

CAPÍTULO

Sedimentos y

Esquema

PRÓLOGO

INTRODUCCIÓN

TRANSPORTE Y DEPOSITACIÓN DE SEDIMENTOS

LITIFICACIÓN: DEL SEDIMENTO A LA ROCA SEDIMENTARIA

ROCAS SEDIMENTARIAS

- Rocas sedimentarias detríticas
- Rocas sedimentarias químicas
y bioquímicas

LECTURA DE LA HISTORIA EN LAS ROCAS

- Estructuras sedimentarias
- Fósiles
- Ambiente de depósito

SEDIMENTOS, ROCAS SEDIMENTARIAS Y RECURSOS NATURALES

- PERSPECTIVA 7.1: La abundancia de fósiles
- Petróleo y gas natural
- Uranio
- Formación de hierro bandeado

RESUMEN DEL CAPÍTULO



Estas rocas sedimentarias que forman la Checkerboard Mesa (Mesa del Tablero de Damas) en el Parque Nacional Zion, en Utah, pertenecen a la roca arenisca Navajo de edad Jurásica, que representa un antiguo depósito de duna acameada por el viento. Las fracturas verticales intersecan las capas inclinadas conocidas como estratificación cruzada, lo que le da a este peñasco su apariencia escaquesada.

Prólogo

Hace unos 50 millones de años había dos grandes lagos en lo que ahora son partes de Wyoming, Utah y Colorado. Los sedimentos depositados en estos lagos se convirtieron en las rocas sedimentarias que se conocen como la Formación Green River (Green River Formation). Estas rocas contienen los fósiles de millones de peces, plantas e insectos. Más aún, esta formación es una fuente potencial de grandes cantidades de hidrocarburos, gases combustibles y otras sustancias.

Los esqueletos de peces fósiles son tan comunes sobre las simples superficies dentro de la Formación Green River, que cualquier interesado en coleccionarlas puede hacerlo (figura 7.1). La abundancia de peces fósiles indica la ocurrencia repetida de muertes en masa. Nadie sabe de cierto qué causó estas extinciones masivas, pero algunos geólogos creen que la florecencia de algunas algas verde-azules produjeron sustancias tóxicas capaces de matar a los peces. Otros sostienen como la causa el rápido cambio de temperatura del agua o la excesiva salinidad, cuando la evaporación era intensa. Sea cual fuere el motivo, los peces murieron

rocas

sedimentarias

por millares y se hundieron en el fondo del lago, donde había poco oxígeno que completara su descomposición, lo cual explica la preservación de sus esqueletos. Un área de la formación, en Wyoming, donde las plantas fósiles son particularmente abundantes ha recibido el nombre de Monumento Nacional Fossil Butte.



FIGURA 7.1 Peces fósiles de la Formación Green River, de Wyoming. (Foto cortesía de Sue Monroe.)



FIGURA 7.2 Las capas de lutita bituminosa de la Formación Green River se hallan expuestas a lo largo de estas laderas de colinas y montañas.

Los fósiles de la Formación Green River son interesantes, pero este lugar contiene, además, enormes depósitos de lutita bituminosa, una roca sedimentaria compuesta de pequeñas partículas de arcilla y una sustancia orgánica conocida como kerógeno. Si se emplea el proceso de extracción apropiado, puede producirse aceite líquido y gases combustibles del kerógeno bituminoso. Para ser calificada como verdadera lutita bituminosa, la roca tiene que rendir por lo menos 10 galones [37.8 litros] de hidrocarburo por tonelada de roca. Una roca con alto contenido de hidrocarburo y gas es obviamente una potencial fuente de energía de gran importancia. En la Edad Media (de 1100 a 1450), la gente en Europa usaba el aceite o petróleo de lutita como combustible sólido para fines domésticos. En el decenio de 1850, había pequeñas industrias del aceite de lutita en el este de Estados Unidos, pero se interrumpió su operación al empezar las perforaciones y la extracción del petróleo en 1859. El aceite de lutita está presente en todos los continentes, pero los depósitos de la Formación Green River son los más extensos (figura 7.2).

La lutita bituminosa da aceite cuando la roca se calienta a 500 °C en ausencia de oxígeno y la materia orgánica es emitida como gases, los cuales se recuperan por condensación. Entre 25 y 75% de la materia orgánica en la lutita bituminosa puede convertirse en aceite y gases combustibles durante este proceso. La lutita bituminosa de la Formación Green River rinde de 10 a 140 galones (37 a 529 l) de aceite (o petróleo de lutita) por tonelada de roca procesada y la cantidad total recuperable con los procesos presentes se estima en unos 80 000 millones de barriles.

En diciembre de 1997, Estados Unidos importaba más de 9 millones de barriles de petróleo por día, así que la producción de la Formación Green River podría, con el tiempo, disminuir la necesidad de Estados Unidos de recurrir a esas importaciones. Sin embargo, actualmente no se está produciendo hidrocarburo de la lutita bituminosa en Estados Unidos, porque la perforación y el bombeo convencionales son menos costosos. No obstante, la Formación Green River constituye una de las mayores fuentes de hidrocarburo inexploradas en el mundo; si se descubren procesos más eficientes, con el tiempo podría rendir aun más de los 80 000 millones de barriles estimados actualmente.

Hay que comprender, sin embargo, que a los ritmos de consumo de petróleo actuales y esperados en Estados Unidos, la producción de aceite de lutita no resolverá las necesidades totales estadounidenses. Además, las operaciones extractivas en gran escala del aceite de lutita tendrían un considerable impacto ambiental. ¿Qué se haría con los miles de millones de toneladas de rocas procesadas? ¿Puede la minería en tan gran escala llevarse a cabo con mínima alteración de los hábitats de la vida silvestre y de los sistemas de aguas subterráneas? ¿De dónde provendrán los enormes volúmenes de agua necesarios para el procesamiento, especialmente en un área donde este líquido ya es escaso? Estas y otras preguntas ya las están considerando actualmente tanto los científicos como la industria. Tal vez, en algún momento del futuro, la Formación Green River resolverá algunas de las necesidades energéticas de Estados Unidos.

Introducción

Las rocas sedimentarias, la segunda familia más importante de las rocas, se componen de todas las rocas derivadas por el intemperismo mecánico y químico, que desintegran y descomponen las rocas preexistentes (figura 7.3). Como ya vimos en el capítulo 6, los diversos procesos de intemperismo producen las materias primas componentes de los suelos y sedimentos. Recuérdese que los materiales intemperizados acarreados del sitio de intemperismo y depositados en otra parte como **sedimento** no consolidado pueden intemperizarse más para formar suelo y transformarse en **roca sedimentaria**.

El sedimento puede ser *detrítico*, lo cual significa que consta de partículas sólidas como los fragmentos de roca o granos minerales liberados durante el intemperismo, o puede ser *químico*, compuesto de minerales formados de los materiales disueltos durante el intemperismo químico. Una vez derivado del material original, el sedimento por lo general se erosiona y es transportado a otro lugar, donde se deposita en forma de acumulación de sólidos sueltos, como la arena de la playa o el lodo de un lago. Para abreviar, el origen o sedimento y su historia posterior son sencillamente una parte del ciclo de las rocas, que se describió en el capítulo 1.

FIGURA 7.3 Derivación de sedimentos de las rocas preexistentes. Ya sea que se produzcan por intemperismo químico o mecánico, los materiales en solución y las partículas sólidas son transportados y depositados como sedimento que, si se litifica, se convierte en roca sedimentaria. Esta ilustración muestra sencillamente parte del ciclo de las rocas con más detalle (véase la figura 1.12).

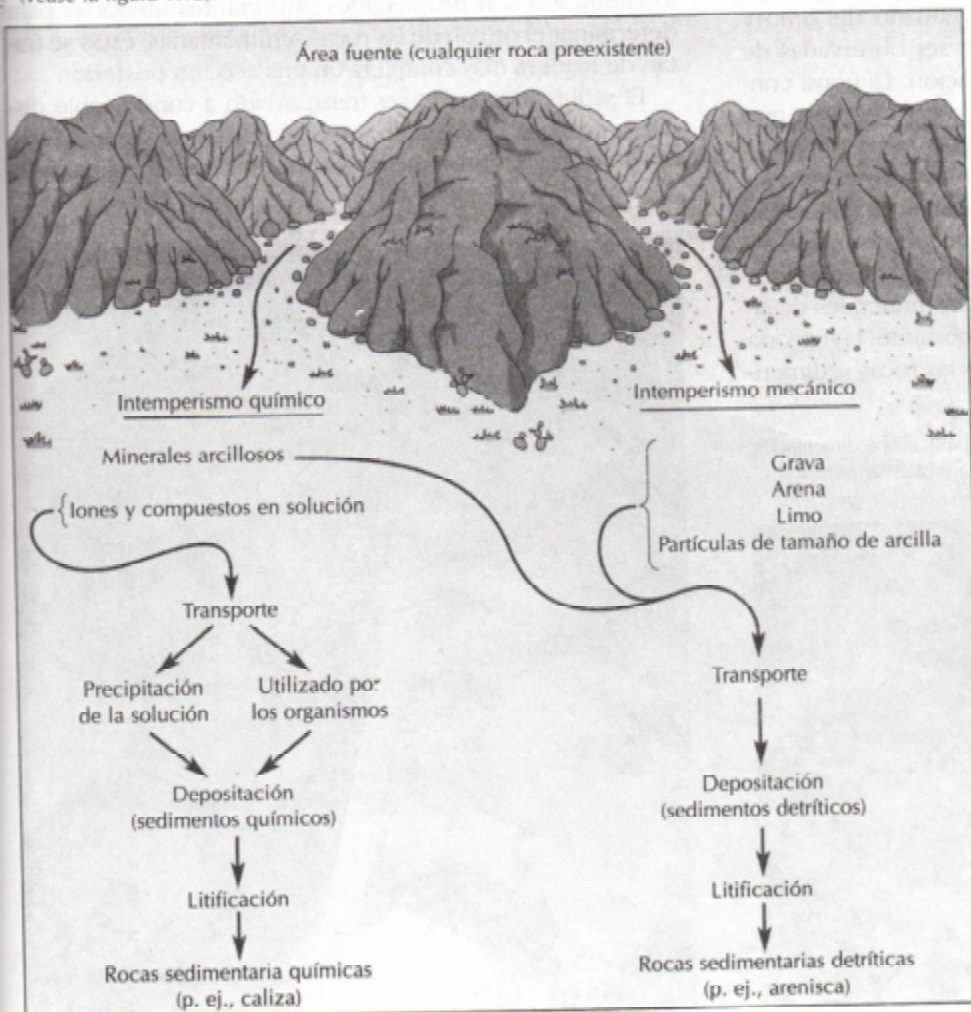


TABLA 7.1

Clasificación de partículas sedimentarias

TAMAÑO	NOMBRE DEL SEDIMENTO
>2 mm	Grava
1/16 a 2 mm	Arena
1/256 a 1/16 mm	Limo
<1/256 mm	Arcilla } Lodo

Las rocas sedimentarias se transforman más comúnmente a partir del sedimento por el proceso conocido como *litificación*, pero unas cuantas se saltaron esta etapa de sedimento no consolidado. Por ejemplo, los arrecifes de coral se forman como rocas cuando los organismos del arrecife extraen las sustancias disueltas del agua de mar para sus esqueletos. Con todo, si la roca se rompiera o desmenuzara, como por efecto de una tormenta, los pedazos sólidos del material del arrecife se depositarían en el lecho marino como sedimento.

Un criterio importante para clasificar las partículas sedimentarias es su tamaño (tabla 7.1). La *grava* consiste en cualquier partícula sedimentaria mayor de 2 mm, mientras que la *arena*, independientemente de la composición, es cualquier partícula que mide de 1/16 mm a 2 mm. Las partículas del tamaño de la grava y la arena son lo bastante grandes para ser observadas a simple vista o con ampliación de grado bajo, pero las partículas de tamaño del limo y la arcilla son demasiado pequeñas para ser observadas de otra manera que no sea con alta ampliación. La grava consiste generalmente en fragmentos de roca, mientras que las partículas de arena, limo y arcilla son principalmente granos minerales individuales. Debemos advertir, sin embargo, que la *arcilla* tiene dos significados: en términos texturales, por arcilla se alude a granos sedimentarios menores de 1/256 mm de tamaño; en términos composicionales, por arcilla se hace referencia a ciertos tipos de minerales de silicato de hoja (véase la figura 3.11). No obstante, la mayoría de las partículas de tamaño de arcilla en las rocas sedimen-

tarias son en realidad minerales de arcilla. A las mezclas de partículas de tamaño de limo y arcilla se suele hacer referencia como *lodo*.

Transporte y deposición de sedimentos

El sedimento puede ser transportado por cualquier agente geológico que tenga la energía suficiente para mover partículas de un tamaño determinado. Los glaciares pueden mover partículas de cualquier dimensión, mientras que el viento sólo transporta sedimento del tamaño de la arena y menor. Las olas y las corrientes marinas arrastran sedimento también, pero la forma sobradamente más efectiva de que el sedimento se erosione en el sitio de intemperización y sea conducido a otro lugar estriba en las corrientes fluviales.

Durante el acarreo del sedimento, la *abrasión* reduce el tamaño de las partículas; tanto las esquinas como los bordes agudos se desgastan y alisan conforme las partículas de grava y arena chocan unas con otras y se *redondean* (figura 7.4a). El trastado también da lugar a un *ordenamiento*, que se refiere a la distribución de tamaño en una acumulación de sedimento. Si todas las partículas son aproximadamente del mismo tamaño, el sedimento se califica de bien clasificado; pero si hay una amplia gama de tamaños de grano, está mal clasificado (figura 7.4b). Tanto lo redondeado como lo clasificado son propiedades importantes utilizadas para determinar el origen de las rocas sedimentarias; éstas se tratan de manera más completa en una sección posterior.

El sedimento puede ser transportado a considerable distancia desde su área fuente, pero a la larga se acumula. Parte de la arena y el lodo que en el presente se depositan en la

FIGURA 7.4 Clasificación y redondeamiento de partículas sedimentarias. a) Depósito compuesto de grava bien clasificada y bien redondeada. b) Grava mal clasificada y angulosa. (Foto cortesía de R.V. Dietrich.)



embocadura del río Mississippi provienen de lugares tan
 tantes como Ohio, Minnesota y Wyoming. Cualquier área
 ográfica en la que se almacena el sedimento es un **ambien-
 de depósito**. Si bien no existe una clasificación completa-
 mente satisfactoria de los ambientes de depósito, los geólogos
 conocen generalmente tres escenarios principales de depo-
 sición: continental, mixto y marino, cada uno con varios
 ambientes de depositación específicos (figura 7.5).

Litificación: del sedimento a la roca sedimentaria

Presente, se está acumulando lodo de carbonato de cal-
 cío en las aguas superficiales de la Bahía de Florida y se
 está se-dimentando arena en los cauces de ríos, en las
 playas y en las dunas de arena. Estos depósitos pudieran
 compactarse y/o cementarse, y de esta manera convertirse
 en roca sedimentaria; el proceso de transformación del se-
 dimento en roca sedimentaria es la **litificación**.

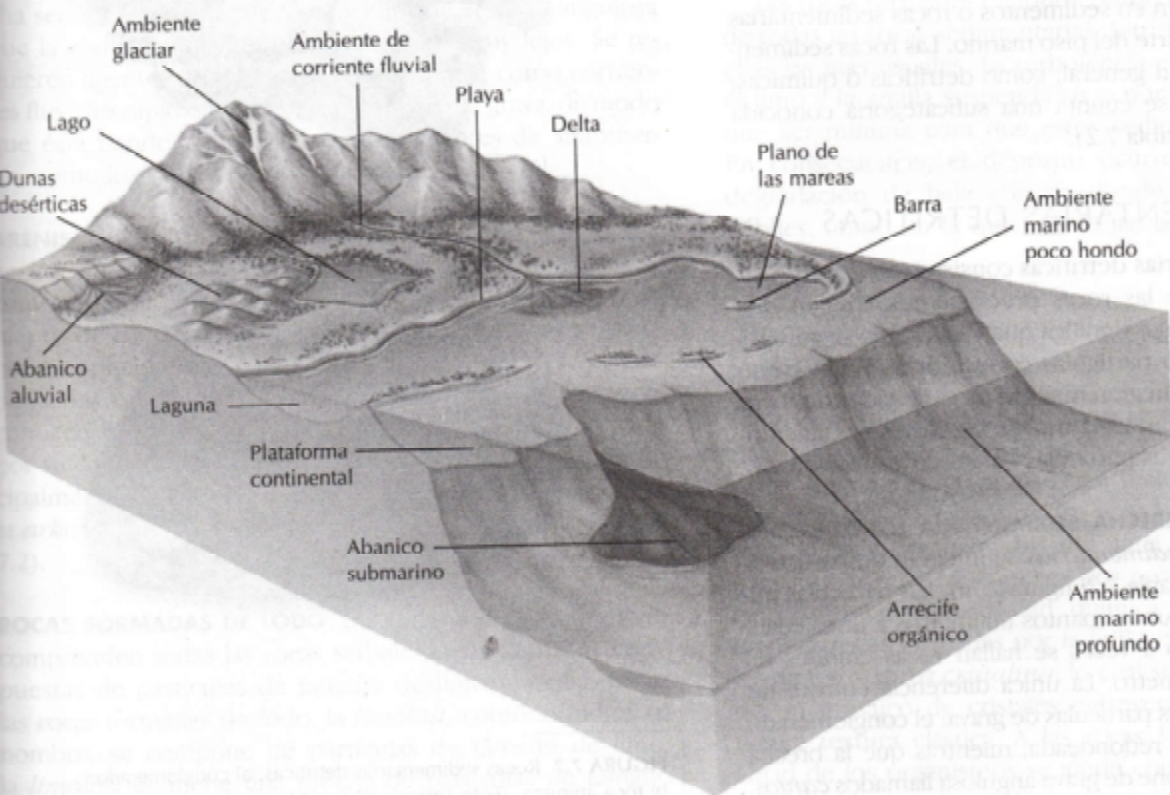
Cuando el sedimento se acumula consiste en partículas
 sólidas y *espacios intersticiales*, que son los vacíos entre
 partículas. Si el sedimento se sepulta, la **compactación**, que
 resulta de la presión ejercida por el peso de los sedimentos
 superyacentes, reduce la cantidad del espacio intersticial y,
 por ende, el volumen del depósito (figura 7.6). Cuando los
 sedimentos de lodo, que pueden tener hasta un 80% de
 espacio intersticial lleno de agua se sepultan y compac-

tan, el agua se expulsa y sale; entonces, el volumen puede
 reducirse hasta un 40%. La arena puede tener hasta un 50%
 de espacio intersticial, aunque generalmente es un poco
 menos; también puede compactarse de modo que los gra-
 nos de arena se ajusten más apretadamente.

La solidificación es por lo general suficiente para la litifi-
 cación del lodo, pero para la **cementación** de los depósitos
 de arena y grava es necesario que el sedimento se convier-
 ta en roca sedimentaria (figura 7.6). Recuerde, del capítulo
 6, que el carbonato de calcio (CaCO_3) se disuelve fácilmente
 en agua que contenga una pequeña cantidad de ácido car-
 bónico y que el intemperismo químico de los feldespatos y
 otros minerales de silicato produce sílice (SiO_2) en solución.
 Estos compuestos pueden precipitarse en los espacios inter-
 sticiales de los sedimentos, donde actúan como un cemento
 que une de manera efectiva el sedimento (figura 7.6).

El carbonato de calcio y la sílice son los cementos más
 comunes en las rocas sedimentarias, pero los óxidos de
 hierro y los hidróxidos, como la hematita (Fe_2O_3) y la li-
 monita [$\text{FeO}(\text{OH})$], respectivamente, forman asimismo un
 cemento químico en algunas rocas. Mucho del cemento
 de óxido de hierro deriva de la oxidación del hierro en los
 silicatos ferromagnesianos presentes en el depósito original,
 aunque parte de esta oxidación la lleva a cabo el agua
 subterránea circulante. Las rocas sedimentarias amarillas,
 cafés y rojas expuestas en el suroeste de Estados Unidos
 reciben su color de pequeñas cantidades de cemento de
 óxido de hierro o de hidróxido.

FIGURA 7.5 Ambientes de depósito principales. Los ambientes situados a lo largo del litoral marino son mixtos (de continental a marino). El ambiente marino poco profundo corresponde a la plataforma continental y puede ser lugar de depósito de arena o carbonato.



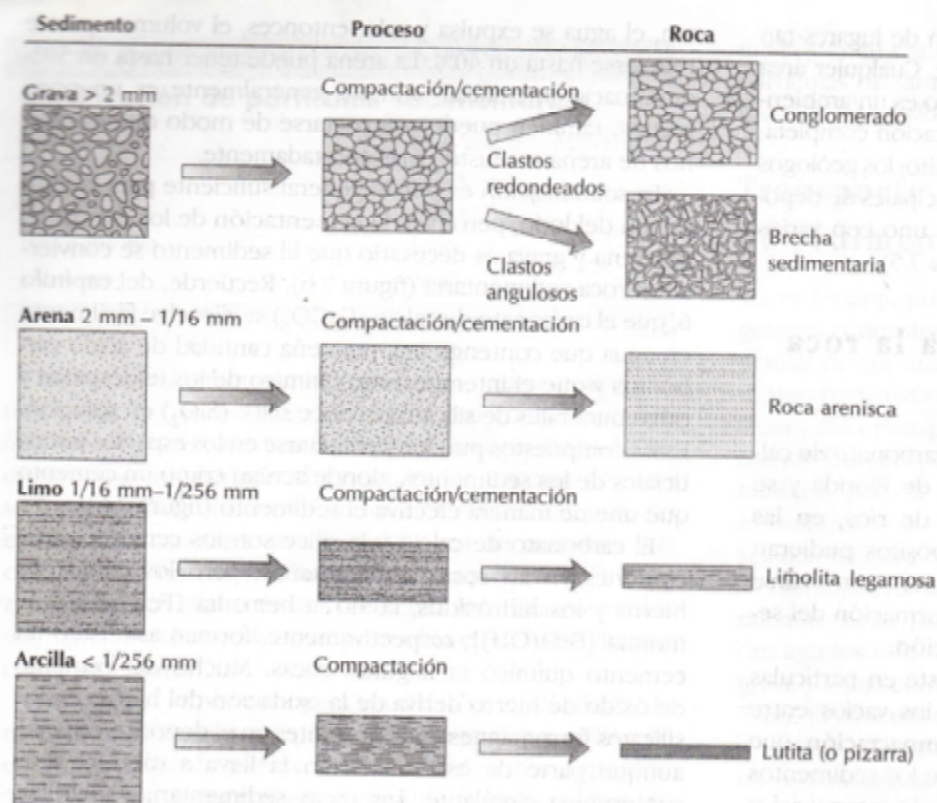


FIGURA 7.6 Litificación de sedimentos detríticos por compactación y cementación para formar rocas sedimentarias.

Rocas sedimentarias

CERCA de 95% de la corteza de la Tierra se compone de rocas ígneas y metamórficas, pero las rocas sedimentarias son las más comunes en la superficie o cerca de ella. Aproximadamente 75% de las exposiciones de superficie en los continentes consisten en sedimentos o rocas sedimentarias y cubren la mayor parte del piso marino. Las rocas sedimentarias se clasifican, en general, como detríticas o químicas; entre estas últimas se cuenta una subcategoría conocida como *bioquímica* (tabla 7.2).

ROCAS SEDIMENTARIAS DETRÍTICAS

Las rocas sedimentarias detríticas consisten en *detritus*, las partículas sólidas de las rocas preexistentes. Tienen una *textura clástica*, lo cual significa que estas rocas se componen de fragmentos o partículas conocidos también como *clastos*. Se reconoce un gran número de variedades de rocas sedimentarias detríticas, cada una de las cuales se caracteriza por el tamaño de sus partículas constitutivas (tabla 7.2).

CONGLOMERADO Y BRECHA SEDIMENTARIA Los *conglomerados* y las *brechas sedimentarias* se integran de partículas de tamaño de grava (tabla 7.2; figura 7.7a). Las partículas miden comúnmente de unos cuantos milímetros a unos cuantos centímetros, pero a veces se hallan rocas grandes de varios metros de diámetro. La única diferencia entre estas rocas es la forma de sus partículas de grava: el conglomerado se compone de grava redondeada, mientras que la brecha sedimentaria se compone de grava angulosa llamados *cantos*.



(a)



(b)

FIGURA 7.7 Rocas sedimentarias detríticas: a) conglomerado; b) roca arenisca. (Foto cortesía de Sue Monroe.)

Tabla 7.2

Clasificación de las rocas sedimentarias

ROCAS SEDIMENTARIAS DETRÍTICAS

Nombre y tamaño del sedimento	Descripción	Nombre de la roca
Grava (>2 mm)	Partículas de grava redondeadas	Conglomerado
	Partículas de grava angulosas	Brecha sedimentaria
Arena (1/16 a 2 mm)	Principalmente arena de cuarzo	Roca Arenisca de cuarzo
	Cuarzo con >25% de feldespato	Arkosa
Lodo (<1/16 mm)	Principalmente limo	Limolita
	Limo y arcilla	Limolita
	Principalmente arcilla	Lutita

} Rocas formadas de lodo

ROCAS SEDIMENTARIAS QUÍMICAS

Textura	Composición	Nombre de la roca
Varia	Calcita (CaCO ₃)	Caliza } Carbonatos
Varia	Dolomía [CaMg(CO ₃) ₂]	
Cristalina	Yeso (CaSO ₄ · 2H ₂ O)	Yeso } Evaporitas
Cristalina	Halita (NaCl)	

ROCAS SEDIMENTARIAS BIOQUÍMICAS

Textura	Composición	Nombre de la roca
Clástica	Conchas de carbonato de calcio (CaCO ₃)	Caliza (diversos tipos, como la creta y la coquina)
Generalmente cristalina	Conchas microscópicas alteradas de bióxido de silicio (SiO ₂)	Pedernal
	Principalmente carbono de restos alterados de plantas	Carbón mineral

*Las rocas formadas de lodo que tienen la propiedad de la fisibilidad (esto es, que se escinden o rompen a lo largo de planos estrechamente espaciados) se llaman comúnmente lutitas.

El conglomerado es un tipo de roca bastante común, pero la brecha sedimentaria es más bien rara, porque las partículas del tamaño de la grava se redondean rápidamente durante el arrastre. De manera que, si se halla una brecha sedimentaria, se puede concluir que la grava angulosa que la compone no fue transportada de muy lejos. Se requieren agentes de traslado de alta energía, como corrientes fluviales rápidas y oleaje, para arrastrar la grava, de modo que ésta tiende a depositarse en ambientes de alta energía, como los cauces de ríos y las playas.

ARENISCA El término *arena* es sencillamente una designación de tamaño, así que la *roca arenisca* puede estar compuesta de granos de cualquier tipo de mineral o fragmento de roca. La mayoría de las rocas areniscas se componen principalmente de cuarzo mineral (figura 7.7b) con pequeñas cantidades de otros minerales. Los geólogos reconocen varios tipos de areniscas, cada una caracterizada por su composición. La *arenisca de cuarzo*, formada principalmente de cuarzo, es de las más comunes, así como la *arkosa*, que contiene más de 25% de feldespatos (tabla 7.2).

ROCAS FORMADAS DE LODO Las *rocas formadas de lodo* comprenden todas las rocas sedimentarias detríticas compuestas de partículas de tamaño de limo y arcilla. Entre las rocas formadas de lodo, la *limolita*, como lo indica su nombre, se compone de partículas de tamaño de limo; la *limolita* contiene una mezcla de partículas de tamaño

de arcilla (tabla 7.2). Algunas rocas arcillosas se designan como *lutitas fisiles* si son fisibles, esto es, que se rompen a lo largo de planos paralelos estrechamente espaciados.

Las rocas formadas de lodo comprenden cerca del 40% de todas las rocas sedimentarias detríticas, lo que hace de ellas las más usuales. La turbulencia en el agua mantiene el limo y la arcilla suspendidos y, por consiguiente, tiene que ser mínima para que estos sedimentos se asienten. En consecuencia, el depósito ocurre en ambientes de degradación de baja energía donde las corrientes son débiles, como en la quietud de aguas dentro de lagos y lagunas.

ROCAS SEDIMENTARIAS QUÍMICAS Y BIOQUÍMICAS

Las *rocas sedimentarias químicas* se originan de los materiales incorporados en la solución durante el intemperismo químico (tabla 7.2). Estos materiales disueltos son transportados a los lagos y a los océanos, donde se concentran. Pueden ser extraídos del agua lacustre u oceánica para formar minerales, ya sea por procesos químicos inorgánicos o por la actividad química de los organismos. Algunas rocas formadas por la litificación de estos minerales tienen *textura cristalina*, lo cual significa que consisten de un mosaico de cristales entrecruzados, mientras otras tienen *textura clástica*. A las rocas formadas por la actividad de los organismos se alude como *rocas sedimentarias bioquímicas*.