

ORIGEN DE LA POROSIDAD Y LA PERMEABILIDAD EN SEDIMENTOS Y ROCAS CARBONATADAS

Juan C. Braga, José M. Martín & Ángel Puga-Bernabéu

Departamento de Estratigrafía y Paleontología
Universidad de Granada

La porosidad y la permeabilidad condicionan las posibilidades de los sedimentos y rocas sedimentarias de almacenar, como reservorios, petróleo, gas y/o agua. En el caso particular de los:

RESERVORIOS CARBONATADOS

estos son extremadamente importantes, ya que de ellos procede más de la mitad del petróleo que se extrae en la actualidad y representan además alrededor de un 60% de las reservas mundiales conocidas

POROSIDAD Y PERMEABILIDAD CONTROLES SEDIMENTARIOS

El material de partida:

LOS SEDIMENTOS CARBONATADOS

- Son, en su mayor parte, de origen marino y naturaleza biogénica
- Son fundamentalmente calizos. Su composición química es mayoritariamente de carbonato cálcico. Las mineralogías originales son de aragonito, calcita y calcita Mg
- En ellos cabe diferenciar unos granos: esqueletales y no-esqueletales (predominan los de tipo esqueletal) y una matriz microcristalina (micrita) que los engloba

COMPONENTES DEL SEDIMENTO CARBONATADO LOS GRANOS

- La porosidad original (“INTRAGRANULAR”) está ligada a los posibles “huecos” (generalmente aislados y desconectados entre sí) que se localizan en el interior de los granos, sobre todo en los de tipo esquelético
- Esta porosidad está con frecuencia parcial o totalmente ocluida por el sedimento que se filtra dentro de ellos, o por cementos sinsedimentarios, o diagenéticos tempranos, que precipitan en el interior de los mismos

**POROSIDAD INTRAGRANULAR:
TIPOS DE GRANOS Y “HUECOS”**



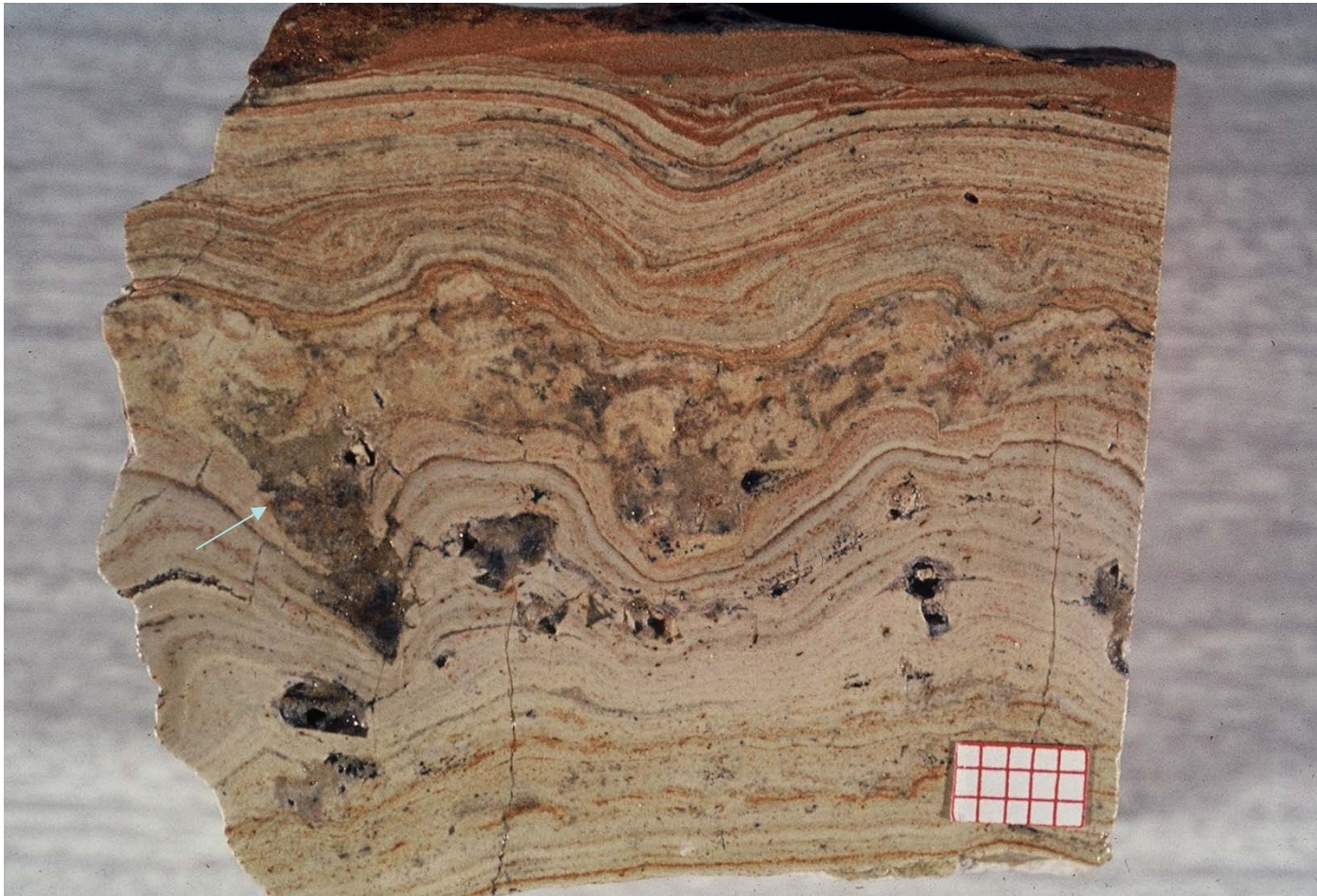
GRANOS ESQUELETALES LIGADOS A BACTERIAS Y CIANOBACTERIAS
CARBONATOS MICROBIANOS (ESTROMATOLITOS Y TROMBOLITOS)

En el caso de los estromatolitos la laminación marca las líneas de discontinuidad por las que pueden llegar a circular los fluidos



ESTRUCTURA INTERNA DE UN ESTROMATOLITO

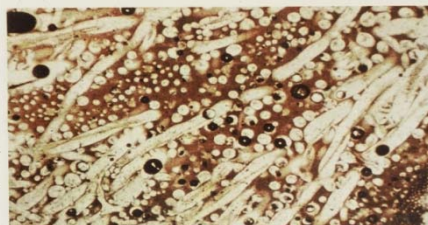
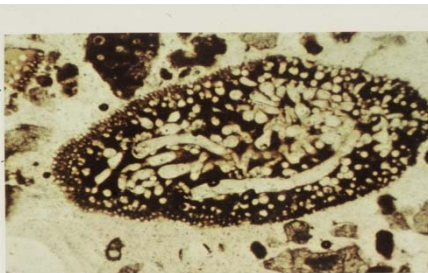
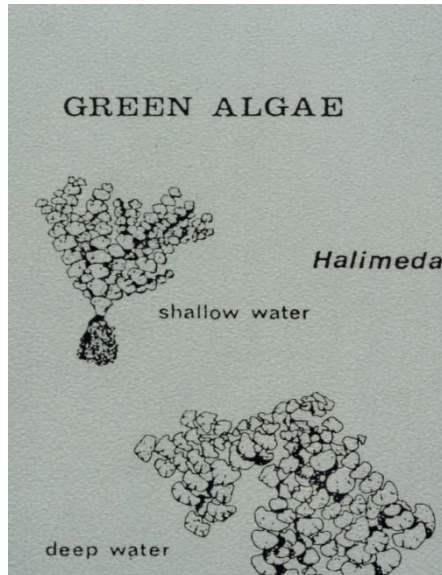
En el ejemplo mostrado los “huecos”, rellenos fundamentalmente por calcita, corresponden a moldes de antiguos cristales de yeso (“selenita” en el caso señalado)



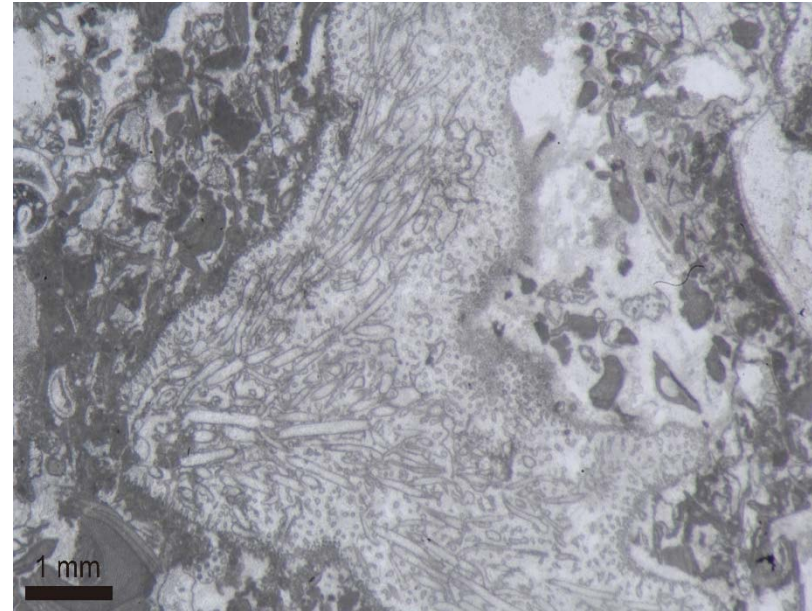
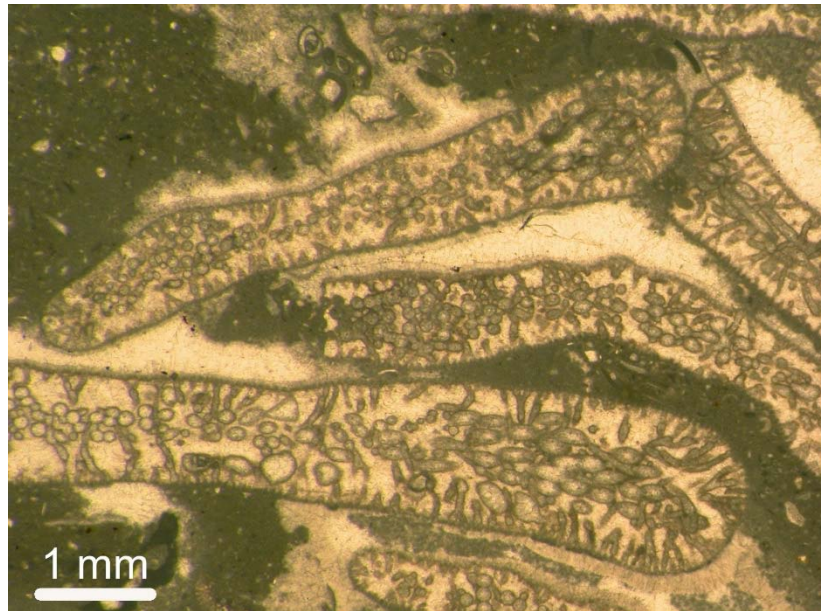
GRANOS ESQUELETALES

LAS ALGAS VERDES: LAS HALIMEDA

Lo que se acumula como sedimento son las placas calcificadas que se desprenden al morir el alga



HALIMEDA (ESTRUCTURA INTERNA)

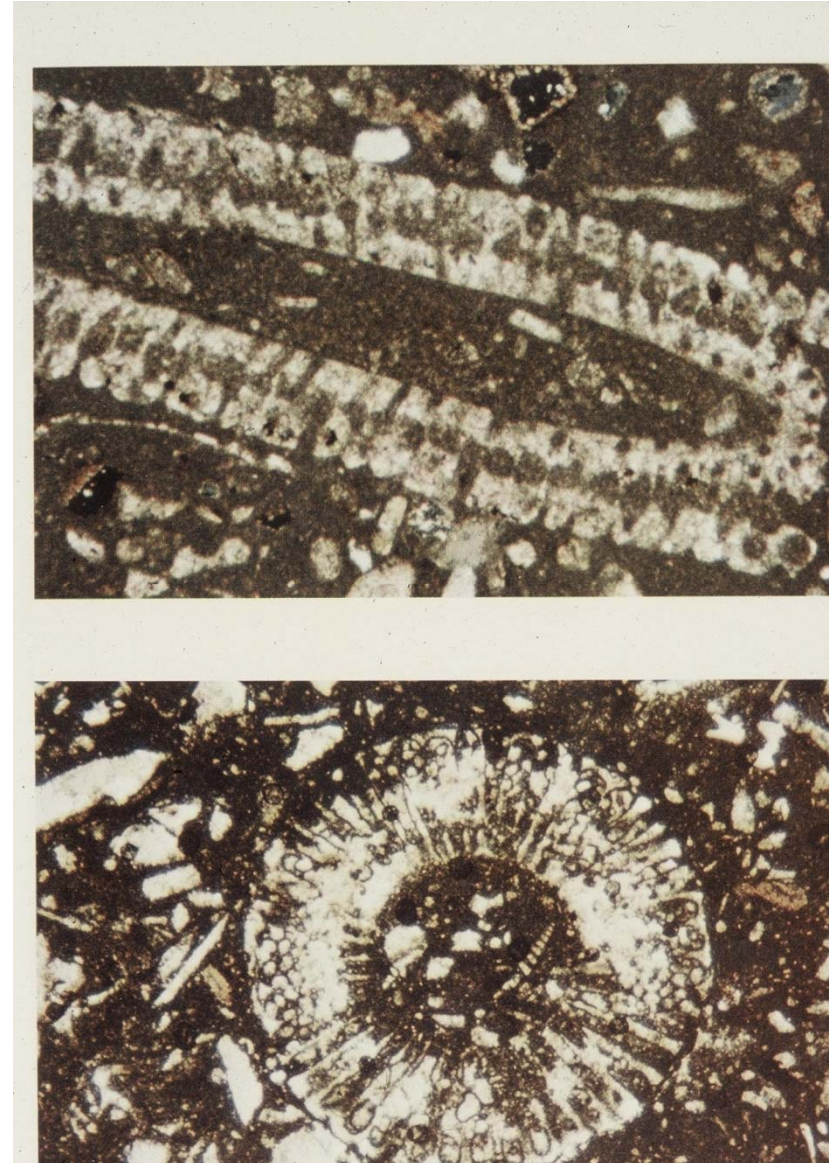


Las placas de Halimeda son originalmente de aragonito. Las secciones tubiformes (“huecos”) en el interior de la placa corresponden a cortes diversos del tubo celular

GRANOS ESQUELETALES

LAS ALGAS VERDES: LAS DASYCLADÁCEAS

Calcifican como pequeños bastoncitos cuyo interior queda “hueco” al morir el alga



GRANOS ESQUELETALES: LAS ALGAS ROJAS

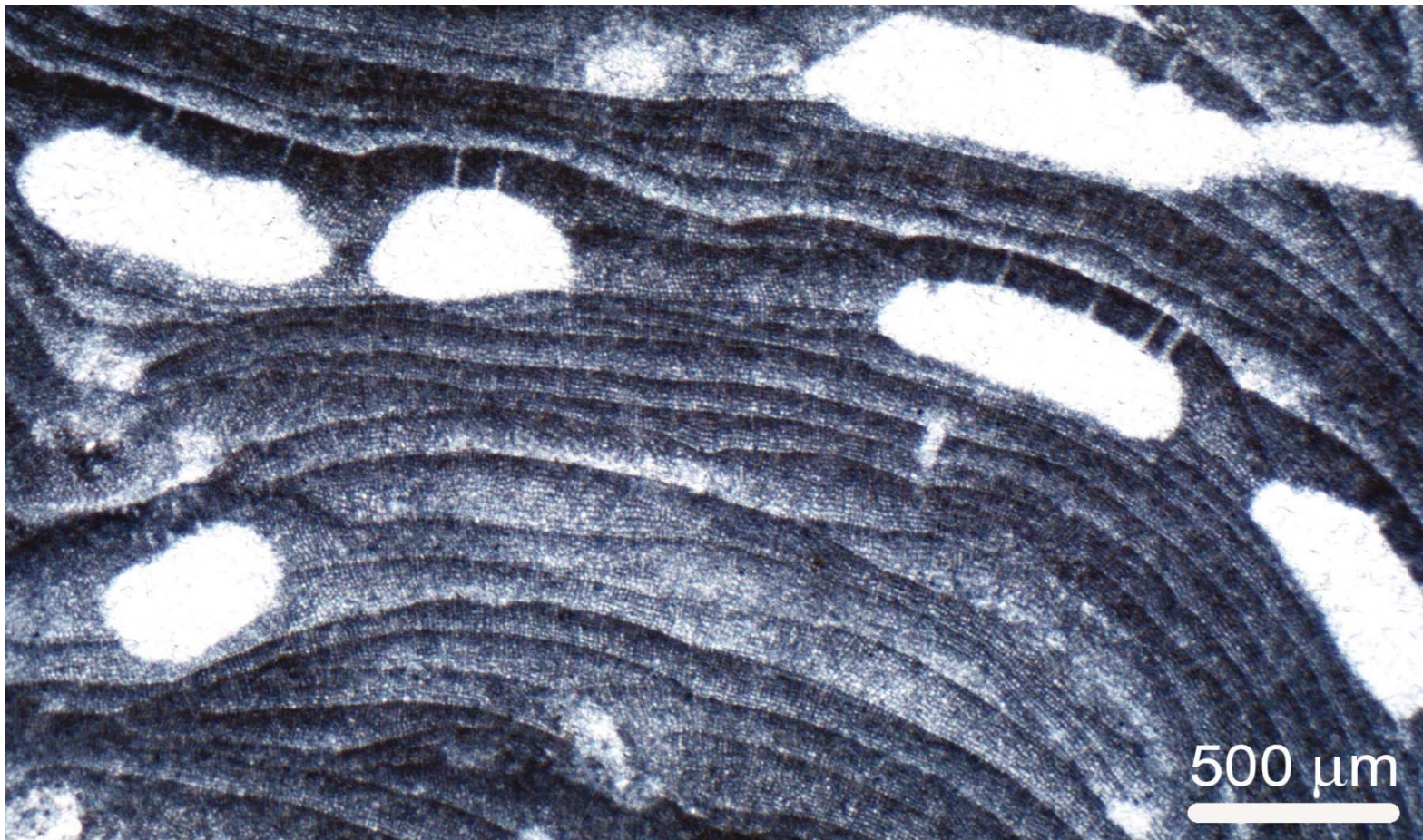


Presentan morfologías diversas: laminares,
← nodulares (“rodolitos”) y ramosas

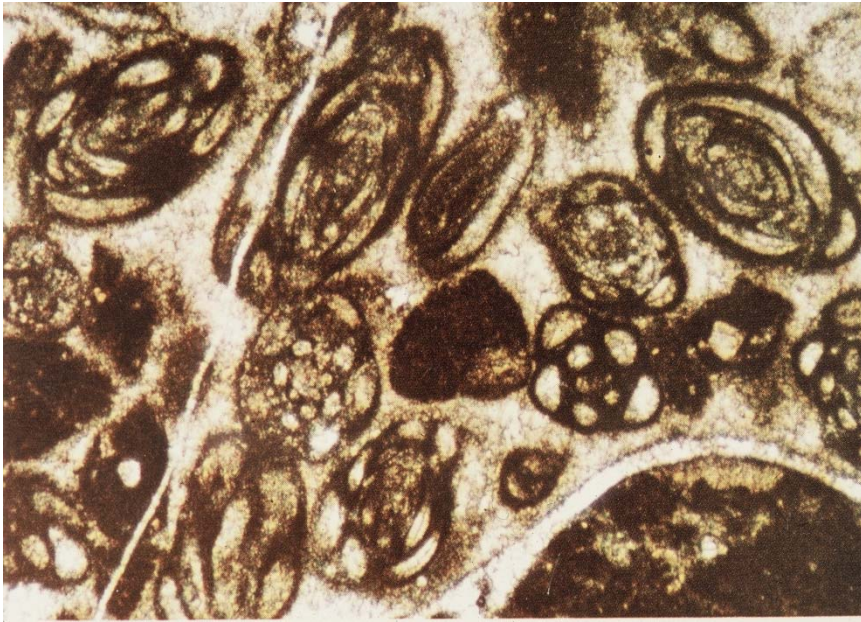


ALGAS ROJAS (ESTRUCTURA INTERNA)

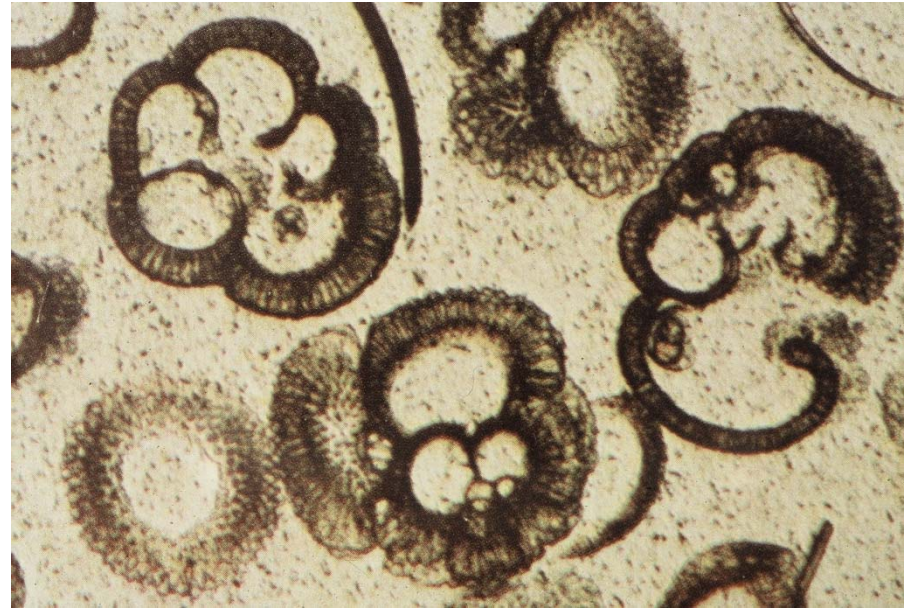
En este caso calcifica la pared celular (bordes de los huecos pequeños). Los huecos grandes corresponden a los moldes de las estructuras reproductoras (conceptáculos)



GRANOS ESQUELETALES
LOS FORAMINÍFEROS



Bentónicos

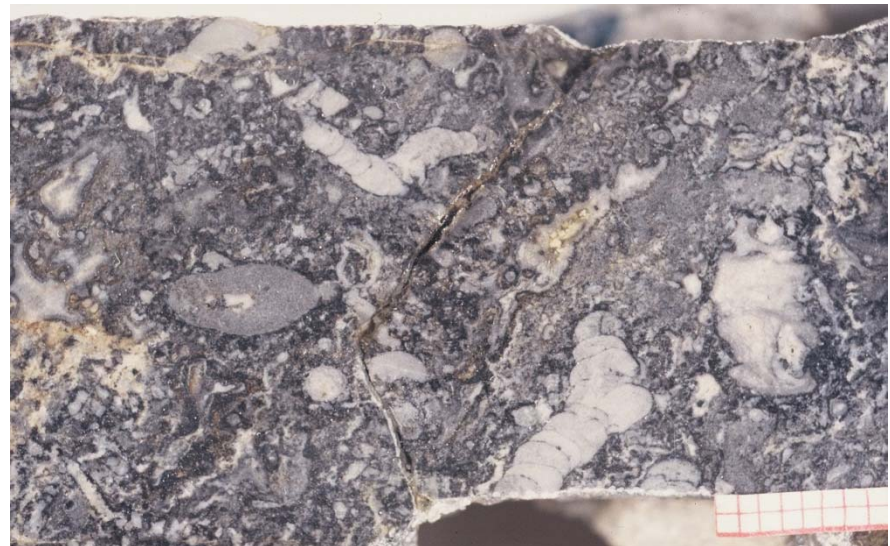
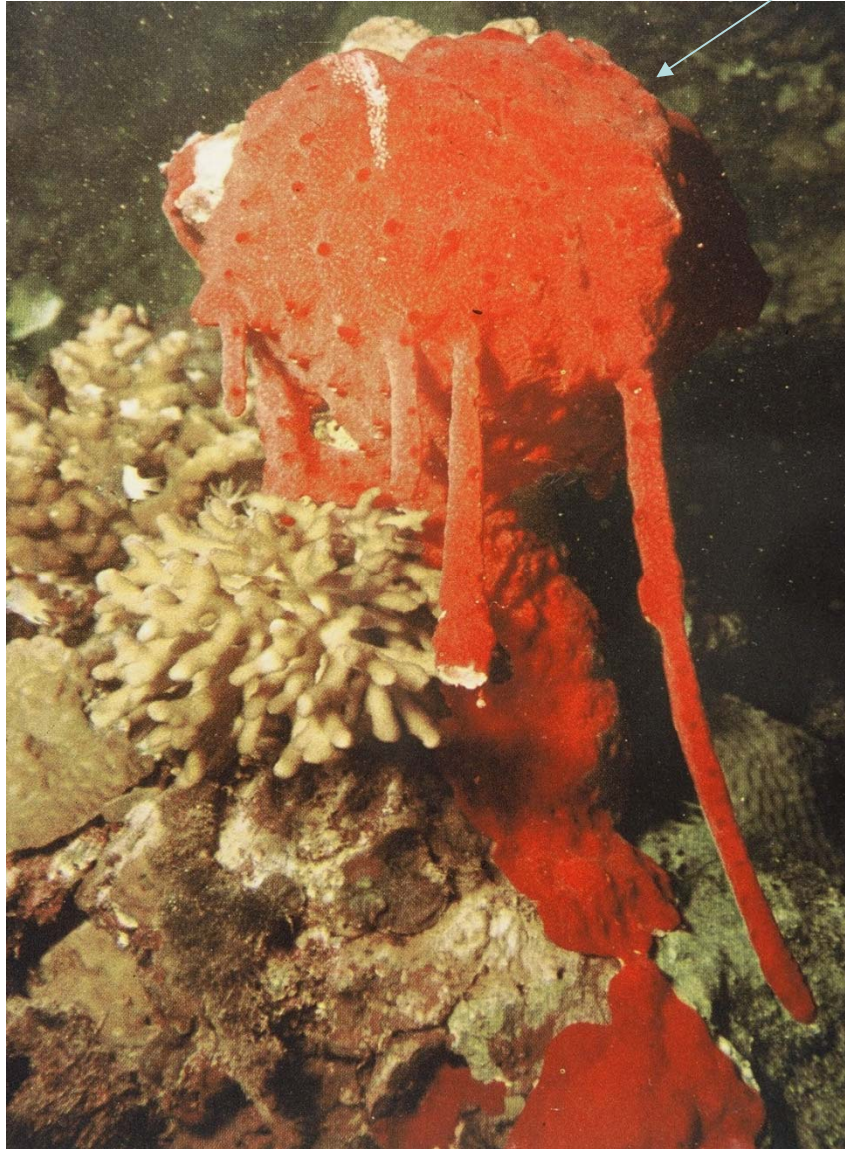


Planctónicos

En ambos casos los “huecos” originales son los de las antiguas cámaras

GRANOS ESQUELETALES: LAS ESPONJAS CALCÁREAS

En algunos casos el esqueleto calcáreo es de tipo compuesto y segmentado, con varias cámaras agregadas; en otros es una sola cámara, de interior complejo

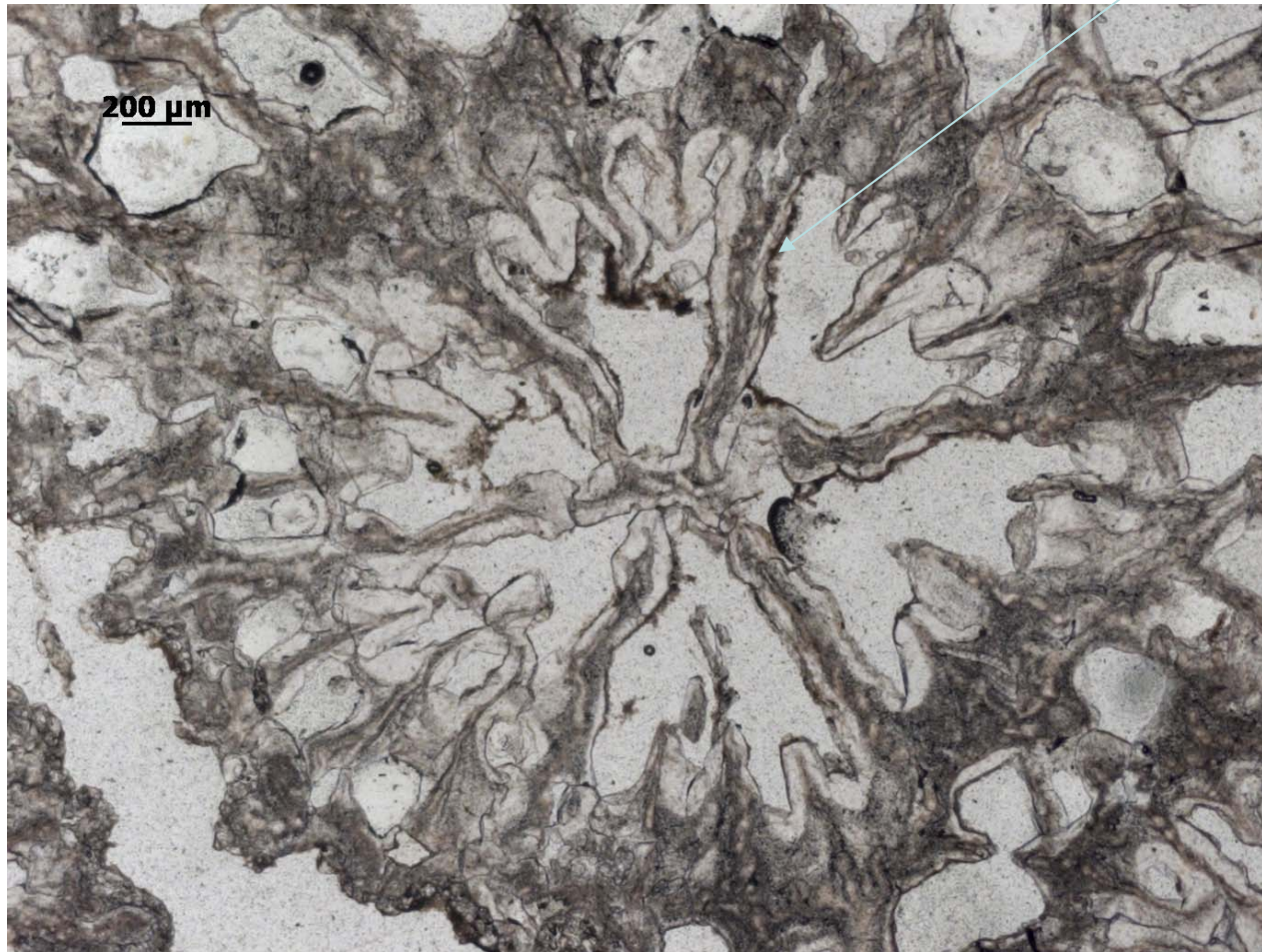


GRANOS ESQUELETALES: LOS CORALES



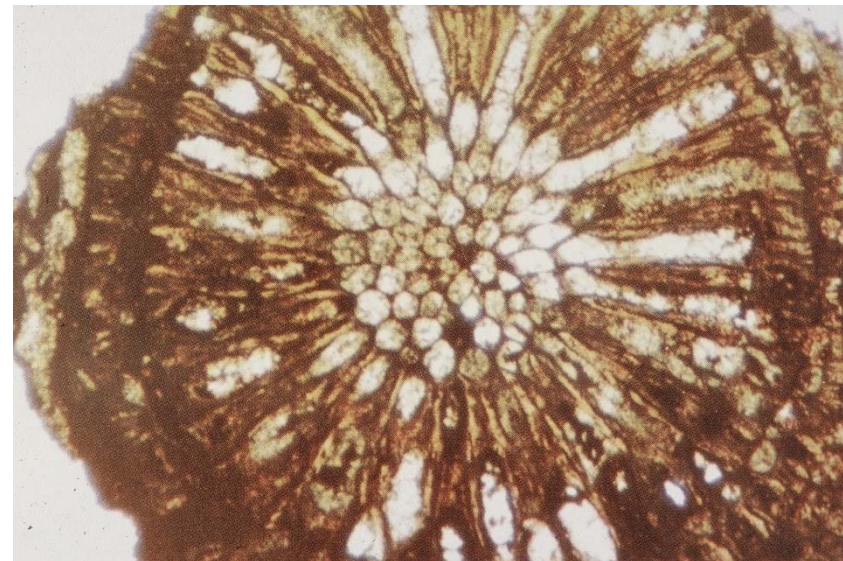
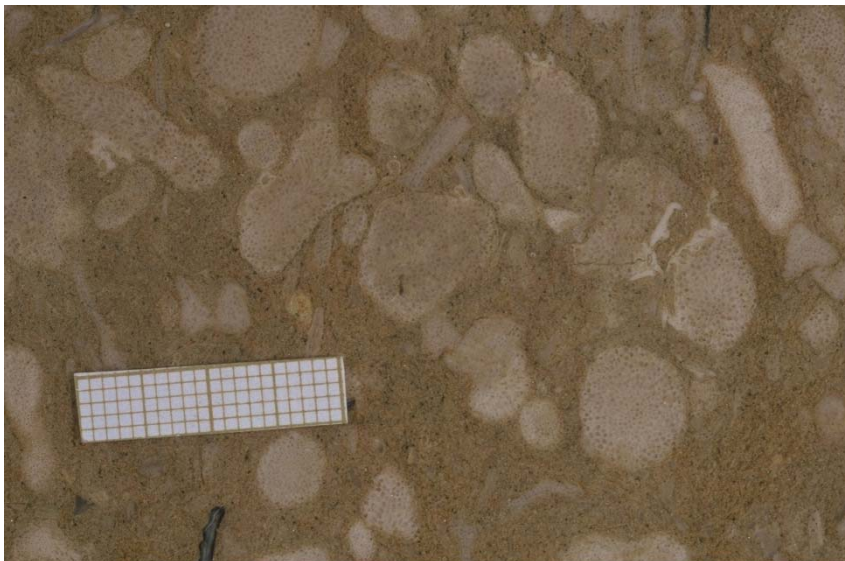
CORALES (ESTRUCTURA INTERNA)

El esqueleto de los corales Cenozoicos es originalmente de aragonito. En el interior de los cálices (donde se alojan inicialmente los pólipos y que quedan luego como “huecos”) resaltan los tabiques (septos) que lo compartimentan



GRANOS ESQUELETALES: LOS BRIOZOOS

Organismos coloniales de esqueleto calcáreo con morfologías diversas: ramosas, subesféricas y laminares. El interior está constituido por haces de tubos, donde inicialmente se alojaban los individuos de la colonia, que permanecen luego como “huecos”



GRANOS ESQUELETALES: LOS SERPÚLIDOS

Los “huecos” se localizan en el interior de los tubos calcáreos donde se alojaban estos gusanos marinos



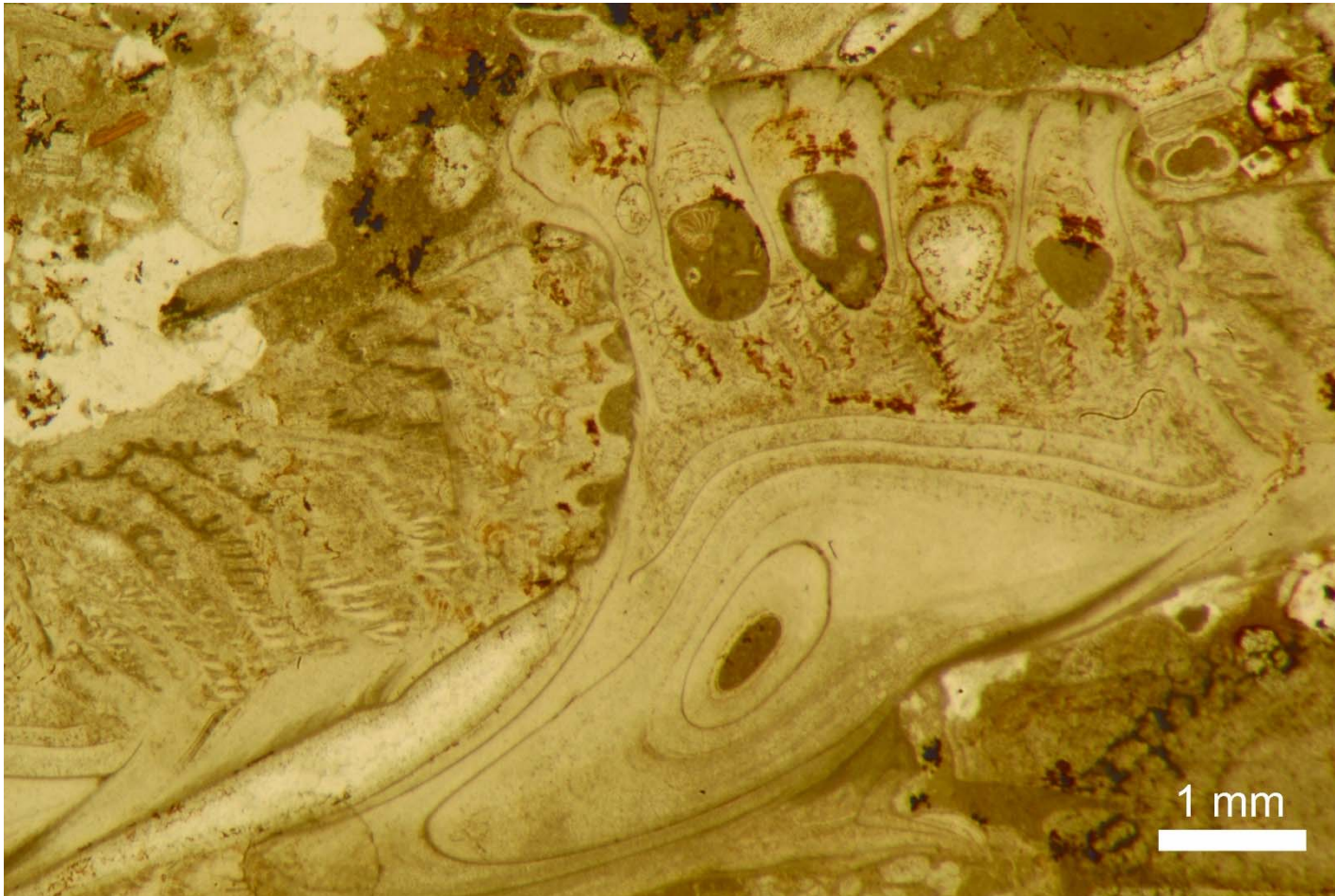
GRANOS ESQUELETALES LOS BALÁNIDOS



La estructura original, troncocónica, está abierta hacia arriba

BALÁNIDOS (ESTRUCTURA INTERNA)

La estructura interna de los esqueletos de los balánidos (calcítica) es bastante compacta, con sólo pequeños “huecos”



GRANOS ESQUELETALES

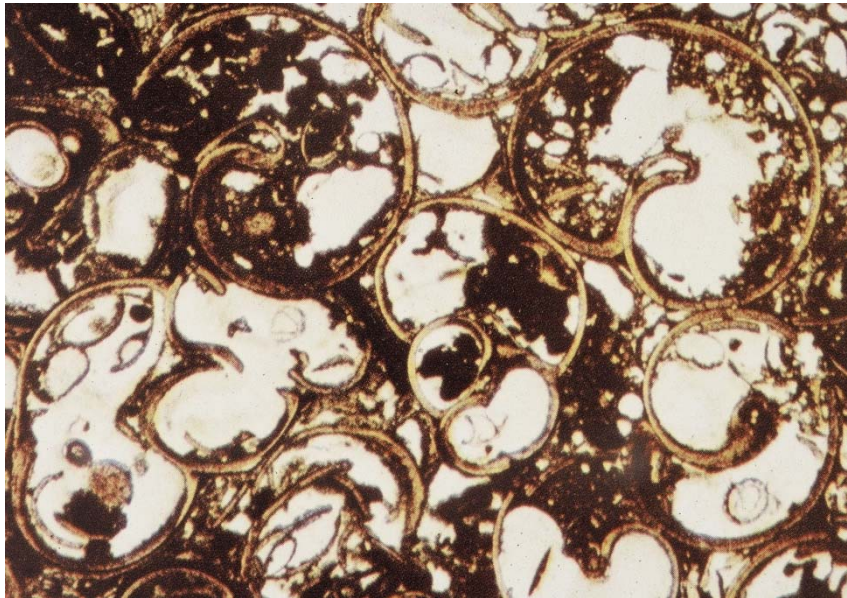
MOLUSCOS: LOS BIVALVOS

Los “huecos” permanecen sólo cuando se preservan las dos valvas articuladas y cerradas



GRANOS ESQUELETALES
MOLUSCOS: LOS GASTERÓPODOS

En los gasterópodos es la cavidad corporal en el interior de la concha la que genera el “hueco”



GRANOS ESQUELETALES EQUINODERMOS: LOS EQUÍNIDOS

Los posibles “huecos” se localizan en el interior de los caparazones de los erizos, si estos están bien preservados

Las “placas” de los caparazones de los erizos son grandes monocristales, originalmente de calcita Mg

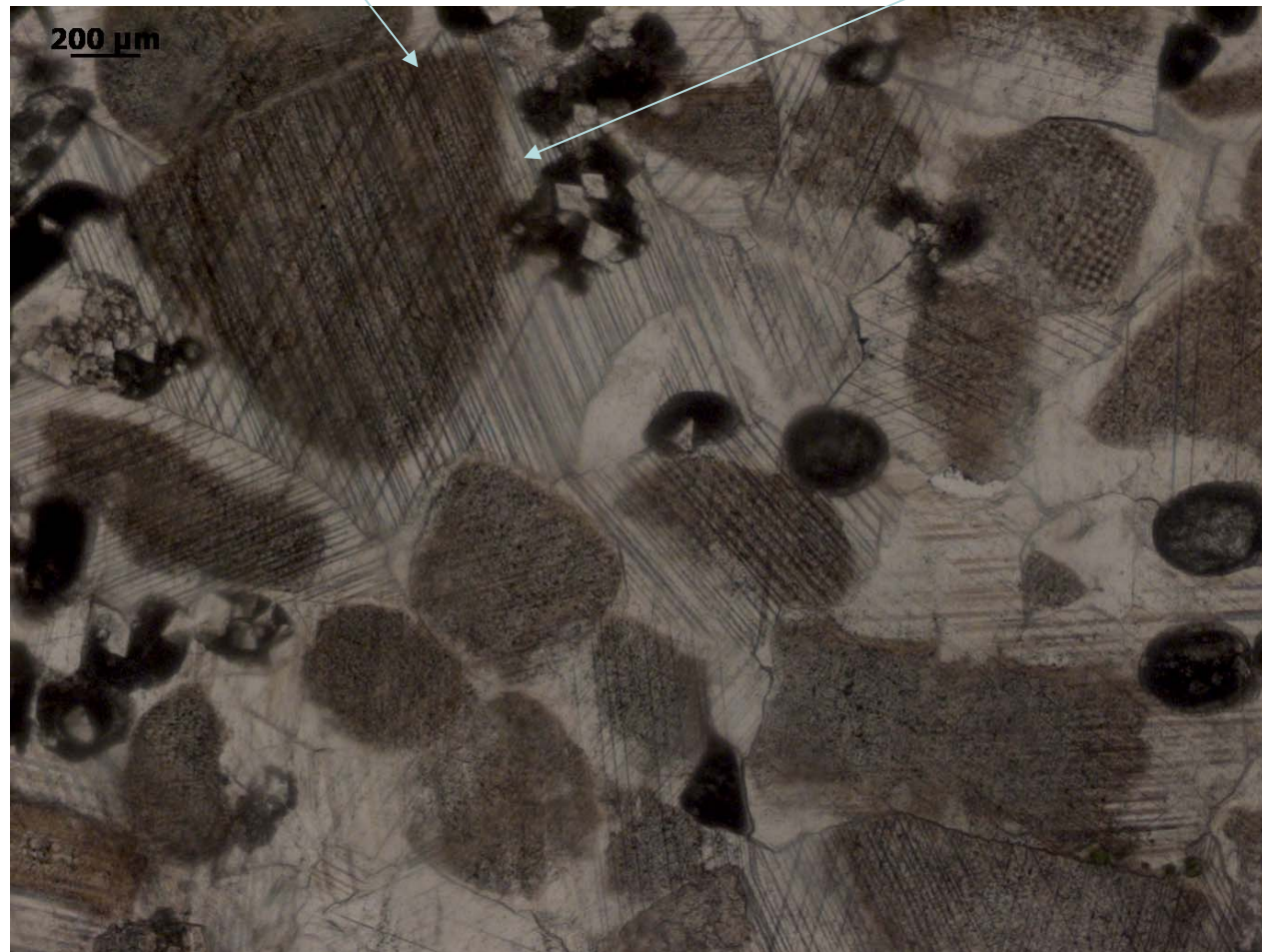


GRANOS ESQUELETALES

EQUINODERMOS: LOS CRINOIDEOS

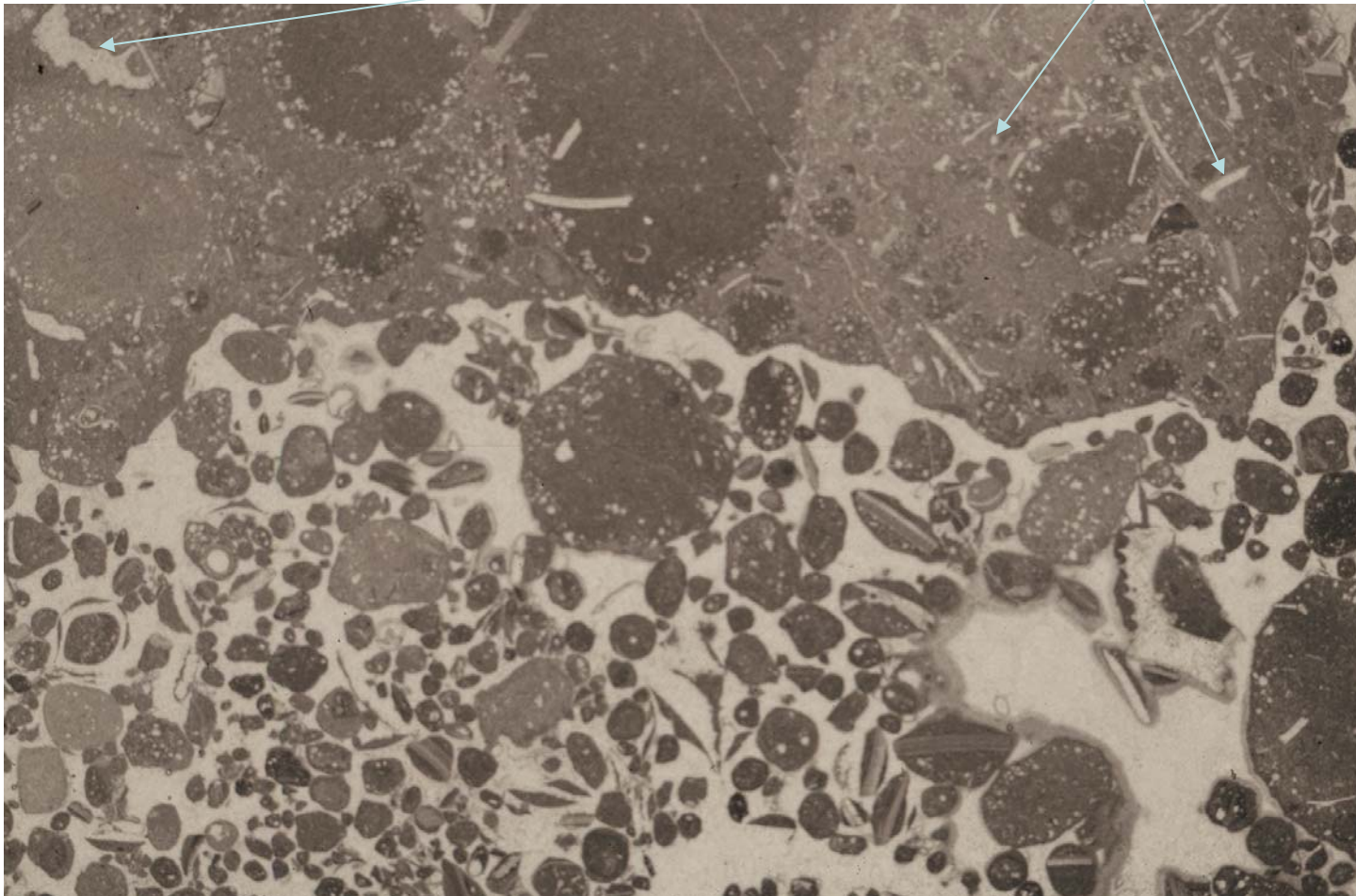
Los fragmentos de crinoides corresponden a grandes monocristales de calcita Mg

Lo que resalta son las líneas de exfoliación que comparten con el cemento sintaxial que los rodea



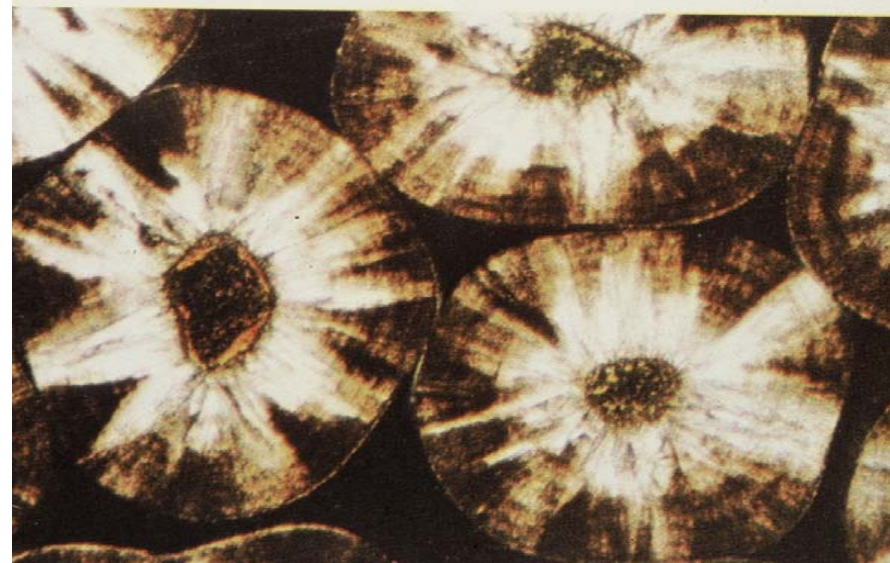
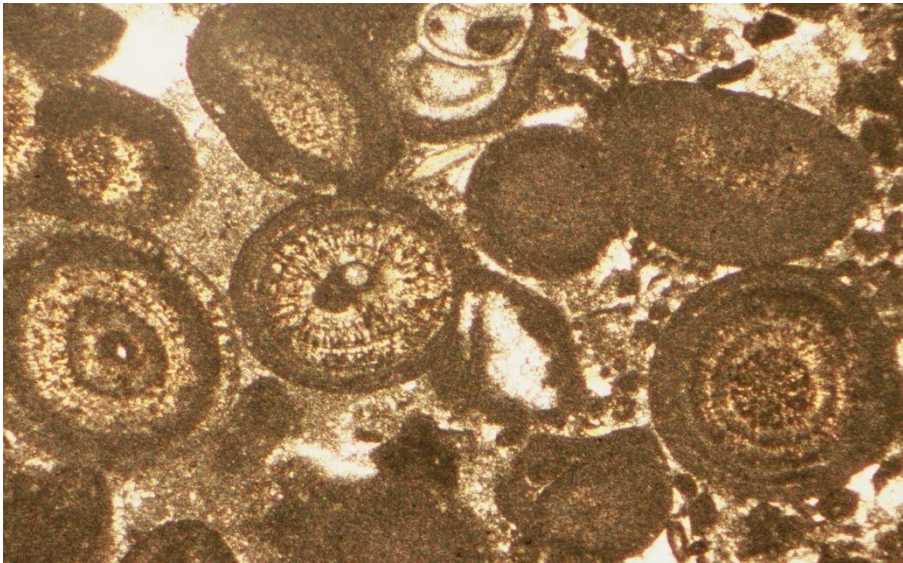
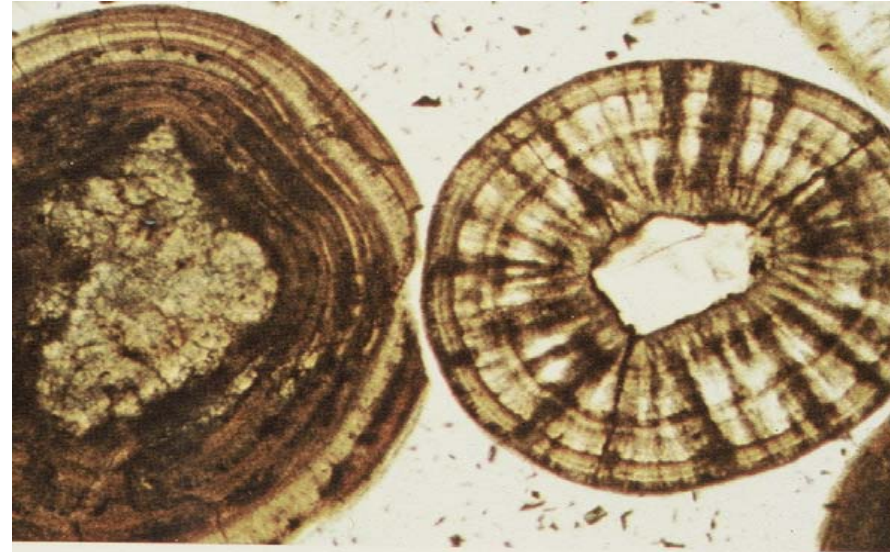
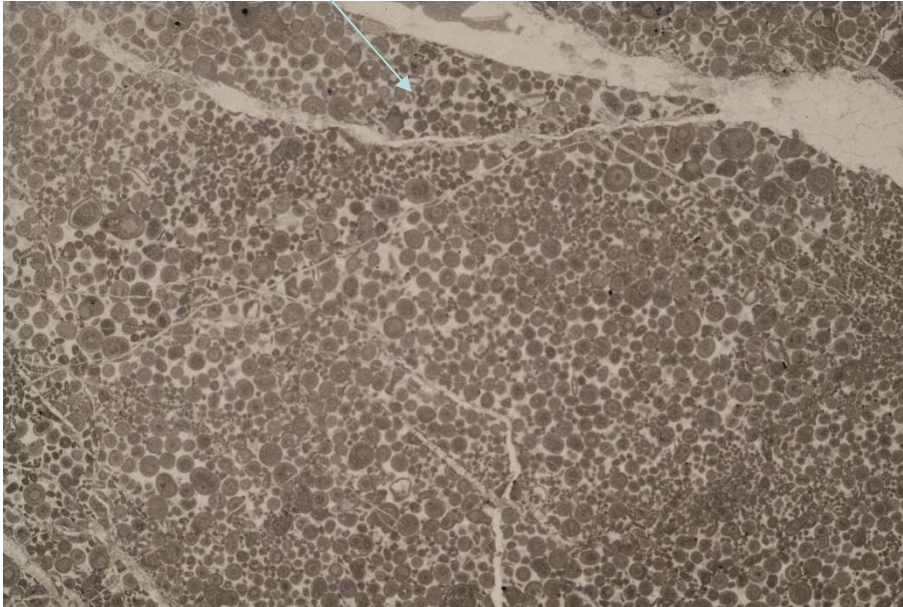
GRANOS NO-ESQUELETALES LOS INTRACLASTOS

Suelen ser bastante ricos en matriz (micríticos). Los “huecos” que se observan en su interior, en el ejemplo ilustrado, corresponden a burbujas de escape de gas y a moldes de bioclastos



GRANOS NO-ESQUELETALES: LOS OOLITOS

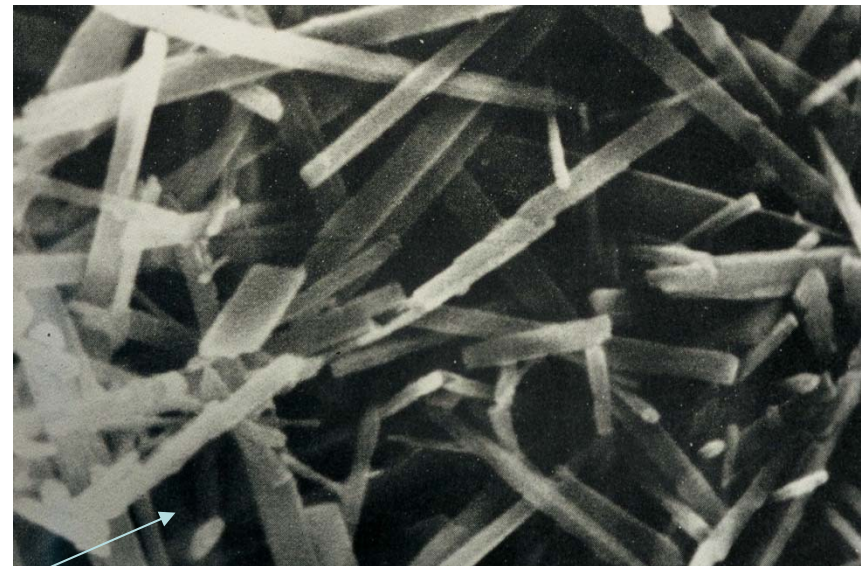
En este caso el interés radica más en la buena clasificación (“sorting”) que presenta el sedimento oolítico en su conjunto, que en la posible presencia de “huecos” en el interior de los oolitos individuales



EL SEDIMENTO CARBONATADO

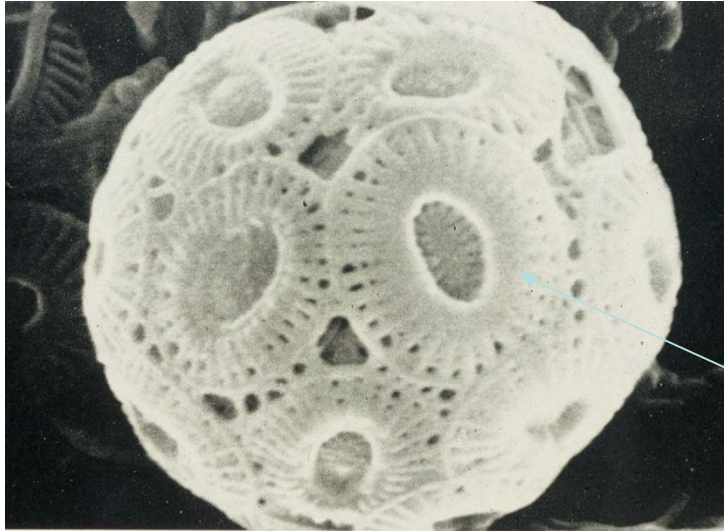
LA MATRIZ MICRÍTICA: POROSIDAD ASOCIADA

LA “MICRITA SOMERA”: Barros carbonatados constituidos por acúmulos de millones de agujas de aragonito de pequeñísimo tamaño precipitadas alrededor de los tejidos de ciertas algas Codiáceas



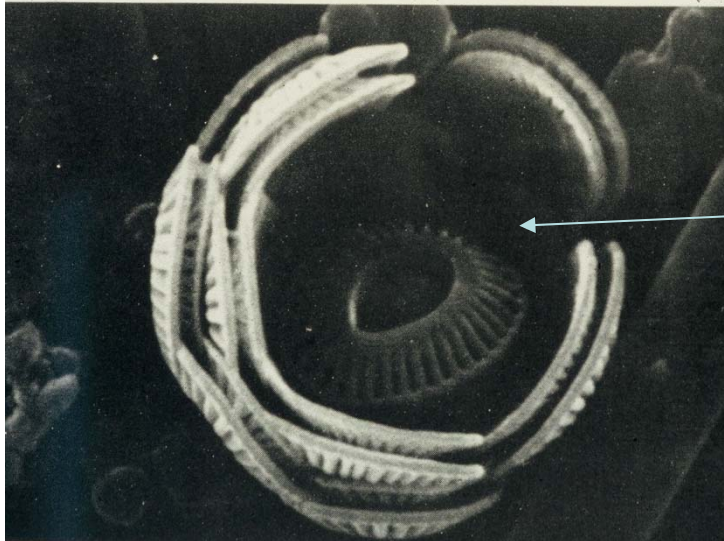
El sedimento es muy poroso, pero pierde rápidamente gran parte de esa porosidad por compactación al enterrarse

LA “MICRITA PELÁGICA”



Acumulación masiva de microestructuras producidas por nannoplancton (fitoplancton) calcáreo (cocolitofóridos)

Los anillos individuales que las constituyen (cocolitos) se sueltan con relativa frecuencia



Presentan, de partida, una porosidad relativamente elevada. Los “huecos” se localizan tanto en el interior de las estructuras, como entre ellas. Esta porosidad disminuye sensiblemente durante la compactación del sedimento, una vez este se entierra

EL BARRO CARBONATADO OTROS TIPOS DE “MICRITA”

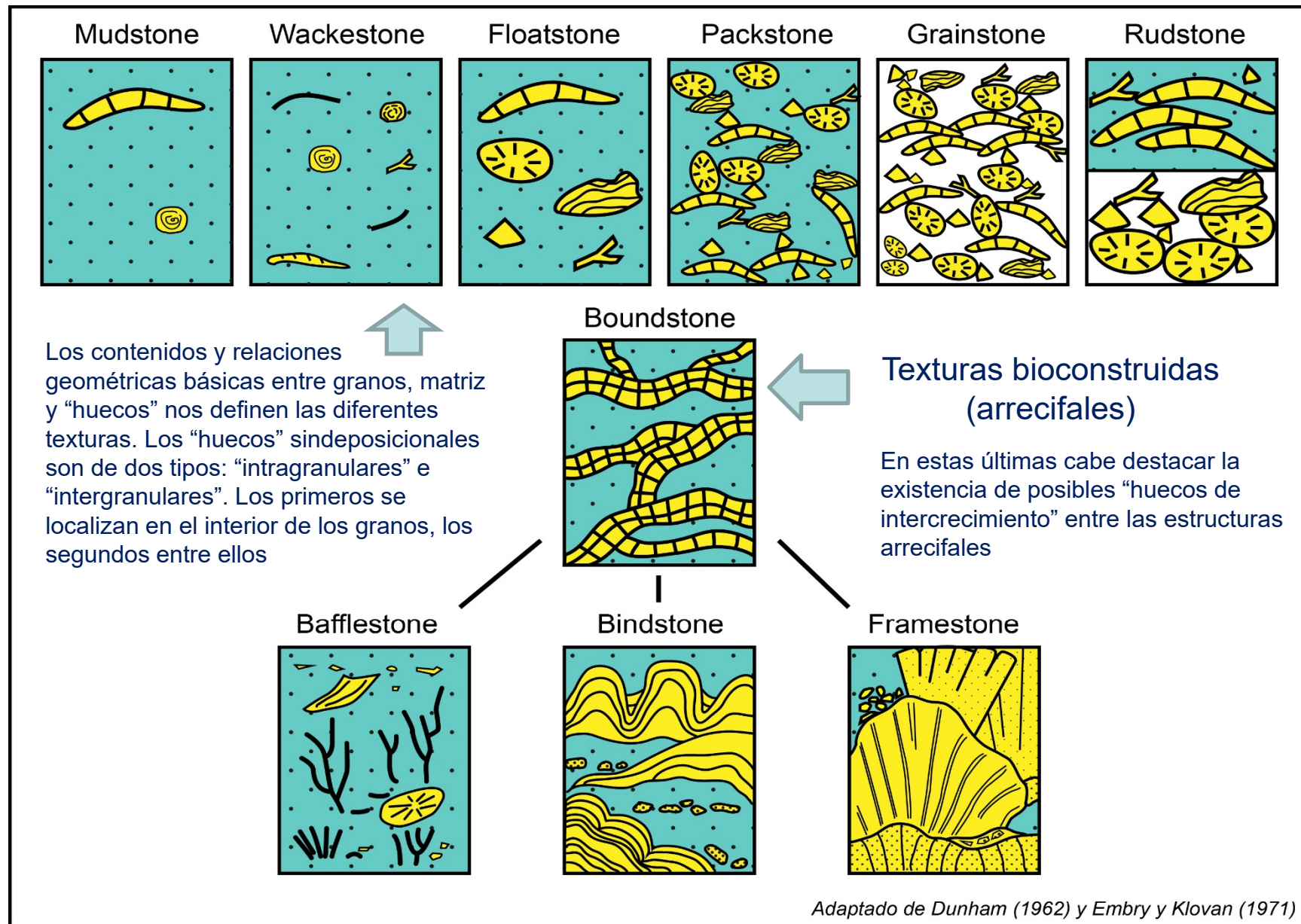
De precipitación química directa. Este se sospecha es el origen de la micrita en los denominados “whitings” de las Bahamas y el Golfo Pérsico

Generada por desintegración mecánica (“grinding”) de partículas esqueléticas. Este es el origen admitido para el sedimento de grano fino en los carbonatos de aguas frías



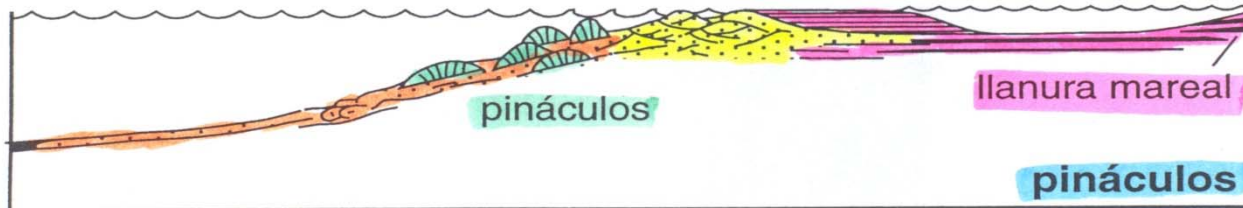
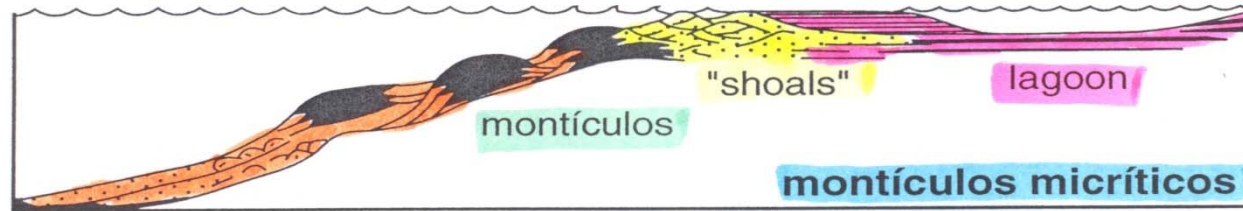
En ambos casos la porosidad original (“intercristalina” e “intergranular” respectivamente) disminuye rápidamente en la compactación

EL SEDIMENTO Y LAS ROCAS CARBONATADAS: LAS TEXTURAS



DISTRIBUCIÓN DE LAS TEXTURAS ARRECIFALES

La textura "bafflestone" es típica en montículos micríticos, las "framestone" y "bindstone" son predominantes en los pináculos y los arrecifes de pared



CONTROL TEXTURAL DE LA POROSIDAD Y LA PERMEABILIDAD

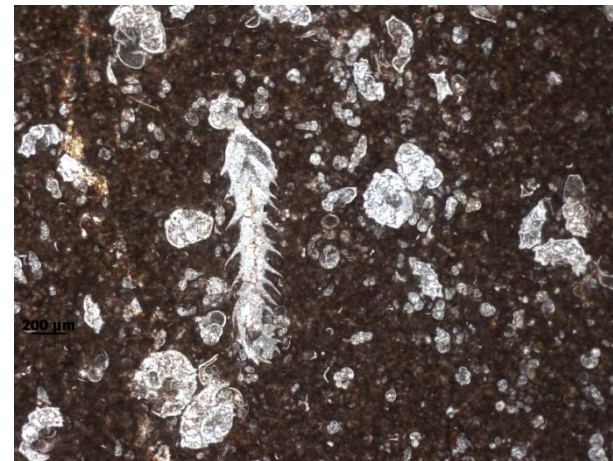
Tipos texturales poco interesantes

Mudstone, Wackestone, Packstone, Floatstone

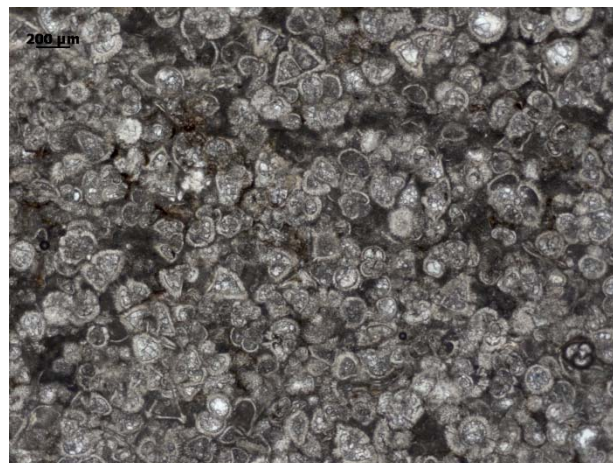
Mudstone



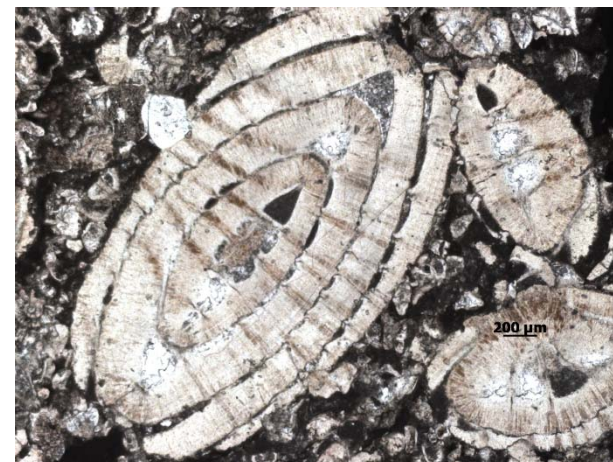
Wackestone



Packstone



Floatstone



La razón fundamental es la presencia de una matriz (micrita), más o menos abundante, que una vez compactada disminuye, de un modo notable, la porosidad y la permeabilidad

CONTROL TEXTURAL DE LA POROSIDAD Y LA PERMEABILIDAD

Tipos texturales potencialmente interesantes

Grainstone, Rudstone, Bindstone, Framestone

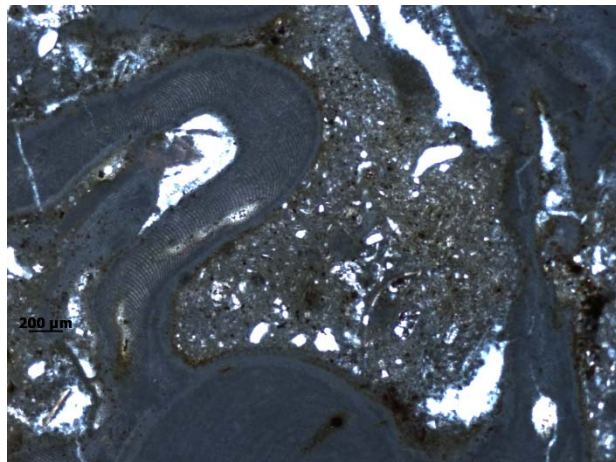
Grainstone



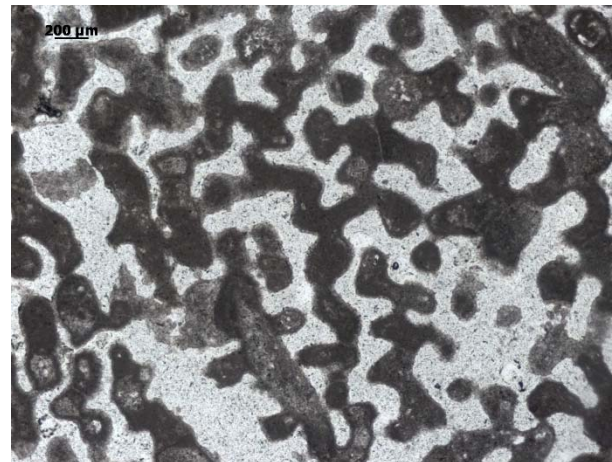
Rudstone



Bindstone

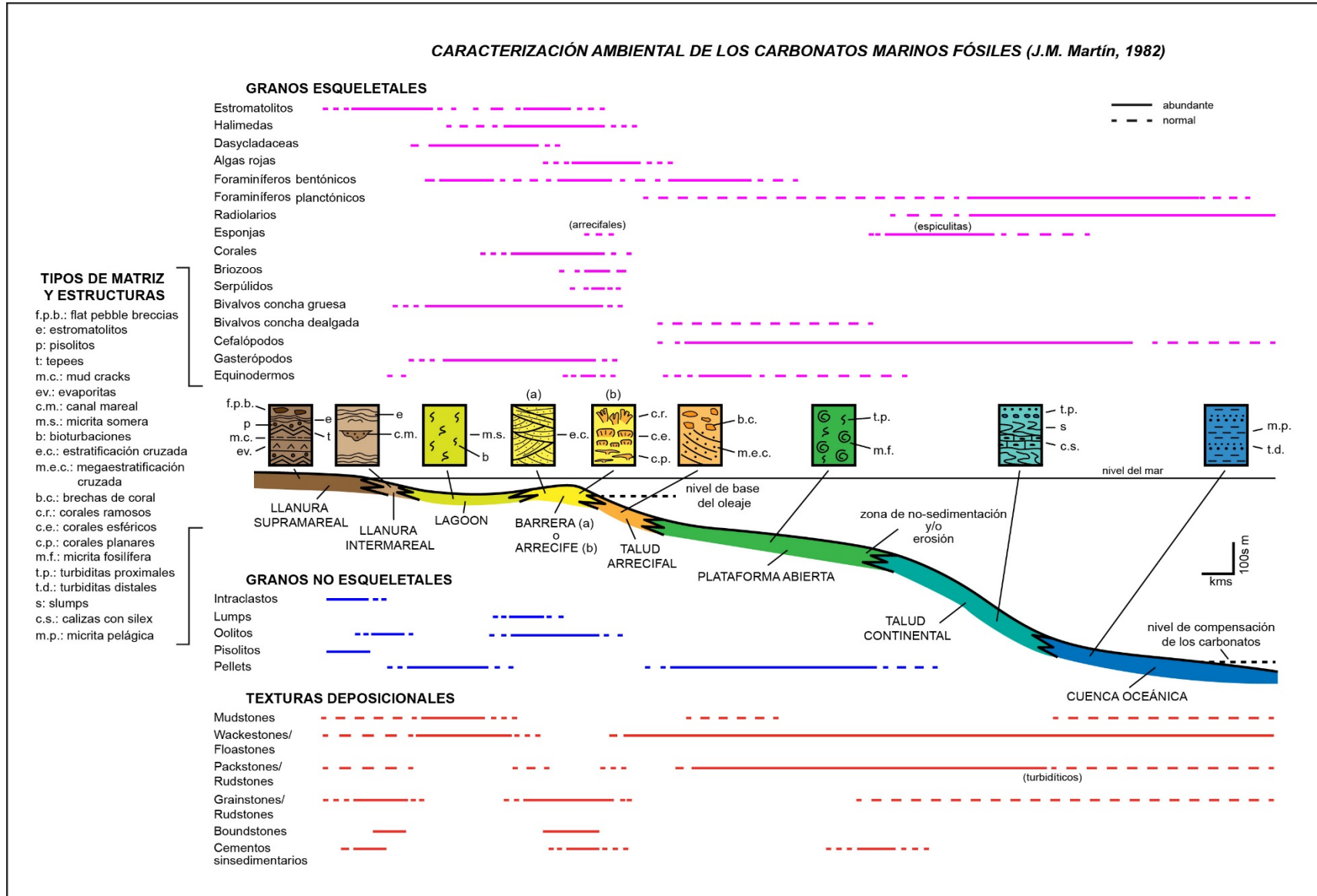


Framestone



Presencia de abundantes “huecos intergranulares”, “intragranulares” y “de intercrecimiento”, en el sedimento original

EL SEDIMENTO CARBONATADO: LOS AMBIENTES DE DEPÓSITO



AMBIENTES POTENCIALMENTE INTERESANTES

Supramareal: ejemplo de facies representativa

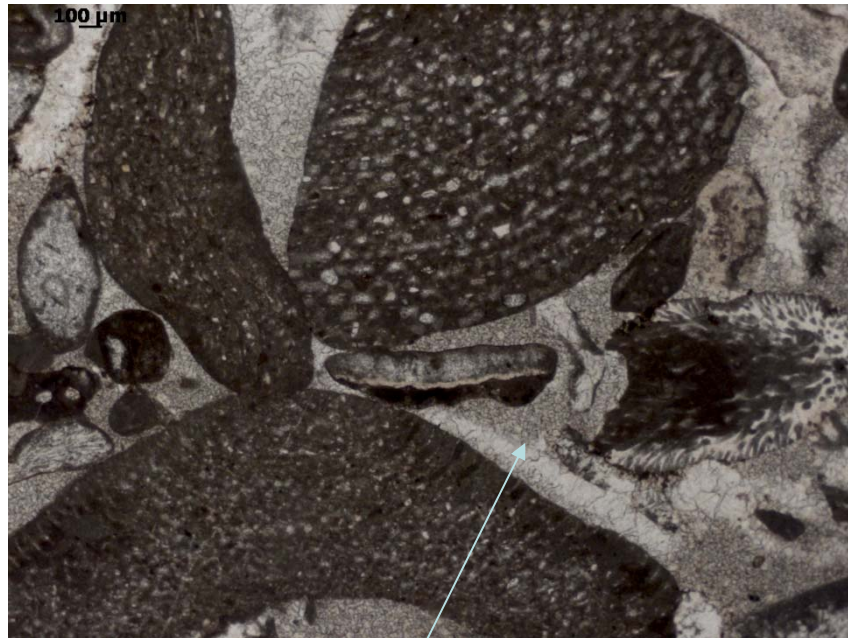
Facies original con abundantes “huecos” intergranulares, intragranulares, móldicos y fenestras (estructuras de escape de gas), posteriormente rellenos por cementos (en el ejemplo mostrado)



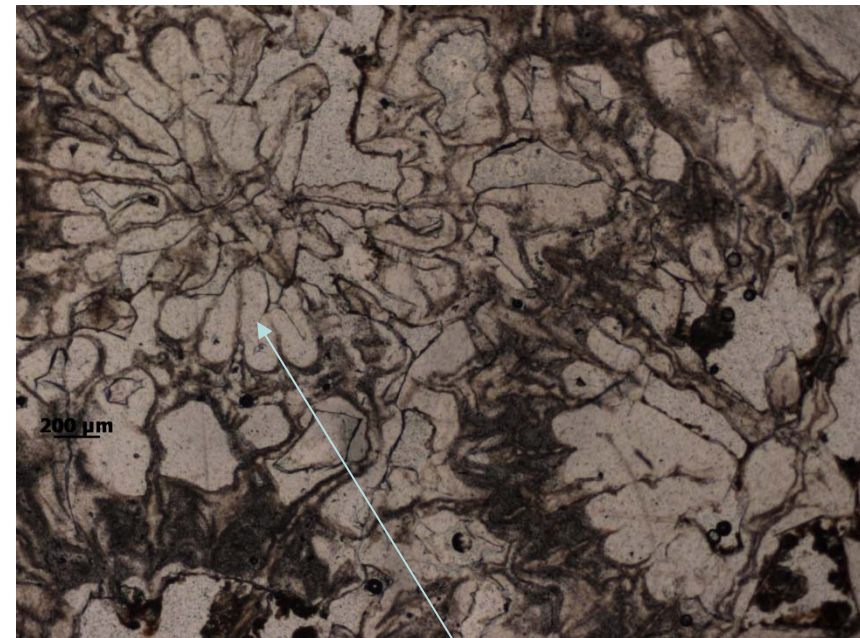
AMBIENTES POTENCIALMENTE INTERESANTES

Barrera y arrecife: ejemplos de facies representativas

Elevada porosidad “intergranular”, “intragranular” y “de intercrecimiento” en el sedimento original, totalmente ocluida por cementación posterior en los ejemplos mostrados



Barrera: “huecos” intergranulares



Arrecife: “huecos” intragranulares

AMBIENTES POTENCIALMENTE INTERESANTES: ARRECIFES

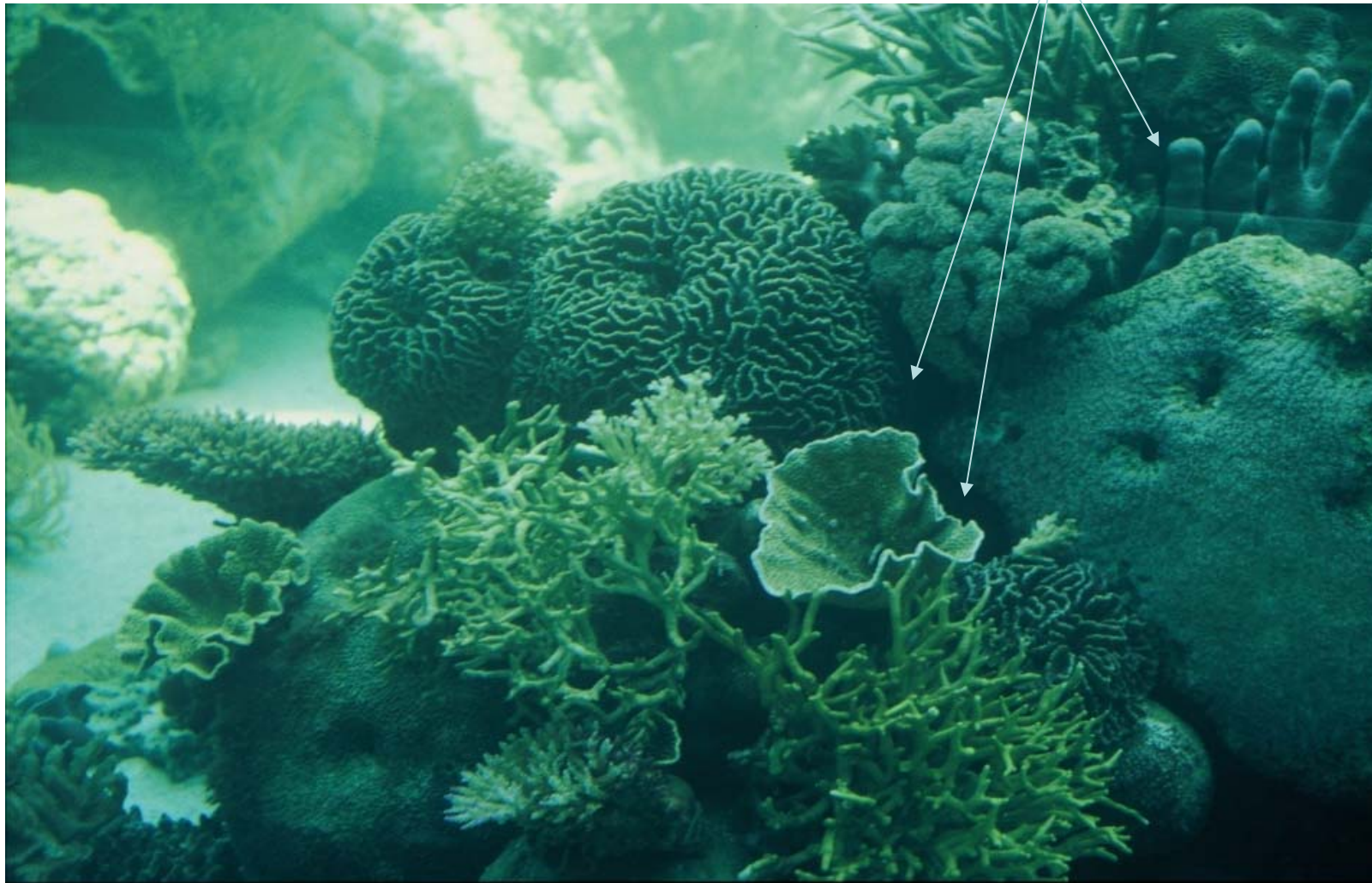
Vista de un arrecife de coral actual



ESTRUCTURA INTERNA DE UN ARRECIFE DE CORAL ACTUAL

Domina la textura framestone

“Huecos” intercrecimientos



ARRECIFE DE CORAL ACTUAL

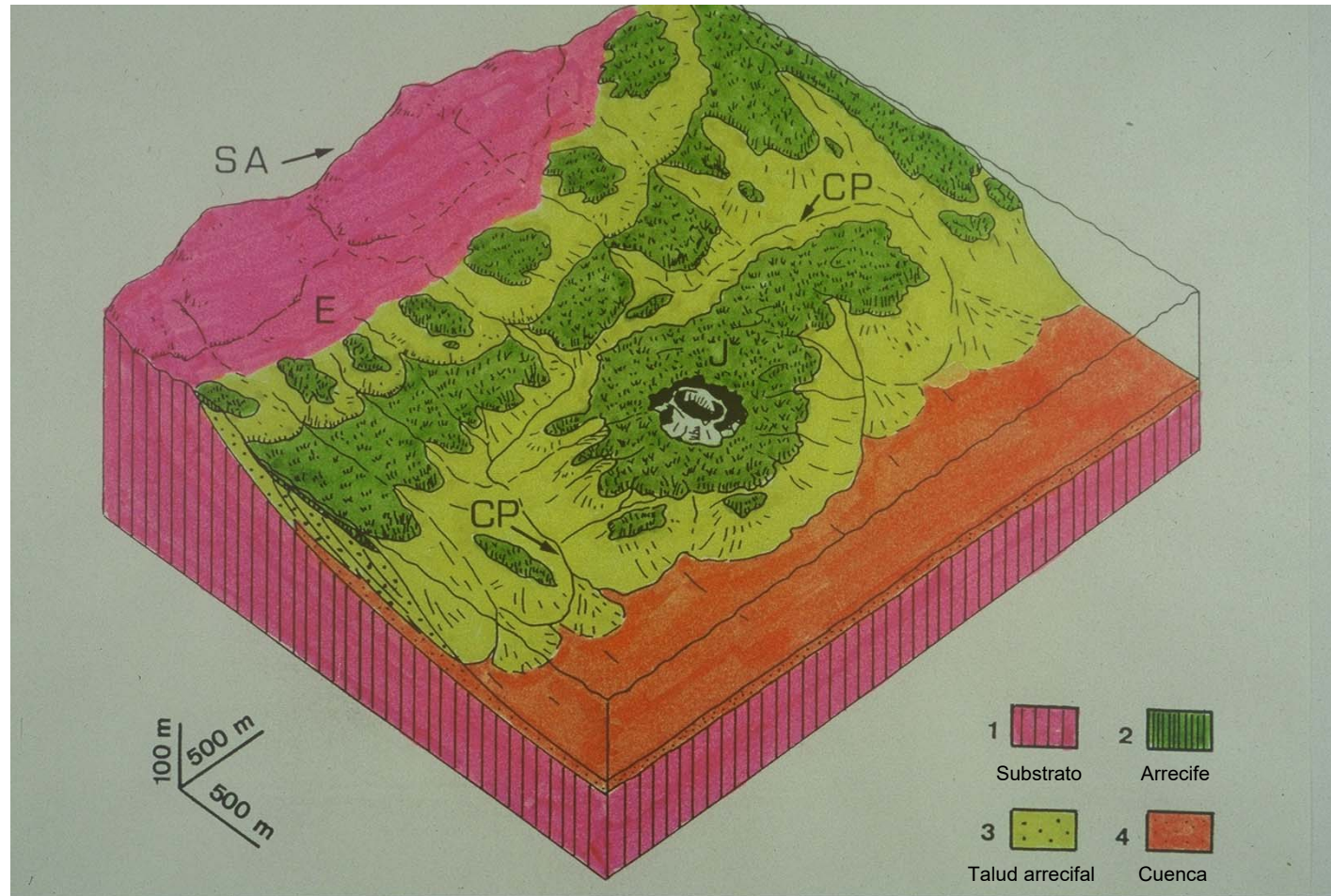
El sedimento intersticial (producido por bioperforación en el ejemplo mostrado) puede llegar a ocluir, parcial o totalmente, la porosidad inicial (en este caso “de intercrecimiento”)



bioperforación

ARRECIFES DE CORAL FÓSILES

EL ARRECIFE MESSINIENSE DE NÍJAR



ARRECIFES DE CORAL FÓSILES: EL ARRECIFE MESSINIENSE DE CARIATIZ



Los corales (Porites) presentan a su alrededor costras microbianas
El sedimento interno bioclástico termina por ocluir en gran parte la porosidad original del armazón arrecifal

POROSIDAD Y PERMEABILIDAD CONTROLES DIAGENÉTICOS

- En la diagénesis se produce la transformación del sedimento en roca sedimentaria: caliza y/o dolomía
- Las transformaciones diagenéticas conllevan frecuentemente cambios profundos en la porosidad y en la permeabilidad, aumentándolas en ciertos casos y disminuyéndolas en otros muchos
- Los procesos de disolución (lixiviación de los elementos aragoníticos, karstificación, etc.) incrementan significativamente la porosidad
- La cementación disminuye claramente la porosidad al ocupar el cemento parte y/o todo el espacio de poros disponible
- Los reemplazamientos por dolomita (dolomitización) conllevan un aumento significativo de la porosidad

PROCESOS DE NEOMORFISMO

Los reemplazamientos miméticos: “inversión aragonito-calcita” y “disolución incongruente calcita Mg-calcita” no conllevan variaciones en la porosidad/permeabilidad

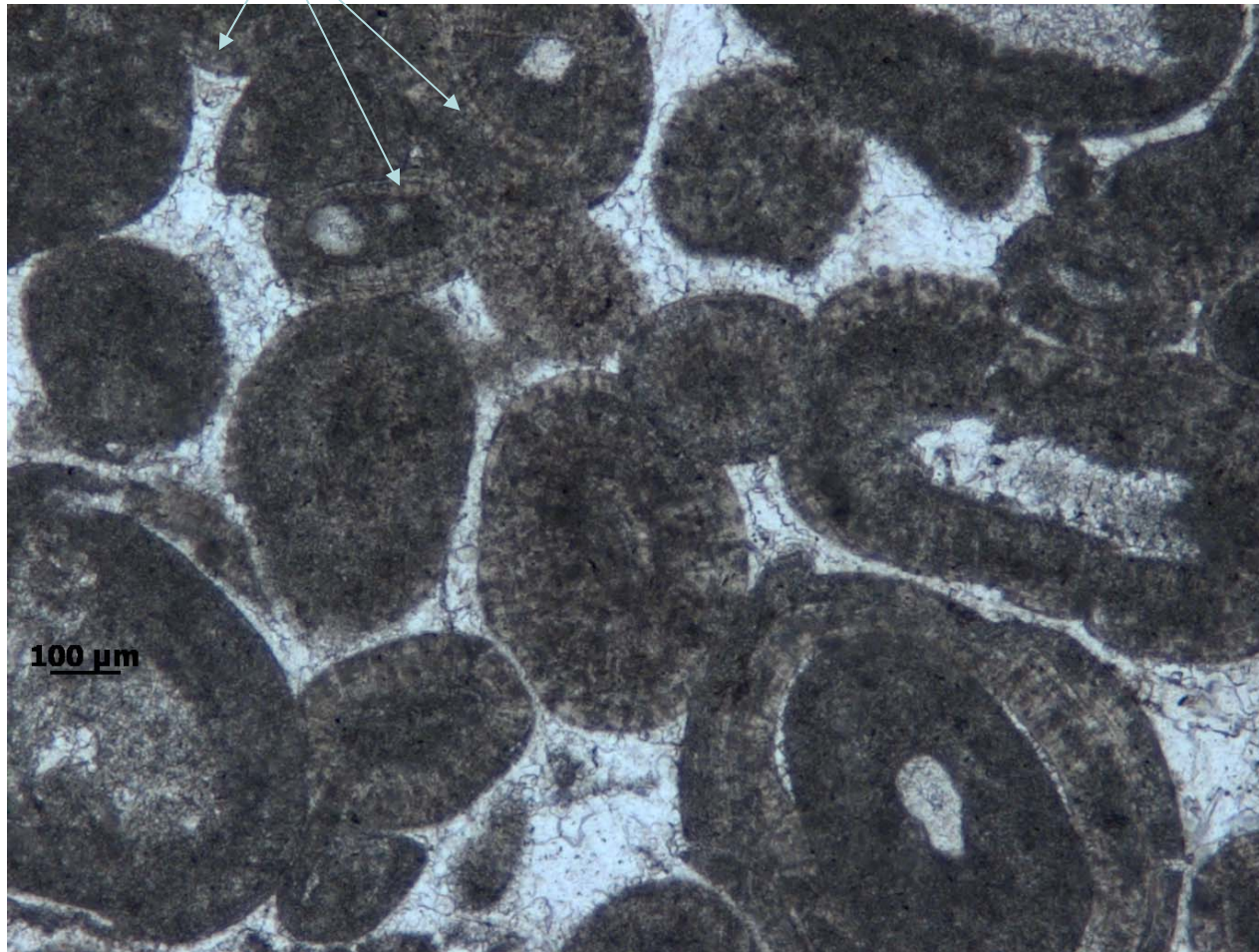
El de transformación de calcita Mg-calcita por “exsolución” introduce variaciones (genera porosidad “intercristalina”), que no son significativas

El de “disolución-precipitación” en la transformación aragonito-calcita genera porosidad “móldica” que puede llegar a permanecer y ser significativa, si sólo hay disolución

NEOMORFISMO

TRANSFORMACIÓN ARAGONITO-CALCITA: INVERSIÓN

Reemplazamiento mimético de aragonito por calcita (en el ejemplo ilustrado de las envueltas oolíticas) No altera la porosidad/permeabilidad inicial

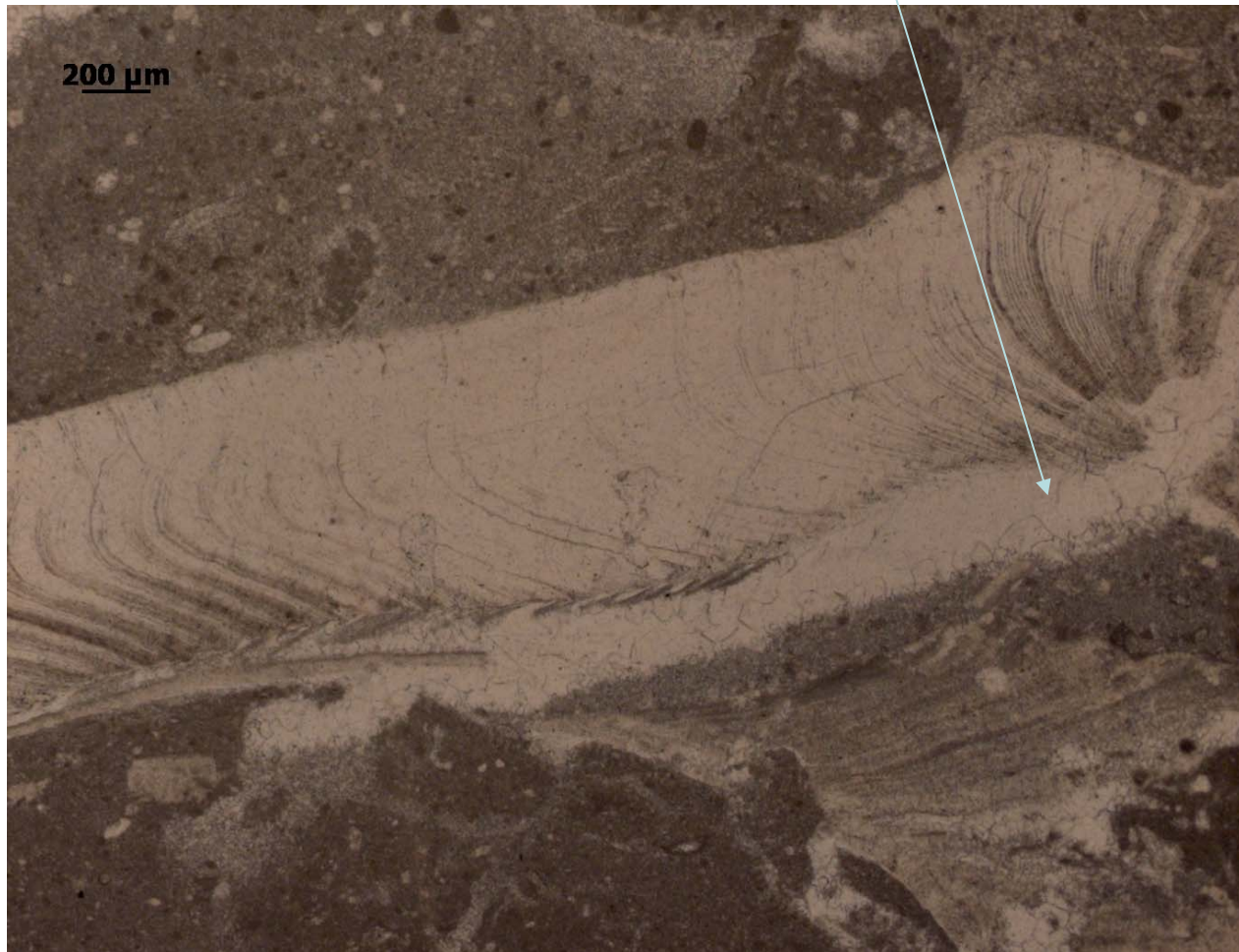


NEOMORFISMO

TRANSFORMACIÓN ARAGONITO-CALCITA: DISOLUCIÓN-PRECIPITACIÓN

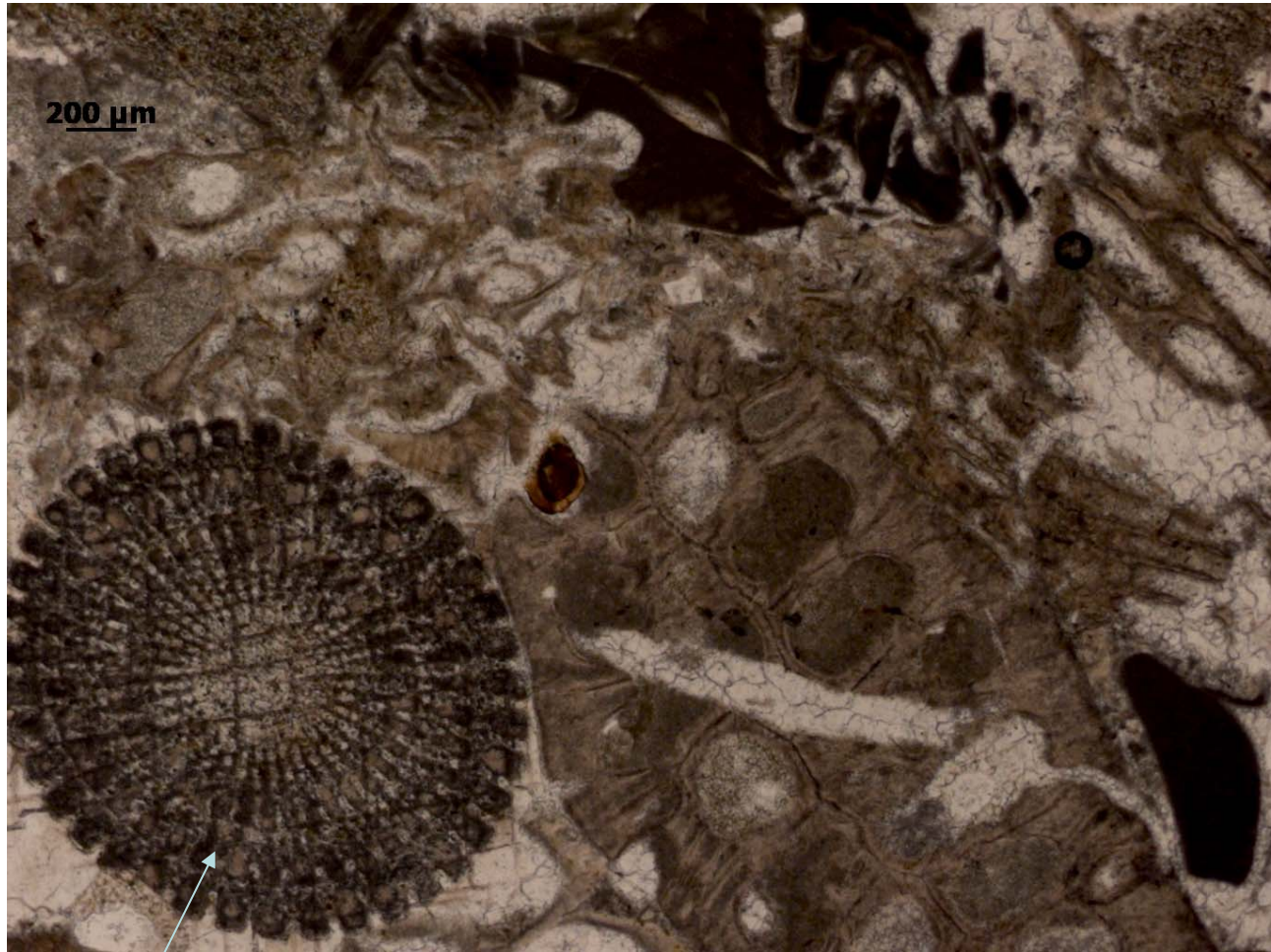
Este proceso comporta un aumento que puede ser significativo en la porosidad si permanece el “hueco” generado en la disolución y no se rellena posteriormente, como en el caso del ejemplo ilustrado, por cemento

El proceso de disolución-precipitación afectó selectivamente a la “capa originalmente aragonítica” de la concha del bivalvo



NEOMORFISMO

TRANSFORMACIÓN CALCITA Mg-CALCITA: DISOLUCIÓN INCONGRUENTE
No altera la porosidad/permeabilidad inicial

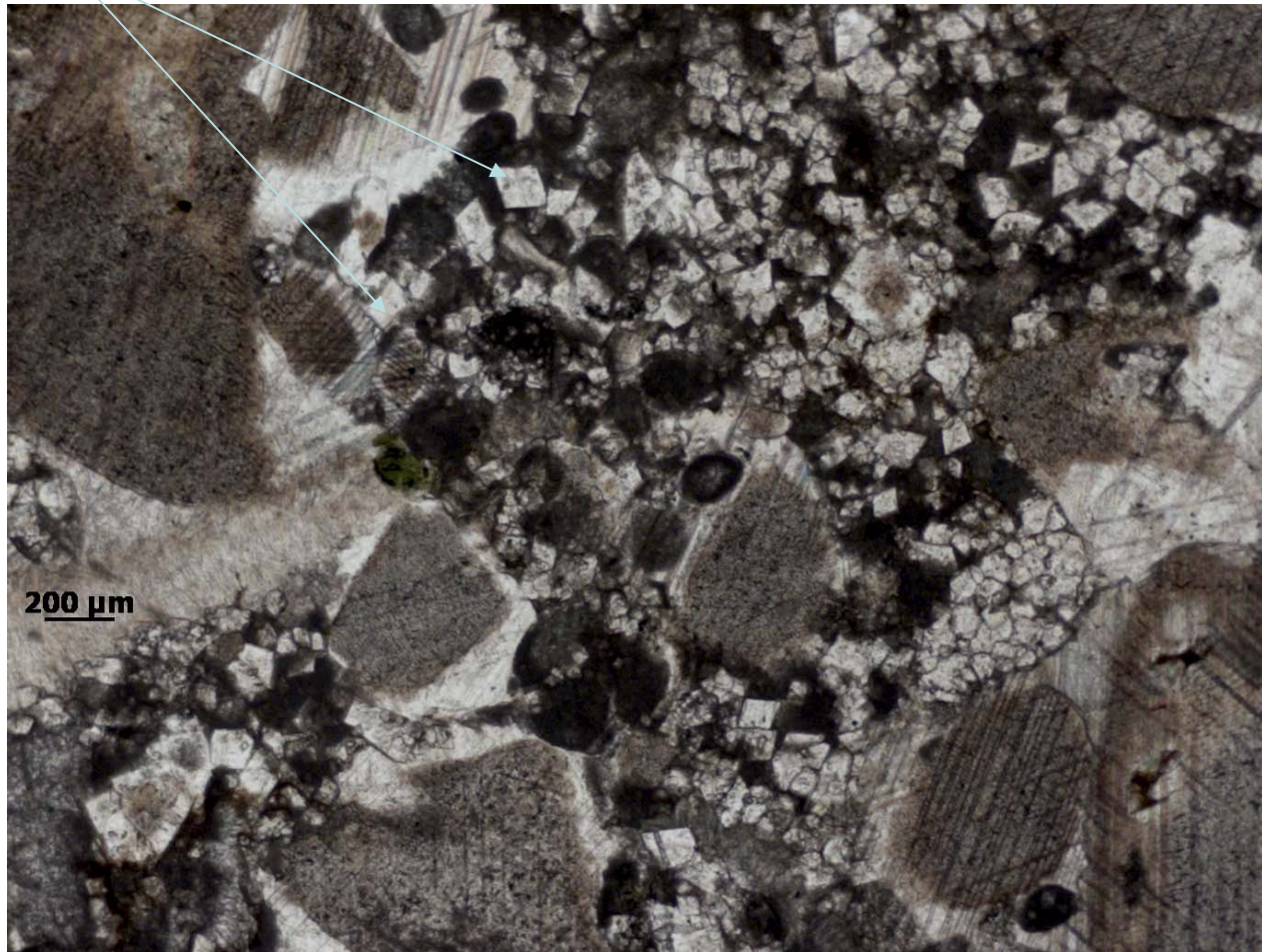


Espina de erizo. Reemplazamiento mimético de calcita Mg (mineralogía original) por calcita

NEOMORFISMO

TRANSFORMACIÓN CALCITA Mg-CALCITA: EXSOLUCIÓN

Se genera dolomita, pero no en cantidades importantes. Es por ello que no comporta un aumento significativo en la porosidad



El ejemplo ilustrado corresponde al de una facies de crinoides (“encrinita”)

CEMENTACIÓN

LOS PROCESOS DE CEMENTACIÓN OCLUYEN
LOS “HUECOS” Y DISMINUYEN POR TANTO LA
POROSIDAD Y LA PERMEABILIDAD

ESTOS TIENEN LUGAR EN EL CURSO DE LA
DIAGÉNESIS EN MOMENTOS MUY DIFERENTES
Y CON INTENSIDADES MUY DIVERSAS

CEMENTACIÓN

CEMENTACIÓN SINSEDIMENTARIA

Cementos aragoníticos en cavidad de arrecife de coral actual

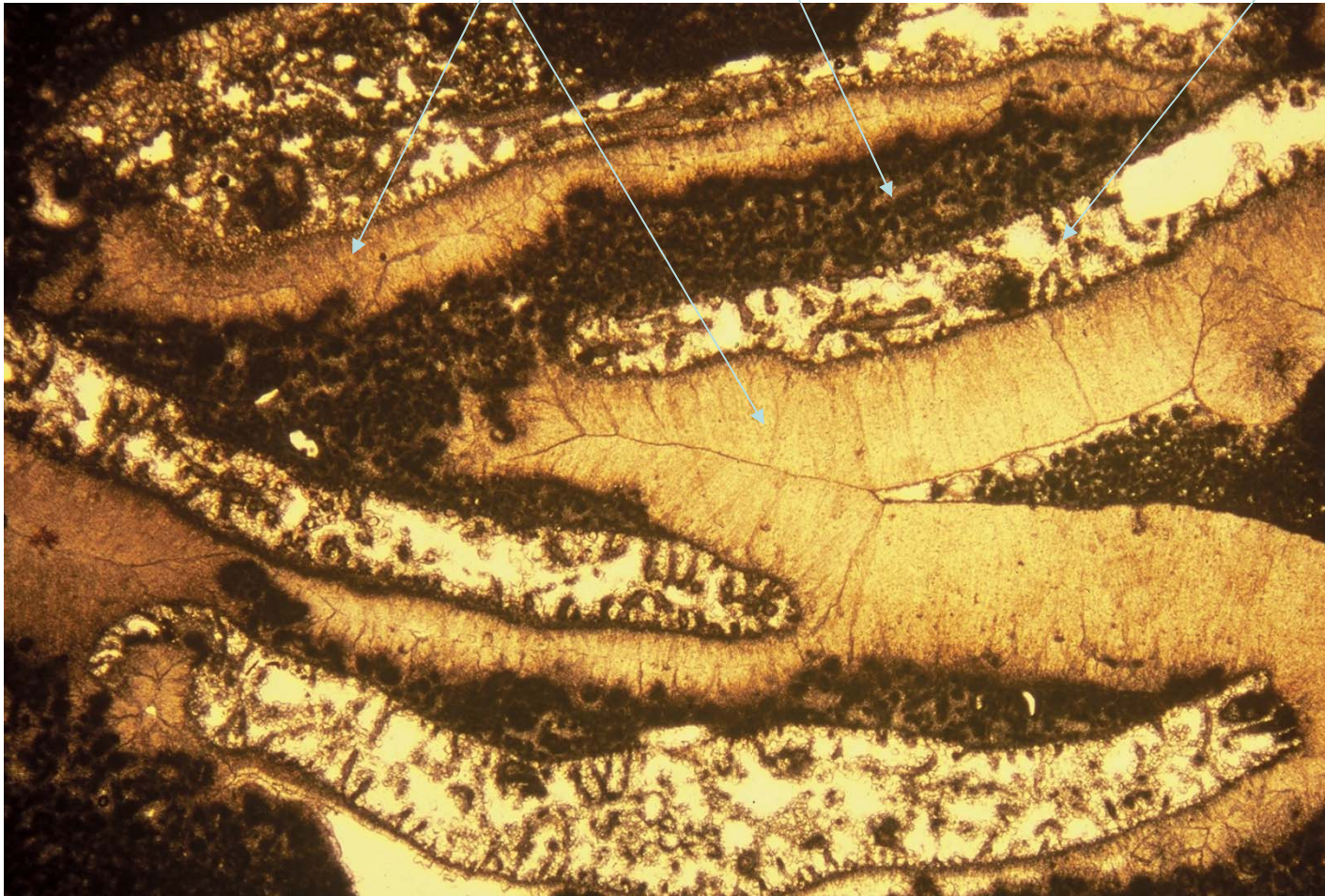


En el ejemplo mostrado no ocluyen totalmente la cavidad

CEMENTACIÓN

CEMENTACIÓN SINSEDIMENTARIA

Cementos originalmente aragoníticos y costras microbianas en facies de Halimeda

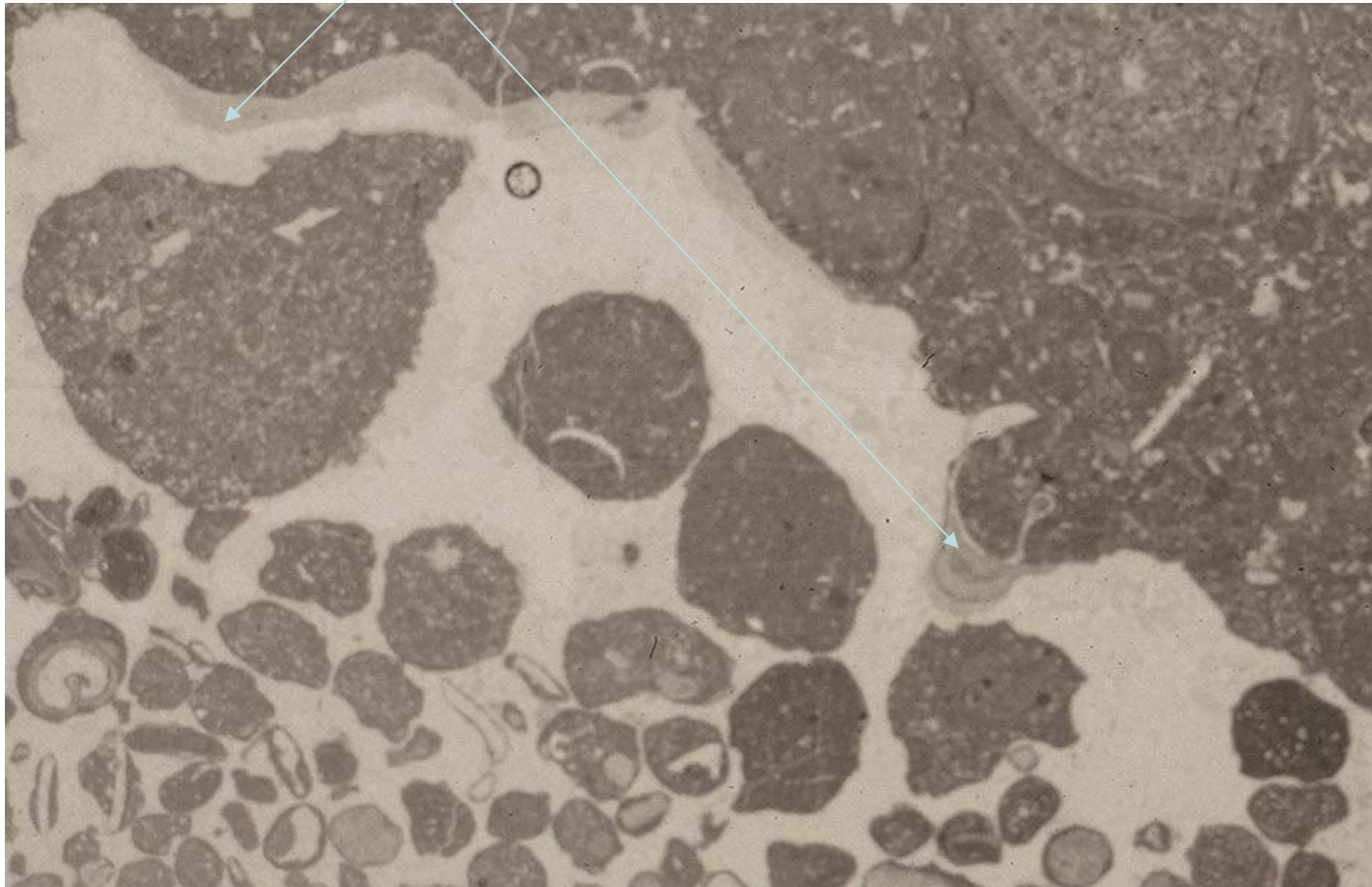


En este caso los cementos sinsedimentarios ocluyen gran parte del “hueco” original

CEMENTACIÓN

CEMENTACIÓN DIAGENÉTICA-TEMPRANA

Cemento microestalagmítico (de zona de aireación) en facies de intraclastos

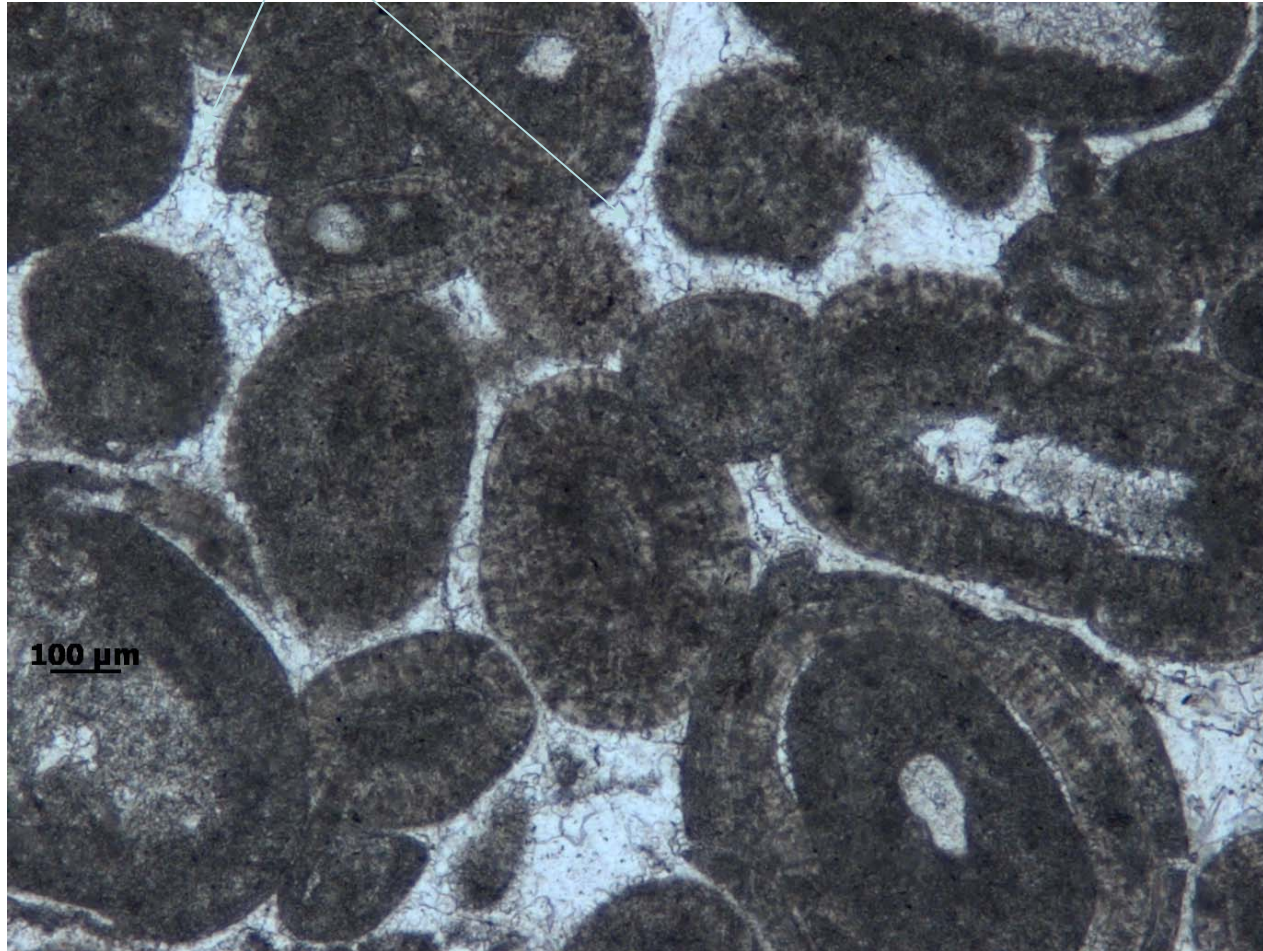


Pobrementemente desarrollado en la base de los granos

CEMENTACIÓN

CEMENTACIÓN DIAGENÉTICA-TARDÍA

Cemento en mosaico (calcítico, policristalino, xenomorfo) en facies de oolitos



Rellena, casi por completo, el espacio de poros (“intergranular”) disponible

CEMENTACIÓN

CEMENTACIÓN DIAGENÉTICA-TARDÍA

“ENCRINITA” CON CEMENTO SINTAXIAL



En este caso, cubre todo el espacio de poros (“intergranular”) disponible

OTROS PROCESOS DIAGENÉTICOS: REEMPLAZAMIENTO DOLOMITIZACIÓN

El proceso de dolomitización comporta un incremento significativo en la porosidad (el ejemplo que se muestra es de una “encrinita” dolomitizada)

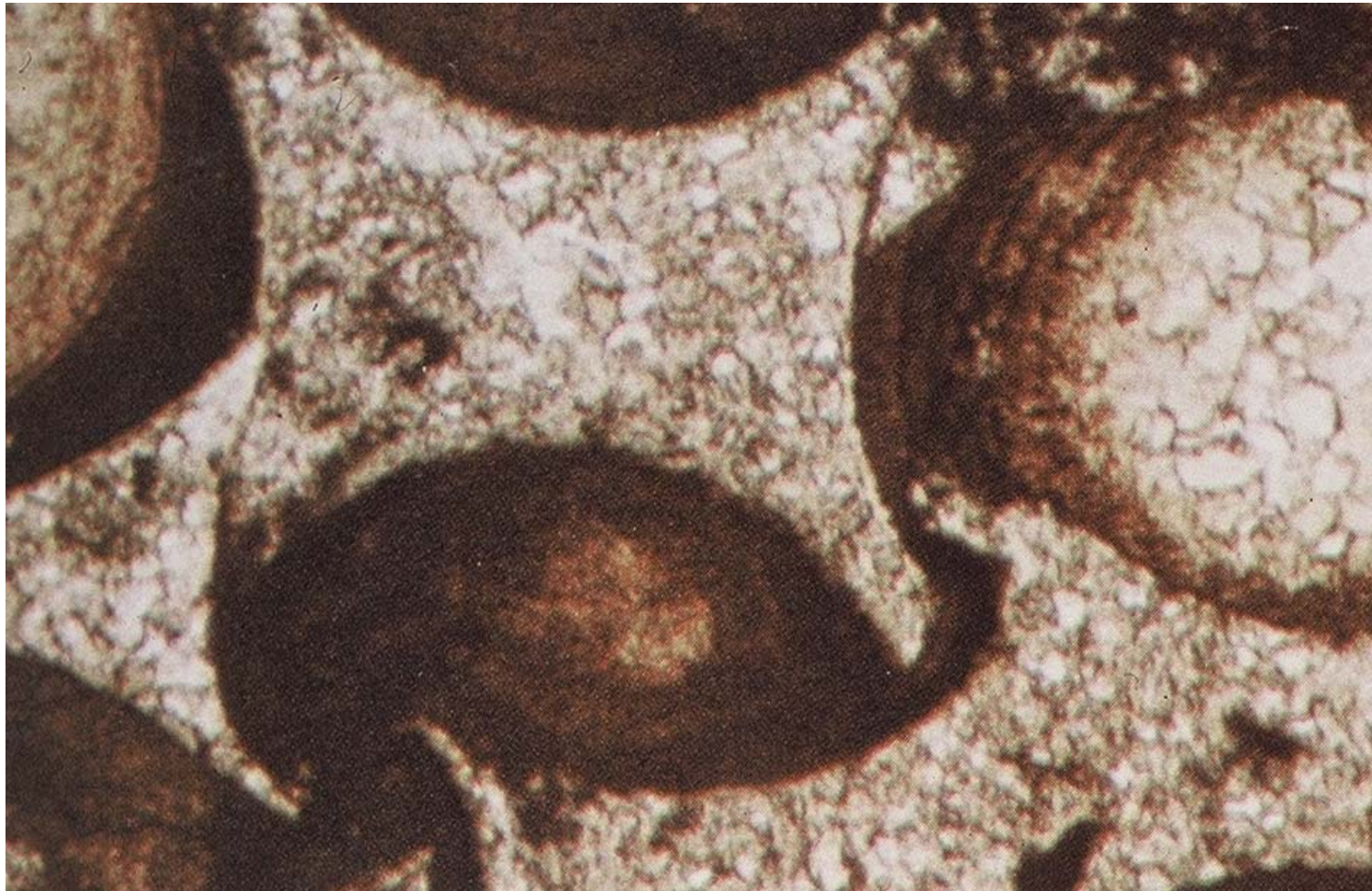
La porosidad que se genera es “intercristalina”



OTROS PROCESOS DIAGENÉTICOS

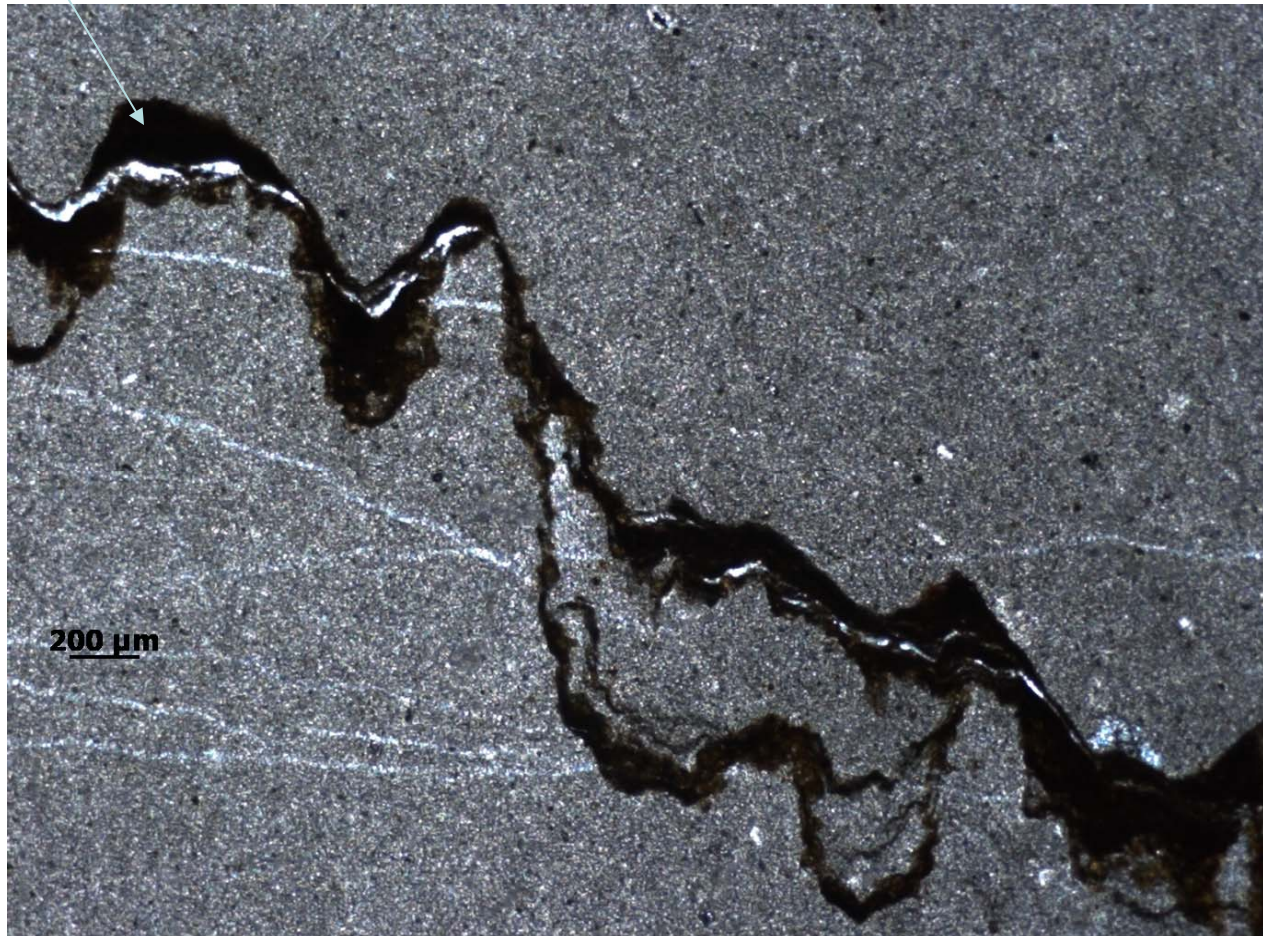
COMPACTACIÓN “MECÁNICA” (POR ENTERRAMIENTO SOMERO)

La compactación disminuye la porosidad. En el ejemplo que se muestra (“Hand-holding oolites”) la cementación (inter e intragranular) es posterior a la compactación. Esta a su vez estuvo precedida por una disolución previa selectiva de los núcleos de los oolitos



OTROS PROCESOS DIAGENÉTICOS
COMPACTACIÓN “QUÍMICA” (POR ENTERRAMIENTO PROFUNDO)
DESARROLLO DE ESTIOLITOS

EN ESTE CASO LA COMPACTACIÓN PUEDE LLEGAR A REDUCIR SIGNIFICATIVAMENTE LA PERMEABILIDAD
En los “estiolitos” se concentran residuos insolubles (minerales de la arcilla, óxidos de Fe y Mn, etc.) que actúan como barrera impermeable al paso de los fluidos



POROSIDAD

TIPOS BÁSICOS Y EJEMPLOS ILUSTRATIVOS

TIPOS BÁSICOS DE POROSIDAD

PRIMARIA



Intergranular



Intragranular



Intercristalina



Móldica



Fenestral

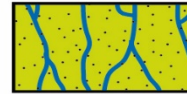


Cobijo



Intercrecimiento

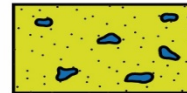
SECUNDARIA



Fractura



Canal



Hueco pequeño



Cueva

OTROS TIPOS



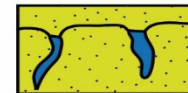
Brecha



Perforación



Bioturbación

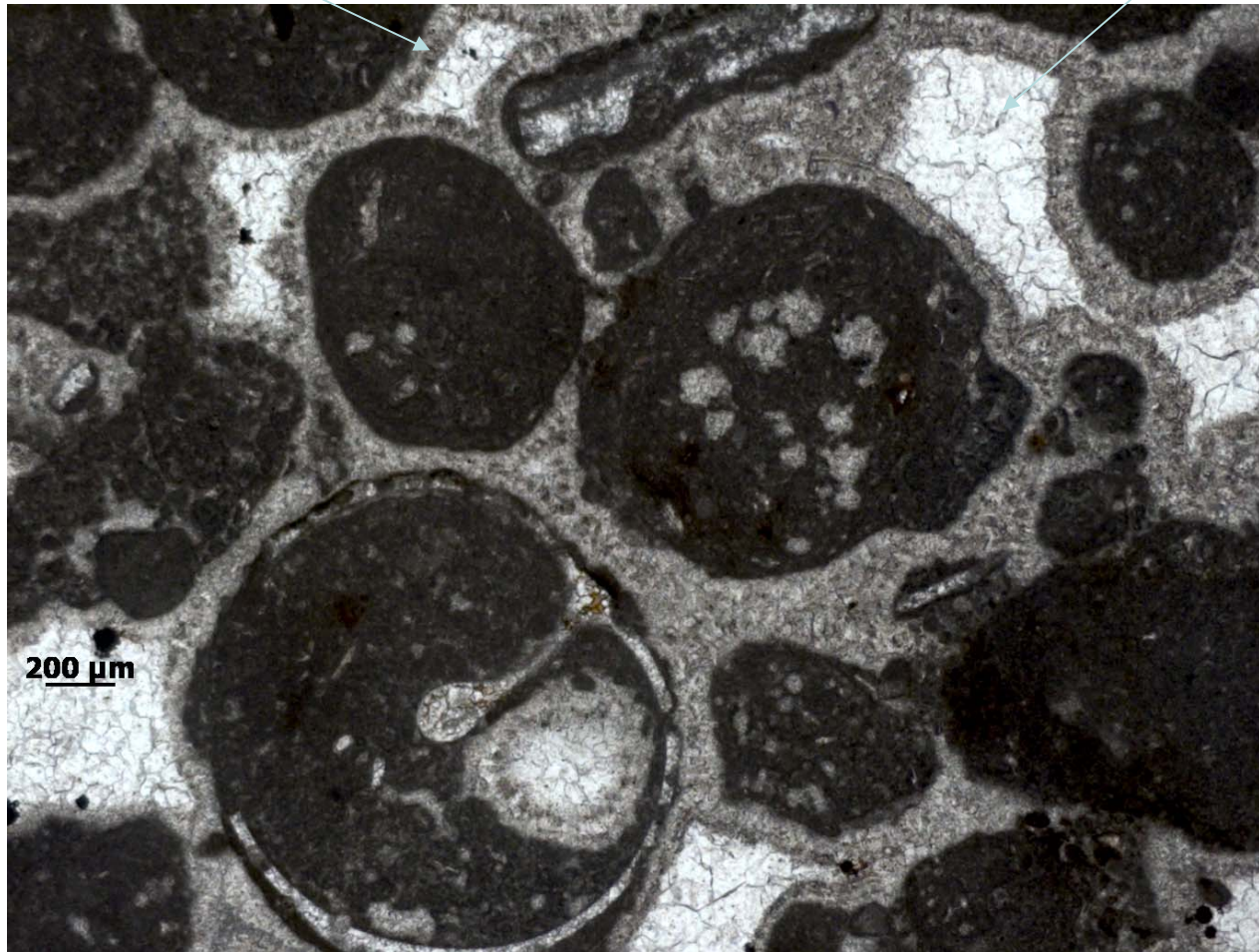


Grietas de desecación

Adaptado de Choquette y Pray (1970)

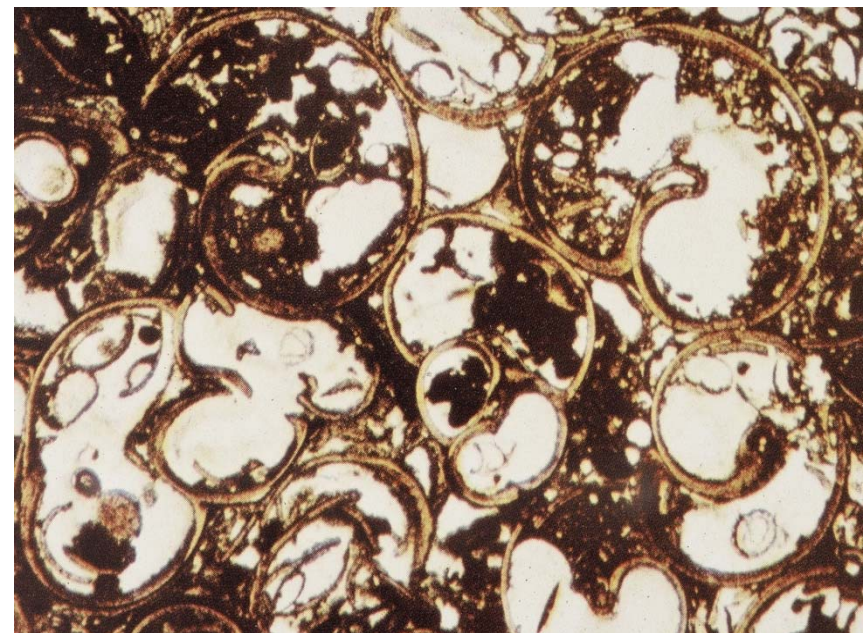
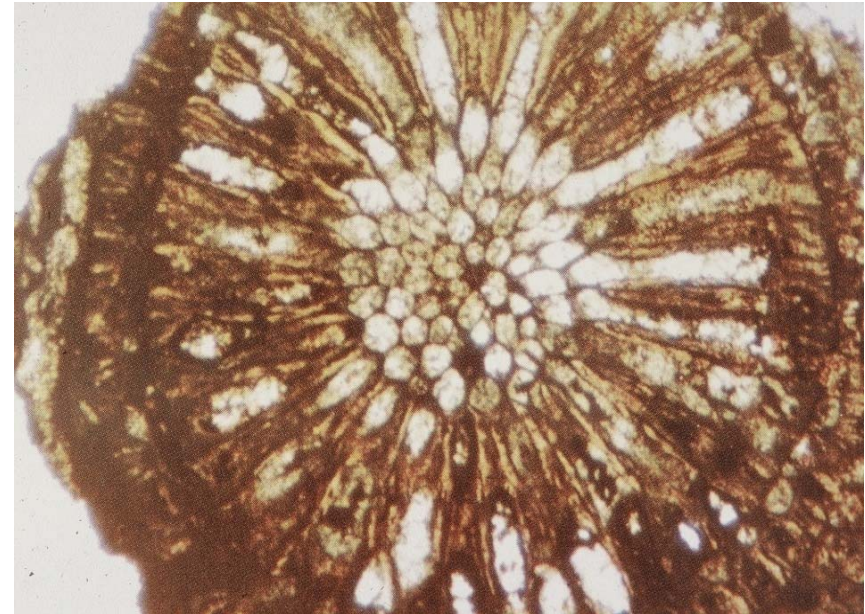
DEPOSICIONAL: POROSIDAD INTERGRANULAR

El espacio de poros entre los granos de sedimento (intraclastos) está relleno por una doble generación de cemento. El más periférico es de hábito fibroso (posiblemente sinsedimentario y originalmente aragonítico). El que aparece en el interior de los huecos es de calcita espática tardía



DEPOSICIONAL: POROSIDAD INTRAGRANULAR

(CON EJEMPLOS ANTES MOSTRADOS)



DEPOSICIONAL: POROSIDAD DE “INTERCRECIMIENTO”

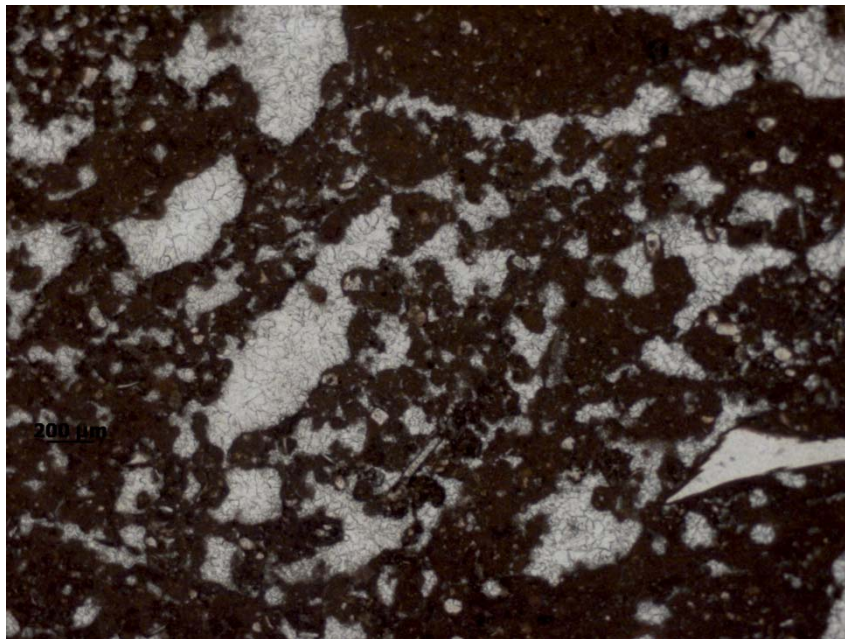


Los “huecos” se localizan entre las ramas del coral (en este caso Porites)

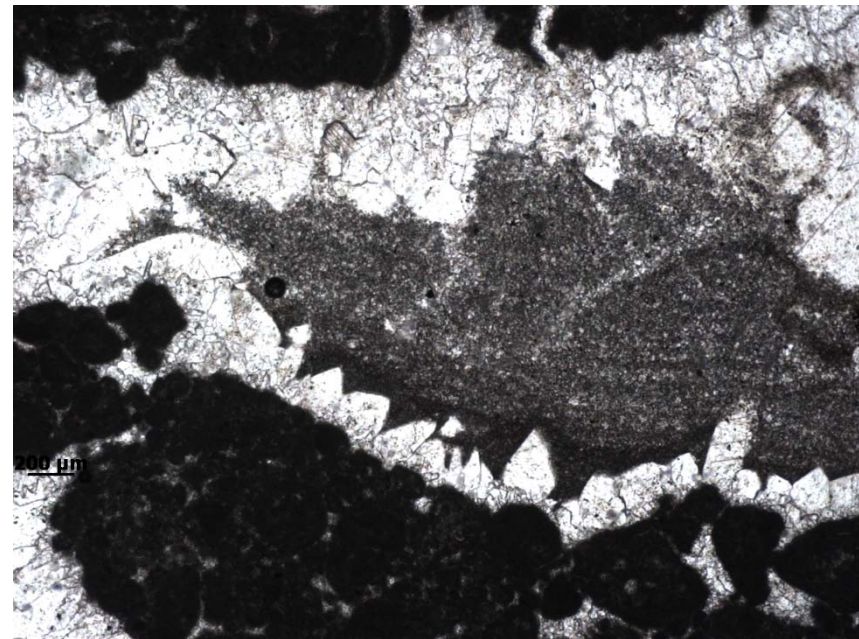
DEPOSICIONAL: POROSIDAD FENESTRAL

Los fenestras (sinsedimentarios) se forman por escape de pequeñas burbujas de gas
Son muy frecuentes en sedimentos marinos someros (inter- y supramareales)

Aquí aparecen rellenos por un cemento en mosaico de calcita espática tardía



En este otro ejemplo hay un doble relleno, con cemento calcítico en “diente de perro” en la periferia y sedimento interno carbonatado (de infiltración), tamaño limo, en su centro

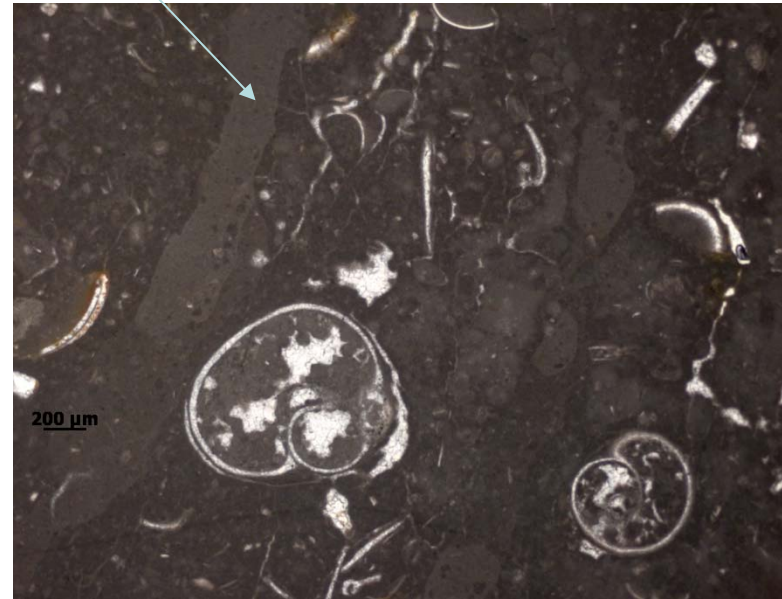
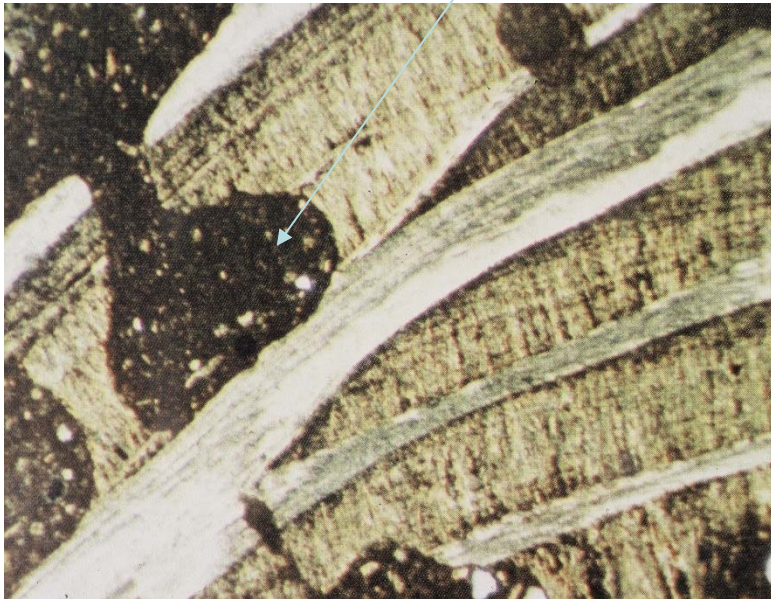


DEPOSICIONAL: ESTRUCTURAS DE DESECACIÓN “TEPEES” Y GRIETAS DE DESECACIÓN (EN UN ESTROMATOLITO)



En ambos casos se generan “huecos” que están parcialmente ocluidos por cemento calcítico tardío

DEPOSICIONAL: OTROS TIPOS PERFORACIÓN Y BIOTURBACIÓN

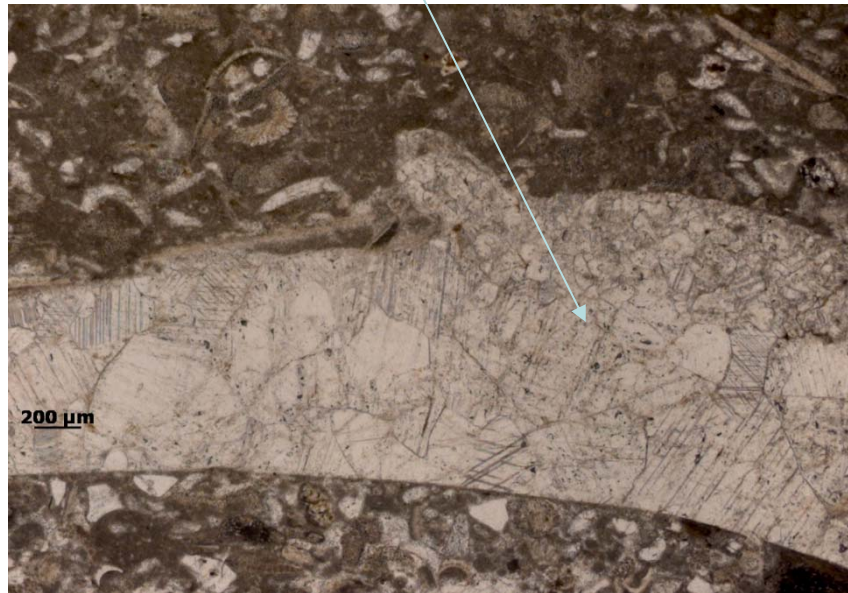


Los ejemplos mostrados corresponden a procesos de perforación que generan huecos, que no suelen ser muy abundantes ni comportan un aumento significativo en la porosidad, y a procesos de bioturbación. En este último caso lo que hacen es modificar la textura del sedimento convirtiéndolo a veces, a lo largo de la traza, en un material más poroso y permeable. No son tampoco significativos a gran escala

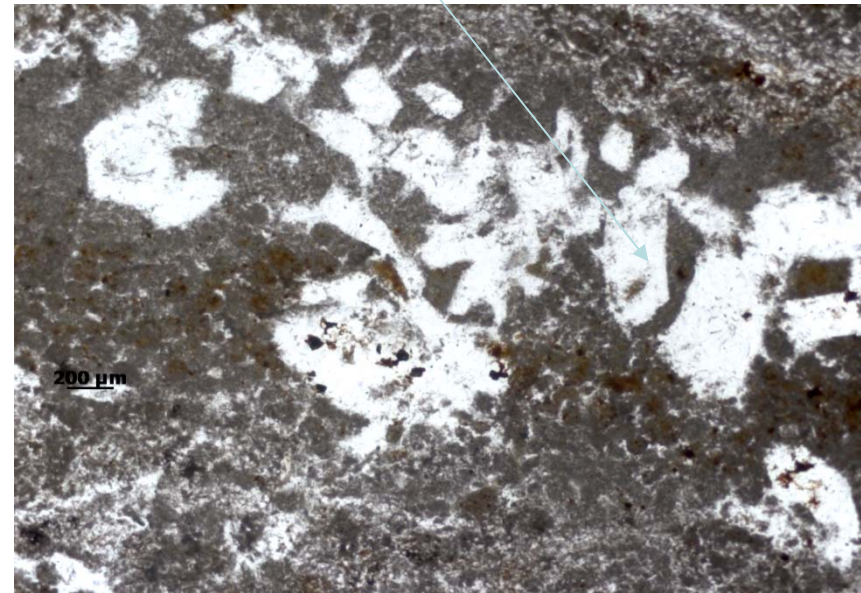
DIAGENÉTICA: POROSIDAD MÓLDICA

Se produce por lixiviación (disolución) de componentes de mineralogía inestable y/o muy solubles

Molde de bivalvo (originalmente aragonítico) relleno por cemento calcítico espático tardío



Moldes de evaporitas (cristales de yeso) que crecieron en el seno de un carbonato estromatolítico

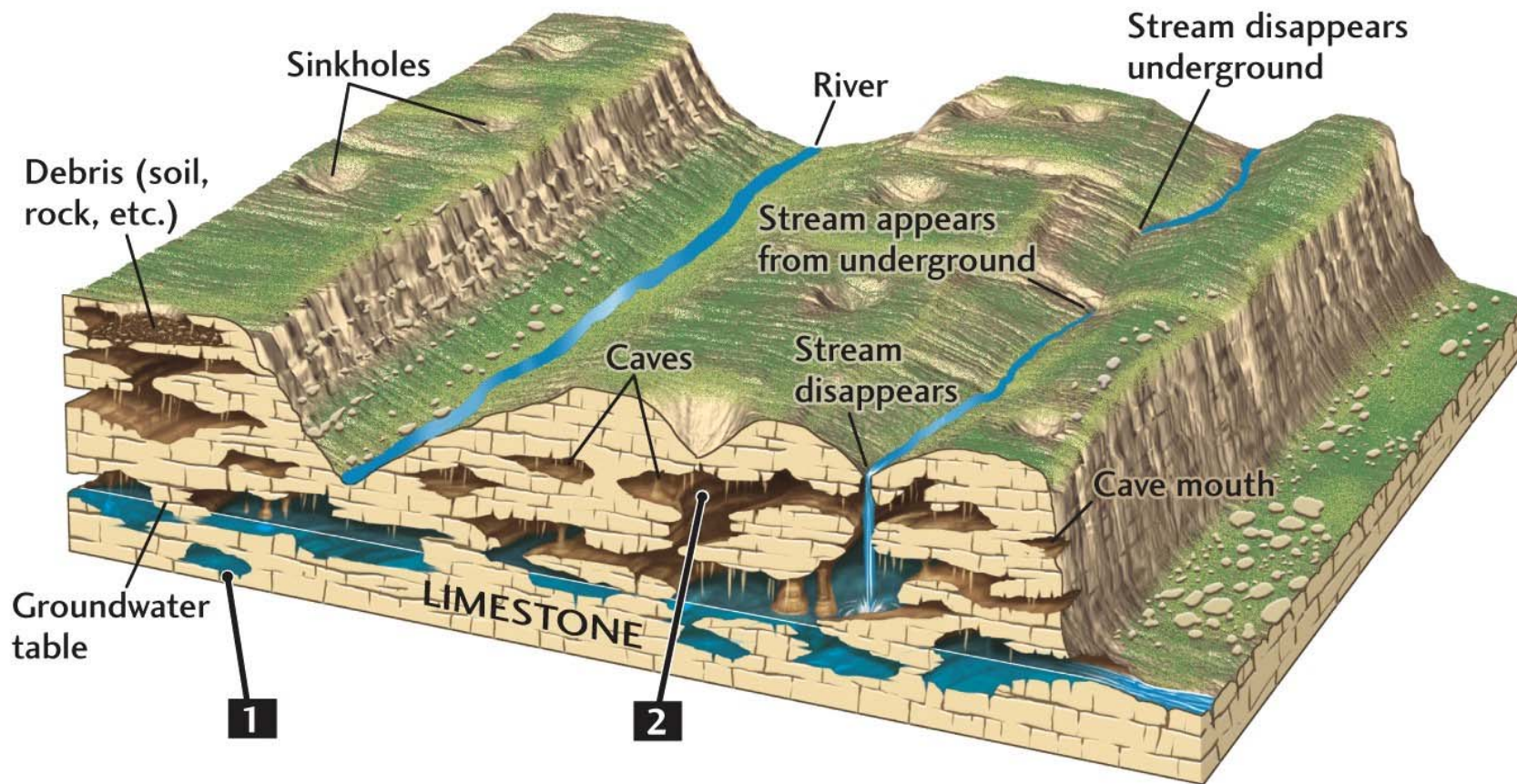


DIAGENÉTICA: POROSIDAD MÓLDICA

Moldes de evaporitas en una dolomía carniolar



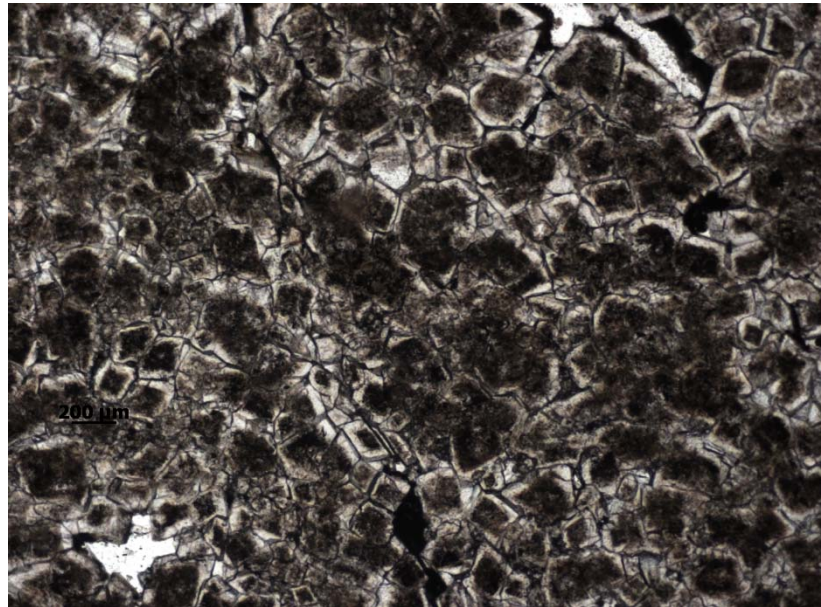
DIAGENÉTICA: POROSIDAD LIGADA A KARSTIFICACIÓN



Puede llegar a ser muy importante cuando hay desarrollo de grandes cuevas y conductos subterráneos

DIAGENÉTICA: POROSIDAD INTERCRISTALINA (LIGADA A REEMPLAZAMIENTO)

En las dolomías los huecos aparecen entre los cristales de dolomita



El desarrollo de la porosidad intercrystalina es independiente de la textura: idiotípica e hipidiotípica en los ejemplos mostrados

POROSIDAD DE FRACTURACIÓN

Afloramiento de carbonatos templados miocenos con desarrollo de un sistema de diaclasado muy penetrativo en la charnela de un antiforme



BRECHIFICACIÓN

La brechificación, independientemente de su origen, puede también llegar a generar una elevada porosidad. El ejemplo que se ilustra corresponde a una brecha de colapso con clastos dolomíticos



POROSIDAD EN CARBONATOS

Origen	Tipos y/o procesos	Características
Deposicional	Intergranular	- Interconectada → Significativa
	Intragranular	- No conectada
	Intercristalina	- Interconectada
	Intercrecimientos	- Interconectada → Significativa
	Fenestral	- No conectada
	Desecación	- No conectada
	Cobijo	- No conectada
	Perforación/bioturbación	- No conectada
Diagenética	Compactación	Reduce la porosidad
	Cementación	Reduce la porosidad
	Disolución	Incrementa la porosidad
	- Móldica	- No conectada
	- Karstificación	- Interconectada → Significativa
	Dolomitización	Incrementa la porosidad
Fracturación/ Brechificación	- Intercristalina	- Interconectada → Significativa
		Incrementa la porosidad
Mixta		- Interconectada → Significativa

En la rocas carbonatadas se combinan, en la inmensa mayoría de los casos, los efectos combinados de los controles deposicionales y diagenéticos, más los ligados a fracturación, en el desarrollo de la porosidad. Como consecuencia de ello, el resultado final puede llegar a ser tremendamente complejo

Bibliografía seleccionada

- Ahr, W.M. (2008). *Geology of Carbonate Reservoir. The identification, description, and characterization of hydrocarbon reservoirs in carbonate rocks.* John Wiley and Sons, Hoboken, New Jersey, 277 pp.
- Choquette, P.W. & Pray, L.C. (1970). Geological nomenclature and classification of porosity in sedimentary carbonates. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 54: 207-250.
- Dunham, R.J. (1962). Classification of carbonate rocks according to depositional texture. In: W.E. Ham (Ed.): *Classification of carbonate rocks. A symposium.* American Association of Petroleum Geologists Memoir 1: 108-121.
- Embry, A.F. & Klovan, J.E. (1971). A late Devonian reef tract on northeastern Banks Islands, North West Territories. *Bulletin Canadian Petroleum Geologists* 19: 730-781.
- Garland, J. Neilson, J. Laubach, S.E. & Whidden, K. J. (Eds) (2012). *Advances in carbonate exploration and reservoir analysis.* Geological Society, London, Special Publications, 370, 306 pp.
- Lucia, F.J. (2007). *Carbonate Reservoir Characterization. An integrated approach (2nd edition).* Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, 331 pp.
- Martín, J.M. (1982). Caracterización ambiental de los carbonatos marinos fósiles. *Boletín Geológico y Minero* 93: 99-114.
- Martín, J.M. & Braga, J.C. (2010). Arrecifes. En: A. Arche (Editor). *Sedimentología: del proceso físico a la cuenca sedimentaria.* CSIC, Textos Universitarios 46, XVIII: 919-970.
- Martín, J.M. Puga-Bernabéu, A. Braga, J.C. & García-Hernández, M. (2012). Microscopio virtual para las prácticas de Sedimentología de Carbonatos <http://hdl.handle.net/10481/23044>
- Scholle, P.A., Bebout, D.G. & Moore, C.H. (Eds) (1983). *Carbonate Depositional Environments.* AAPG, Memoir 33, Tulsa, Oklahoma, 700 pp.
- Scholle, P. (1987). *A color illustrated guide to carbonate rocks: constituents, textures, cements and porosities.* American Association of Petroleum Geologists Memoir 27, Tulsa, 241 pp.
- Schuhmacher, H. (1978). *Arrecifes coralinos. Su extensión, mundo animal y ecología.* Ediciones Omega, Barcelona, España, 288 pp.