



Editorial

Hace 30 años, el 14 de octubre de 1974, se estableció en Sonora la Estación Regional del Noroeste (ERNO) del Instituto de Geología de la UNAM, alojándose en la Escuela de Ingeniería de la Universidad de Sonora. Después de algunos cambios de domicilio, en 1980 se muda al edificio que actualmente ocupa, el cual fue construido por la UNAM en terrenos de la UniSon, mediante un comodato de cesión de terreno. La razón para abrir una oficina regional del Instituto de Geología en Sonora fue realizar investigación en una gran región geológicamente compleja y apoyar a la UniSon en la creación del Departamento de Geología. Actualmente, el Instituto de Geología (ERNO) cuenta en Sonora con siete investigadores y cuatro técnicos académicos, a los que se suma el Instituto de Ecología (Unidad Hermosillo) con cuatro investigadores y un técnico académico. A lo largo de estos años, los académicos de la UNAM en esta sede han tenido un papel de liderazgo nacional e internacional en el estudio de la geología y los ecosistemas del noroeste de México. ¡Celebremos con orgullo este aniversario!

César Jacques Ayala
Editor

XXX ANIVERSARIO DE LA ERNO

Contenido

Editorial	2
Estromatolitos: Navegantes en el tiempo (Hugo Beraldi).....	3
Cuencas hidrológicas (César Jacques Ayala)	6
El herbario USON (José Jesús Sánchez Escalante)	9
Los granitos en la historia geológica de México (Jaime Roldán Quintana, Martín Valencia Moreno y Raúl Miranda Avilés)	11
Paleoambientes del Pleistoceno tardío (Antonia López Higuera)	14

Portada. "Campo" de estromatolitos en Shark Bay (bahía Tiburón) en la costa oeste de Australia. Esta área es muy conocida por la abundante presencia de estromatolitos. La imagen corresponde al lugar conocido como *Hamelin Pool* (pozo Hamelin). Arrecife de estromatolitos en los que se observa la textura superficial rugosa en donde crecen las algas. Al fondo se tienen las formas domales, en la zona de sub-marea, en donde hay más profundidad. Al frente, las formas turbinadas, en la zona de supra-marea. Además, da una muy buena idea de un auténtico arrecife estromatolítico. Imagen gentilmente proporcionada por la Western Australian Tourism Commission, la cual es poseedora de los derechos de autoría.

Directorio

UNAM

Dr. Juan Ramón de la Fuente
Rector

Lic. Enrique del Val Blanco
Secretario General

Mtro. Daniel Barrera Pérez
Secretario Administrativo

Dr. René Drucker Colín
Coordinador de la Investigación Científica

Dr. Gustavo Tolson Jones
Director del Instituto de Geología

Dr. Héctor Arita Watanabe
Director del Instituto de Ecología

Dr. Thierry Calmus
Jefe de la Estación Regional del Noroeste

NUESTRA TIERRA

Dr. César Jacques Ayala
Editor

Dra. Ma. Cristina Peñalba
Dr. Martín Valencia Moreno
Editores Asociados

Dr. Hannes Löser
Editor Técnico y Diseño

Nuestra Tierra es una publicación de la Estación Regional del Noroeste, institutos de Geología y Ecología, que aparece semestralmente en primavera y otoño de cada año.

Estación Regional del Noroeste
Blvd. L. D. Colosio s/n y Madrid
Campus UniSon
83000 Hermosillo, Sonora, México
Tel. (662) 217-5019, Fax (662) 217-5340

nuestratierra@geologia.unam.mx
<http://www.geologia-son.unam.mx/nt.htm>

ISSN 1665-945X
Impresión: 500 ejemplares
Precio: \$ 15.00

En caso de utilizar algún contenido de esta publicación, por favor citar la fuente de origen. El contenido de los trabajos queda bajo la responsabilidad de los autores.

Estromatolitos: Navegantes en el tiempo

Los estromatolitos son, por definición, estructuras organo-sedimentarias, laminadas, compuestas principalmente por carbonato de calcio (CaCO_3), y adheridas al sustrato, producto de la actividad metabólica de microorganismos (principalmente cianobacterias). Son estructuras rocosas, a veces porosas y rugosas. Las algas que crecen sobre la superficie del estromatolito precipitan el CaCO_3 y sus secreciones mucilaginosas atrapan sedimentos que, después de años, se consolidan como roca (Fig. 1).



Figura 1. Afloramiento con estromatolitos. Nótese la laminación de las capas oscuras y muy delgadas (escala = 1.5 m).

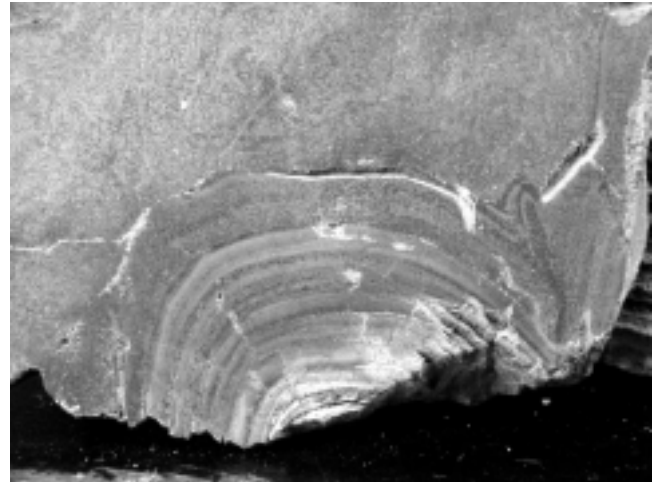


Figura 2. Sección transversal de un estromatolito de Huépac (altura = 7 cm).

Una vez formada una lámina de sedimento por encima de las algas, éstas migran hacia la superficie, donde vuelven a formar otra lámina, y así sucesivamente (Fig. 2). De esta manera la estructura aumenta en tamaño, vertical y horizontalmente, tomando formas distintas según el ambiente y el tipo de algas que la fabrican. La velocidad de crecimiento depende de lo adverso o favorable de las condiciones de luminosidad, erosión, disponibilidad de carbonato, etc.; sin embargo, se han calculado tasas de ~ 0.7 mm/año. La morfología, tanto en estromatolitos recientes como fósiles, puede ser columnar, domal (semiesférica), con forma de hongo, de cono o de arbusto ramificado, entre otras; incluso los hay con combinaciones de formas.

Los estromatolitos modernos son formados por diversos microorganismos, siendo dominantes las cianobacterias, cocoides y filamentosas, aunque también pueden participar clorofitas, diatomeas y muchas bacterias que están involucradas en el mantenimiento del microambiente (Fig. 3). A esta diversidad se agregan otros organismos (hongos, artrópodos, protozoarios, otras algas, etc.) que buscan refugio, sustrato o alimento en las cavidades y superficies del estromatolito (Fig. 4). Viven en ambientes acuáticos, desde hipersalinos hasta dulceacuícolas, marinos a continentales, y desde intermareales a submareales.

Pero, los estromatolitos ¿son algas o son estructuras calcáreas? Son las dos cosas. En los estromatolitos fósiles, generalmente las algas que los formaron no se conservan, pero sabemos que estuvieron presentes

durante su formación, pues sin las algas no puede haber estromatolito. Aún así, hay muchas estructuras laminadas, como las estalagmitas y las geyséritas, que pueden confundirse con estromatolitos aun cuando las algas no intervinieron en su formación. Igualmente, hay algas asociadas a estructuras calcáreas, como los travertinos o los trombolitos, que no son estromatolitos. Por ello, la labor de identificarlos requiere mucha observación y experiencia.

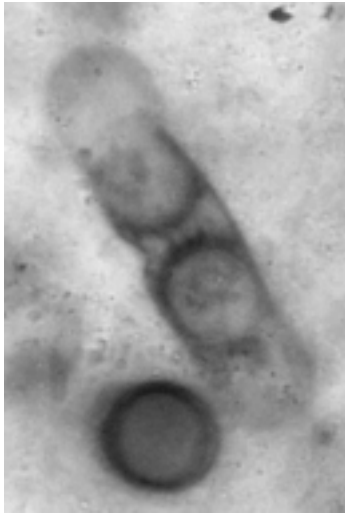


Figura 3. *Diatomeas centrales del género Melosira, procedentes del pedernal de Huépac.*

Existen estromatolitos desde el Precámbrico (~3500 Ma) hasta el reciente, lo cual es único en la naturaleza, pues además de representar a los habitantes más antiguos de la Tierra, han sobrevivido a todas las eras geológicas, con todo y sus extinciones masivas (Fig. 5). Incluso, actualmente siguen creciendo en muchos lugares del mundo. En México se encuentran estromatolitos "vivos" en la laguna de Alchichica, Pue., en Las Huertas,

Mor., Cuatrociénegas, Coah., Parangueo, Gto., y en otras localidades de Oaxaca, Yucatán y San Luis Potosí. También los hay en Australia (ver portada), el Golfo Pérsico, las Bahamas, Brasil, Bolivia y muchos otros sitios.

Los estromatolitos tienen aspectos que los hacen sumamente importantes dentro de la geología y la biología, a saber:

1. Son la evidencia de vida más antigua que se conoce en la Tierra. - Las rocas metasedimentarias más antiguas de la Tierra están en Groenlandia y tienen 3800 millones de años (Ma). Los estromatolitos más antiguos son de la región de Pilbara, Australia y tienen unos 3500 Ma. La edad de la Tierra como planeta independiente se calcula en 4550 Ma. La teoría dice que, dadas las condiciones en esa época, los primeros habitantes de la Tierra debieron ser organismos unicelulares, procariontes, heterótrofos y anaerobios, pero no hay registro fósil de ello.

2. Son formados por organismos que han mantenido hasta hoy su línea evolutiva. - Dentro del registro fósil existen organismos pancrónicos, es decir que no

se han extinguido desde su aparición. Algunos ejemplos son el pez celacanto (*Coelacanthus* sp.), el árbol ginkgo (*Ginkgo* sp.), las cícadas y los estromatolitos (las estructuras calcáreas y los microorganismos). Muchas cianobacterias del Precámbrico presentan la misma forma y tamaño que cianobacterias actuales. Gracias a ello, pueden conocerse cambios morfológicos, ecológicos e incluso fisiológicos que han tenido los microorganismos fotosintéticos a través del tiempo.

3. Son los primeros recicladores del carbono. - El ciclo del carbono es fundamental en los procesos atmosféricos (concentración de CO₂), geológicos (formación de carbonatos), climáticos (efecto invernadero) y biológicos (sustento molecular para la vida). El carbono es un elemento que se recicla constante y perpetuamente en la Tierra. Una manera de participar en el ciclo del carbono es fijándolo en forma de sal (como el CaCO₃), como hacen las algas que fabrican estromatolitos.

4. Son los primeros oxigenadores de la atmósfera. - Los organismos constructores de estromatolitos son fotosintéticos oxigénicos, es decir que al hacer fotosíntesis, liberan oxígeno a la atmósfera. El incremento de este oxígeno en el Proterozoico está evidenciado geológica y biológicamente. Actualmente el 99% de los organismos eucariontes requiere del oxígeno para llevar a cabo funciones metabólicas vitales.

5. Son los primeros formadores de zonas arrecifales. - El tipo de crecimiento de los estromatolitos está siempre ligado a cuerpos de agua, y el crecimiento óptimo se da en zonas no más profundas de 15 m. Al crecer en masa, forman arrecifes, que representan nuevos ecosistemas. Miles de especies buscan ahí alimento y refugio (ideal para la reproducción de peces, moluscos, crustáceos, etc.). Ofrecen también sustrato para orga-



Figura 4. *Conidiospora de un hongo microscópico del género Alternaria, procedente del pedernal de Huépac.*

nismos rastreros o para otras algas y evitan la erosión por embate de las olas. Al crear nuevos ecosistemas hace millones de años, promovieron la especiación de muchos grupos taxonómicos a través del tiempo.

6. Sirven como paleoindicadores.- Dado que sólo crecen asociados al agua y bajo condiciones particulares de salinidad, pH, profundidad y luminosidad (según las especies), pueden ser usados como indicadores de parámetros ambientales. Si además se conservaron junto con la microflora, ésta también proporciona información ambiental.

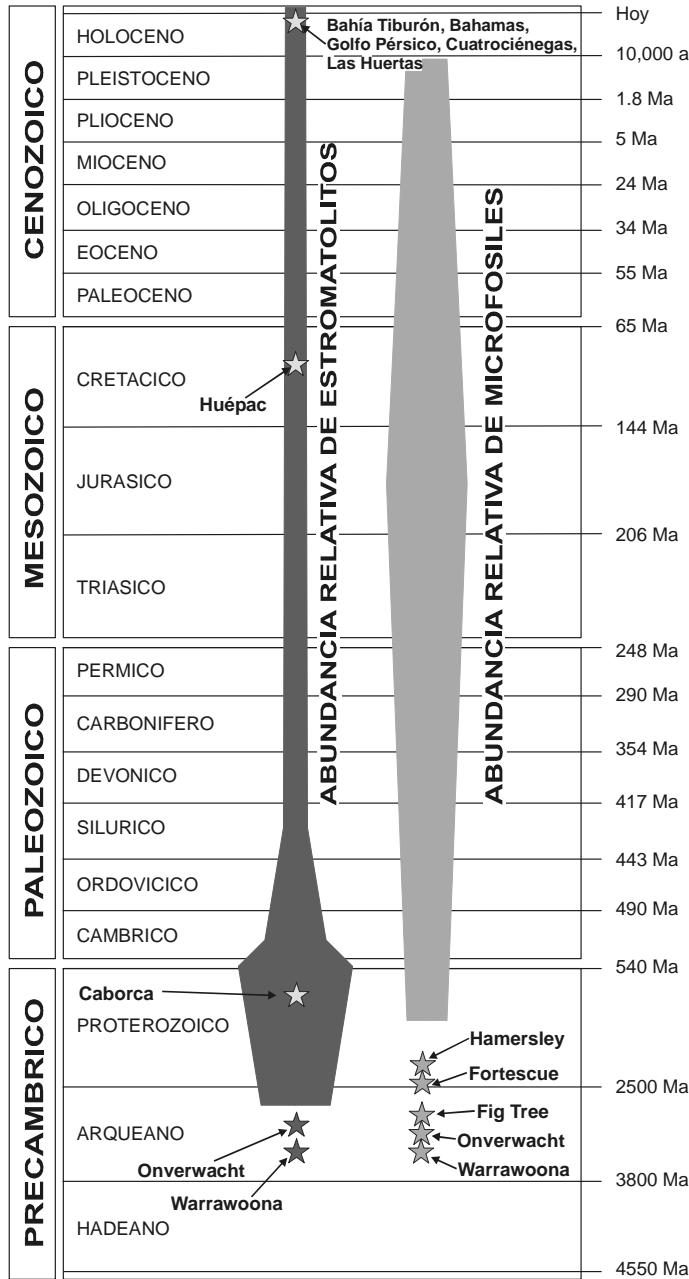


Figura 5. Diversidad de estromatolitos en la escala del tiempo geológico, así como sitios donde se encuentran: Australia = Warrawoona, Fortescue, Bahía Tiburón y Hamersley; Africa = Onverwacht y Fig Tree; EU = Bahamas; México = Las Huertas (Morelos), Caborca y Huépac (Sonora), Cuatrociénegas (Coahuila); Arabia = Golfo Pérsico. Ma = millones de años.

Una característica singular de los estromatolitos es que su crecimiento es heliotrópico (se orientan hacia el sol) y la inclinación puede medirse anualmente, por tanto puede conocerse su posición espacial en épocas pasadas. Con estromatolitos precámbricos se han hecho modelos para conocer la paleotopografía de ciertas regiones. En otros casos, midiendo el número de láminas estromatolíticas por cada ciclo estacional (inferido por la inclinación del estromatolito dado su crecimiento heliotrópico), se ha concluido que en aquella época, los años duraban 435 días.

En México se han realizado pocos estudios con estromatolitos, fósiles o recientes, aun cuando existen en muchas localidades. Recientes se han estudiado los de Alchichica (Puebla), Laguna Mormona (Baja California) y Cuatrociénegas (Coahuila). Los fósiles se han estudiado sobre todo en Sonora: del Precámbrico, en la zona de Caborca, y del Cretácico en Huépac.

Los estromatolitos fósiles no siempre quedan conservados junto con sus microfósiles asociados; por ello, los estromatolitos de Huépac, que tienen ~72 Ma, suponen un hallazgo único. De ellos se han estudiado microfósiles de algas, polen, esporas, hongos y artrópodos. Tras estudiarlos sabemos, por ejemplo, qué algas fueron constructoras del estromatolito y cuáles habitaban en los alrededores. Infiriendo los hábitos de algunas de ellas, se dedujo que el cuerpo de agua donde vivieron no era marino. Además, ahí se han encontrado diatomeas, hasta ahora las de agua dulce más antiguas que se conocen, lo cual tiene implicaciones evolutivas y filogenéticas.

Ejemplos como éste dejan claro que los estromatolitos son herramientas muy útiles para conocer, no sólo parámetros ecológicos y paleoambientales, sino incluso el universo.

Más información

<http://sedimentario.tripod.com>

Walter, M.R. 1976. *Stromatolites*. Elsevier Scientific Publishing Co. New York.

Bertrand-Sarfati, J. y Monty, C. 1994. *Phanerozoic Stromatolites II*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

Autor

Hugo Beraldi, Instituto de Geología, UNAM;
hberaldi@servidor.unam.mx

Cuencas hidrológicas

De acuerdo con declaraciones de las autoridades que manejan el agua en el país, una buena cantidad de acuíferos que abastecen de agua a poblaciones y zonas agrícolas se encuentran sobre explotados. Ante esta situación es urgente mejorar la administración y los métodos de extracción que se han usado hasta ahora. Para el segundo aspecto, se debe aplicar una metodología semejante a la que se hace en la exploración de hidrocarburos. Tradicionalmente, la exploración por agua del subsuelo se ha hecho de manera muy limitada, enfocándose al estudio de los acuíferos en las zonas en donde se ubican los pozos de extracción. Incluso, se restringe a la profundidad a la que llega el pozo. En la perforación de algunos pozos se toman muestras, las cuales en la mayoría de los casos describe el perforista. También se corren registros geofísicos en pozos, tomando únicamente los datos de potencial natural e inducido. Estos registros se deben entregar a la Comisión Nacional del Agua (CNA) y el dueño del pozo conserva una copia. La realidad es que en muchos casos, estos registros no se toman o no se entregan a la CNA, o el dueño del pozo no los conserva. De esta manera, cuando en CNA o en los distritos de riego se habla de cuencas, se refieren únicamente a la zona de explotación del acuífero. En este trabajo expondré algunos conceptos indispensables para comprender una cuenca y las características de los materiales que permiten la acumulación de agua para formar un acuífero, cuya definición simplemente sugiere una acumulación de agua en el subsuelo, la cual es susceptible de ser económicamente explotable.

Una cuenca es una depresión en la corteza terrestre en la cual se acumulan sedimentos y otro tipo de materiales transportados a ella. La corteza terrestre es afectada por diferentes tipos de movimientos provocando la formación de depresiones y montañas. Generalmente, el agua del subsuelo se extrae de cuencas formadas sobre los continentes, aunque existen algunos casos de acuíferos en rocas acumuladas en ambientes marinos, las cuales han perdido el agua de mar y se cargan con agua dulce. La profundidad de la cuenca depende de las condiciones geológicas de formación, en algunos casos llegando a tener un espesor de sedimentos del orden de varios kilómetros. En esta

oportunidad voy a referirme sólo a cuencas formadas en ambientes continentales.

Los materiales que se acumulan son el resultado del intemperismo y la erosión de las partes topográficamente altas. El acarreo lo hacen el agua, el viento, el hielo y/o la misma atracción gravitacional. La acumulación de material continuará mientras existan condiciones topográficas adecuadas; esto es, que haya material para transportar y que no se llene la depresión. El sedimento que se acumula en una cuenca va a tener características determinadas por el tipo de material que se erosiona (rocas lajeadas, masivas, muy bien consolidadas o sedimentos poco consolidados), la distancia de transporte (reducción de tamaño y selección de partículas), la pendiente general del área (tiempos de residencia de las partículas), el clima (alteraciones en algunos de los materiales de transporte) y las condiciones hidráulicas (tipo de flujo, capacidad de carga). Todo este conjunto de factores va a determinar la distribución que tengan los sedimentos en la cuenca de depósito de acuerdo a su tamaño.

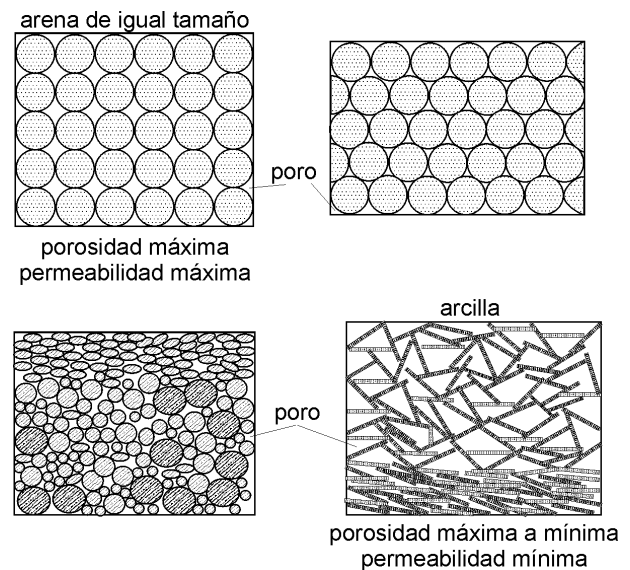


Figura 1. Diagramas que ilustran la forma como se pueden acomodar las partículas de un sedimento y el efecto de este acomodo en el volumen de espacios vacíos (porosidad).

La porosidad se define como el porcentaje de espacio ocupado por algún fluido por unidad de volumen total. Esto es, si tenemos un metro cúbico de arena, el espacio ocupado por los granos sería, por ejemplo, del 75 al 85 por ciento. El resto representa espacios vacíos. Estos espacios vacíos son ocupados por fluidos (gas, agua o hidrocarburos). La porosidad es determinada

por el tamaño de los componentes del sedimento. Entre más uniforme sea el tamaño de los granos, mayor será la porosidad. También va a depender del acomodo de los granos, como se ilustra en la Figura 1. Cabe mencionar que este tipo de porosidad denominada "primaria", se forma al mismo tiempo de acumulación del sedimento o la roca. Existe otro tipo llamado "porosidad secundaria", la cual se produce después de la acumulación del sedimento o de la roca y puede estar formada por fracturas, fallas u otros procesos físico-químicos.

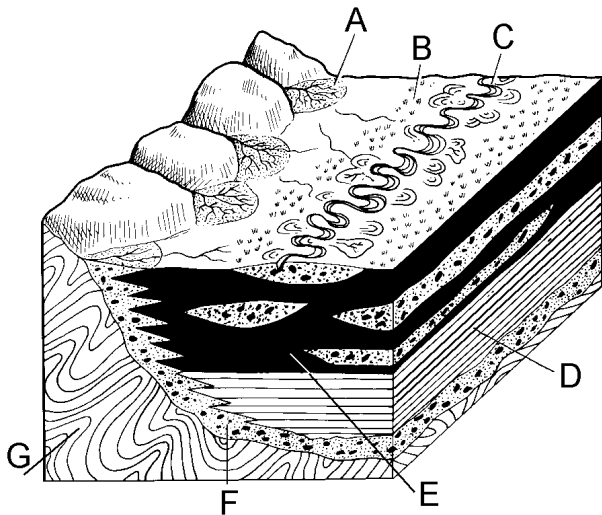


Figura 2. Arquitectura de una cuenca hidrológica.
 A) Abanicos aluviales; B) Planicie de inundación; C) Franja ocupada por un sistema fluvial (ver Fig. 3); D) Depósitos antiguos; E) Depósitos dominados por limos y arcillas; F) Abanicos aluviales sepultados; G) Basamento rocoso.

La permeabilidad es otro concepto muy utilizado en el estudio de extracción de agua; se define como la capacidad de un medio de permitir el paso de un fluido a través de los poros. Una roca puede ser muy porosa pero poco permeable. Es el caso de las arcillas (Fig. 1) las cuales permiten la formación de poros, pero por su forma tabular, se acomodan de tal manera que son casi impermeables. Por ser muy pequeñas, generalmente rellenan espacios vacíos por sedimentación o por alteración de algunos minerales. Este punto es de gran importancia porque la presencia de arcillas va a afectar de gran manera la permeabilidad de un sedimento, haciendo la recarga y la misma extracción muy lentas.

Sistemas sedimentarios

Las cuencas formadas en los continentes se forman por extensión o estiramiento de la corteza (fallas normales), o por compresión (pliegues y fallas inversas).

En Sonora las primeras son predominantes y representan la principal fuente de suministro de agua del subsuelo, mientras que las segundas no representan una fuente de importancia, a menos que se encuentren muy fracturadas.

En la Figura 2 se muestra un bloque diagramático de una cuenca continental. Se señalan algunos de los rasgos típicos de estas cuencas, determinados a partir de la morfología que presentan. Esta morfología está en función de la topografía original y del tamaño de partículas que forman dichos rasgos, las cuales a su vez se depositan de acuerdo con las características del medio de transporte. Los abanicos aluviales son depósitos formados en los flancos de las sierras, en donde los arroyos salen hacia el valle. Tienen la forma de un abanico y están constituidos por material fragmentario muy heterogéneo; desde bloques de decenas de centímetros de diámetro hasta gravas y arenas. Su porosidad es muy baja. Tradicionalmente no se hacía exploración por agua en estos depósitos. Sin embargo, en algunas regiones áridas de los Estados Unidos de Norteamérica se están explotando para uso ganadero. En la zona del valle, se tienen las planicies de inundación en donde se acumula agua durante las inundaciones, dando lugar a depósitos de material fino, como arena, limo y arcillas. Estos depósitos tienen una porosidad y permeabilidad muy bajas. Prácticamente son estériles. Una característica es que adquieren un color rojizo por efectos de oxidación. En algunas planicies de inundación se tienen depresiones (playa) en donde se acumula agua; ésta se evapora con el tiempo dando lugar a depósitos de arcillas y otros materiales por evaporación. En algunos casos, estos minerales evaporíticos – sulfato de sodio, por ejemplo – pueden contaminar el acuífero.

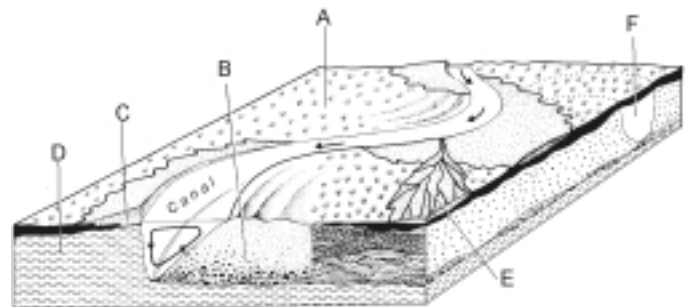


Figura 3. Un sistema fluvial meándrico.
 A) Planicies de inundación; B) Depósitos en el cauce del río, con materiales que varían de tamaño mayor a menor hacia arriba; C) Bordo natural; D) Depósitos de material fino (poca porosidad); E) Depósitos de ruptura por inundación; F) Meandro abandonado por migración del cauce principal.

La zona del río propiamente, consiste de una acumulación de arena y grava. Se denomina depósito cíclico porque en la base se tienen materiales de mayor tamaño disminuyendo hacia arriba, como se puede ver en la Figura 3 en la que se muestran los ambientes de depósito en la zona del cauce de un río meándrico. A lo largo del canal se acumulan arenas; localmente se tienen gravas, en especial dentro del cauce principal.

El sistema de río es muy dinámico, pudiendo el cauce principal migrar lateralmente o durante periodos de inundación, abrir un cauce diferente. Las arenas también se acumulan en los bordos naturales y en los depósitos de ruptura por inundación. De esta manera, el relleno de una cuenca define el comportamiento de un acuífero: zonas con excelente porosidad/permeabilidad a lo largo de la franja de meandros, en tanto que en las zonas de sedimentación de planicie de inundación, la porosidad/permeabilidad será muy pobre. Esta distribución, supuestamente irregular en los caudales de extracción, dependerá de la distribución granular del relleno sedimentario. Más aún, es indispensable definir con claridad la distribución granular haciendo estudios de toda una cuenca para determinar el sistema fluvial que predominó a lo largo de su historia. Así, podemos tener un área de meandros muy reducida (Fig. 4b), o se puede tener el caso de un sistema muy amplio en el que la zona atractiva para la explotación puede ser muy extensa (Fig. 4a).

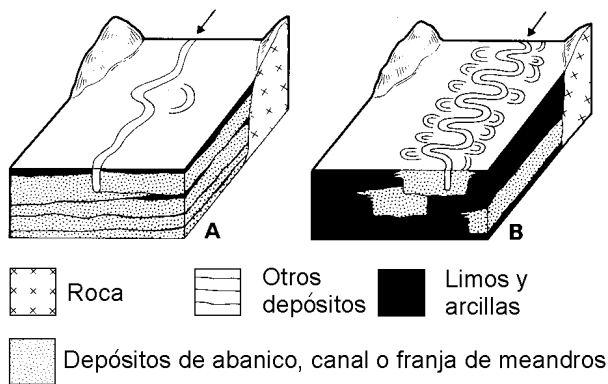


Figura 4.- Tipos de depósitos de acuerdo a la evolución del sistema fluvial. En A se tiene la acumulación de arena en cuerpos tabulares de gran extensión, mientras que en B los depósitos tienen forma de cordón: alargados en una sola dirección. Para la prospección de agua se debe conocer este tipo de acumulaciones para evaluar el potencial hidrológico de manera más real.

Una gran cantidad de ríos desembocan en un mar u océano. Muchos de ellos desarrollan un delta, que es

la acumulación del material de acarreo de un río al llegar al mar. El cambio de condiciones hidráulicas en la zona de desembocadura hace que la acumulación de sedimentos tenga un patrón característico. Los sedimentos predominantes son las arenas, limos y arcillas con una distribución lateral muy grande. Dependiendo de las condiciones marinas, el delta puede formarse con un predominio de corrientes de mareas, de corrientes paralelas a la costa o del mismo río. La configuración que se tenga será diferente en cada caso (Fig. 5).

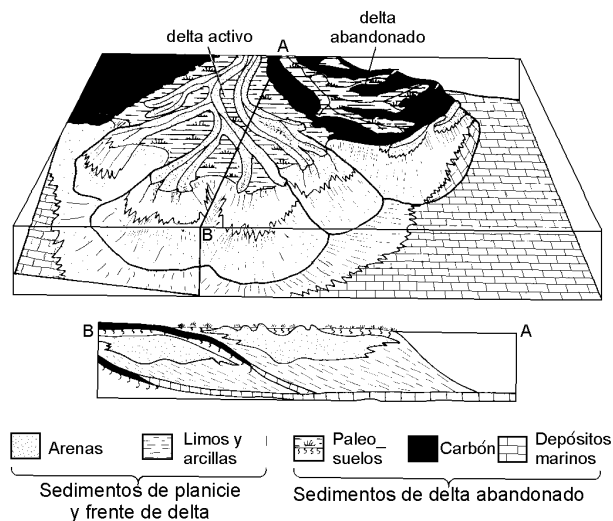


Fig. 5. Diagrama generalizado de un sistema deltaico. Los cuerpos de arena tienden a hacerse menores pero más numerosos y con mayor cantidad de limos y arcillas.

En la región del golfo de California se tienen grandes deltas en la costa del continente: de los ríos Colorado, Asunción, Sonora, Yaqui-Mayo, Fuerte, etc. Esto ha permitido un gran desarrollo de la agricultura. Sin embargo, la falta de estudios sedimentológicos no ha permitido conocer la arquitectura de los sistemas fluviales mencionados. Por ejemplo, en el caso de los ríos Sonora y Asunción, no se tiene definida la zona de transición del sistema fluvial al deltaico, lo cual impide predecir con mayor certeza la distribución de porosidades y por tanto la ubicación de las zonas más productivas.

Las figuras 2-5 se modificaron de los trabajos de J.D. Collinson (Figs. 2-4) y T. Elliot (Fig. 5), capítulos 3 y 6 respectivamente en Reading, H.G., 1980, Sedimentary environments and facies (Elsevier).

Autor

César Jacques Ayala, Estación Regional del Noroeste, Instituto de Geología, UNAM; jacques@geologia.unam.mx

El herbario USON

Centro de información de los recursos florísticos del Estado de Sonora, México

La flora de Sonora, México, es muy rica tanto en especies como en tipos de vegetación. A pesar de estar cubierto en un 70% por matorral desértico cuenta con importantes áreas de bosques que se ubican principalmente en las zonas montañosas. Cuenta además con comunidades de halófitas, pastizales y áreas con vegetación acuática y subacuática, lo cual conforma una gama de múltiples contrastes en la cubierta vegetal. Actualmente, la flora de Sonora se estima en más de 5000 especies y, en el herbario de la Universidad de Sonora (USON), se encuentran depositados cerca de 10,000 ejemplares representativos de más del 40% de la diversidad vegetal. En el herbario podemos encontrar 2000 especies provenientes de colecciones de los cuatro puntos cardinales de Sonora; es decir, tenemos colecciones de la selva baja caducifolia en la región del río Mayo, cerca de Alamos (sur), de la Sierra Madre Occidental cerca de Yécora (este), del desierto Sonorense y sierras aisladas como la sierra Libre y la sierra El Aguaje en el municipio de Guaymas (oeste); así como de los pastizales y los encinales cerca de la frontera con Arizona (norte).

Misión del herbario USON

El herbario USON se localiza en el Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Universidad de Sonora (DICTUS). Es una colección de plantas secas, montadas sobre cartulinas especiales y



Estudiantes colectando ejemplares de plantas

que se guardan ordenadamente en gabinetes metálicos. Es un banco creciente de información que proviene esencialmente de ejemplares botánicos representativos de la flora y vegetación de Sonora, México; constituyendo una herramienta fundamental para el desarrollo de estudios florísticos y taxonómicos en nuestra región. Fue inaugurado en 1996 y, desde entonces, es una fuente de información importante que puede ser utilizada en algunas actividades académicas y productivas. Entre ellas podemos citar las siguientes:

Investigación Científica. El herbario se considera fundamental para: describir y descubrir especies nuevas de plantas; realizar inventarios de plantas que sirvan para documentar acciones de conservación de la biodiversidad en áreas naturales protegidas y en otras regiones con gran belleza escénica y con gran potencial turístico. Entre los proyectos que se contemplan actualmente destacan la realización de inventarios florísticos y de vegetación en áreas naturales del estado de Sonora como por ejemplo: flora del municipio de Guaymas (que incluye la reserva Cajón del Diablo y la sierra Libre); flora de la sierra de Mazatán, municipio de Mazatán; flora de la frontera en la franja fronteriza del norte de Sonora; y en un futuro en áreas de una alta biodiversidad como el arroyo El Reparó, municipio de Yécora; y la reserva Los Ajos-Bavispe.

Desarrollo Tecnológico. La detección de sustancias de origen vegetal con potencial de uso industrial y farmacéutico hace que algunas plantas regionales sean del interés de empresarios e industriales; ello puede impulsar el desarrollo de industrias basadas en la aplicación y usos tradicionales de estos recursos. Generar mayor información sobre la distribución y conocimiento del habitat de estas plantas puede ser una aportación más del trabajo del herbario.

Educación. El material de divulgación producido por el herbario, sirve para que los estudiantes de nivel básico, medio y superior puedan conocer la flora nativa de Sonora y aprender a identificar aquellas plantas que crecen en su municipio o región, sobre todo aquellas que se encuentran amenazadas o en peligro de extinción. Los estudiantes de nivel profesional y posgrado pueden usar el herbario para apoyar sus clases y para llevar a cabo investigaciones relacionadas con las plantas a través de proyectos de tesis. En este sen-

tido, la participación de los estudiantes prestando su servicio social, realizando prácticas y residencias profesionales y desarrollando investigación botánica a través de tesis de licenciatura, ha sido fundamental para el desarrollo del herbario USON. Desde el establecimiento del herbario, estudiantes de la Universidad de Sonora, del CESUES y del Instituto Tecnológico de Hermosillo han participado en diversas actividades tales como la recolección de ejemplares, la curación o preparación de especímenes, y la captura de datos; además, han colaborado con el desarrollo, mantenimiento y despliegue en Internet del sistema de información computarizado con el que cuenta actualmente.

Actividades Agropecuarias. Los ganaderos se pueden apoyar en el herbario para identificar plantas que sirven de alimento al ganado y plantas tóxicas cuya proliferación pudiera poner en peligro al ganado. También sirve a los agricultores para detectar aquellas plantas que están consideradas como maleza o que son invasivas y amenazan la permanencia de los cultivos y de las especies nativas.

Consultoría Ambiental. Los consultores se apoyan en el herbario USON para llevar a cabo los estudios de impacto ambiental en sitios donde se contempla la realización de proyectos productivos, o donde se pretende crear una unidad de manejo ambiental (UMA). Estos proyectos requieren de la realización de inventarios florísticos y de la detección de especies raras, endémicas y/o con estatus de conservación.

Ordenamiento Ecológico. Para llevar a cabo los programas de ordenamiento ecológico es necesario contar con inventarios actualizados de los recursos florísticos y faunísticos de la región de interés. El herbario USON, a través del crecimiento de su colección y de la cobertura geográfica de su base de datos, puede garantizar el disponer en cualquier momento de información actualizada y oportuna sobre la diversidad vegetal de nuestro estado.

Arquitectura del paisaje. Los arquitectos pueden usar la información del herbario para seleccionar plantas nativas apropiadas a una región y que sean susceptibles de utilizarse ornamentalmente en parques y jardines. Por ejemplo, en las regiones desérticas del estado, el uso de las plantas nativas en jardines se puede traducir en una disminución significativa del consumo de agua.

Vinculación. Actualmente, uno de los objetivos del herbario USON es llevar el conocimiento sobre las

plantas regionales a las comunidades rurales de Sonora. Fomentar entre los estudiantes sonorenses el interés por las plantas locales y la importancia de su conservación, puede motivarlos a estudiar disciplinas relacionadas con el herbario como la taxonomía vegetal, la etnobotánica y la ecología. Incluyendo un componente de educación ambiental en nuestros proyectos, estamos tratando de impulsar la participación comunitaria en el crecimiento de la colección del herbario USON. Hemos iniciado en el poblado de Mazatán la creación de una Red Estatal de Recolección de Ejemplares, integrando grupos de recolección locales con rancheros, estudiantes y profesores de nivel medio de las comunidades de Mazatán, Nácori Grande y Villa Pesqueira. Esto, además de alimentar con ejemplares la colección del herbario, contribuirá a incrementar el conocimiento sobre las plantas en sus comunidades y la importancia de su conservación.



Gabinetes del herbario

Conclusión

Desde su establecimiento, el herbario USON ha sido un recurso muy importante para el estudio de la flora de Sonora y de la región del Desierto Sonorense. Está considerado como una fuente importante de información sobre la diversidad florística de esta región y de Sonora en general. En todo este tiempo ha sostenido su funcionamiento con el apoyo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad en México (CONABIO), la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), la Universidad de Sonora, y a través de proyectos de colaboración con el Arizona-Sonora Desert Museum.

Aún se encuentra distante el día en que el herbario USON cuente con una colección completa de la flora de Sonora, pero consolidarlo como el centro de información sobre la diversidad vegetal más importante del estado de Sonora no está tan lejos.

Autor

José Jesús Sánchez Escalante; Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Universidad de Sonora; jsanchez@guayacan.uson.mx

Geología de México

Los granitos en la historia geológica de México

Los granitos constituyen uno de los tipos de roca más abundantes en la corteza terrestre. Aunque se originan a profundidades entre 5 y 15 kilómetros, es posible observarlos en la superficie debido a los episodios de levantamiento de la corteza y erosión. Estas rocas son importantes indicadores de los procesos tectónicos que ocurren en la Tierra, por lo cual deben ser estudiados con gran detalle. En su mayor proporción, los granitos son el resultado de una mezcla variable de material del manto y de la corteza y, generalmente, guardan algo de información referente a la naturaleza de dicho material por lo que recientemente se les ha utilizado como indicadores geoquímicos para estudiar partes inaccesibles de la corteza.

La mayor parte de los granitos están asociados a límites de placas en zonas de subducción, formando la raíz de los volcanes en arcos magmáticos. Suelen ser importantes rocas generadoras de mineralización, como en el caso de los grandes depósitos de cobremolibdeno a lo largo del llamado Cinturón Circum-Pacífico, que se extiende desde Alaska y Canadá hasta el sur de Chile. En general, la habilidad de los magmas graníticos para formar un determinado tipo de mineralización depende de su ambiente tectónico. Por ejemplo, existen granitos generados por fusión de la corteza continental, los cuales desarrollan depósitos de uranio, berilio, estaño, tungsteno, molibdeno, tierras raras y otros elementos que tienen cierta afinidad con la composición de la corteza continental.

Los estudios sobre el origen de los granitos han ocupado a muchas generaciones de geólogos, y han

sido la obsesión de muchos investigadores quienes han trabajado tratando de entender este problema. Entre los principales trabajos pueden citarse los de Gilluly (1948), Mehnert (1987), y Pitcher (1987). Este último escribió varios artículos de gran importancia sobre la naturaleza, emplazamiento y tipos de magmas graníticos, basado sobre todo en los batolitos sudamericanos.

Desafortunadamente en México se han llevado a cabo pocos trabajos sobre los granitos, lo cual resulta incongruente con su gran abundancia, sobre todo a lo largo de la costa del Pacífico. En particular se destacan los trabajos de Damon y colaboradores (1966-1983), quienes han contribuido grandemente a la geocronología de las rocas graníticas en todo México, desde Sonora y Baja California hasta Chiapas.

Origen de los granitos

De acuerdo a los nuevos conceptos de la tectónica de placas, se pueden generar granitos en diversos ambientes, ya sea en los límites de placas, o bien dentro de las placas mismas (Tabla 1). En México, se reconoce la presencia de granitos formados principalmente por procesos de subducción de una placa oceánica debajo de una placa continental, como es el caso de los granitos de la costa occidental del país. En las rocas proterozoicas de Oaxaca existen granitos que parecen haber sido generados por la colisión de dos placas continentales (Tabla 1). En este caso, el magma granítico es causado por el engrosamiento de la corteza. Existen también granitos formados durante procesos de extensión de la corteza, los cuales se conocen como granitos anorogénicos. Ejemplos de este tipo de intrusivos afloran en el basamento precámbrico de Sonora y en Tamaulipas (Tabla 1). En el norte y centro de Sonora, así como en los estados de México y Guerrero se ha reconocido la presencia de granitos similares, pero que de alguna manera están ligados al cierre de un proceso orogénico importante.

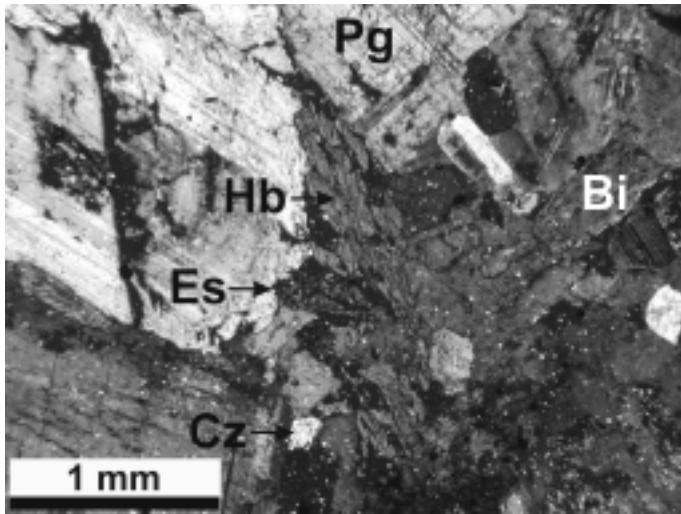


Figura 1. Fotomicrografía con luz polarizada de un granito de biotita y hornblenda. Son los granitos más comunes en México. Su composición generalmente está dominada por plagioclasa (Pg), cuarzo (Cz), feldespato potásico (no se muestra), y cantidades variables de biotita (Bi) y hornblenda (Hb). La esfena (Es) se encuentra entre los minerales accesorios más comunes en estas rocas. Localidad: la muestra se colectó al norte de Bahía Kino, aproximadamente 110 km al oeste de Hermosillo, Sonora.

Edad de los granitos

En México afloran granitos con edades desde el Precámbrico hasta el Cenozoico, aunque en volumen, los del Mesozoico son los más abundantes. Los granitos precámbricos varían entre 1750 y 1100 millones de años (Ma) de edad en el basamento de Sonora, y en el subsuelo de Chihuahua. Durante el Paleozoico, la producción de granitos fue relativamente pobre, pero se generaron durante el Devónico en Oaxaca, y en el Pérmico en Chihuahua, Coahuila, Hidalgo (?) y Chiapas. En el Mesozoico, se conocen granitos del Triásico en el este del país, y en un pequeño afloramiento en el noroeste de Sonora. Se han reportado granitos jurásicos en Durango, Chihuahua y Sonora. En el Cretácico, la generación de magmas graníticos en la costa del Pacífico fue muy abundante, especialmente a lo largo de Baja California, y la parte costera de Sinaloa y Sonora. Sin embargo, los grandes batolitos graníticos de Sonora y Sinaloa, notables por su influencia metalogénica, se generaron durante el Terciario temprano y medio. Algunos granitos terciarios más recientes afloran en la porción nororiental del país en los estados de Chihuahua y Coahuila. En menor proporción afloran en la provincia de la Sierra Madre Occidental. Generalmente se trata de afloramientos pequeños, donde los granitos se presentan en forma de troncos.

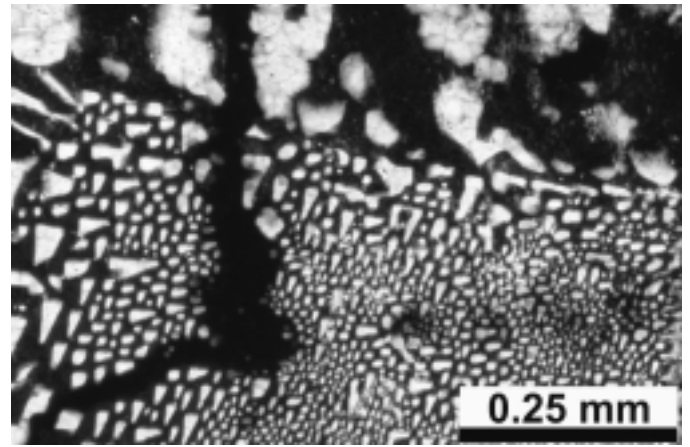


Figura 2. Fotomicrografía con luz polarizada de un granito alcalino con textura micrográfica. Este tipo de granitos se caracteriza por un intercrecimiento de cuarzo y feldespato alcalino que genera esta textura tan particular y por la ausencia de minerales ricos en magnesio y fierro. Localidad: Rancho Aibó, aproximadamente 40 km al sureste de Caborca, Sonora.

Granitos asociados a procesos de subducción

Como se mencionó arriba, los granitos generados en un ambiente de subducción son los más abundantes en México y los de mayor interés económico. Entre éstos se distinguen los siguientes:

- a) los intrusivos del Precámbrico de Sonora (1750-1710 Ma). Estos granitos representan las rocas intrusivas más antiguas que se pueden relacionar a procesos de subducción. En general forman pequeños afloramientos en el norte y noroeste de Sonora y probablemente se extiendan por el subsuelo de Chihuahua;
- b) la faja de granitoides del Pérmico-Triásico detectada en el subsuelo y en pequeños afloramientos en el norte de México, como en el área de Los Filtros y Carrizalillo, Chihuahua, hasta el batolito de Chiapas en el sureste del país;
- c) las rocas intrusivas de edad jurásica representan un arco mejor definido que los anteriores. Estas rocas afloran principalmente en el noroeste de Sonora, donde presentan edades entre 175 y 150 Ma, pero los afloramientos se extienden más al sureste, hasta la región de Camacho, Zacatecas;
- d) la porción sur del llamado batolito de las Sierras Peninsulares que se expone a lo largo de Baja California formando grandes masas graníticas con edades entre 120 y 90 Ma, y se extiende hasta la costa de Sonora y el norte de Sinaloa;
- e) el arco Larámide, desarrollado entre 80 y 40 Ma constituye un impresionante cinturón de rocas graní-

ticas expuesto a lo largo de la parte occidental del país. Un ejemplo típico de la composición de estas rocas se muestra en la Figura 1;

f) en las costas de Guerrero y Oaxaca, en la región de Pinotepa Nacional y Puerto Escondido, afloran rocas graníticas del Terciario y más jóvenes. Estas rocas están caracterizadas por los intrusivos de Jamiltepec, Río Verde y Río Grande, con edades de ~30, 28 y 24 Ma, respectivamente.

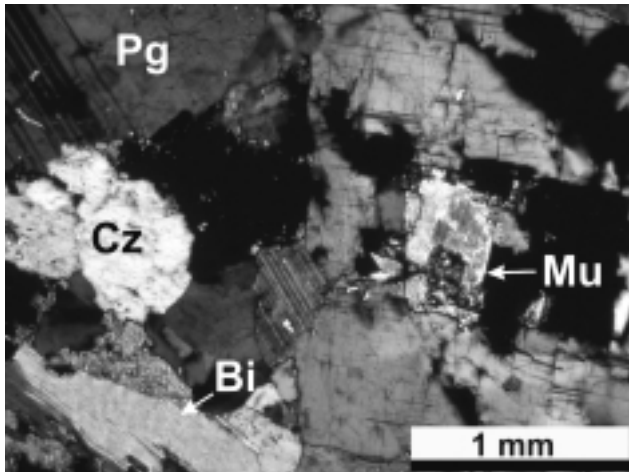


Figura 3. Fotomicrografía con luz polarizada de un granito de biotita y muscovita. La muestra está compuesta por fenocristales de plagioclasa (Pg), cuarzo (Cz), y cantidades variables de biotita (Bi) y muscovita (Mu). Frecuentemente estas rocas contienen además cristales de granate (no se muestra). Localidad: Sierra de Aconchi, ubicada a unos 90 km al norte-noreste de Hermosillo, Sonora.

Granitos asociados a choque de dos placas continentales

En el Complejo Acatlán, en los estados de Puebla y Oaxaca, ha sido descrito un importante evento tectónico ocurrido en el Devónico, durante el cual se generaron importantes intrusiones graníticas. La composición geoquímica de estas rocas sugiere una fuerte

influencia de corteza continental involucrada en el proceso de fusión parcial que dio lugar a estas rocas, lo cual es una característica común en los granitos asociados a colisión continental.

Granitos anorogénicos intraplaca

De acuerdo con la literatura, existen dos épocas de generación de granitos anorogénicos en Sonora; una con edades entre 1410 y 1440 Ma, que se caracteriza por megacristales de feldespato potásico, y la otra más joven, con edades entre 1100 y 1140 Ma, caracterizada por el "granito Aibó" descrito al sureste de Caborca, en el noroeste de Sonora. Se trata de granitos de color rojizo típicamente exhibiendo una textura con intercrecimiento micrográfico (Figura 2). Estos granitos se emplazaron en pequeños cuerpos aislados agregados a los complejos cristalinos, los cuales parecen ser similares a los que afloran al sur y sureste de Texas, en los Estados Unidos. Otro grupo de intrusivos intraplaca se ha descrito en la Sierra de Tamaulipas. Estos intrusivos son de edad Eoceno-Mioceno y muestran una amplia variedad en sus composiciones.

En Sonora, existen intrusivos de dimensiones generalmente pequeñas (~200 km²), que afloran de manera aislada al noroeste del estado en la Sierra de Pozo Verde y la Sierra de San Juan en Tubutama, así como las sierras de Magdalena, la Madera, Aconchi (Figura 3) y Mazatán, en la parte norte-central del estado. La mineralogía de estos intrusivos está caracterizada por muscovita y granate, y su edad varía entre 26 y 36 Ma. En el caso de la Sierra de Mazatán, existe una variedad de granitos con textura "orbicular" cuyo origen es aún misterioso, aunque se presume que sus características esferas se formaron por asimilación de materiales previamente existentes durante la cristalización del magma granítico (Figura 4).

Ambiente tectónico	Arcos de isla	Margen continental	Levantamiento post-tectónico	Colisión continental	Extensión cortical
Rocas asociadas	B-AB	A-D-R	Mesetas de basalto	Sin volcanismo	Basaltos alcalinos
Intrusivos	Gb, Cz-Di	Tn-Gd-Gr	Gb, Gd	Grcc	Granitos alcalinos
Depósitos minerales	Cu-Au	Cu-Mo-W	?	Sn-W-Mo	Sn-Nb-U-Th
Ejemplos	Cordillera oeste de Columbia	Batolito Costero del Perú	Batolito de Idaho	Los Himalayas	Complejos anulares en Nigeria
Ejemplos en México	Terreno Guerrero	Arco Larámide del oeste de México	?	Proterozoico de Oaxaca (?)	Proterozoico de Sonora; Tamaulipas (?)

Tabla 1. Batolitos graníticos: ambiente tectónico y otras características (Modificada de Cobbing, 1996). B: basalto; AB: andesita basáltica; D: dacita; R: riolita; Gb: gabro; Cz-Di: cuarzodiorita; Tn: tonalita; Gd: granodiorita; Gr: granito; Grcc: granito de colisión continental.



Figura 4. Fotografía de un fragmento de granito orbicular. Este tipo de granitos se caracteriza por la presencia de esferas generalmente de varios centímetros de diámetro, cuyo origen es aún incierto. Localidad: Sierra de Mazatán, ubicada a unos 70 km al oriente de Hermosillo, Sonora.

Granitos peralcalinos

Estos granitos son a la fecha poco conocidos y están caracterizados por concentraciones relativamente altas de potasio y sodio. Presentan áreas de afloramiento importantes en el noreste del país y tienen interés económico por su asociación con elementos del grupo de las tierras raras. Su mayor afloramiento se localiza en la Sierra de Tamaulipas, la cual a su vez pertenece a la provincia Alcalina Oriental Mexicana, que se extiende hacia el noreste hacia la región de Transpecos, en Texas. Un estudio reciente sobre la Sierra del Picacho, en la porción central de Tamaulipas, muestra que estos

intrusivos forman parte de un complejo alcalino cuya edad varía entre el Oligoceno y el Mioceno Medio.

En general, el interés por estudiar las rocas graníticas de México ha aumentado considerablemente en los últimos años, particularmente debido a su importancia como indicadores geoquímicos de la composición de partes inaccesibles del basamento; sin embargo, aún hay mucho por hacer.

Por último, no quisiéramos dejar pasar esta oportunidad para invitar a los jóvenes geólogos interesados en los procesos ígneos, a colaborar con nosotros en el apasionante estudio de este grupo de rocas tan abundante en el noroeste de México.

Lecturas recomendadas

- Cobbing, J. 1996. Granites—an overview. *Episodes*, 19, 4: 103-106.
- Gilluly, J. 1948. Origin of granites. Conference at meeting of the Geological Society of America, Ottawa, Canada, 28: 139 pp.
- Mehnert, K. R. 1987. The granitization problem-revisited. *Fortschritte der Mineralogie*, 65: 285-306.
- Pitcher, W.S. 1987. Granites and yet more granites forty years on. *Geologische Rundschau*, 76: 51-79.

Autores

Jaime Roldán Quintana y Martín Valencia Moreno; Estación Regional del Noroeste, Instituto de Geología, UNAM; jaimer@servidor.unam.mx, valencia@geologia.unam.mx; Raúl Miranda Avilés, Universidad de Guanajuato, Facultad de Minas y Geología; rmiranda@quijote.ugto.mx

Tesis

Paleoambientes del Pleistoceno tardío*

El Cuaternario representa el período geológico más reciente, en el cual ocurrieron cambios climáticos fuertes; alrededor de 100 sucesiones de períodos fríos (glaciares) y cálidos (interglaciares). En las fases frías, el nivel del mar disminuyó, mientras que sobre la tierra, los árboles de las montañas bajaron a elevaciones menores; el hielo y los pastos reemplazaron a los bosques en altitud. Por otro lado, en las fases cálidas sucedió el fenómeno inverso.

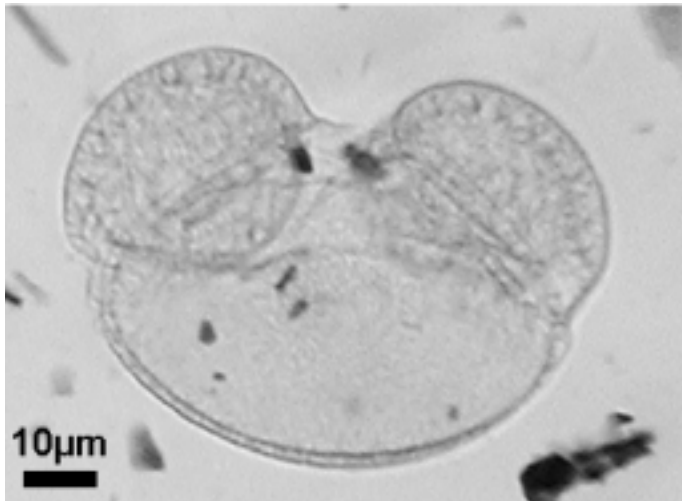
El interés creciente de muchos científicos sobre el Cuaternario radica en que con su estudio se pueden

estimar y analizar las variaciones climáticas del pasado reciente. Con ello se pueden validar modelos climáticos diseñados en los estudios de Cambio Global, se pueden precisar hipótesis sobre cambios climáticos a futuro y entender las expansiones y regresiones en la distribución de las especies de plantas.

La Paleoecología es el estudio de las interacciones entre los organismos y el medio en que vivieron en el pasado, y de sus respuestas ante los cambios ambientales. Una de las técnicas más utilizadas en estudios de paleoecología ligados a la reconstrucción de ambientes del Cuaternario, es la Palinología, que estudia los granos de polen (producidos por plantas con semillas) y esporas (producidas por helechos, musgos, algas y hongos) contenidos en los sedimentos. Tanto el polen como las esporas necesitan ser transportados

para realizar sus funciones adecuadamente, se dispersan en el aire y se depositan en los sedimentos, formando parte de ellos e integrándose a los estratos.

Los granos de polen y esporas tienen morfologías variadas; muchos son extremadamente pequeños desde 5 μm (0.005 mm), pocos sobrepasan un diámetro de 80 a 100 μm (0.08 mm y 0.1 mm). Una sola planta puede producir millones de granos de polen, que se ven como un polvo amarillo en las flores pero que no pueden verse cuando están dispersos en el aire. Debido a su tamaño, para poder observarlos e identificarlos necesitamos utilizar un microscopio óptico, ya que cada grano de polen presenta aberturas y superficies esculpturadas en diferentes formas que nos permiten diferenciar una especie de planta de otra.



Polen de Pinus.

En el estudio del Cuaternario, sin embargo, se aplican diferentes disciplinas. Como ejemplo de ello, se puede mencionar un estudio realizado en la parte norte de la Sierra Madre Occidental, en una cuenca cuaternaria llamada El Aguaje del Caballito Blanco, localizada a unos 7 km al E de Maycoba (28° 24' 14'' latitud norte y 108° 36' 00'' longitud oeste), en la parte oriental de Sonora, y con una altura de 1600 metros sobre el nivel del mar. Este estudio se basó en la aplicación de distintos análisis, incluyendo polen, sedimentología, contenido de materia orgánica y humedad, y datación de sedimentos por ^{14}C . Los resultados indicaron marcadas variaciones en el aporte de los sedimentos y en la vegetación de dicha cuenca 34,000 años antes del presente y reflejan ambientes climáticos diferentes. El análisis polínico de los sedimentos del Aguaje del Caballito Blanco muestra que los alrededores de esta cuenca, actualmente dominada por

bosque de encino (*Quercus*) estuvieron poblados principalmente por pino (*Pinus*) y en menor proporción por encino así como pinabete (*Picea*). Actualmente el pinabete se encuentra ausente de Sonora y restringido a enclaves aislados por encima de los 2000 metros. Los límites altitudinales de pino y pinabete estuvieron al menos 400 metros por debajo de los límites actuales lo que sugiere que el clima era entonces más húmedo y frío que el actual. La cuenca estuvo incluso cubierta por un lago. Se detectaron además cambios bruscos de vegetación que están asociados a períodos inestables en la sedimentación de la cuenca. También se detectó la ocurrencia de incendios forestales definidos por abundantes fragmentos de carbón y de roca (indicadores de erosión) encontrados en los sedimentos y que sugieren que también hubo periodos de tiempo con clima más árido. Todos estos cambios reflejan una variabilidad climática que es característica del Cuaternario.

* Extracto de tesis de licenciatura, Departamento de Geología, Universidad de Sonora, 2003. Esta tesis puede consultarse en las bibliotecas de la División de Ciencias Exactas y Naturales, UNISON y del Instituto de Geología, Estación Regional del Noroeste, UNAM.

Autor

Antonia López Higuera; Maestría en Ciencias - Geología, Departamento de Geología, Universidad de Sonora; antonia.lopez@gmx.net



Contraportada. Varias regiones naturales de Sonora (Artículo "El herbario USON")