúnmente sobre la plataforma marina somera.
0.35-0.50	Bien clasificado	La mayoría de las playas (foreshore); plataformas marinas someras; muchas dunas tierra adentro.
0.50-0.80	Moderadamente bien clasificado	La mayoría de las dunas tierra adentro; la mayor parte de los ríos; la mayoría de las lagunas restringidas; plataformas marinas distantes.
0.80-1.40	Moderadamente clasificado	Muchos marcos glacio-fluviales; muchos ríos; algunas lagunas restringidas; algunas plataformas marinas distantes.
1.40-2.00	Pobremente clasificado	Muchos marcos glacio-fluviales
2.00-2.60	Muy pobremente clasificado	Muchos marcos glacio-fluviales
>2.60	Extremadamente pobremente clasificado	Muchos marcos glacio-fluviales

Tabla 1.2 Clasificación de arenas basada en clases de clasificación o desviación estándar. Modificada de Friedman, 1962.

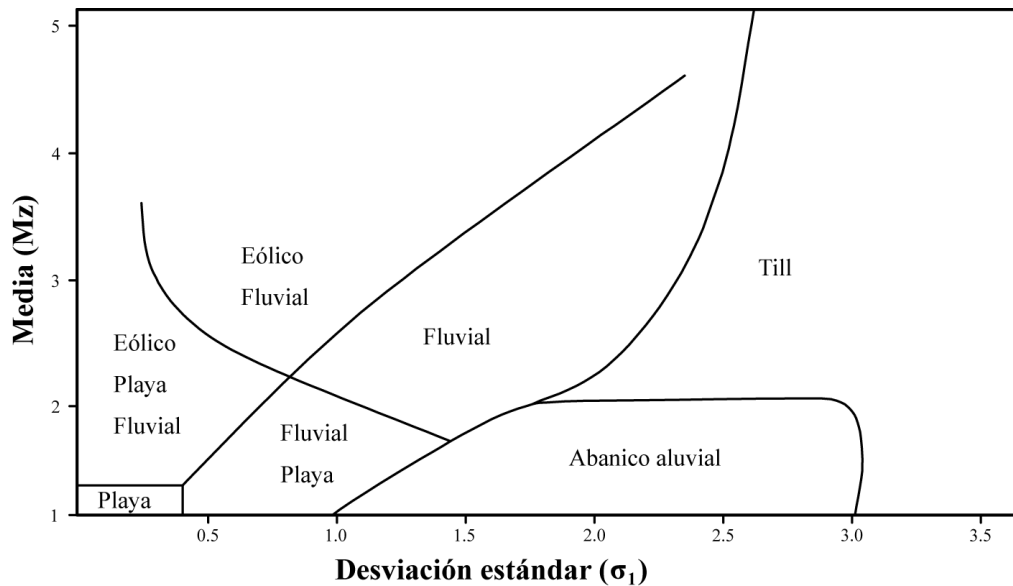


Figura 1.1. Diagrama media- desviación estándar para determinar el ambiente sedimentario Mazzoni, 1977. Modificado de Spalletti, 1980.



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica

5. Desarrollo

El profesor proporcionará al alumno una muestra de sedimento. El alumno deberá revisar el estado de la misma y comenzará con el método establecido a continuación.

I. Recepción y preparación previa.

– Al recibir la muestra, revise el estado de la misma, si contiene humedad debe procederse a un secado, para ello, deposite la muestra en un recipiente plástico limpio, éste debe ser amplio y sin tapa, coloque el recipiente en un lugar libre de humedad a temperatura ambiente y espere entre 24 y 48 horas, dependiendo la humedad de la muestra o mediante un horno a 60°C siguiendo el siguiente procedimiento (si no hay arcillas presentes se puede secar hasta a 80°C).

- Pese la muestra antes de introducirla al horno, seque por 30 minutos y retire una vez concluido el tiempo, pese de nuevo. Si hay diferencia entre mediciones, introduzca nuevamente la muestra al horno 30 minutos, retire y vuelva a pesar, repita el proceso hasta que el peso entre mediciones no varíe.

– Una vez que la muestra se encuentre libre de humedad, disgréguela cuidadosamente con la mano o con un martillo pequeño si ésta se encuentra poco consolidada, procure no romper las partículas individuales.

II. Homogenización y cuarteo

– Extienda la lona o hule sobre una superficie plana y limpia y vierta con cuidado la muestra en el centro, levante una a una de las esquinas del hule diagonalmente por encima del sedimento en dirección de la esquina opuesta teniendo cuidado de no producir pérdida ni adición de material. Este proceso se repetirá con cada una de las esquinas al menos tres veces, esto con el fin de que la muestra se homogenice.

– Apile la muestra en la parte central del hule formando un cono, con cuidado presione la parte superior del cono hasta lograr un espesor y diámetro homogéneo. El diámetro deberá ser aproximadamente de cuatro a ocho veces el espesor.



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica

– Divida (cuartee) la muestra aplanada en cuatro partes iguales con la espátula o con ayuda de una regla. Junte y retire las porciones diagonalmente opuestas incluyendo la fracción fina con ayuda de una brocha. Pese la muestra obtenida, ésta deberá cumplir con la masa mínima requerida para el análisis especificada en la tabla siguiente, sí la masa obtenida es demasiada, volver a cuartear hasta obtener una muestra adecuada. Registre el peso de la muestra a analizar.

Tamaño nominal de las partículas más grandes (mm)	Masa mínima aproximada de la muestra (g)
4.75	300
9.5	500
19.0	1000
25.4	2000
38.1	3000

Tabla 1.3. Masa mínima para análisis granulométrico de sedimentos.

III. Cribado o tamizado.

– En la Tabla 1.4, se indican los números de tamiz que serán empleados con el tamaño de apertura y tamaño de la partícula retenida de acuerdo a la clasificación de Wentworth, 1922. Verifique que los tamices se encuentren limpios y ordénelos de acuerdo a la abertura de la malla en secuencia decreciente de arriba hacia abajo, procure no tocar las mallas con las manos. Coloque además un fondo en la parte inferior.

No. de tamiz (ASTM)	Tamaño de apertura	Tamaño de la partícula retenido
5	4.00 mm	Guijarro
10	2.00 mm	Gránulo
18	1.00 mm	Arena muy gruesa
35	0.50 mm	Arena gruesa
60	0.25 mm	Arena media
120	0.125 mm	Arena fina
230	0.063 mm	Arena muy fina
Fondo	<0.063 mm	Limos y arcillas

Tabla 1.4 Relación entre apertura del tamiz y tamaño de la partícula.

En la Tabla 1.5 (pág. 64) se muestra la equivalencia entre los tamices ASTM y dos de los distintos sistemas normalizados de tamices a nivel internacional.



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica

– Vierta la muestra previamente pesada en el tamiz superior, cubra con una tapa la columna de tamices y colóquela sobre el Ro-Tap asegurándose que ésta se encuentre bien ajustada. Encienda y espere de 7 a 12 minutos. En caso de no contar con un Ro-Tap agite la columna de tamices con sacudidas verticales y movimientos en círculos horizontales durante 15 minutos. En ningún momento voltee o manipule con la mano los fragmentos de la muestra a través de la malla.

IV. Toma de datos

– Una vez concluido el tiempo, desensamble uno a uno los tamices vaciando su contenido sobre un hule limpio, teniendo cuidado de no ocasionar pérdida. Para asegurar que no queda muestra sobre el tamiz limpie con una brocha pequeña. Determine el peso de cada fracción en una balanza con una precisión de 0.01 g. Posteriormente coloque dentro de bolsas rotuladas con el nombre de la muestra y apertura de la malla o número de tamiz. La suma de las masas retenidas en todas las mallas debe ser aproximadamente igual a la masa original de la muestra tamizada.

❖ El método desarrollado está basado en las Normas ASTM:

- C-136 Método estándar de ensayo para análisis por tamizado de agregados fino y grueso
- C-702 Práctica para la reducción de muestras de agregados a tamaños de ensayo.
- D-75 Práctica para el muestreo de los agregados.
- D-422-63. Método estándar de ensayo para análisis de tamaño de partículas.
- E-11 Especificación para mallas de tela y alambre para propósitos de ensayo.

❖ Para análisis de sedimentos finos menores a la malla 200 se recomienda aplicar la Norma ASTM C-117 (Método de ensayo normalizado para materiales más finos que la malla no. 200 (75 μm) en agregados minerales mediante lavado.



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica

6. Actividades

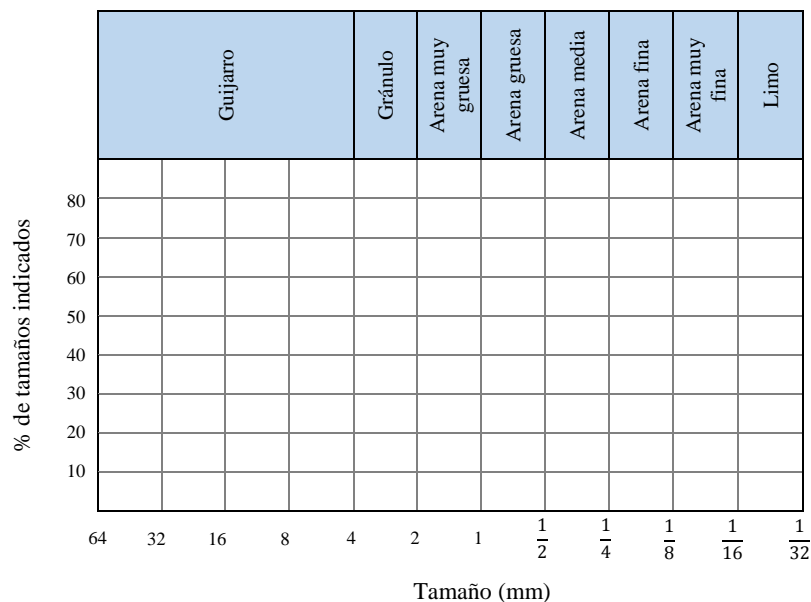
- Completar la siguiente tabla con los datos obtenidos del análisis.

No. de tamiz	Apertura de la malla	Peso (W) del sedimento retenido	Peso (W) del sedimento acumulado	% retenido	% acumulado
5	4 mm				
10	2 mm				
18	1 mm				
35	0.5 mm				
60	0.25 mm				
120	0.125 mm				
230	0.063 mm				
Fondo	<0.063 mm				
	Total				

- Calcular el porcentaje de error. Si este es mayor al 0.3 % los resultados no deberán ser usados para propósitos de aceptación.

% Error=_____

- Elaborar el histograma de la muestra con el peso del sedimento retenido a partir de la tabla del inciso 1





Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica

- Construir la curva acumulativa en el papel semilogarítmico y obtener los percentiles indicados con base en el gráfico. (ver Anexo 2)

- A partir de los percentiles obtenidos en la curva acumulativa, calcular los siguientes parámetros estadísticos de Folk y Ward.
 - Media: _____
 - Mediana: _____
 - Desviación estándar: _____
 - Asimetría: _____
 - Curtosis: _____

- Representar los datos obtenidos en la clasificación de arenas de Friedman, (Tabla 1.2) y en el diagrama media-desviación estándar de Spalletti, (Figura 1.1) y determinar el ambiente sedimentario de acuerdo con los resultados obtenidos.

- Definir las condiciones de fluidez y energía de los agentes de transporte que dieron lugar al sedimento analizado.



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica

- Investigue las posibles aplicaciones de este método dentro de la ingeniería geológica.

7. Interprete y comente sus resultados



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica

Formulario

- % de error

$$\% \text{ error} = \frac{W_0 - W_F}{W_F} * 100$$

- % retenido

$$\% \text{ retenido}_{T_{amiz}} = \frac{W_{RT}}{W_F} * 100$$

- % acumulado

$$\% \text{ acumulado} = \sum \% \text{ retenido}_{T_{amiz}}$$

donde:

W_0 : peso inicial de la muestra seca analizada

W_F : peso final de la muestra seca analizada

W_{RT} : peso retenido en cada tamiz

- Media

$$M_z = \frac{\Phi_{16} + \Phi_{50} + \Phi_{84}}{3}$$

- Mediana

$$Md_\Phi = \Phi_{50}$$

- Desviación estándar

$$\sigma_1 = \frac{\Phi_{84} - \Phi_{16}}{4} + \frac{\Phi_{95} - \Phi_5}{6.6}$$

- Asimetría

$$Sk_1 = \frac{\Phi_{84} + \Phi_{16} - 2\Phi_{50}}{2(\Phi_{84} - \Phi_{16})} + \frac{\Phi_5 + \Phi_{95} - 2\Phi_{50}}{2(\Phi_{95} - \Phi_5)}$$

- Curtosis

$$K_G = \frac{\Phi_{95} - \Phi_5}{2.44(\Phi_{75} - \Phi_{25})}$$

donde:

$\Phi_{25}, \Phi_{50}, \Phi_{75}$: Primer, segundo y tercer cuartil respectivamente.

Φ_p : Tamaño de sedimento que corresponde al valor de la ordenada “p” de la curva acumulativa.



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica

Tabla 1.5 Equivalencia número de malla de los sistemas ASTM, Tyler y British Standard.

Abertura en mm	A.S.T.M.	Tyler	British standard
5.660	3½	3½	
4.760	4	4	
4.000	5	5	
3.360	6	6	
2.830	7	7	
2.380	8	8	
2.000	10	9	8
1.680	12	10	10
1.410	14	12	-
1.200	-	-	14
1.190	16	14	-
1.000	18	16	16
0.840	20	20	-
0.710	-	-	22
0.707	25	24	-
0.600	-	-	25
0.595	30	28	-
0.500	35	32	30
0.420	40	35	35
0.350	45	42	44
0.300	-	-	52
0.297	50	48	-
0.250	60	60	60
0.210	70	65	72
0.177	80	80	-
0.149	100	100	100
0.125	120	115	120
0.105	140	150	150
0.090	-	-	170
0.088	170	170	-
0.074	200	200	200
0.063	230	250	240
0.053	270	270	300
0.044	325	325	350
0.037	400	400	-
0.025	500	500	-



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica

Referencias bibliográficas

American Society for Testing and Materials. ASTM C136 Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates. *Annual Book of ASTM Standards, 04.02*. Disponible en: <https://www.astm.org/>

American Society for Testing and Materials. ASTM C702 Standard Practice for Reducing Samples of Aggregate to Testing Size. *Annual Book of ASTM Standards, 04.02*. Disponible en: <https://www.astm.org/>

American Society for Testing and Materials. ASTM D75 Standard Practice for Sampling Aggregates. *Annual Book of ASTM Standards, 04.03*. Disponible en: <https://www.astm.org/>

American Society for Testing and Materials. ASTM D-422. Standard Test Method for Particle-Size Analysis. *Annual Book of ASTM Standards, 04.02*. Disponible en: <https://www.astm.org/>

American Society for Testing and Materials. ASTM E-11. Standard Specification for Woven Wire Test Sieve Cloth and Test Sieves. *Annual Book of ASTM Standards, 14.02*. Disponible en: <https://www.astm.org/>

Folk, R. L. & Ward, W. C. (1957). Brazos River bar: A study in the significance of grain-size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27, 3-26.

Friedman, G.M. (1962). On sorting, sorting coefficients, and the lognormality of the grain-size distribution of sandstones: *Journal of Geology*, 70, 737-756.

Krumbein, W. & Aberdeen, E. (1937). The Sediments of Barataria Bay. *Journal of Sedimentary Petrology*, 7(1), 3-17.

Spalletti, L. A. (1980). Paleoambientes Sedimentarios: en Secuencias Silicoclásticas. *Asociación Geológica Argentina*, 175 p.

Wentworth, C. (1922). A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology*, 30, 377-392.



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica

Laboratorio de Petrología

Análisis de procedencia de sedimentos clásticos

N° de práctica: #2

Nombre completo de los alumnos		Firma
N° de equipo:	Fecha:	Grupo:
Calificación:	Profesor:	

Elaborado por:	Revisado por:	Autorizado por:	Vigente desde:
Ulises Z. Hernández Tapia	M.E. Miguel I. Vera Ocampo		



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica

1. Seguridad en la ejecución

	Peligro o fuente de energía	Riesgo asociado
1	Ácido clorhídrico diluido al 10%	Quemaduras leves en la piel por sobre exposición continua

2. Objetivo de aprendizaje

Determinar la procedencia de los sedimentos con base en el análisis de la composición mineralógica y texturas de los fragmentos de roca.

3. Recursos a emplear

- Ácido clorhídrico diluido al 10%
- Bolsas de plástico de 7x10 y 10x15 cm
- Brocha
- Hojas blancas
- Lupa con aumento de 10x ó 20x
- Punzón o aguja
- Vidrio de reloj
- Masking tape
- Tablas para la identificación de minerales
- Tablas para la clasificación de rocas
- Atlas de texturas de las rocas en ejemplar de mano

Equipos

- Microscopio estereoscópico con lámpara
- Báscula de precisión de 0.01 g



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica

4. Fundamento teórico

El análisis de procedencia es un método que se basa en la observación de la composición de los sedimentos clásticos, ya sean sedimentos consolidados (rocas sedimentarias clásticas) o no consolidados (gravas o arenas). El método consiste en analizar la **composición** (mineralogía) y **textura** (*tamaño, forma, selección, redondez, esfericidad y texturas superficiales*) de los granos en el sedimento.

Al analizar y cuantificar la composición mineralógica y basado en los estudios de **estabilidad mineral** de Goldich (1938) y otros autores, se puede tener indicio de la intensidad de los procesos de meteorización, relacionados con la litología, la naturaleza del clima y relieve del área de origen, así como de la historia del transporte (duración e intensidad). En general, los componentes esenciales en los sedimentos son: *cuarzo, feldespatos (feldespato alcalino y plagioclasas), fragmentos de roca*, así como algunos *minerales pesados y minerales arcillosos*, cada uno de ellos con características distintivas que permiten relacionarlos con su roca origen.

Por otro lado, la textura también proporciona información sobre el grado de transporte o retrabajo del sedimento que indirectamente sirve para dar una idea de la distancia a la que se encuentra la fuente de aporte y relacionarlo con la tectónica del área de origen.

El análisis de procedencia junto con las relaciones estratigráficas obtenidas en campo, podría ayudar a elaborar una reconstrucción tectónica, paleofisiográfica y paleoclimática de casi cualquier zona de estudio. Cabe mencionar que el método se basa en la observación detallada de los sedimentos y podría llevar a una hipótesis incorrecta si no se describe correctamente cada uno de sus componentes.



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica

5. Desarrollo

El profesor proporcionará una muestra de sedimento separada por clases de acuerdo a su tamaño. El alumno deberá analizar el estado de la misma y comenzará con el método establecido a continuación. Registrar los resultados en formato para el análisis de procedencia de sedimentos clásticos (ver Anexo 3).

Nota: Si la muestra de sedimento no se encuentra clasificada de acuerdo a su tamaño deberá realizar previamente la práctica #1 de este manual (análisis granulométrico de sedimentos clásticos).

I. Homogeneización y cuarteo

- Extienda una hoja blanca sobre una superficie plana y horizontal. Enseguida coloque la muestra de la clase de mayor tamaño, homogenice y forme un círculo de espesor uniforme.
- Cuartee y retire (extremos opuestos de la muestra) sucesivamente hasta obtener una muestra representativa de sedimento apropiada. Registre el peso de la muestra representativa con una precisión de 0.01 g, el peso de la muestra debe ser proporcional a la clase de tamaño.
- Repita el procedimiento para cada clase de tamaño exceptuando la fracción limo-arcillosa.

II. Análisis y porcentajes

- Seleccione la clase de mayor tamaño, si está corresponde al tamaño de las gravas, observe los granos de sedimento con lupa, si son de tamaño menor analícela bajo el microscopio estereoscópico; agrúpelos de acuerdo a su composición (cuarzo, feldespatos, micas, fragmentos de rocas volcánicas, fragmentos de rocas sedimentarias, etc.). Posteriormente, deposite cada grupo en una bolsa previamente pesada y rotulada con la clase y componente.
- Obtenga el peso de cada grupo de componentes con una precisión de 0.01 g, para ello, pese la bolsa con sedimento y reste el peso de la bolsa rotulada vacía, registrado previamente.
- Repita el procedimiento para cada clase de tamaño exceptuando la fracción limo-arcillosa (estos tamaños requieren para su análisis otro método o equipo).



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica

III. Toma de datos

– Describa las características texturales (tamaño, forma, esfericidad, redondez y textura superficial) de cada grupo de componentes de manera ordenada para cada clase.

* Se recomienda emplear las siguientes clasificaciones para determinar las características mencionadas.

Característica	Clasificación
Tamaño	Clases de tamaño de Wentworth (1922)
Forma	Clasificación de Zingg (1935)
Esfericidad	Valor numérico (Figura A.6)
Redondez	Carta de comparación visual de Powers (1953)

* Para muestras de sedimento de arenas finas, coloque sobre un vidrio de reloj y analícela bajo el microscopio estereoscópico apóyese de un punzón o aguja para separar los componentes teniendo cuidado de no tener pérdidas de material.

* La clasificación de los fragmentos de roca se debe realizar de acuerdo a su textura. Para ello se puede apoyar de el atlas de texturas de las rocas en ejemplar de mano o en sitios web que contienen fotografías de diversos ejemplares de roca, a continuación se mencionan dos de ellos:

<http://www.earth.ox.ac.uk/~oesis/index.html>

<http://geology.com/>

El método desarrollado está basado en las Normas ASTM:

- C-295 Guía estándar para análisis petrográfico de agregados para concreto.
- C-702 Práctica para la reducción de muestras de agregados a tamaños de ensayo.



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica

6. Actividades

- 1) Calcule el porcentaje en peso de los componentes presentes en el sedimento para cada clase de tamaño con base en los datos registrados en el formato (Anexo 3).

Componente	Porcentaje por tamaño de clase						Total en la muestra
	Gránulo	Arena muy gruesa	Arena gruesa	Arena media	Arena fina	Arena muy fina	
Cuarzo							
Feldespatos							
Total							

- 2) Estimar la(s) posible(s) fuente(s) de aporte que dio/dieron origen a los sedimentos analizados con base en los porcentajes de los componentes obtenidos y comparando con la composición esencial de rocas ígneas y metamórficas conocidas.



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica

- 3) Establecer una hipótesis de transporte (tipo de agente, distancia, tiempo) del sedimento a partir de la redondez y la clasificación (selección) de los granos, tomando en cuenta los criterios mencionados en el marco teórico.

- 4) Determinar otros aspectos geológicos como la tectónica y el clima, a partir de la composición y características texturales del sedimento.



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica

5) Investigue las posibles aplicaciones de este método dentro de la ingeniería geológica.

7. Interprete y comente sus resultados



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica

Referencias bibliográficas

American Society for Testing and Materials. ASTM C-295 Standard Guide for Petrographic Examination of Aggregates for Concrete. *Annual Book of ASTM Standards, 04.02*. Disponible en: <https://www.astm.org/>

American Society for Testing and Materials. ASTM C702 Standard Practice for Reducing Samples of Aggregate to Testing Size. *Annual Book of ASTM Standards, 04.02*. Disponible en: <https://www.astm.org/>

Boggs, S. (2009). *Petrology of Sedimentary Rocks (2nd edition)*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Castro, A. (1989). *Petrografía básica: texturas, clasificación y nomenclatura de rocas*. Madrid: Paraninfo.

Dorrik, A. V. Stow. (2006). *Sedimentary Rocks in the Field: A Color Guide*. London: Manson.

Folk, R. L. (1951). Stages of textural maturity in sedimentary rocks. *Journal of Sedimentary Petrology, 21*, 127-130.

Folk, R. L. (1980). *Petrology of sedimentary rocks*. Austin, Texas: Hemphill.

Friedman, G.M. (1962). On sorting, sorting coefficients, and the lognormality of the grain-size distribution of sandstones. *Journal of Geology, 70*, 737-756.

Silva, G. & Mendoza, C.C.(Eds.). (2011). *Manual para el Trabajo Geológico de Campo*. México: Facultad de Ingeniería.

Wentworth, C. (1922). A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology, 30*, 377-392.



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica

Laboratorio de Petrología

Petrología de conglomerados y brechas

N° de práctica: #3

Nombre completo de los alumnos		Firma
N° de equipo:	Fecha:	Grupo:
Calificación:	Profesor:	

Elaborado por:	Revisado por:	Autorizado por:	Vigente desde:
Ulises Z. Hernández Tapia	M.E. Miguel I. Vera Ocampo		



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica

1. Seguridad en la ejecución

	Peligro o fuente de energía	Riesgo asociado
1	Ácido clorhídrico diluido al 10%	Quemaduras leves en la piel por sobre exposición continua
2	Navaja de acero inoxidable	Lesiones punzo-cortantes por uso inadecuado o descuido

2. Objetivo de aprendizaje

Describir, analizar y clasificar las rocas clásticas que presentan textura sefítica para interpretar su historia geológica y sus posibles usos ingenieriles.

3. Recursos a emplear

- Navaja de acero inoxidable
- Lupa con aumento de 10x ó 20x
- Ácido clorhídrico diluido al 10%
- Imán
- Escalímetro
- Tablas de estimación visual de porcentajes
- Atlas de texturas de las rocas en ejemplar de mano
- Cámara fotográfica

Equipos

- Microscopio estereoscópico



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica

4. Fundamento teórico

Los **conglomerados** son rocas sedimentarias clásticas cuyos fragmentos (clastos) son redondeados o subredondeados y de tamaño mayor a 2 mm (gravas) por lo que se pueden identificar algunos de sus componentes con ayuda de la lupa 10x. Si estos fragmentos son angulosos, a la roca consolidada se le llama **brecha**.

Estos se forman por la fragmentación mecánica (ocasionalmente química) de rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias, por lo que los constituyentes principales son fragmentos de rocas, aunque pueden encontrarse cristales individuales de algunos minerales como cuarzo o feldespato.

La mayoría de los conglomerados consisten de un **esqueleto** y una **matriz** o **cementante**. El esqueleto está constituido por materiales de tamaño de las gravas. El espacio entre los clastos, generalmente está relleno por una matriz de arenas o sedimentos más pequeños o con cementante producto de precipitación, por lo que los espacios raramente están vacíos (gravas openwork).

Generalmente, son rocas mal seleccionadas y heterogéneas en su composición y es común que contengan matriz. Es difícil encontrar **estructuras sedimentarias**, aunque es posible hallar estratificación paralela burda, estratificación gradada e imbricación.

El origen de los conglomerados puede ser variado, normalmente se asocian a pendientes muy pronunciadas o corrientes muy turbulentas, como ambientes fluviales de alta energía, marinos costeros, flujos de escombros, sedimentos glaciares, entre otros; debido a que los clastos experimentan abrasión y se redondean durante el transporte contienen pistas de su propia historia. De esta manera, la forma angulosa de los componentes en las brechas indica que no viajaron muy lejos desde su área de origen antes de ser depositados.

Geológicamente, el tamaño de los clastos revela la fuerza de las corrientes que los transportaron, mientras que el grado de redondez indica la distancia de transporte de los clastos. Por último, la composición permite identificar las rocas de las que procede. Así, al analizar la **madurez mineralógica y textural** de los conglomerados es posible estimar el origen de sus componentes, tectónica y ambiente de depósito.

La **clasificación** más común para los conglomerados y brechas es la elaborada por Pettijohn (1975) que se enfoca en la redondez, composición de los clastos, procedencia y empaque (Tabla 3.1) aunque existen algunas clasificaciones que se basan en otros criterios como su génesis y en aspectos texturales.



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica

Característica	Criterio	Nombre asociado
Redondez de los clastos	Redondeados	Conglomerado
	Angulosos	Brecha
Composición de los clastos	Clastos de una litología	Oligomítico
	Clastos de más de una litología	Polimítico (petromítico)
Empaque	Grano soportado	Ortoconglomerado
	Matriz soportada	Paraconglomerado
Procedencia de los clastos	Del exterior de la cuenca	Extraformacional
	Del interior de la cuenca	Intraformacional

Tabla 3.1 Parámetros empleados en la clasificación de los conglomerados y brechas. Modificado de Pettijohn, 1975.

A continuación, se muestra la clasificación de conglomerados y brechas de acuerdo con Pettijohn, 1975.

Epiclástico	Extraformacional	Ortoconglomerados <i>clasto-soportado</i> (matriz <15%)	Inestables <10%	Conglomerado oligomítico (ortocuarcítico)
			Inestables >10%	Conglomerado petromítico (conglomerado de calizas, de granito, etc.)
		Paraconglomerados <i>matriz-soportado</i> (matriz >15%)	Matriz laminada	Lodolita conglomerática laminada
			Matriz no laminada	Tillita (glacial)
		Tilloide (no glacial)		
Intraformacional	Conglomerados y brechas intraformacionales			
Piroclástico	Brechas y aglomerados volcánicos			
Cataclástico	Brechas de deslizamiento y de caída			
	Brechas de falla y plegamiento; morrenas tectónicas			
	Brechas de solución y colapso			
Meteórico	Brechas de impacto			

Tabla 3.2 Clasificación de conglomerados y brechas. Modificado de Pettijohn, 1975.



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica

1) Presentación de conceptos

IV. Índice de procedencia: es la relación que existe entre constituyentes de origen plutónico y los de origen supracortical. Este determina la medida de la intensidad del levantamiento o la profundidad de la erosión. Para determinarlo, se deben agrupar los componentes en dos grupos: origen plutónico y origen supracortical. Los plutónicos son todos los fragmentos ígneos plutónicos y metamórficos y los supracorticales son los fragmentos ígneos extrusivos y sedimentarios.

$$\text{Índice de procedencia} = \frac{\text{Origen plutónico}}{\text{Origen supracortical}}$$

A manera de resumen, en la siguiente tabla se describe el origen de los clastos que forman los conglomerados.

Tipo mayor	Subtipo	Origen de los clastos
Conglomerado epiclástico y brecha	Conglomerado extraformacional y brecha	Desgaste de rocas más antiguas de cualquier tipo a través de los procesos de meteorización y erosión; depositados por flujos de fluidos (agua, hielo) y flujos de gravedad de sedimentos.
	Conglomerado intraformacional y brecha	Fragmentación penecontemporánea de estratos débilmente consolidados; depositados por flujos de fluidos y flujos de gravedad de sedimentos
Brecha volcánica	Brecha piroclástica	Erupciones volcánicas explosivas, ya sea erupciones magmáticas o freáticas; depositadas por caída o flujos piroclásticos.
	Autobrecha	Rotura de la lava viscosa y parcialmente fría debido al continuo movimiento de la lava.
	Brecha hialoclástica	Fragmentación del magma caliente en fragmentos vítreos debido al contacto con el agua, la nieve o sedimentos saturados de agua (fragmentación por enfriamiento)
Brecha cataclástica	Brecha de deslizamiento	Rotura de la roca debido a esfuerzos de tensión e impacto durante el deslizamiento y la caída de masas de roca
	Brecha tectónica; brecha de falla, plegamiento y rompimiento	Rotura de rocas frágiles como resultado de movimientos de la corteza.
	Brecha de colapso	Rotura de rocas frágiles debido al colapso en una abertura creada por la disolución o otros procesos.
Brecha de solución		Fragmentos insolubles que sobreviven después de la disolución del material más soluble. P.ej. Clastos de pedernal concentrados por disolución de calizas
Brecha de impacto meteorito		Rompimiento de roca debido al impacto de un meteorito

Tabla 3.3 Principales tipos genéticos de conglomerados y brechas. Modificado de Boggs, 2006.



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica

5. Desarrollo

El profesor proporcionará al alumno un determinado número de muestras de conglomerados y brechas. El alumno debe describir y clasificar estas rocas con base en el análisis de su composición, textura y estructura.

2) Descripción

- Analice las muestras de roca en ejemplar de mano y mediante la observación y pruebas físicas, determine las siguientes características:

- 1) Color (al fresco y por meteorización)
- 2) Grado de consolidación y de meteorización
- 3) Textura
 - Tamaño
 - Forma
 - Redondez
 - Selección
 - Porosidad (primaria y secundaria)
- 4) Composición
 - Tipo y porcentaje de componentes
 - Tipo y porcentaje de matriz
 - Tipo y porcentaje de cementante
- 5) Clasificación
 - Granulométrica / Textural
 - Composicional / Genética

- Al final de la práctica se debe contar con la clave, descripción, bosquejo e imágenes de las distintas muestras.

* El formato para descripción de conglomerados y brechas se encuentra en los anexos de este manual. (ver Anexo 4)

* Para la observación, se recomienda emplear una lupa para componentes gruesos (>2 mm) y el microscopio estereoscópico para componentes arenosos.

* Puede agregar unas gotas de ácido clorhídrico para observar la reactividad de los componentes a dicho ácido, especialmente en la fracción fina.



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica

6. Actividades

- 1) Clasifique cada una de las muestras empleando la clasificación de Pettijohn (1975).
- 2) Realice una interpretación geológica de cada muestra con base en la información obtenida; la interpretación debe indicar la procedencia, agente y distancia de transporte, ambiente de depósito y ambiente tectónico.
- 3) Investigue los diferentes usos de los conglomerados

7. Comente sus resultados



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica

Referencias bibliográficas

American Society for Testing and Materials. ASTM C-295 Standard Guide for Petrographic Examination of Aggregates for Concrete. *Annual Book of ASTM Standards, 04.02*. Disponible en: <https://www.astm.org/>

Arche, A. (2010). *Sedimentología: del proceso físico a la cuenca sedimentaria*. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

Boggs, S. (2009). *Petrology of Sedimentary Rocks (2nd edition)*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Castro, A. (1989). *Petrografía básica: texturas, clasificación y nomenclatura de rocas*. Madrid: Paraninfo.

Folk, R. L. (1951). Stages of textural maturity in sedimentary rocks. *Journal of Sedimentary Petrology*, 21, 127-130.

Nichols, G. (2009). *Sedimentology and Stratigraphy*. Oxford: Wiley-Blackwell Publishing.

Pettijohn, F.J. (1975). *Sedimentary Rocks*. New York: Harper and Row Publishers.

Selley, R. C. (1976). *An Introduction to Sedimentology*. London: Academic Press.

Stow, D. A. V. (2006). *Sedimentary Rocks in the Field: A Color Guide*. London: Manson.

Tucker, M.E. (2001). *Sedimentary Petrology: An introduction to the Origin of Sedimentary Rocks*. Oxford: Blackwell Scientific Publications.

Tucker, M.E. (2003). *Sedimentary Rocks in the field (3rd edition)*. Oxford: Wiley-Blackwell Publishing.

Wentworth, C. (1922). A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology*, 30, 377-392.



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División:

DICT

Área/Departamento:

Ingeniería Geológica

Laboratorio de Petrología

Petrología de areniscas

Nº de práctica: #4

Nombre completo de los alumnos		Firma
Nº de equipo:	Fecha:	Grupo:
Calificación:	Profesor:	

Elaborado por:	Revisado por:	Autorizado por:	Vigente desde:
Ulises Z. Hernández Tapia	M.E. Miguel I. Vera Ocampo		



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica

1. Seguridad en la ejecución

	Peligro o fuente de energía	Riesgo asociado
1	Ácido clorhídrico diluido al 10%	Quemaduras leves en la piel por sobre exposición continua
2	Navaja de acero inoxidable	Lesiones punzo-cortantes por uso inadecuado o descuido

2. Objetivo de aprendizaje

Describir, analizar y clasificar las rocas clásticas que presentan textura sammítica en ejemplar de mano y en lámina delgada para interpretar su historia geológica y sus posibles aplicaciones ingenieriles.

3. Recursos a emplear

- Navaja de acero inoxidable
- Lupa con aumento de 10x ó 20x
- Ácido clorhídrico diluido al 10%
- Imán
- Escalímetro
- Tablas de estimación visual de porcentajes
- Atlas de texturas macroscópicas de rocas
- Atlas de texturas de rocas en lámina delgada
- Tablas de identificación de minerales en lámina delgada

Equipos

- Microscopio estereoscópico
- Microscopio petrográfico
- Ocular micrométrico



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica

4. Fundamento teórico

Las **areniscas** son rocas sedimentarias clásticas en las que predominan los clastos del tamaño de las arenas (1/16 a 2 mm). Estas rocas sedimentarias constituyen aproximadamente el 20% de las rocas sedimentarias.

Se forman por la fragmentación mecánica de las rocas (ígneas, metamórficas y sedimentarias) y por alteración química durante la meteorización, si predominan los procesos mecánicos la composición de los fragmentos será similar a la litología original, en cambio si los procesos químicos son los principales agentes de destrucción, la composición de los clásticos se modificará en función del grado de alteración química de la roca original.

En las areniscas, el **esqueleto** principalmente está compuesto por silicatos y fragmentos de roca del tamaño de las arenas. La **matriz** en estas rocas son granos menores a 0.03 mm que se encuentran ocupando los espacios entre los granos, puede estar constituida de micas, cuarzo, feldespato o minerales arcillosos. Los espacios además de la matriz, suelen estar rellenos por **cementante** (calcáreo, silíceo, ferruginoso, etc.) o estar vacíos.

Dependiendo el ambiente de depósito, es común que en las areniscas se encuentren **estructuras sedimentarias**, algunas de las más comunes son laminación, laminación cruzada, estratificación gradada, rizaduras y marcas de corriente (*flute cast*), aunque pueden encontrarse algunas más.

El origen de los sedimentos que forman estas rocas es muy variado, Dickinson et al. (1983) infieren la **procedencia** de estos sedimentos con base en su composición en tres grupos principales, *orógeno reciclado*, *arco magmático* y *bloque continental*, que se complementa con la composición, la madurez textural y mineralógica en los sedimentos.

Es importante, en el caso de las areniscas, establecer los **procesos diagenéticos**, que son todos aquellos procesos que afectan al sedimento después del depósito hasta antes del metamorfismo de bajo grado. Estos procesos son: fracturamiento, compactación, deformación, solución, cementación, reemplazamiento, recristalización y autigénesis; y dependiendo el grado del proceso al que son sometidas, pueden modificar la textura de la roca y sus propiedades físicas y químicas. Entre las propiedades más importantes para la industria se tienen a la porosidad y la permeabilidad.

Existen muchos diagramas para la **clasificación de areniscas**, los dos más utilizados son el de Dott, (1964) modificado por Pettijohn et al., (1987) y la clasificación de Folk (1980). Ambos diagramas de clasificación se basan en la textura y composición de los granos que la forman (proporción relativa de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca).



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica

A continuación, se muestran la clasificación de Dott (1964) modificada por Pettijohn et al. (1987) y la clasificación de Folk (1980).

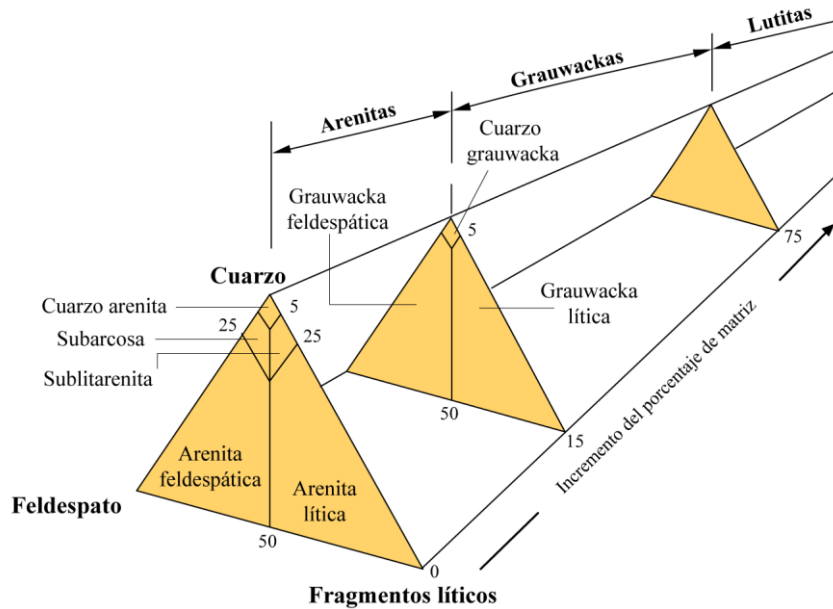


Figura 4.1 Clasificación de areniscas según Dott (1964). Modificado por Pettijohn et al. (1987).

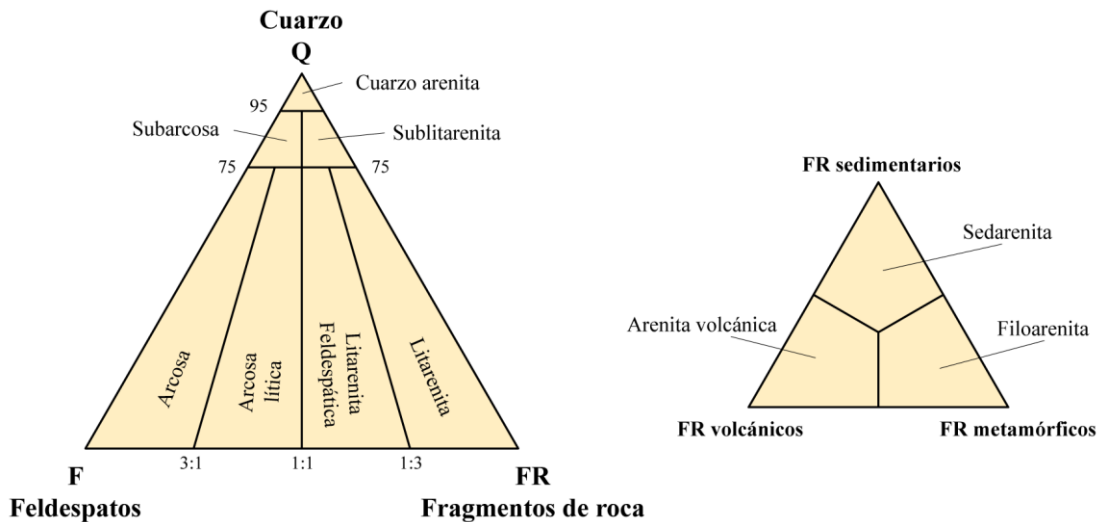


Figura 4.2 Clasificación de areniscas. El triángulo de la derecha muestra la clasificación para sedimentos con menos del 15 % matriz de grano fino. El triángulo de la izquierda muestra la clasificación de las litarenitas. Modificado de Folk, 1980.



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica

1) Presentación de conceptos

- ❖ Índice de procedencia: es la relación entre feldespatos y fragmentos de roca. Los feldespatos son asociados a rocas de origen plutónico, mientras que, los fragmentos líticos son asociados a rocas de origen supracortical, este se expresa de la siguiente manera:

$$I_{procedencia} = \left[\frac{Feldespatos}{Fragmentos\ de\ roca} \right]$$

De acuerdo con la relación anterior, si el valor es menor a 1, indica una procedencia supracortical, por otro lado, si es mayor a 1, su procedencia es plutónica.

- ❖ Índice de transporte: es la relación que existe entre el esqueleto y la matriz, y determina el tipo de transporte, si el porcentaje de matriz es mayor puede asociarse a un tipo de transporte denso (hielo, deslizamiento), en caso contrario, se asocia a un transporte por fluidos newtonianos (viento, agua), este se expresa de la siguiente manera:

$$I_{transporte} = \left[\frac{Cuarzo + Feldespato + Fragmentos\ de\ roca}{Matriz} \right]$$

Cuando el valor es menor a 1, indica un transporte denso, si el valor es mayor a 1, se asocia a un transporte por fluidos newtonianos.

- ❖ Índice de madurez mineralógica: es la relación entre minerales estables y minerales inestables, determina la madurez textural del sedimento. este se expresa de la siguiente manera:

$$I_{madrurez\ mineralógica} = \left[\frac{Cuarzo + Pedernal}{Feldespato + Fragmentos\ de\ roca} \right]$$

Si el valor es menor a 1, se considera un sedimento maduro mineralógicamente, si el valor es mayor a 1, es un sedimento mineralógicamente inmaduro.



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica

5. Desarrollo

El profesor proporcionará al alumno muestras de areniscas en ejemplar de mano y lámina delgada. El alumno deberá describir y clasificar estas rocas analizando su composición, textura y estructura, con estos datos establecerá una hipótesis geológica sobre la formación de cada roca y las propiedades físicas de las mismas.

1) Descripción

- Analice las muestras de roca, en ejemplar de mano y lámina delgada, y determine las siguientes características:

- 1) Color (al fresco y por meteorización)
- 2) Grado de consolidación y de meteorización
- 3) Estructuras sedimentarias
- 4) Textura
 - Tamaño
 - Forma
 - Redondez
 - Selección
 - Orientación
 - Porosidad (primaria y secundaria)
- 5) Composición
 - Tipo y porcentaje de componentes
 - Tipo y porcentaje de matriz
 - Tipo y porcentaje de cementante
- 6) Procesos diagenéticos
- 7) Clasificación
 - Composicional

- Al final de la práctica se debe contar con la clave, descripción macroscópica y microscópica, bosquejos e imágenes de las distintas muestras.

* El formato para descripción de areniscas se encuentra en los anexos de este manual. (ver Anexo 5)

* Para la observación de la muestra en ejemplar de mano se recomienda emplear una lupa o el microscopio estereoscópico.

* Para el análisis petrográfico se recomienda contar con bibliografía sobre las propiedades ópticas de los minerales y texturas microscópicas de rocas de grano fino.



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica

6. Actividades

- 1) Clasifique cada una de las muestras empleando la clasificación de Pettijohn et al. (1987) y Folk (1980).
- 2) Realice una interpretación geológica de cada muestra con base en la información obtenida; la interpretación debe indicar tipo y grado de meteorización, la procedencia, agente y distancia de transporte, ambiente de depósito, intensidad y tipo de procesos diagenéticos y ambiente tectónico.
- 3) Investigue los diferentes usos de las areniscas

7. Comente sus resultados



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica

Referencias bibliográficas

American Society for Testing and Materials. ASTM C-295 Standard Guide for Petrographic Examination of Aggregates for Concrete. *Annual Book of ASTM Standards*, 04.02. Disponible en: <https://www.astm.org/>

Adams, A. E., Mackenzie, W.S. & Guildford, C. (1985). *Atlas of sedimentary rocks under the microscope*. Longman, Harlow.

Arche, A. (2010). *Sedimentología: del proceso físico a la cuenca sedimentaria*. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

Boggs, S. (2009). *Petrology of Sedimentary Rocks (2nd edition)*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Castro, A. (1989). *Petrografía básica: texturas, clasificación y nomenclatura de rocas*. Madrid: Paraninfo.

Choquette, P.W. & Pray, L.C. (1970). Geological nomenclature and classification of porosity in sedimentary carbonates. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 54 (2), 207-250.

Dickinson, W. R. & Suczek, C. A. (1979): Plate tectonics and sandstone compositions. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 63, 2164-2182.

Dickinson, W. R. (1985) Interpreting Provenance Relations from Detrital Modes of Sandstones. *NATO ASI Series (Series C: Mathematical and Physical Sciences)*, 148.

Dickinson, W.R., Beard, L.S., Bra-Kenridge, G.R., Erjavec, J.L., Ferguson, R.C., Inman, K.F., Knepp, R.A., Lindberg, F.A., & Ryberg, P.T. (1983). Provenance of North American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting. *Geological Society of America Bulletin*, 94, 222-235.

Dott, R.L., Jr. (1964). Wacke, graywacke and matrix What approach to immature sandstone classification?. *Journal of Sedimentary Petrology*, 34, 625-632.

Folk, R. L. (1951). Stages of textural maturity in sedimentary rocks. *Journal of Sedimentary Petrology*, 21, 127-130.

Folk, R. L. (1980). *Petrology of sedimentary rocks*. Austin, Texas: Hemphill.

Nichols, G. (2009). *Sedimentology and Stratigraphy*. Oxford: Wiley-Blackwell Publishing.

Pettijohn, F.J. (1975). *Sedimentary Rocks*. New York: Harper and Row Publishers.



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica

Pettijohn, F.J., Potter, P.E. & Siever, R. (1987). *Sand and Sandstone (2nd edition)*. New York: Springer.

Scholle, P.A. (1987). *A Color Illustrated Guide to Sandstones: Constituents, Textures, Cements and porosities*. Oklahoma, U.S.A.: American Association of Petroleum Geologists, Tulsa.

Selley, R. C. (1976). *An Introduction to Sedimentology*. London: Academic Press.

Stow, D.A.V. (2006). *Sedimentary Rocks in the Field: A Color Guide*. London: Manson.

Tucker, M.E. (2001). *Sedimentary Petrology: An introduction to the Origin of Sedimentary Rocks*. Oxford: Blackwell Scientific Publications.

Tucker, M.E. (2003). *Sedimentary Rocks in the field (3rd edition)*. Oxford: Wiley-Blackwell Publishing.

Ulmen-Scholle, D. S., Scholle, P. A., Schieber, J., Raine, R. J. (2014). *A Color Guide to the Petrography of Sandstones, Siltstones, Shales and Associated Rocks*. Oklahoma, U.S.A.: American Association of Petroleum Geologists.

Wentworth, C. (1922). A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology*, 30, 377-392.



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División:

DICT

Área/Departamento:

Ingeniería Geológica

Laboratorio de Petrología

Petrología de calizas

Nº de práctica: #5

Nombre completo de los alumnos		Firma
Nº de equipo:	Fecha:	Grupo:
Calificación:	Profesor:	

Elaborado por:	Revisado por:	Autorizado por:	Vigente desde:
Ulises Z. Hernández Tapia	M.E. Miguel I. Vera Ocampo		



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica

1. Seguridad en la ejecución

	Peligro o fuente de energía	Riesgo asociado
1	Ácido clorhídrico diluido al 10%	Quemaduras leves en la piel por sobre exposición continua
2	Navaja de acero inoxidable	Lesiones punzo-cortantes por uso inadecuado o descuido

2. Objetivo de aprendizaje

Describir, analizar y clasificar las rocas carbonatadas en ejemplar de mano y lámina delgada para interpretar su historia geológica y sus posibles aplicaciones ingenieriles.

3. Recursos a emplear

- Navaja de acero inoxidable
- Lupa con aumento de 10x ó 20x
- Ácido clorhídrico diluido al 10%
- Escalímetro
- Tablas de estimación visual de porcentajes
- Atlas de texturas macroscópicas de rocas
- Atlas de texturas de rocas en lámina delgada
- Tablas de identificación de minerales en lámina delgada
- Atlas de identificación de microfósiles

Equipos

- Microscopio estereoscópico
- Microscopio petrográfico
- Ocular micrométrico



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica

4. Fundamento teórico

Las **rocas carbonatadas** son rocas sedimentarias de origen químico o bioquímico, éstas se producen por la precipitación directa de minerales carbonatados cuando un fluido se encuentra saturado en CaCO_3 , o mediante precipitación indirecta, que se presenta cuando organismos fijan el CaCO_3 a sus esqueletos o conchas y al morir éstos, el CaCO_3 de sus esqueletos se acumula formando sedimentos carbonatados.

La **composición** de las rocas carbonatadas está constituida principalmente por minerales del grupo de los carbonatos como *calcita*, *dolomita* y *aragonita* aunque también pueden presentarse ankerita, siderita y magnesita en mucho menor cantidad. Cuando la roca consta casi exclusivamente de calcita se denomina **caliza**, si domina la dolomita se llama a la roca **dolomía**. Cuando existen ambos minerales la roca puede denominarse caliza dolomítica (calcita > dolomita) o dolomía calcítica o calcárea (calcita < dolomita) según el caso.

Otros componentes, generalmente secundarios, de estas rocas son: materia orgánica, óxidos e hidróxidos de aluminio, hierro y sílice, cuarzo, fosfatos, sales halógenas, minerales arcillosos, feldespatos, sulfatos y sulfuros.

Una manera de determinar las **texturas** en estas rocas es con base en el análisis del *esqueleto* (aloquímicos), el *material aglutinante* (micrita y espatita) y la *porosidad*. Otra manera para determinar la textura de este tipo de rocas es observando la disposición de los cristales presentes en ella (*texturas cristalinas*).

Las **estructuras sedimentarias** presentes dependen del ambiente de depósito y pueden ser muy similares a las presentes en las rocas siliciclásticas, aunque existen estructuras propias de las rocas carbonatadas (crecimientos orgánicos, biohermas, bioestromas) que no se presentan en las rocas siliciclásticas.

El **ambiente de depósito** de las rocas carbonatadas puede ser variado, aunque gran parte de estas rocas se forman en ambientes marinos, climas tropicales y a una profundidad relativamente somera (menos de 100 m). De acuerdo al estudio de una gran cantidad de plataformas carbonatadas, Wilson en 1975, estableció el modelo de nueve facies estándar en las que se puede producir este tipo de rocas teniendo en cuenta distintos factores.

Debido a que en los carbonatos la solubilidad y velocidad de reacción es mayor respecto a los silicatos, los **procesos diagenéticos** afectan más rápidamente a las rocas carbonatadas que a las rocas siliciclásticas. De manera general los procesos diagenéticos en las rocas carbonatadas son: autigénesis, cementación, compactación, disolución, reemplazamiento, recristalización, calcitización del aragonito, dolomitización y dedolomitización.



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica

Dos de las **clasificaciones** más comunes para este tipo de rocas son la clasificación de Dunham (1962) modificada por Embry & Klovan (1971) y la elaborada por Folk (1959, 1962). La primera clasificación divide a las calizas con base a su textura, mientras que la segunda está basada principalmente en la composición de la roca.

A continuación, se muestran las clasificaciones de Dunham (1962) modificada por Embry & Klovan (1971) y la clasificación de Folk (1962).

TEXTURA DE DEPÓSITO RECONOCIBLE									TEXTURA DE DEPÓSITO NO RECONOCIBLE		
Alóctonas Componentes originales no ligados durante el depósito			Autóctonas Componentes originales ligados durante el depósito			Alóctonas Componentes originales no ligados durante el depósito					
Generalmente granos del tamaño de arena y lodo			Los organismos actúan como deflectores de sedimento (corales dendroides)	Los organismos actúan como ligadores de sedimento (material algáceo)	Los organismos actúan como constructores de la estructura (intercrecimiento de corales arrecifales)	Granos del tamaño rudita de más del 10 %			Carbonato cristalino		
Contiene lodo y matriz de micrita (<0.03 mm)		Ausencia de lodo con cemento espático				Contiene lodo con matriz de micrita	Ausencia de lodo con cemento de espátita		(subdividida de acuerdo a la clasificación designada para soportar en textura física o diagénesis)		
Soportado por lodo		Soportado por granos				Soportada por matriz	Soportada por granos				
<10% de granos	>10% de granos		BOUNDSTONES								
MUD-STONE	WACKE-STONE	PACK-STONE	GRAIN-STONE	BAFFLE-STONE	BIND-STONE	FRAME-STONE	FLOAT-STONE	RUD-STONE	CALIZA CRISTALINA		

Tabla 5.1 Clasificación de rocas carbonatadas de acuerdo a las texturas de depósito de Dunham (1962) modificada por Embry & Klovan (1971).



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica

CALIZAS, CALIZAS DOLOMITIZADAS PARCIALMENTE Y DOLOMÍAS PRIMARIAS		DOLOMÍAS DE REEMPLAZAMIENTO	
Aloquímicos mayores a 10% Rocas aloquímicas		Sin fantasmas de aloquímicos	
Cemento de calcita espática mayor a la matriz de ooze microcristalino		Fantasmas de aloquímicos	
Rocas aloquímicas espáticas		DOLOMÍA INTRACLÁSTICA FINAMENTE CRISTALINA	
Matriz de ooze microcristalino mayor al cemento de calcita espática		DOLOMÍA OOLÍTICA GRUESAMENTE CRISTALINA	
Rocas aloquímicas microcristalinas		DOLOMÍA BIOGÉNICA AFANO-CRISTALINA	
INTRAESPARRUDITA INTRAESPATITA		DOLOMÍA DE PELETES MUY FINAMENTE CRISTALINA	
OOESPARRUDITA OOESPATITA		Aloquímicos evidentes	
BIOESPARRUDITA BIOESPATITA		BIOLITITA	
BIOPELESPATITA		MICRITA Si esta distorsionada: DISMICRITA. Si hay dolomita primaria: DOLOMICRITA	
PELESPATITA		MICRITA CON INTRACLASTOS	
ONCOESPARRUDITA ONCOESPATITA		MICRITA CON OOLITOS	
Intraclastos mayores a 25 %		MICRITA FOSILÍFERA	
Oolitos mayores a 25 %		MICRITA PELETÍFERA	
Relación volumétrica fósiles - peletes		MICRITA CON ONCOLITOS	
Oolitos menores a 25 %		Con abundancia de aloquímicos	
Intraclastos menores a 25 %		Composición volumétrica de aloquímicos	

ejemplos:
prefijo + raíz + sufijo
aloquímico + cementante + textura
o matriz

ejemplos:

Oo **espa** tita
Oolitos **cementante** textura fina

Bio **mic** rudita
Fósiles **matriz** textura gruesa

Tabla 5.2 Clasificación para rocas carbonatadas empleado el método de Folk (1959, 1962) En letras mayúsculas se indican los nombres de las rocas. Nota: si la roca contiene más del 10% de remplazamiento a dolomita, se usa el término "dolomitizado". El término superior de cada cuadro refiere a las calciruditas (tamaño promedio de aloquímicos mayores a 1 mm); El nombre de abajo refiere a todas las rocas con tamaño promedio menor a 1 mm. El tamaño de grano y cantidad de matriz ooze, cementante o granos terrígenos son ignorados. Modificada de Folk, 1962.



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica

5. Desarrollo

El profesor proporcionará al alumno muestras de calizas en ejemplar de mano y lámina delgada. El alumno deberá describir y clasificar estas rocas analizando su composición, textura y estructura, con estos datos establecerá una hipótesis geológica sobre la formación de cada roca.

1) Descripción

- Analice las muestras de roca, en ejemplar de mano y lámina delgada y determine las siguientes características:

- 1) Color (al fresco y por meteorización)
- 2) Grado de consolidación y de meteorización
- 3) Estructuras sedimentarias
- 4) Textura
 - Tamaño
 - Forma
 - Orientación
 - Porosidad (primaria y secundaria)
- 5) Composición
 - Tipo y porcentaje de componentes
 - Tipo y porcentaje de matriz
 - Tipo y porcentaje de cementante
- 6) Procesos diagenéticos
- 7) Clasificación
 - Composicional
 - Textural

- Al final de la práctica se debe contar con la clave, descripción macroscópica y microscópica y fotografías de las distintas muestras.

* El formato para descripción de calizas se encuentra en el anexo de este manual.

* Para la observación de la muestra en ejemplar de mano se recomienda emplear una lupa o el microscopio estereoscópico.

*Para el análisis petrográfico se recomienda contar con bibliografía sobre las propiedades ópticas de los minerales, texturas microscópicas de rocas carbonatadas y micropaleontología en rocas carbonatadas.



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica

6. Actividades

- 1) Clasifique cada una de las muestras empleando la clasificación de Dunham (1962) y Folk (1962)
- 2) Realice una interpretación geológica de cada muestra con base en la información obtenida; la interpretación debe indicar tipo y grado de meteorización, ambiente de depósito (facies de Wilson), ambiente tectónico e intensidad y tipo de procesos diagenéticos.
- 3) Investigue los diferentes usos de las calizas

7. Interprete y comente sus resultados



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica

Referencias bibliográficas

American Society for Testing and Materials. ASTM C-295 Standard Guide for Petrographic Examination of Aggregates for Concrete. *Annual Book of ASTM Standards, 04.02*. Disponible en: <https://www.astm.org/>

Adams, A. E., Mackenzie, W.S. & Guildford, C. (1985). *Atlas of sedimentary rocks under the microscope*. Longman, Harlow.

Arche, A. (2010). *Sedimentología: del proceso físico a la cuenca sedimentaria*. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

Boggs, S. (2009). *Petrology of Sedimentary Rocks (2nd edition)*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Castro, A. (1989). *Petrografía básica: texturas, clasificación y nomenclatura de rocas*. Madrid: Paraninfo.

Choquette, P.W. & Pray, L.C. (1970). Geological nomenclature and classification of porosity in sedimentary carbonates. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 54 (2), 207-250.

Dunham, R.J. (1962). Classification of carbonate rocks according to depositional texture. En W.E, Ham. (Ed) *Classification of carbonate rocks – a symposium* (pp. 108-121). Oklahoma, U.S.A.: American Association of Petroleum Geologists, Tulsa.

Flügel, E. (1982). *Microfacies Analysis of Limestones*. New York: Springer-Verlag.

Flügel, E. (2010). *Microfacies of Carbonate Rocks: Analysis, Interpretation and Application (2nd edition)*. Berlin: Springer.

Folk, R.L. (1959). Practical petrographic classification of limestones. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 43 (1), 1–38.

Folk, R.L. (1962). Spectral subdivision of limestones types. En W.E, Ham. (Ed) *Classification of carbonate rocks – a symposium* (pp. 62-84). Oklahoma, U.S.A.: American Association of Petroleum Geologists, Tulsa.

Folk, R.L. (1980). *Petrology of sedimentary rocks*. Austin, Texas: Hemphill.

James, N.P. & Jones, B. (2015). *Origin of carbonate sedimentary rocks*. Oxford: Wiley.

Nichols, G. (2009). *Sedimentology and Stratigraphy*. Oxford: Wiley-Blackwell Publishing.

Pettijohn, F.J. (1975). *Sedimentary Rocks*. New York: Harper and Row Publishers.



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica

Scholle, P. A. & Ulmer-Scholle, D.S. (2003). *A Color Guide to the Petrography of Carbonate Rocks: Grains, textures, porosity, diagenesis*. Oklahoma, U.S.A.: American Association of Petroleum Geologists, Tulsa.


Selley, R. C. (1976). *An Introduction to Sedimentology*. London: Academic Press.

Stow, D.A.V. (2006). *Sedimentary Rocks in the Field: A Color Guide*. London: Manson.

Tucker, M.E. (2001). *Sedimentary Petrology: An introduction to the Origin of Sedimentary Rocks*. Oxford: Blackwell Scientific Publications.

Tucker, M.E. (2003). *Sedimentary Rocks in the field (3rd edition)*. Oxford: Wiley-Blackwell Publishing.

Wilson, J.L. (1975). *Carbonate facies in geology*. Berlin: Springer-Verlag.

	<h1>Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria</h1>	
Secretaría/ División: DICT	Área/Departamento: Ingeniería Geológica	

Recomendaciones

Las sugerencias en el desarrollo de las prácticas se realizan con base en la experiencia lograda a lo largo de 3 semestres con 5 distintos grupos de Petrología Sedimentaria, no obstante, cada alumno y/o profesor, puede modificar algún elemento de acuerdo a su consideración.

Prácticas previas.

Pese a que se considera que los alumnos, que cursan la asignatura en el séptimo semestre, ya comprenden y aplican los conocimientos de las asignaturas previas (petrología ígnea y metamórfica, sedimentología, estratigrafía, mineralogía, etc.), la realidad es que no es así, algunas veces los alumnos olvidan conceptos fundamentales, clasificaciones, etc. Debido a esto, previo a las prácticas desarrolladas en este manual, se sugiere realizar prácticas breves para la identificación de minerales formadores de roca, rocas ígneas y metamórficas y de identificación e interpretación de estructuras sedimentarias, esto con el fin de recordar y reforzar conocimientos previos.

Número de muestras y método de trabajo

De acuerdo a la práctica desarrollada el número de muestras analizadas varía y depende en gran medida del número de muestras disponibles en el laboratorio de Petrología y la cantidad de alumnos inscritos. En la siguiente tabla se resume el método de trabajo para cada práctica.

Práctica	Muestras sugeridas	Brigadas	Recomendaciones de trabajo	Duración de práctica
Práctica 1. Análisis granulométrico de sedimentos clásticos	Sedimentos de playa, fluviales, glaciales o volcanoclásticos	3-4 integrantes	Realizar el análisis de una muestra de sedimento distinta por equipo, posteriormente compartir entre equipos los datos obtenidos de las distintas muestras e interpretarlos.	90 minutos
Práctica 2. Análisis de procedencia de sedimentos clásticos	Sedimentos de playa, fluviales, glaciales o volcanoclásticos	4-5 integrantes	Realizar el análisis de una muestra de sedimento distinta por equipo, posteriormente compartir entre equipos los datos obtenidos de las distintas muestras e interpretarlos.	120-150- minutos
Práctica 3. Petrología de conglomerados y brechas	Conglomerados oligomíctico y petromíctico (calizas, feldespatos, etc.), paraconglomerados (lodolita conglomerática, tiloide), conglomerado intraformacional, brechas de falla, de disolución y de deslizamiento.	2-3 integrantes	A cada brigada se le proporciona una muestra de mano, juntos observan y describen la muestra y posteriormente realizan la interpretación.	150 minutos /15-20 min por muestra



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica

Práctica	Muestras sugeridas	Brigadas	Recomendaciones de trabajo	Duración de práctica
Práctica 4. Petrología de areniscas	Cuazoarenita, subarcosa, arcosa, litarenita, volcanoclástica y grauwacka lítica.	4-5 integrantes	A cada brigada se le proporciona una muestra de mano y láminas delgadas de dicha muestra, cada integrante describe y analiza la muestra individualmente y posteriormente, se realiza la interpretación en equipo con base en sus observaciones individuales.	450 minutos /90 min por muestra
Práctica 5. Petrología de calizas y dolomías	Mudstone, wackestone, packestone, grainstone, bounsdtone y dolomía cristalina. (Se recomienda juntar las muestras de dolomía y mudstone)	4-5 integrantes	A cada brigada se le asigna una muestra de mano y láminas delgadas de dicha muestra, cada integrante describe y analiza la muestra individualmente y posteriormente, se realiza la interpretación en equipo con base en sus observaciones individuales.	450 minutos /90 min por muestra

Interpretación

Además de la descripción, una parte importante del curso corresponde a la interpretación de las condiciones físicas, químicas, ambientales, tectónicas, etc., a las que estuvieron sometidos los sedimentos o rocas analizadas.

Como se ha mencionado a lo largo del manual, la interpretación de la génesis de la roca es complicada y se basa en la interpretación de las características presentes en las muestras. Debido a que no se conoce la secuencia estratigráfica y geometría de donde provienen las rocas analizadas, la interpretación puede ser bastante subjetiva y, por tanto, la valoración de ésta no debe ser muy rigurosa. En cambio, sí debe estar basada en los criterios mencionados a lo largo del manual de las características de la roca.

Material y equipos de laboratorio

Otro punto importante del que depende la elaboración de las prácticas desarrolladas este manual es la preservación, mantenimiento e incremento de muestras de roca y láminas delgadas, debido a que muchas de estas se han deteriorado con el tiempo o no existe material suficiente para que los alumnos de Ingeniería Geológica puedan aplicar sus conocimientos.



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica

Referencias bibliográficas

- Adams, A.E., Mackenzie, W.S. & Guildford, C. (1985). *Atlas of sedimentary rocks under the microscope*. Longman, Harlow.
- Arche, A. (2010). *Sedimentología: del proceso físico a la cuenca sedimentaria*. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- Boggs, S. (2009). *Petrology of Sedimentary Rocks (2nd edition)*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Castro, A. (1989). *Petrografía básica: texturas, clasificación y nomenclatura de rocas*. Madrid: Paraninfo.
- Choquette, P.W. & Pray, L.C. (1970). Geological nomenclature and classification of porosity in sedimentary carbonates. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 54 (2), 207-250.
- Dickinson, W.R. & Suczek, C. A. (1979): Plate tectonics and sandstone compositions. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 63, 2164-2182.
- Dickinson, W.R. (1985) Interpreting Provenance Relations from Detrital Modes of Sandstones. *NATO ASI Series (Series C: Mathematical and Physical Sciences)*, 148.
- Dickinson, W.R., Beard, L.S., Bra-Kenridge, G.R., Erjavec, J.L., Ferguson, R.C., Inman, K.F., Knepp, R.A., Lindberg, F.A., & Ryberg, P.T. (1983). Provenance of North American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting. *Geological Society of America Bulletin*, 94, 222-235.
- Flügel, E. (1982). *Microfacies Analysis of Limestones*. New York: Springer-Verlag.
- Flügel, E. (2010). *Microfacies of Carbonate Rocks: Analysis, Interpretation and Application (2nd edition)*. Berlin: Springer.
- Folk, R.L. (1951). Stages of textural maturity in sedimentary rocks. *Journal of Sedimentary Petrology*, 21, 127-130.
- Folk, R.L. (1959). Practical petrographic classification of limestones. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 43 (1), 1-38.
- Folk, R.L. (1980). *Petrology of sedimentary rocks*. Austin, Texas: Hemphill.
- Graton, L.C. & Fraser, H.J. (1935). Systematic packing of spheres: with particular relation to porosity and permeability. *The Journal of Geology*, 43(8), 785-909.



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica

- International Society for Rock Mechanics (1978). Suggested Methods for Quantitative Description of Discontinuities in Rock Masses. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, 15, 319-368.
- James, N.P. & Jones, B. (2016). *Origin of carbonate sedimentary rocks*. Oxford: Wiley.
- Krynine, P.D. (1940). Petrology and genesis of the Third Bradford Sand. *Pennsylvania State College Bulletin*, 29, 134 p.
- Krynine, P.D. (1946). The tourmaline group in sediments. *The Journal of Geology*, 54, 65-87.
- Nichols, G. (2009). *Sedimentology and Stratigraphy*. Oxford: Wiley-Blackwell Publishing.
- Pettijohn, F.J. (1975). *Sedimentary Rocks*. New York: Harper and Row Publishers.
- Pettijohn, F.J., Potter, P.E. & Siever, R. (1987). *Sand and Sandstone (2nd edition)*. New York: Springer.
- Selley, R.C. (1976). *An Introduction to Sedimentology*. London: Academic Press.
- Silva, G. & Mendoza, C.C.(Eds.). (2011). *Manual para el Trabajo Geológico de Campo*. México: Facultad de Ingeniería.
- Stow, D.A.V. (2006). *Sedimentary Rocks in the Field: A Color Guide*. London: Manson.
- Tucker, M.E. (2001). *Sedimentary Petrology: An introduction to the Origin of Sedimentary Rocks*. Oxford: Blackwell Scientific Publications.
- Tucker, M.E. (2003). *Sedimentary Rocks in the field (3rd edition)*. Oxford: Wiley-Blackwell Publishing.
- Ulmen-Scholle, D.S., Scholle, P.A., Schieber, J., Raine, R.J. (2014). *A Color Guide to the Petrography of Sandstones, Siltstones, Shales and Associated Rocks*. Oklahoma, U.S.A.: American Association of Petroleum Geologists.
- Vera, M.I. (2017). VII. *Petrología de no-clásticos. I.-Análisis ambiental*. [presentación de PowerPoint]. Departamento de Ingeniería Geológica, UNAM, México.
- Wilson, J.L. (1975). *Carbonate facies in geology*. Berlin: Springer-Verlag.



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica

Bibliografía complementaria

Sedimentología y Estratigrafía

- Allen, J. (1985). *Principles of Physical Sedimentology*. Londres: Allen & Unwin.
- Collinson, J., Mountney, N. P. & Thompson, D. (2008). *Sedimentary Structures (3rd edition)*. Hertfordshire: Terra Publishing.
- Corrales, Z.I., Rosell, S.J., Sánchez, de la Torre, L., Vera, T.J.A. & Vilas, M.L. (1977). *Estratigrafía*. Madrid, España: Rueda.
- Friedman, G.M. & Sanders, J.E. (1978). *Principles of sedimentology*. New York: John Wiley & Sons.
- Lewis, D. W. & McConchie, D. (1994). *Practical Sedimentology*. New York: Chapman & Hall.
- Miall, A. (1997). *The Geology of Stratigraphic Sequences*. Berlin: Springer.
- Miall, A., (2000). *Principles of Sedimentary Basin Analysis*. New York: Springer-Verlag.
- Pettijohn, F.J. & Potter, P.E. (1964). *Atlas and Glossary of Primary Sedimentary Structures*. New York: Springer Verlag.
- Prothero, R.R. & Fred, S. (1996). *Sedimentary geology: an introduction to sedimentary rocks and stratigraphy*. New York: W.H. Freeman.
- Pye, K. (1994). *Sediment transport and depositional Processes*. Oxford: Blackwell Scientific.
- Reading, H. (1996). *Sedimentary Environments: Processes, Facies and Stratigraphy*. Oxford: Blackwell.
- Ricci, L.F. (1995). *Sedimentographica: photographic atlas of sedimentary structures*. New York: Columbia University Press.
- Selley, R. C. (1970). *Ancient Sedimentary Environments*. London: Chapman Hall.

Mineralogía y Petrografía

- Adams, A.E., Mackenzie, W.S. (2003). *A Color Atlas of Carbonate Sediments and Rocks under the Microscope*. London: Longman Group Limited
- Bathurst, R.G.C. (1983). *Carbonate Sediments and Their Diagenesis*. Amsterdam: Elsevier Science Publishers.
- Carver, R.E. (1971). *Procedures in sedimentary petrology*. New York: J. Wiley & Sons.
- Dana, D. y Hurlbt, I. (1956). *Manual de mineralogía*. Barcelona: Reverté.



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División: DICT

Área/Departamento: Ingeniería Geológica

Dana, J.M., & Salisbury, D.E. (1997). *Dana's New Mineralogy* (8th edition). New York: John Wiley.

Kerr, P.F. (1977). *Optical Mineralogy* (4th ed.). New York: McGraw-Hill.

MacKenzie, W.S. & Adams, A.E. (1994). *A Colour Atlas of Rocks and Minerals in Thin Section*. Manson Publ. 192 p.

MacKenzie, W.S. & Guilford, C. (1980). *Atlas of Rock-Forming Minerals in Thin Section*. London: Longman.

Milner, H.B. (2003). *Sedimentary Petrography-Geology and Mineralogy*. New York: The Macmillan Company.

Scasso, R. A. & Limarino, C.O. (1997). *Petrología y Diagénesis de Rocas Clásticas*. Buenos Aires: Asociación Argentina de Sedimentología.

Scholle, P.A. & Ulmer-Scholle, D.S. (2003). *A Color Guide to the Petrography of Carbonate Rocks: Grains, textures, porosity, diagenesis*. Oklahoma, U.S.A.: American Association of Petroleum Geologists, Tulsa.

Scholle, P.A. (1987). *A Color Illustrated Guide to Sandstones: Constituents, Textures, Cements and porosities*. Oklahoma, U.S.A.: American Association of Petroleum Geologists, Tulsa.

Shelley, D. (1993). *Igneous and Metamorphic Rocks Under the Microscope*. Chapman & Hall.

Yardley, B.W.D., Mackensei, W.S., Guilford, C. (1997). *Atlas de rocas metamórficas y sus texturas*. Barselona: Masson.

Tectónica y procedencia.

Basu, A. (1985). Influence of climate and relief on compositions of sands released at source areas. En G.G. Zuffa (Ed), *Provenance Of Arenites*. (pp. 1-18). NATO ASI series.

Einsele, G. (2000). *Sedimentary Basins. Evolution, Facies and Sediment Budget (2nd. edition)*. Berlin.: Springer Verlag.

Fichter, L.S., & Poché, D.J. (2001). *Ancient environments and the interpretation of geologic history*. Prentice Hall.

Leeder, M. (1999). *Sedimentology and Sedimentary Basins*. Oxford: Blackwell Publishing.



Manual de Prácticas de Petrología Sedimentaria

Secretaría/ División:

DICT

Área/Departamento:

Ingeniería Geológica

Anexos

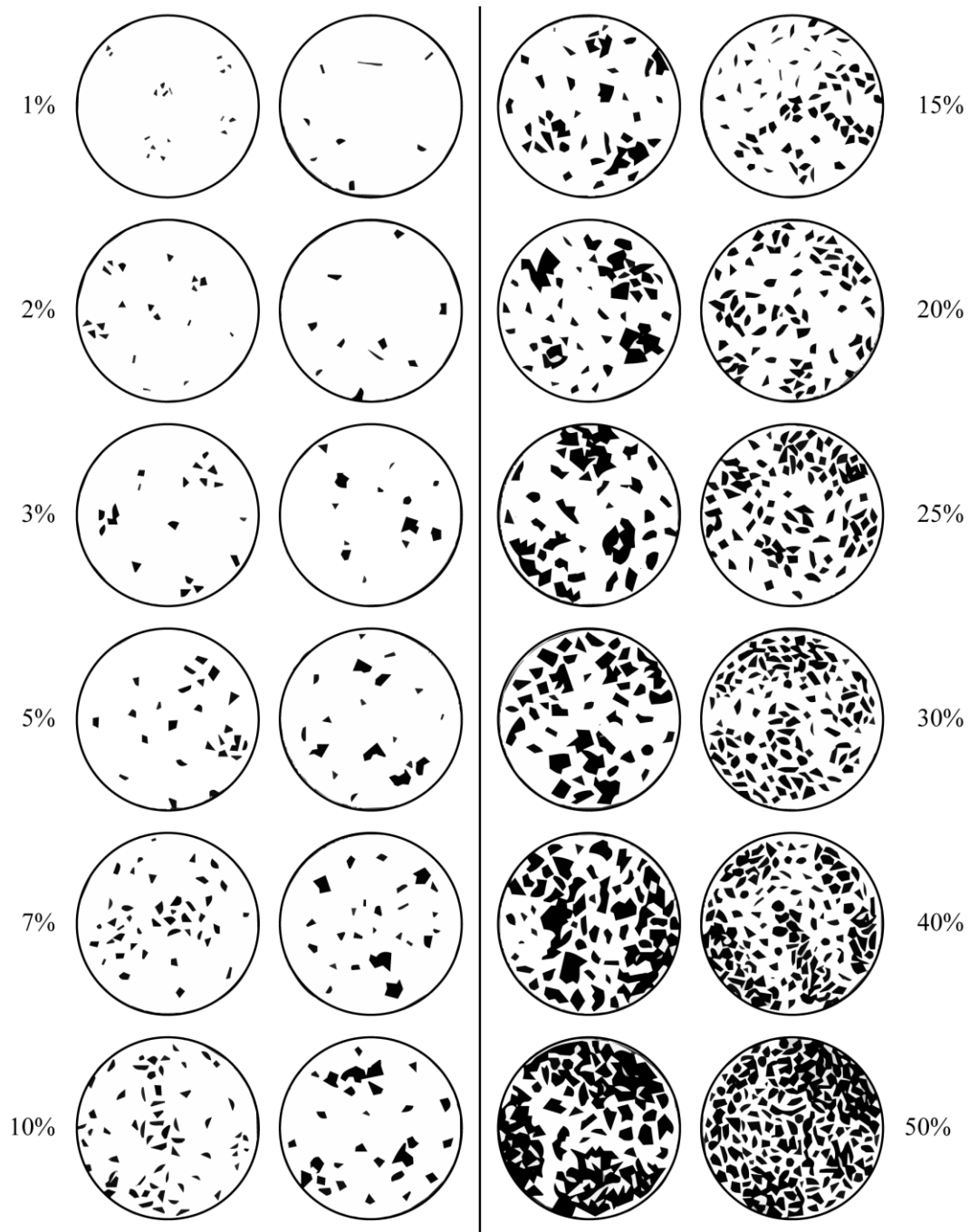


Petrología Sedimentaria



Estimación visual de porcentajes

Carta comparativa para la estimación visual de porcentajes de minerales en las rocas. También puede emplearse para determinar porcentaje de porosidad y fragmentos de roca.



De Terry R.D. & Chilingar G.V. (1955). Concerning some additional aids in studying sedimentary formations. *Journal of Sedimentary Petrology*, 25, 229-234.

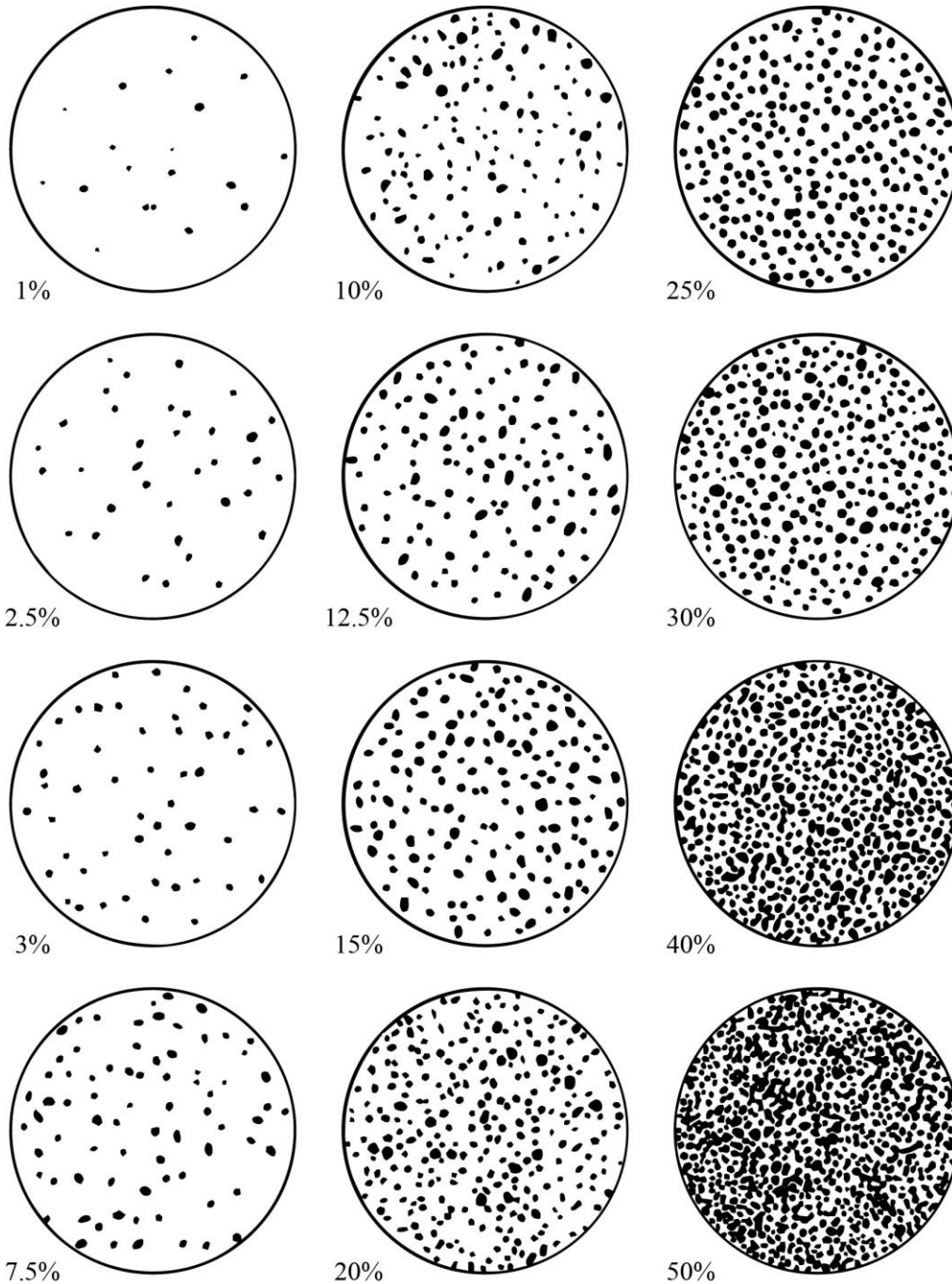


Petrología Sedimentaria



Estimación visual de porcentajes

Carta comparativa para la estimación visual de porcentajes de peletes, pequeños intraclastos de micrita y microfósiles.



De Baccelle, L. Bosollini, A. (1965). Diagrammi per la stima visive della composizione percentuale nelle rocce sedimentarie. *Annali dell'Università di Ferrara, Scienze geologiche e paleontologieche*, 1(3), 59-62.

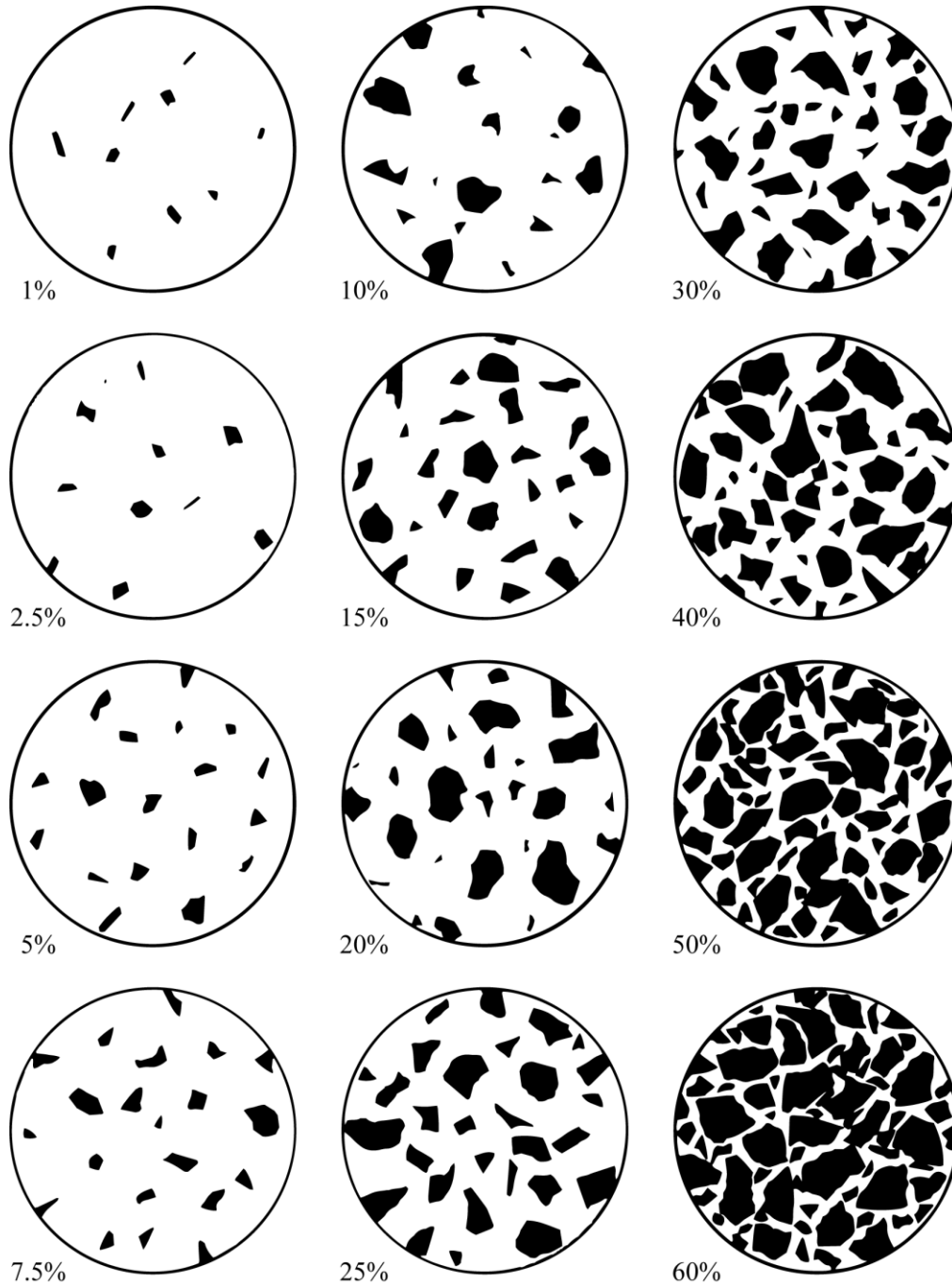


Petrología Sedimentaria



Estimación visual de porcentajes

Carta comparativa para la estimación visual de porcentajes de granos angulosos de tamaño variado.



De Baccelle, L. Bosollini, A. (1965). Diagrammi per la stima visive della composizione percentuale nelle rocce sedimentarie. *Annali dell'Università di Ferrara, Scienze geologiche e paleontologiche*, 1(3), 59-62.

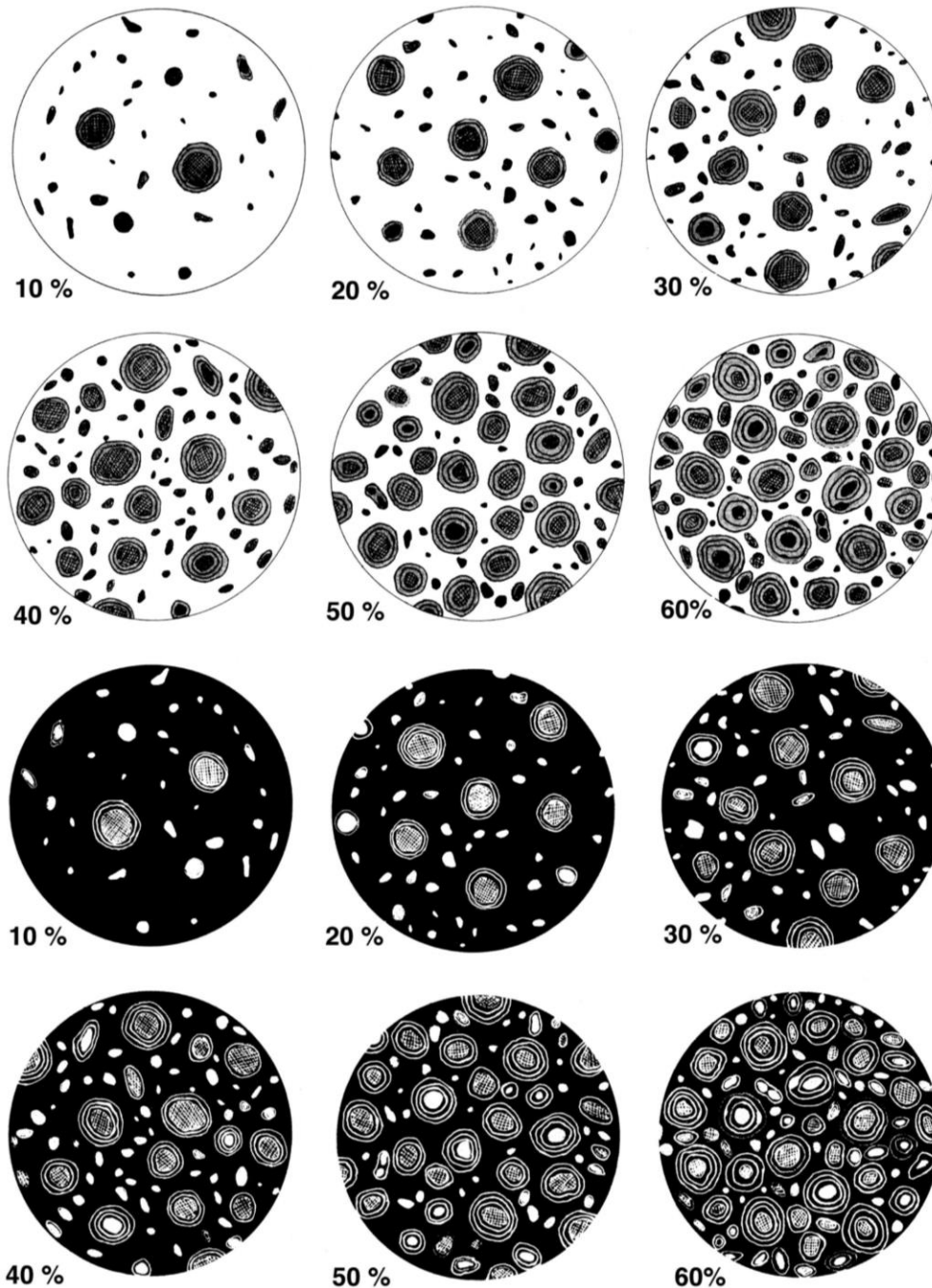


Petrología Sedimentaria



Estimación visual de porcentajes

Carta comparativa para la estimación visual de porcentajes de pisolitos, oolitos y oncolitos asociados con granos pequeños.



De Baccelle, L. Bosollini, A. (1965). Diagrammi per la stima visive della composizione percentuale nelle rocce sedimentarie. *Annali dell'Università di Ferrara, Scienze geologiche e paleontologiche*, 1(3), 59-62.

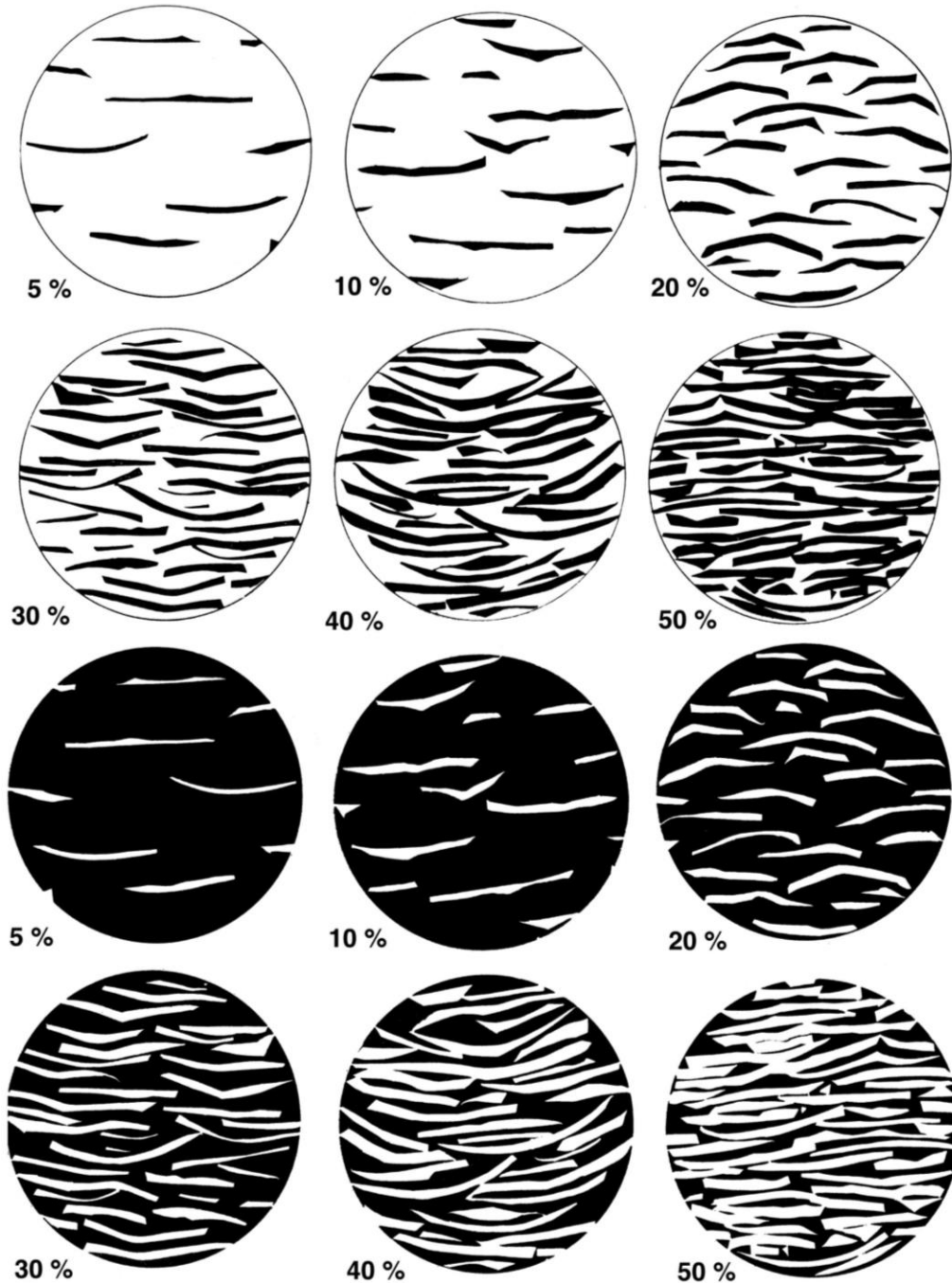


Petrología Sedimentaria



Estimación visual de porcentajes

Carta comparativa para la estimación visual de porcentajes de conchas o fósiles laminares.



De Baccelle, L. Bosollini, A. (1965). Diagrammi per la stima visive della composizione percentuale nelle rocce sedimentarie. *Annali dell'Università di Ferrara, Scienze geologiche e paleontologiche*, 1(3), 59-62.

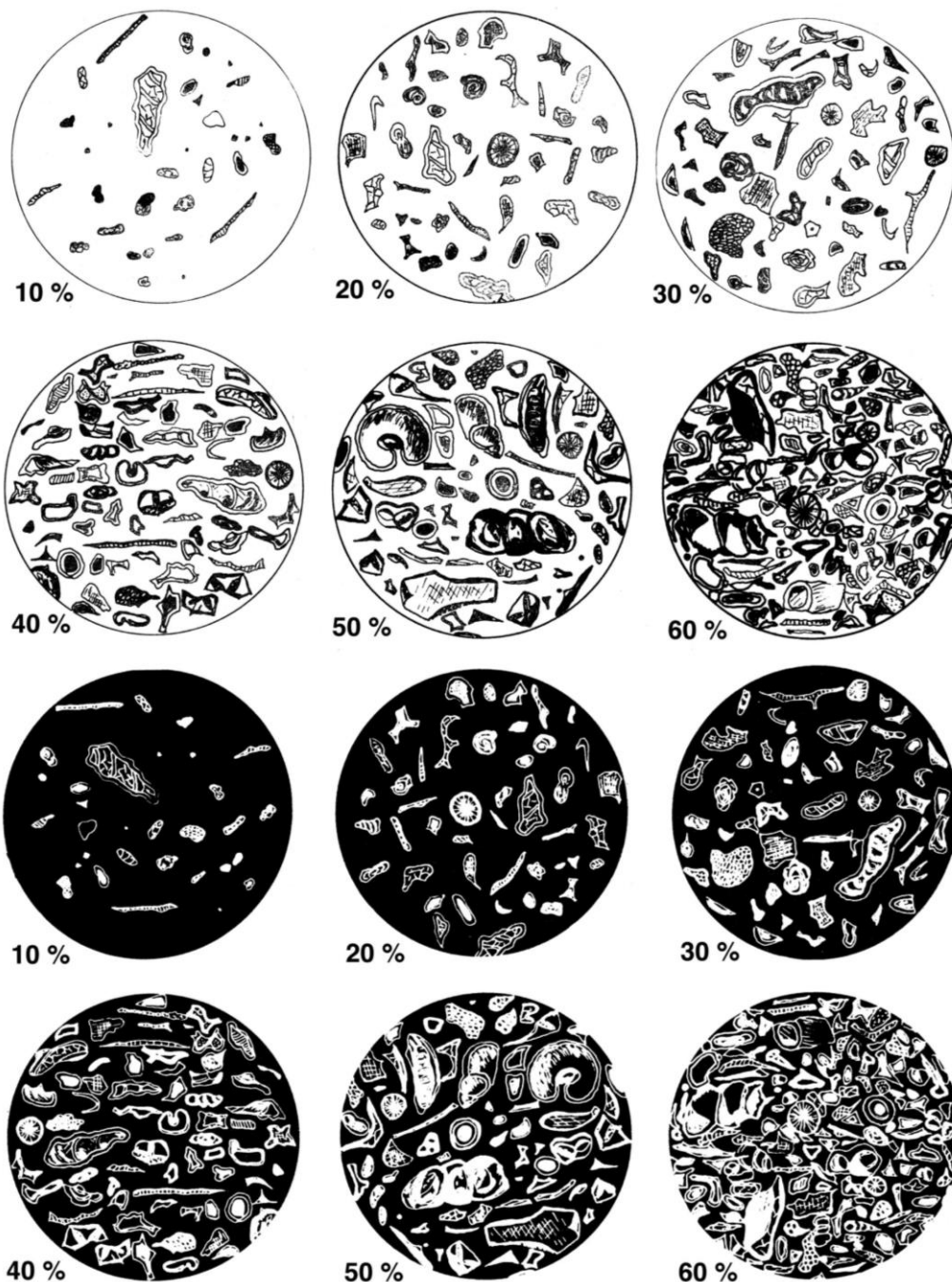


Petrología Sedimentaria



Estimación visual de porcentajes

Carta comparativa para la estimación visual de porcentajes granos en calizas compuestas de varios granos esqueletales, clastos y peletes.

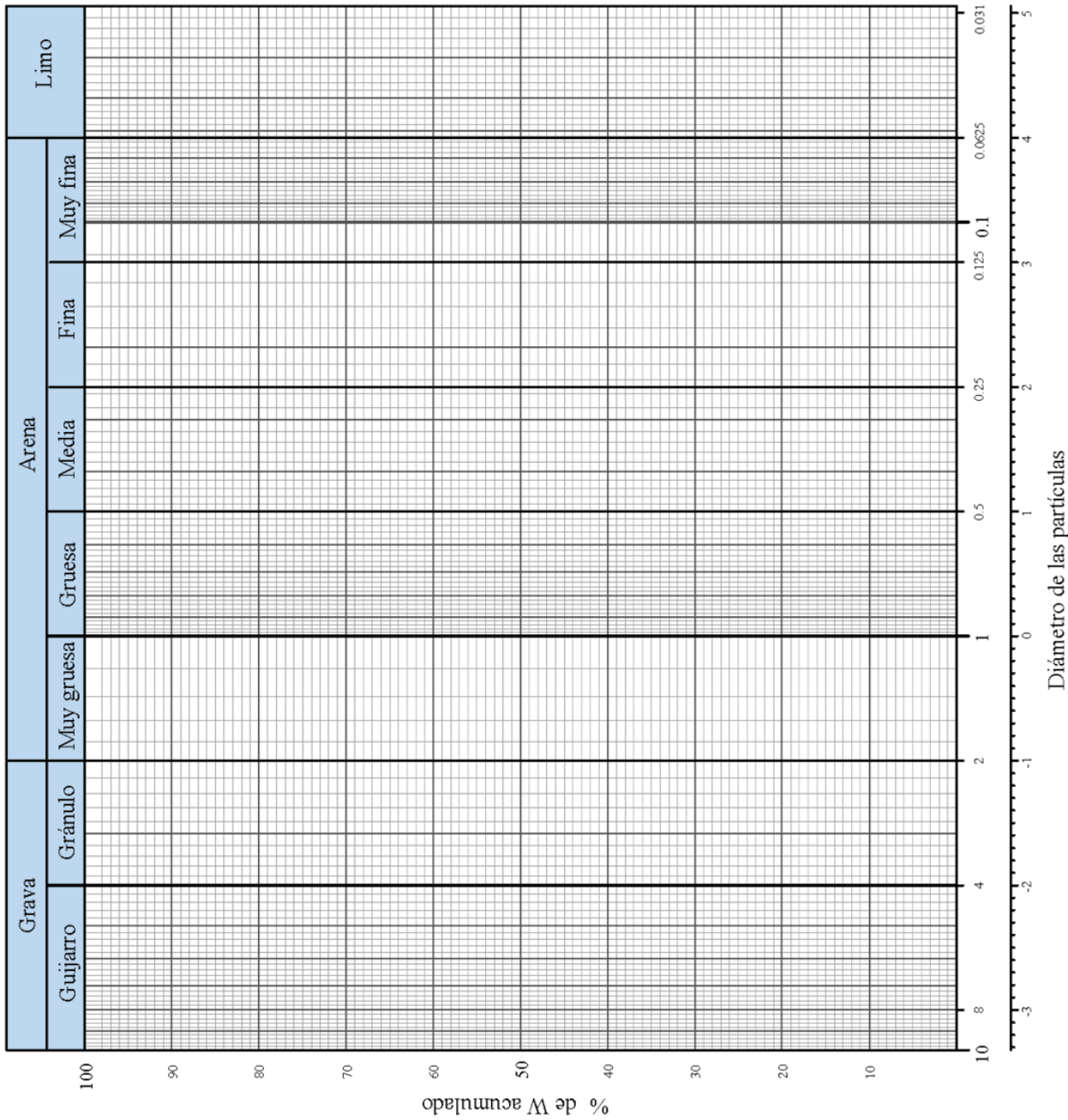
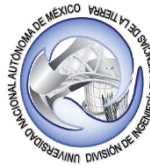


De Baccelle, L. Bosollini, A. (1965). Diagrammi per la stima visive della composizione percentuale nelle rocce sedimentarie. *Annali dell'Università di Ferrara, Scienze geologiche e paleontologiche*, 1(3), 59-62.



Petrología Sedimentaria

Papel semilogarítmico para
Curva acumulativa



Equipo: _____

Grupo: _____

Fecha: _____

No. de muestra: _____

Peso total de la muestra: _____ g.

% retenido por tamaño de partícula

Grava: _____

Arena muy gruesa: _____

Arena gruesa: _____

Arena media: _____

Arena fina: _____

Arena muy fina: _____

Parámetros estadísticos

Φ_5 : _____

Φ_{16} : _____

Φ_{25} : _____

Φ_{50} : _____

Φ_{75} : _____

Φ_{84} : _____

Φ_{95} : _____

Prof. M. E. Miguel I. Vera Ocampo
Realizó: Ulises Z. Hernández Tapia

mm Udden (1914) - Wentworth (1922)

phi (Φ) Krumbein (1937)



Petrología Sedimentaria

Formato para el análisis de
Procedencia de sedimentos clásticos



Equipo: _____ Grupo: _____
No. de muestra: _____ Fecha: _____

Tamaño de clase: _____ Peso de la muestra representativa: _____

Componente	Peso de la bolsa vacía	Peso de bolsa y componente	Peso del componente	Forma	Esféricidad (número)	Grado de redondez	Texturas superficiales	Observaciones

Tamaño de clase: _____ Peso de la muestra representativa: _____



Petrología Sedimentaria

Formato para la identificación de
Conglomerados y Brechas



Equipo: _____
No. de muestra: _____

Grupo: _____
Fecha: _____

Descripción de la textura	Dibujo o fotografía
Color (al fresco y por meteorización): _____	
Grado de consolidación: _____	
Grado de meteorización: _____	
Tamaño promedio: _____	
Forma(s): _____	
Selección: _____	
Redondez: _____	
Orientación: _____	
*Porcentaje y tipo de porosidad: _____	

Composición y porcentaje de los clastos*					
Origen supracortical	%	Origen plutónico	%	Otros	%

Composición y porcentaje de la matriz o cementante*

Clasificación de la roca

Interpretación geológica (procedencia, transporte, ambiente de depósito, ambiente tectónico, diagénesis, aplicación)

*La suma de estos componentes corresponde al 100% del volumen de la roca.



Petrología Sedimentaria

Formato para la identificación de
Areniscas



Equipo: _____
No. de muestra: _____

Grupo: _____
Fecha: _____

Descripción macroscópica
Color (al fresco y por meteorización): _____
Grado de consolidación _____
Grado de meteorización: _____
Estructuras sedimentarias: _____

Textura macroscópica
Tamaño máx.: _____ min: _____ Forma: _____
Selección: _____ Redondez: _____
Orientación: _____

Descripción microscópica
Textura: _____ Tamaño promedio [mm]: _____
Selección: _____

Composición y porcentaje de la matriz*

Mineralogía clásica*										
Componente	Forma	Esfericidad	Redondez	Tamaño [mm]						Visual (%)
				2	1	1/2	1/4	1/8	1/16	

Variedades del cuarzo (%)
Monocristalino: _____ Policristalino: _____

Porosidad (%)*
Porosidad total: _____
Primaria: _____ Secundaria: _____



Petrología Sedimentaria

Formato para la identificación de

Areniscas

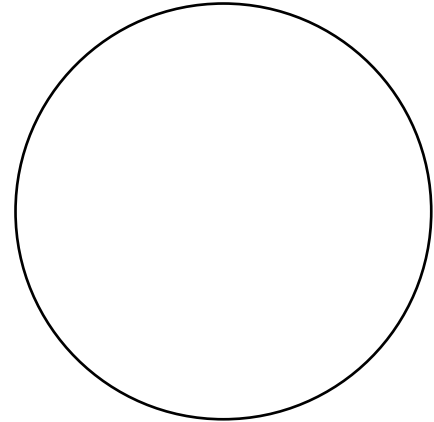


Equipo: _____
 No. de muestra: _____

Grupo: _____
 Fecha: _____

Procesos diagenéticos	
Compactación	
Tipos de contactos entre granos: _____	

Densidad de empaque:	_____
Proximidad de empaque	_____



Objetivo: ____ X

Cementación	
Cementante	%

Otros procesos diagenéticos:

Clasificación de la roca

Interpretación geológica (procedencia, transporte, ambiente de depósito, ambiente tectónico, diagénesis, aplicación)

*La suma de estos componentes corresponde al 100% del volumen de la roca.



Petrología Sedimentaria

Formato para la identificación de
Calizas y dolomías



Equipo: _____
No. de muestra: _____

Grupo: _____
Fecha: _____

Descripción macroscópica	
Color al fresco:	_____
Color a la meteorización:	_____
Grado de consolidación	_____
Grado de meteorización:	_____
Estructuras sedimentarias:	_____

Descripción microscópica	
Textura: _____	Tamaño promedio [mm]: _____
Selección: _____	

Relación esqueleto-matriz (%)	
Esqueleto	Aglutinantes
_____	_____

Aglutinantes (%)*	
Micrita	Espatita
_____	_____

Esqueleto*									
Componente	Observaciones	Tamaño [mm]						Visual (%)	
		2	1	1/2	1/4	1/8	1/16		1/32

Porosidad (%)*	
Porosidad total: _____	
Primaria: _____	Secundaria: _____



Petrología Sedimentaria

Formato para la identificación de
Calizas y dolomías



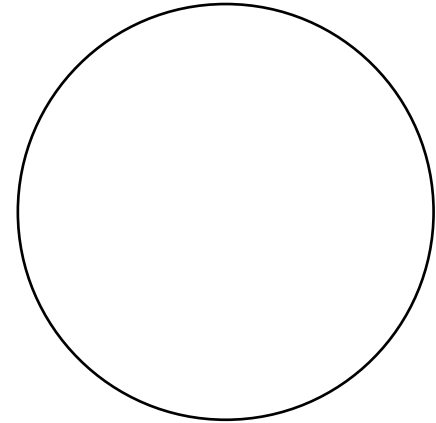
Equipo: _____

Grupo: _____

No. de muestra: _____

Fecha: _____

Procesos diagenéticos	
Compactación	
Tipos de contacto _____	
entre granos: _____	



Objetivo: ____ X

Cementación	
Cementante	%

Otros procesos diagenéticos:

Asociación con las Facies de Wilson

Clasificación de la roca	
De acuerdo con Dunham	De acuerdo con Folk

Interpretación geológica (ambiente de depósito, diagénesis, aplicación)

*La suma de estos componentes corresponde al 100% del volumen de la roca.