

# ARRECIFES DE CORAL MIOCENOS DE LA CORDILLERA BÉTICA

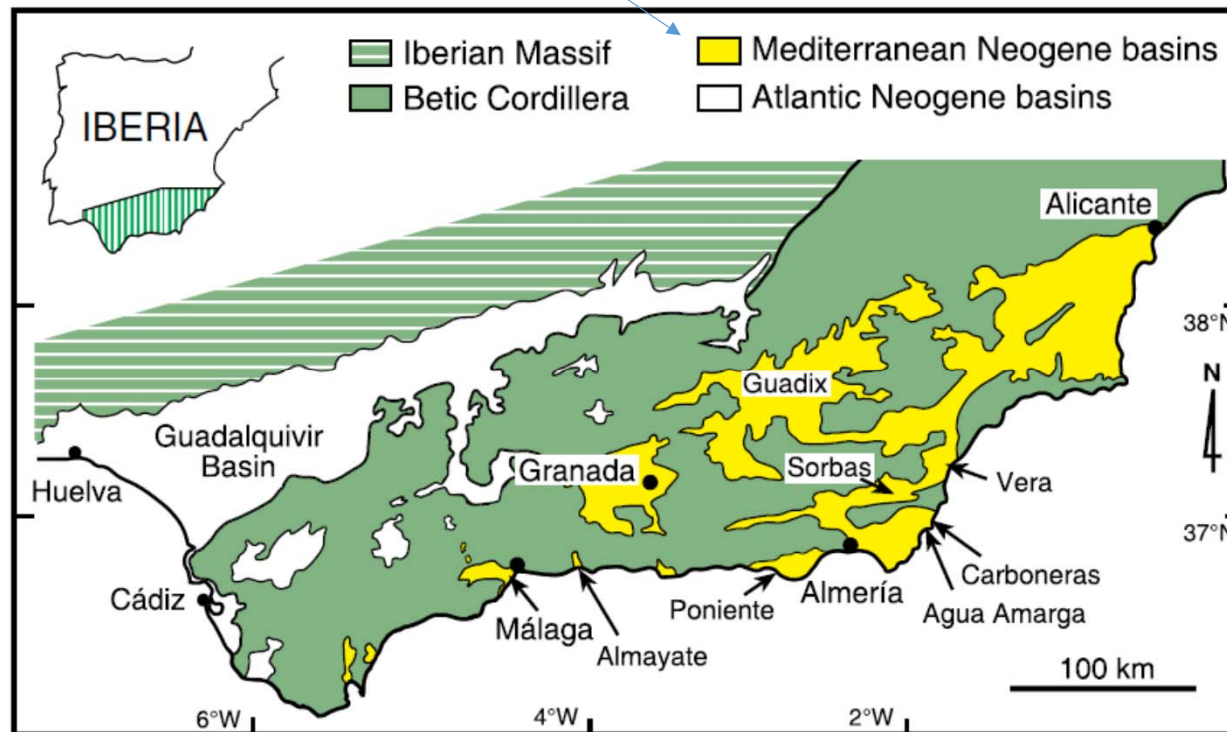
José M. Martín & Juan C. Braga

Departamento de Estratigrafía y Paleontología

Universidad de Granada

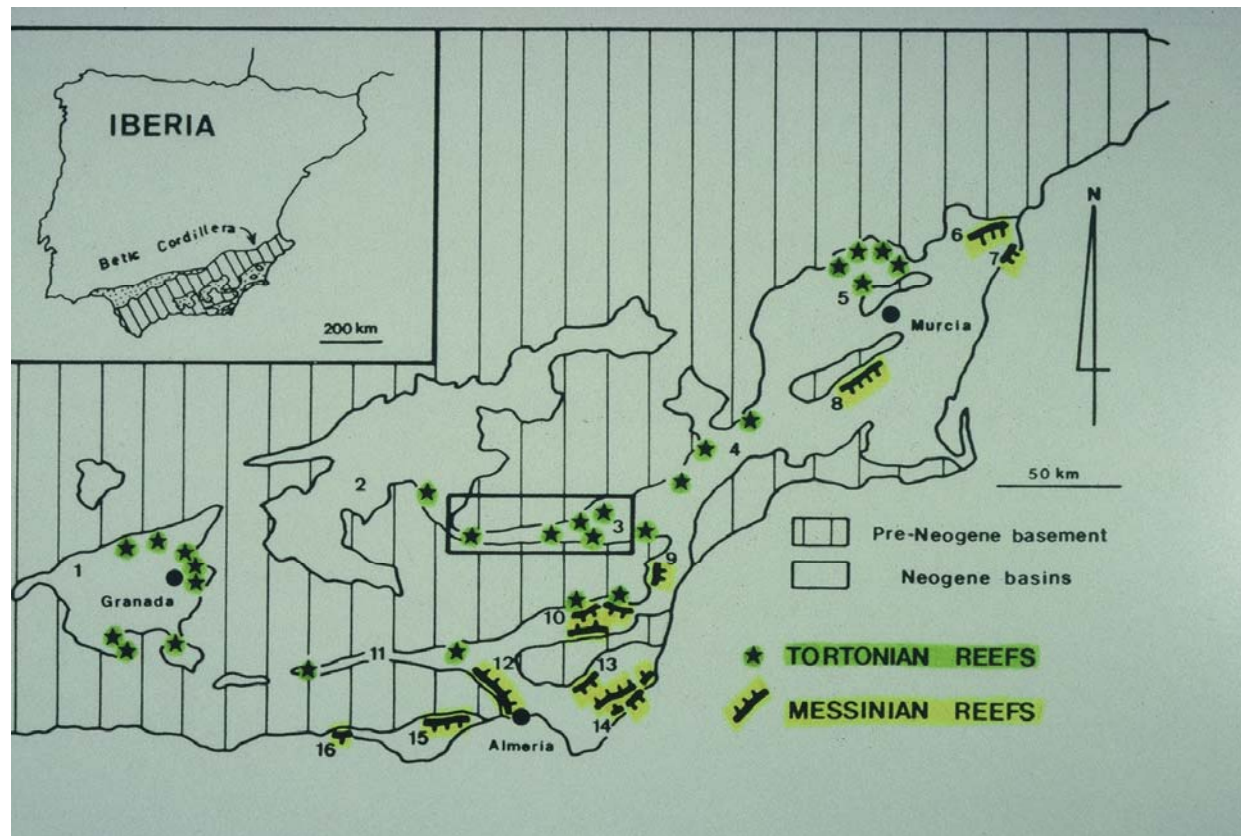
# LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA

Los arrecifes se localizan en los márgenes de las Cuencas Neógenas Béticas de filiación Mediterránea



# ENCUADRE TEMPORAL

Los episodios más importantes de desarrollo arrecifal acontecen en dos momentos concretos del Mioceno superior, en el Tortoniano superior (hace ~ 8 Ma) y en el Messiniense (hace ~ 6 Ma)

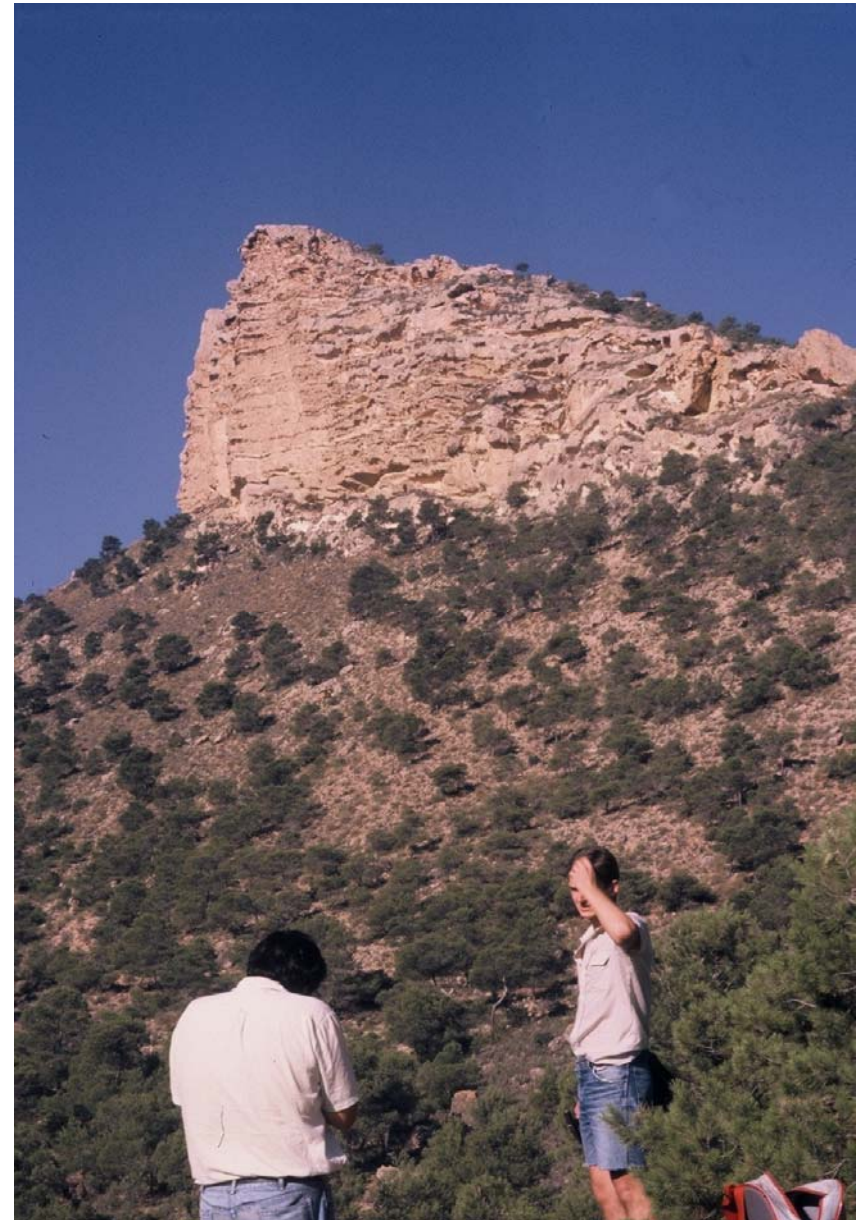


# ARRECIFES TORTONIENSES

Las calizas arrecifales alcanzan localmente espesores considerables



Las colonias de coral se acumulan directamente unas sobre otras, preservadas "en posición de vida"

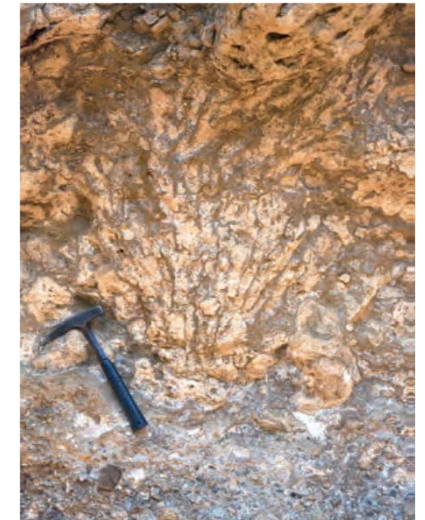




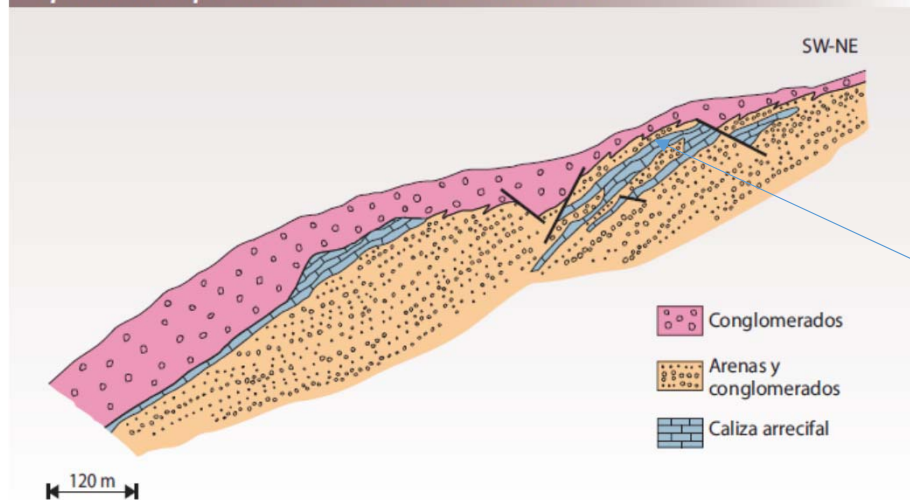
# LOS ARRECIFES TORTONIENSES DE LA DEPRESIÓN DE GRANADA

Arrecifes costeros, en márgenes estables (borde norte y alrededor de la “Isla de la Tórtola”), y pequeños parches arrecifales, relacionados con deltas y abanicos deltaicos conglomeráticos, en el margen este de la cuenca

El desarrollo de los arrecifes fue coetáneo con la sedimentación conglomerática



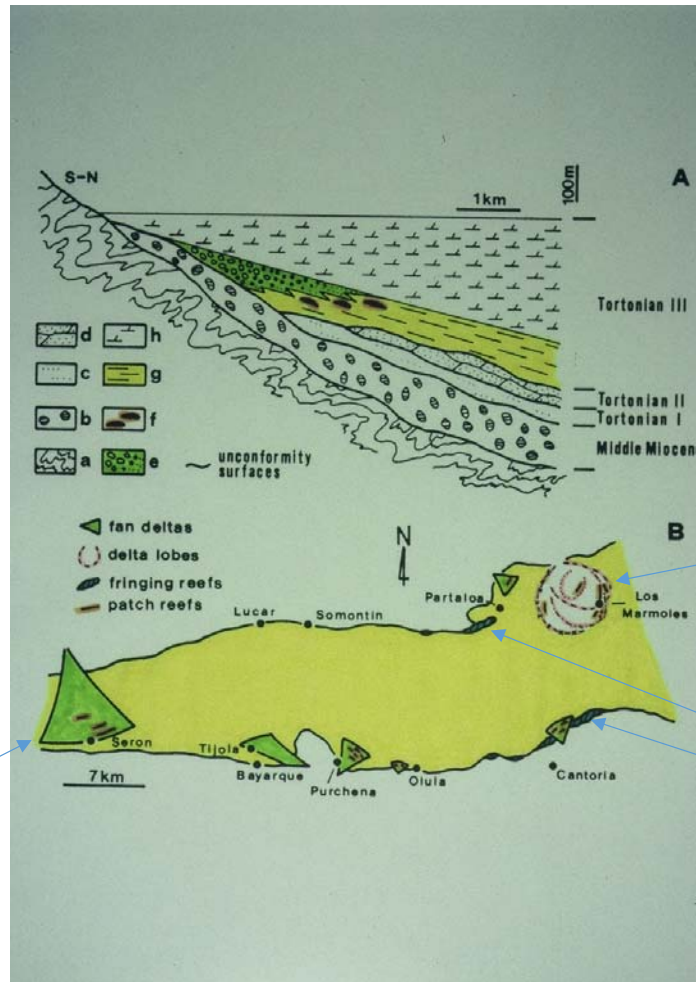
Esquema interpretativo del arrecife de monachil



# LOS ARRECIFES TORTONIENSES DEL CORREDOR DEL RÍO ALMANZORA



Pequeños parches arrecifales se localizan en la parte frontal de abanicos deltaicos



Los arrecifes colonizan lóbulos deltaicos abandonados

Hay también arrecifes costeros



# LOS CORALES TORTONIENSES

Los corales dominantes en los arrecifes tortonienses son *Porites* y *Tarbellastraea*

Las morfologías de colonias más comunes son troncocónicas invertidas y en cabezo (hemiesféricas)

Localmente aparecen también crecimientos en plato y campaniformes





# LOS PORITES

Las colonias de Porites se implantan directamente sobre sedimento terrígeno (limo en el ejemplo mostrado)



En determinados casos, debido a la escasa profundidad del agua, las colonias de coral aparecen enrasadas a techo como si hubiesen sido limpiamente cortadas con un cuchillo

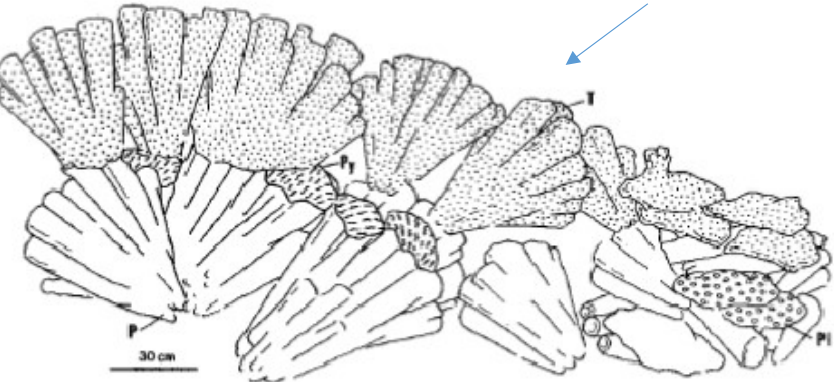
Las ramas de coral aparecen a veces encostradas por crecimientos ramosos de corallináceas (algas rojas)





# LOS CICLOS PORITES -TARBELLASTRAEA

El estudio de detalle de las estructura interna revela la existencia de ciclos Porites (P)-Tarbellastraea (T) interpretados como sucesiones ecológicas



Los niveles de Porites muestran una mayor diversidad de corales (hasta 7-8 géneros)



Platygyra (Py)



Palaeoplesiastrea (PI)

C: Corallináceas (algas rojas ramosas)

# PECULIARIDADES DE LOS ARRECIFES TORTONIENSES

Coexistencia con una sedimentación terrígena significativa. La situación, en este sentido, es comparable con la que ocurre en la actualidad en las costas orientales del Mar Rojo, donde los abanicos deltaicos ligados a las “ramblas” que drenan los escarpados relieves están localmente colonizados por arrecifes de coral

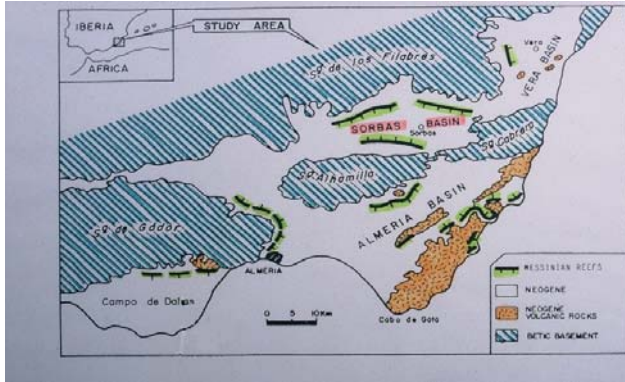


Disminución brusca de la diversidad coralina de la fase de colonización (“nivel de Porites”) a la fase de climax (“nivel de Tarbellastraea”). Sucesiones ecológicas comparables (de Porites/Acropora) se encuentran en algunos arrecifes actuales caribeños (Belize) y han sido también descritas en arrecifes de coral fósiles del Pleistoceno de Kenia



# LOS ARRECIFES MESSINIENSES

Unidad de los Biohermos y Arrecife Costero



ARRECIFES COSTEROS: Construcciones lineales muy continuas, desarrolladas a lo largo de las antiguas líneas de costa, bordeando los relieves emergidos



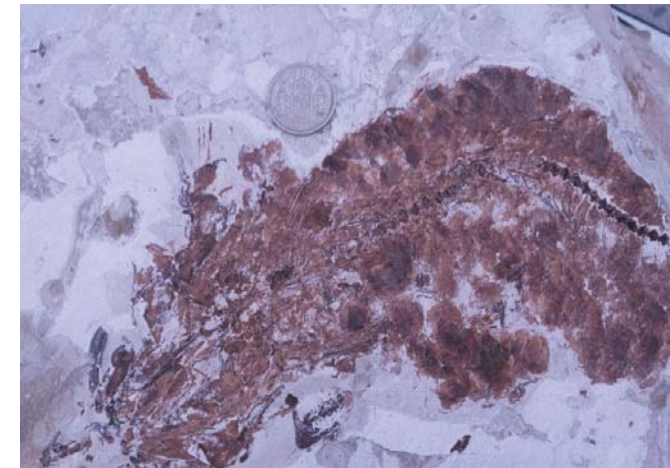
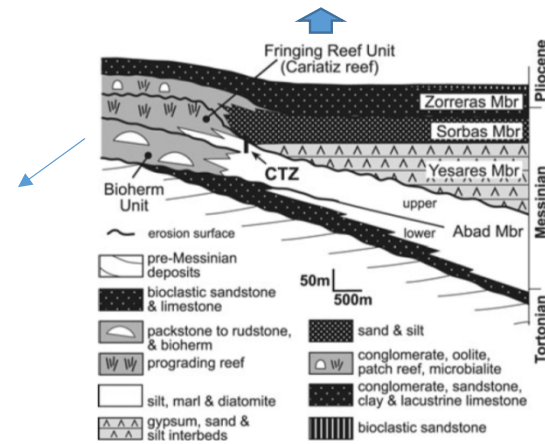
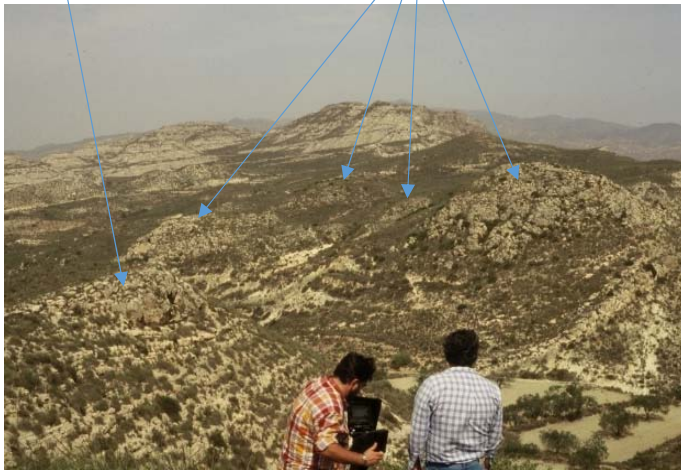
Las unidades arrecifales cambian lateralmente a margas amarillas que intercalan diatomitas con restos de peces

BIOHERMOS: Bioconstrucciones aisladas, amonticuladas



Biohermos de Halimeda

Biohermo de coral





# UNIDAD DE LOS BIOHERMOS (~ 6.5 Ma) BIOHERMOS DE CORAL

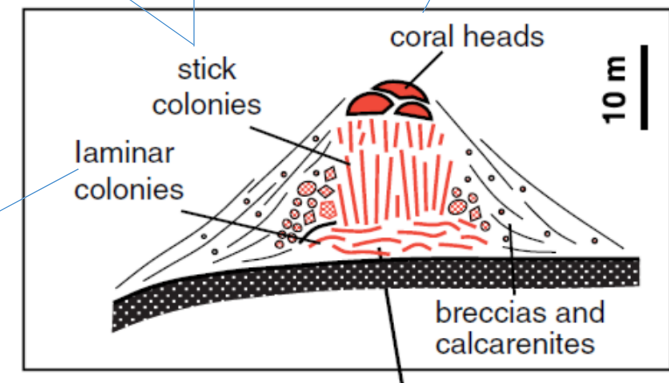


Aparecen tanto Porites como Tarbellastraea, frecuentemente rodeados por costras micríticas de origen microbiano

Se intercalan entre calcarenitas bien estratificadas

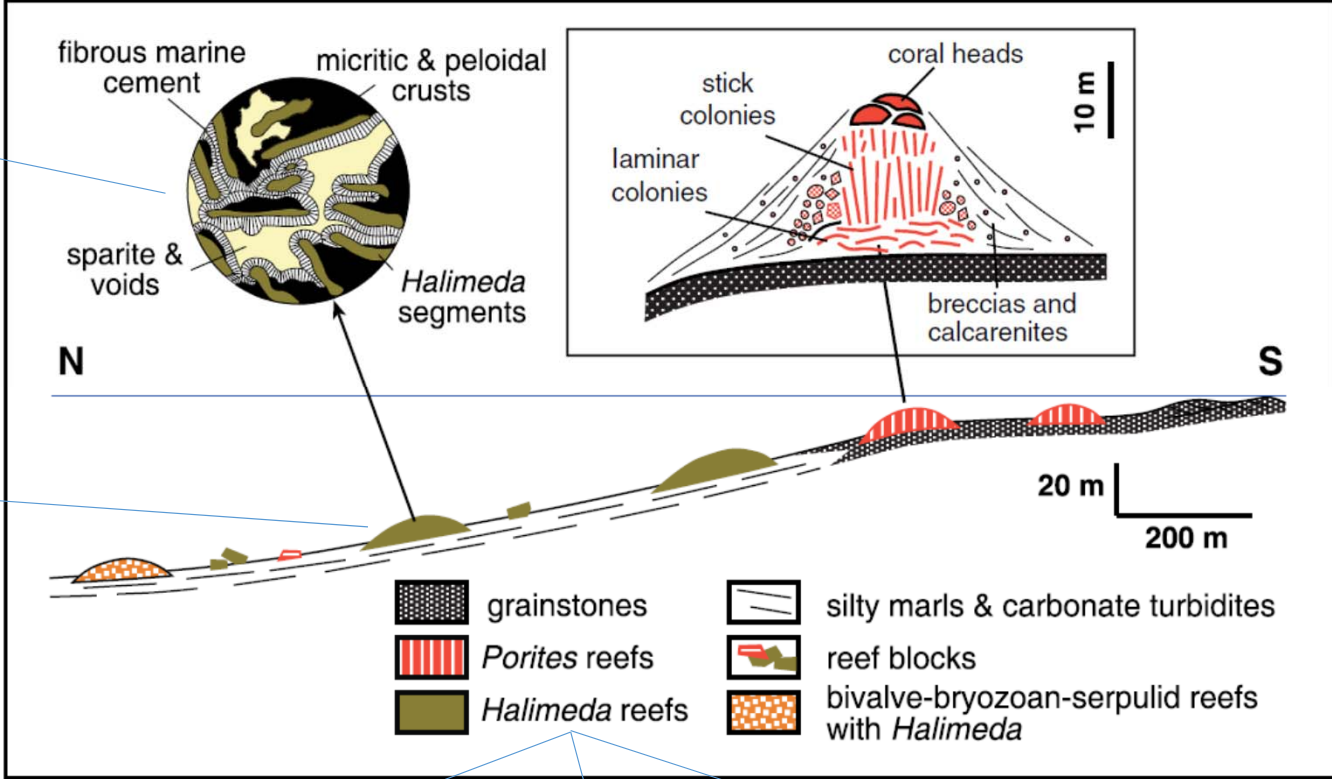


ZONACIÓN Y ESTRUCTURA INTERNA





# BIOHERMOS DE HALIMEDA



Los biohermos de Halimeda se desarrollaron a profundidades entre los 30-60 m, colonizando un substrato margoso

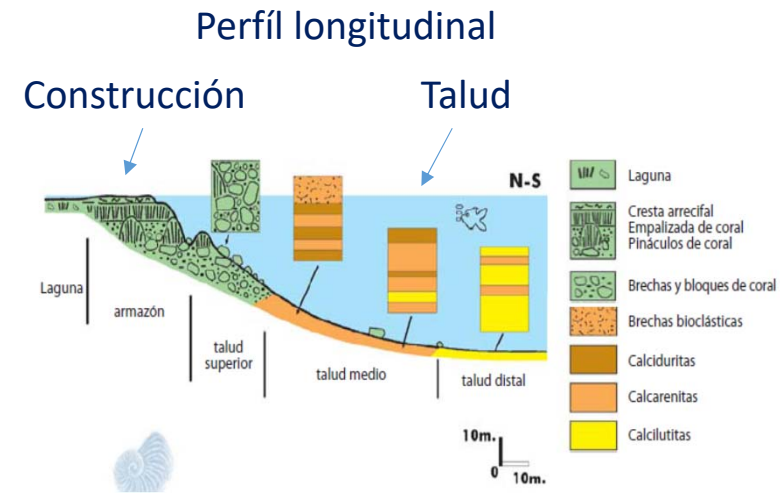
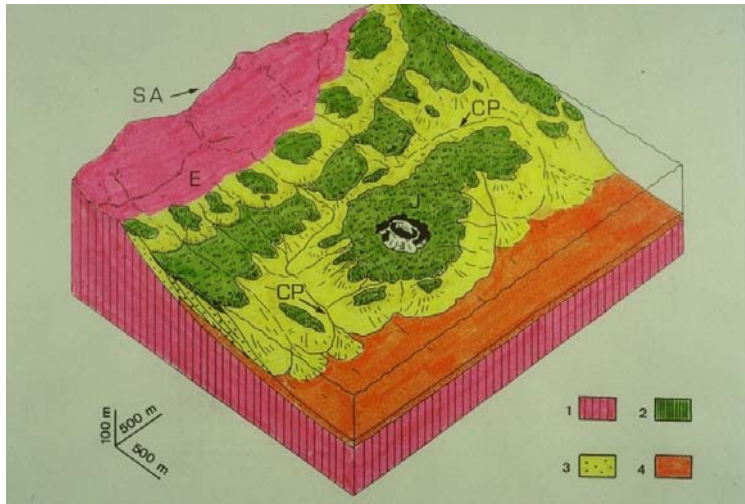


# EL ARRECIFE COSTERO (~ 6 Ma): LOS ARRECIFES DE CORALES-ESTROMATOLITOS

Pared arrecifal  
(Santa Pola)

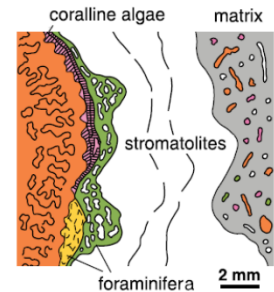
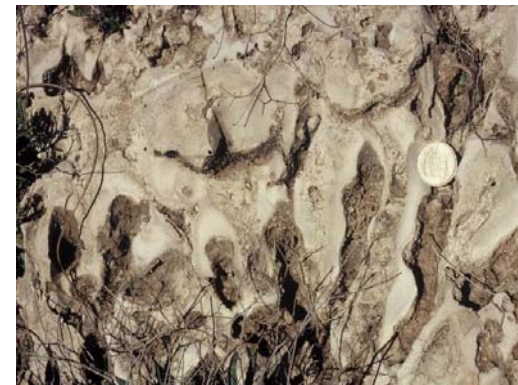


Morfología tridimensional  
(arrecife de Níjar)



Porites es el coral dominante y casi exclusivo

Los corales están encostrados por estromatolitos





# LAS COSTRAS MICROBIANAS DE LOS ARRECIFES MESSINIENSES

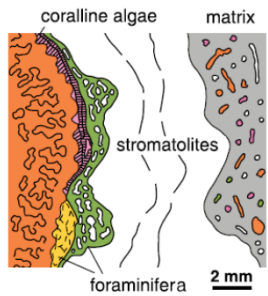
Costras similares aparecen en los arrecifes de coral Holocenos de Tahití



Coral



Costras microbianas (estromatolitos)

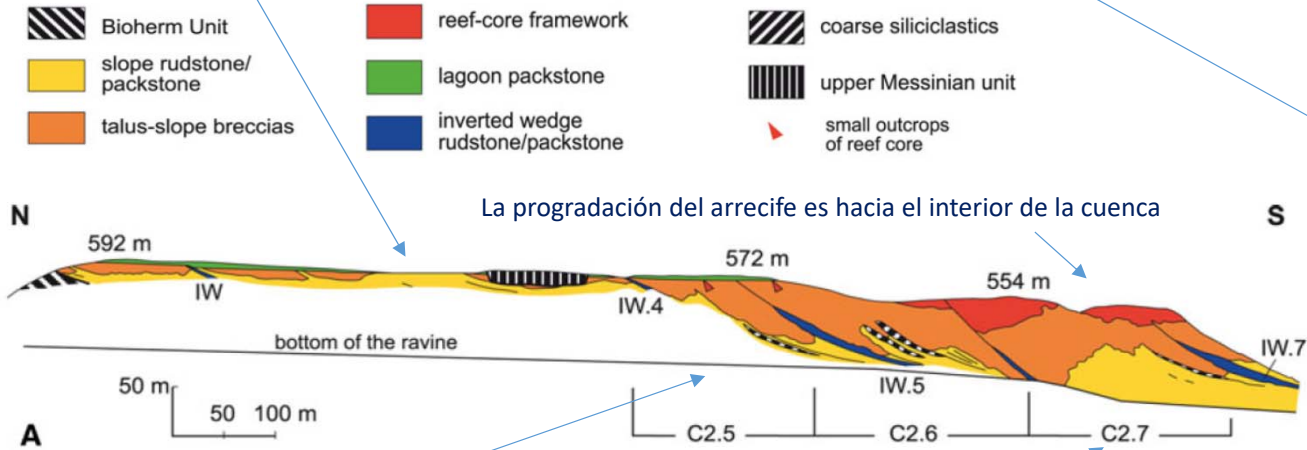


La presencia de equínidos regulares (*Arbacia*) en la matriz bioclástica de la roca arrecifal messiniense excluye salinidades anómalas

# CICLICIDAD EN EL ARRECIFE COSTERO

El arrecife costero muestra dos ordenes de ciclicidad relacionadas con fluctuaciones del nivel del mar

Ciclos de alta frecuencia: geometrías resultantes, rasgos sedimentarios y factores de control



REEF	
	<p><b>lowest temperature (bottom &amp; surface waters)</b></p> <p>lowest proportions of warm-water foraminifera                      maximal <math>\delta^{18}\text{O}</math> values                      minimal <math>\delta^{13}\text{C}</math> values                      deposition of diatomaceous sediments</p>
	<p>increasing temperature</p>
	<p><b>highest temperature</b></p> <p>highest proportions of warm-water foraminifera                      minimal <math>\delta^{18}\text{O}</math> values                      maximal <math>\delta^{13}\text{C}</math> values</p>
	<p>decreasing temperature</p>



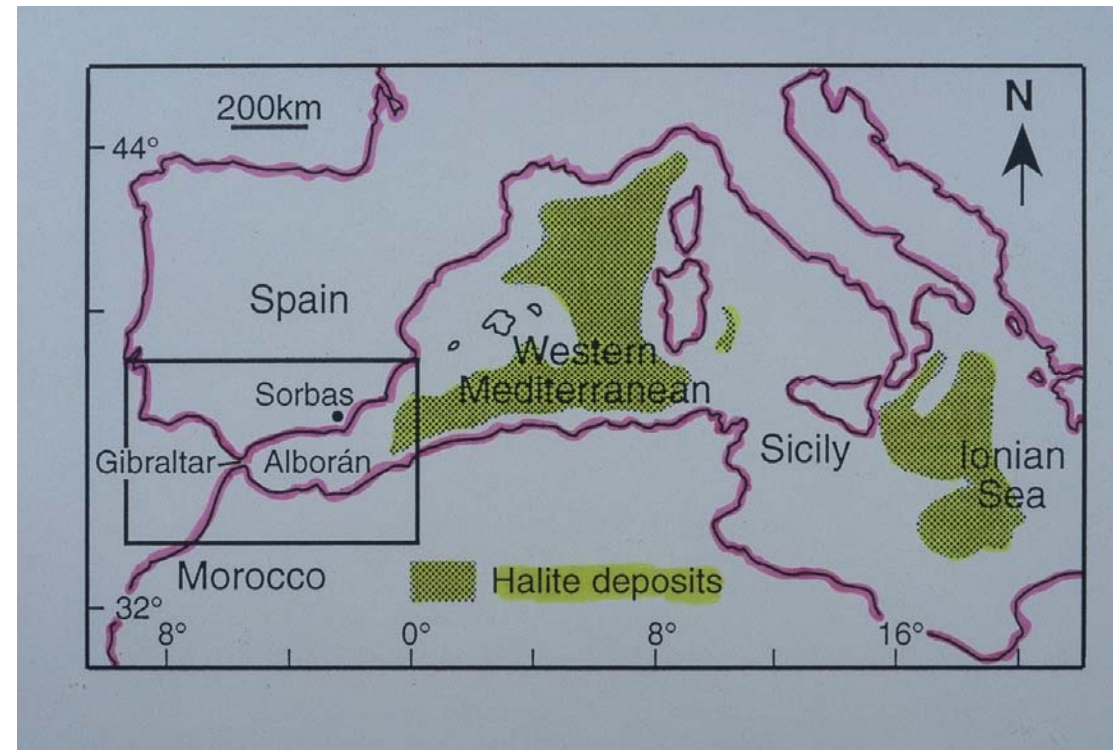


# LA CRISIS DE SALINIDAD MESSINIENSE

En el Messiniense, hace  $\sim 5.9$  Ma, el Mar Mediterráneo quedó desconectado del Océano Atlántico

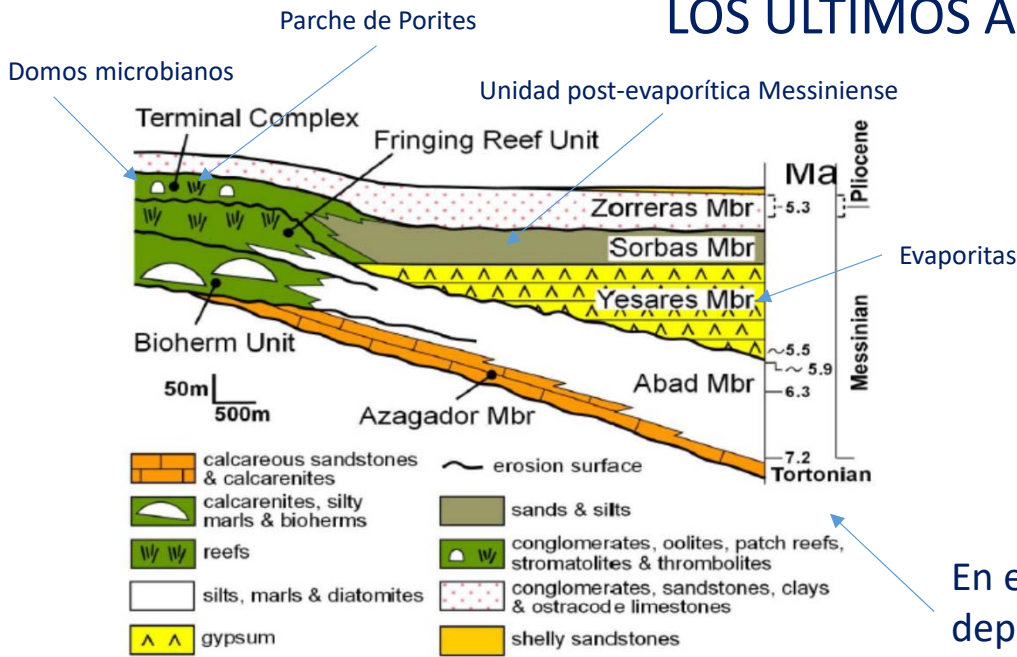


Como consecuencia de ello el Mediterráneo se secó, depositándose grandes masas de sal (halita) en las zonas más profundas del mismo y de sulfato (yeso) en los márgenes, desapareciendo todo vestigio de vida marina (incluyendo los arrecifes de coral)

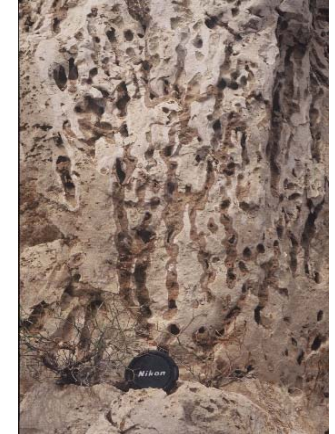
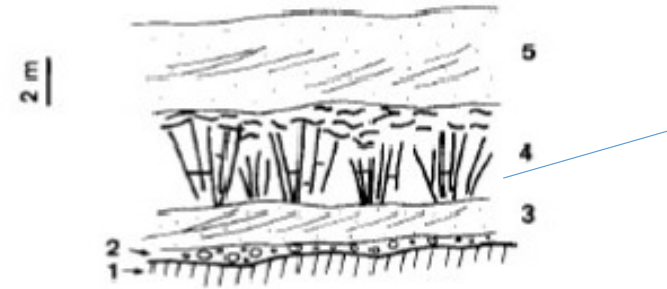




# LOS ÚLTIMOS ARRECIFES DE CORAL DEL MEDITERRÁNEO



Se trata de pequeños parches arrecifales, constituidos exclusivamente por Porites



En el Messiniense terminal (hace ~ 5.4 Ma), con posterioridad al depósito de las evaporitas ligadas a la Crisis de Salinidad, se volvieron a formar arrecifes de coral

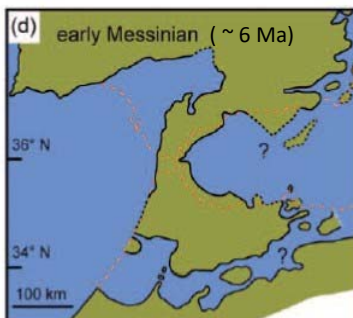
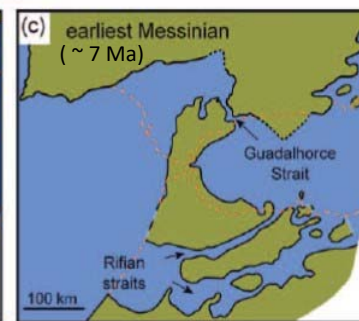
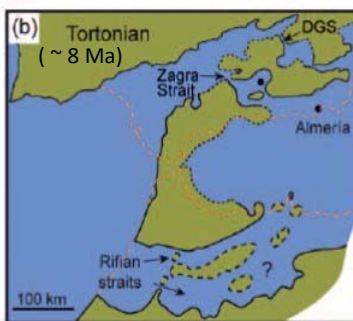
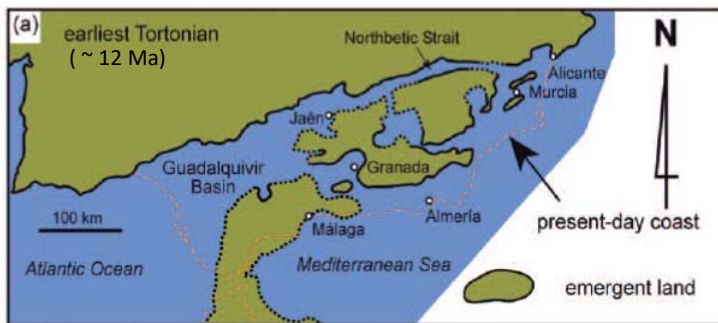
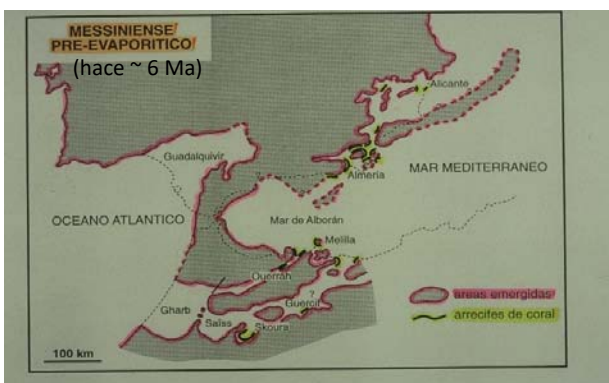
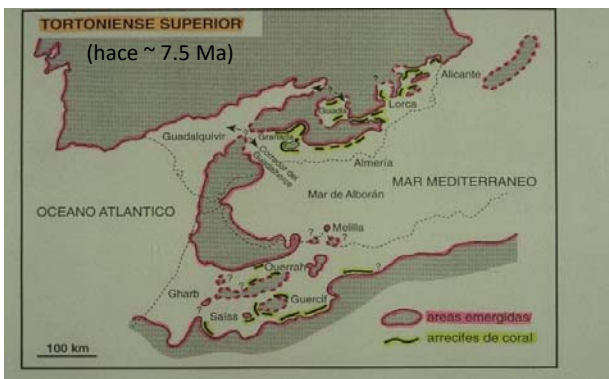


Coexisten en el tiempo con grandes domos microbianos (estromatolitos y trombolitos). La gran abundancia de estructuras microbianas se liga al carácter oportunista de los microorganismos que las forman, que proliferaron ampliamente recolonizando gran parte de los nichos ecológicos existentes tras la Crisis de Salinidad



# LOS ARRECIFES DE CORAL Y LOS GRANDES CAMBIOS PALEOGEOGRÁFICOS

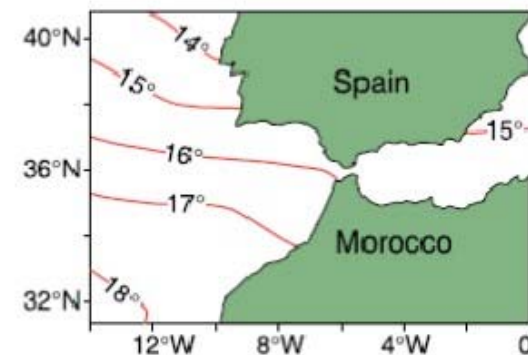
Los arrecifes de coral son herramientas muy útiles a la hora de trazar las posiciones de las antiguas líneas de costa



En la Cordillera Bética los primitivos relieves surgieron como islas que fueron progresivamente engrosándose conforme esta fue levantando, al tiempo que se iban cerrando las conexiones Atlántico-Mediterráneo

## LA AUSENCIA DE ARRECIFES CORAL EN EL MEDITERRÁNEO ACTUAL

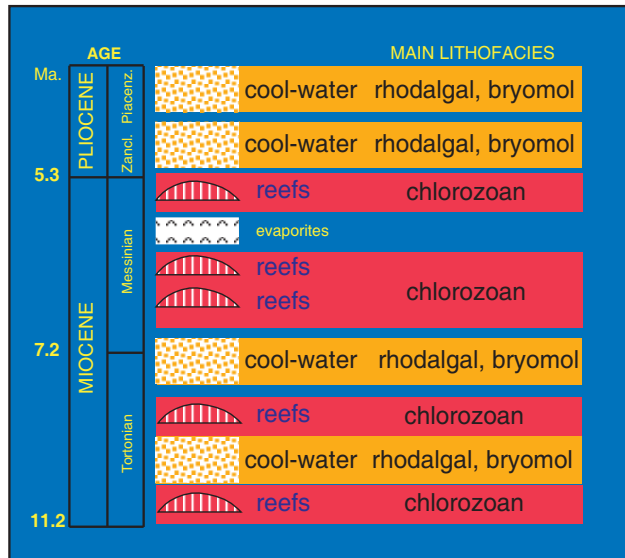
Las condiciones climáticas frías imperantes durante el Cuaternario (~ últimos 2 Ma) impiden el crecimiento y desarrollo de arrecifes de coral en el Mediterráneo actual



Al inicio del Plioceno, la apertura del Estrecho de Gibraltar, mas al norte de los antiguos Estrechos Rifeños, conllevó la desaparición definitiva de los arrecifes de coral en el Mediterráneo, con la entrada de aguas superficiales, mas frías, desde el Atlántico

# LOS ARRECIFES DE CORAL Y LOS CAMBIOS CLIMÁTICOS

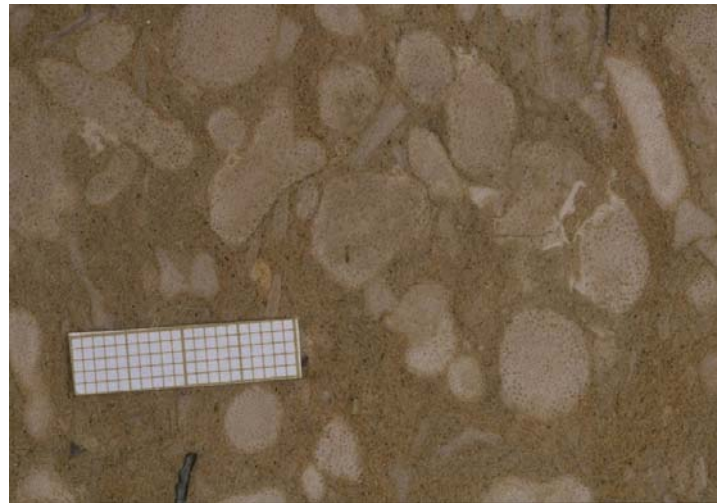
Carbonatos templados



En el registro estratigráfico del Neógeno superior (Mioceno superior-Plioceno) mediterráneo alternan los carbonatos de aguas frías (templados) con los aguas cálidas (tropicales). Los templados se generaron en las plataformas marinas en condiciones similares al las del Mediterráneo actual, con temperaturas medias del agua en superficie en invierno entre los 14 y 17 °C; cuando se formaron los tropicales (arrecifes de coral) dicha temperatura igualó o superó los 20 °C

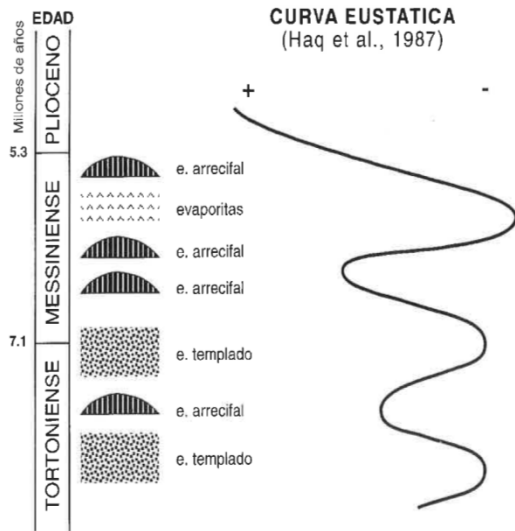
Carbonatos tropicales

La asociación biótica típica de los carbonatos templados, en la que los corales hermatípicos (coloniales) y las algas verdes (Halimeda) están ausentes, incluye abundantes restos de bivalvos, briozoos y algas rojas





# CONSECUENCIAS DE LOS CAMBIOS CLIMÁTICOS DEL MIOCENO SUPERIOR EN EL DESARROLLO ARRECIFAL



El tipo de carbonato depositado en las plataformas marinas miocenas mediterráneas se relaciona con variaciones en la temperatura del agua del mar, a su vez conectadas con variaciones de nivel del mar. Los carbonatos templados correlacionan con los episodios de bajo nivel del mar. Los tropicales con los de alto nivel del mar. Estas variaciones de nivel del mar a escala global van presumiblemente ligadas a la contracción y expansión de los casquetes polares

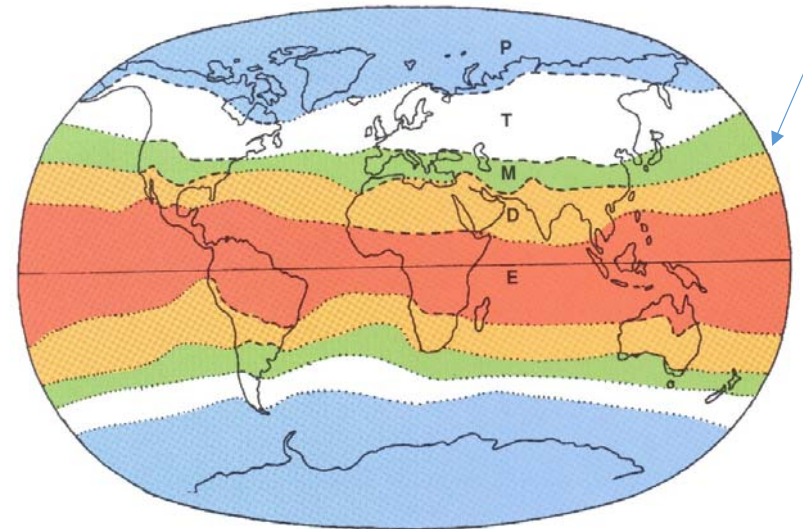
Cinturones climáticos.

P: Polar; T: Templado; M: Templado Mediterráneo;  
D: Desértico (Tropical); E: Ecuatorial

En los episodios fríos los casquetes polares se expanden y todo el área mediterránea queda englobada dentro del cinturón climático templado, al desplazarse el límite templado/tropical hacia el sur. En los episodios cálidos los casquetes polares funden significativamente, el cinturón tropical (desértico) conquista el área mediterránea, y las condiciones se tornan subtropicales y favorables, por tanto, al desarrollo de los arrecifes de coral

La disminución en la diversidad coralina del Tortoniense al Messiniense es consecuencia del progresivo enfriamiento climático que experimenta la Tierra, a escala global, en el Mioceno superior. Los Porites, como coral resistente a temperaturas y salinidades algo más "extremas", son los únicos que subsisten, en el Messiniense terminal, en los bordes del cinturón climático tropical en el área mediterránea

Límite clave: Templado/Tropical



## Bibliografía seleccionada

- Braga, J.C. and Martín, J.M. (1996). Geometries of reef advance in response to relative sea-level changes in a Messinian (uppermost Miocene) fringing reef (Cariatiz reef, Sorbas Basin, SE Spain). *Sedimentary Geology*, 107: 61-81.
- Braga, J.C., Martín, J.M. and Alcalá, B. (1990). Coral reefs in coarse-terrigenous sedimentary environments (Upper Tortonian, Granada Basin, southern Spain). *Sedimentary Geology*, 66: 135-150.
- Braga, J.C., Martín, J.M. and Riding, R. (1996). Internal structure of segment reefs: *Halimeda* algal mounds in the Mediterranean Miocene. *Geology*, 24: 35-38.
- Braga, J.C., Martín, J.M., Betzler, C. and Aguirre, J. (2006). Models of temperate carbonate deposition in Neogene basins in SE Spain: a synthesis. In: *Cool-water Carbonates: Depositional Systems and Palaeoenvironmental Control* (M. Pedley and G. Carannante, Editors). Geological Society of London, Special Publications, 255: 121-135.
- Braga, J.C., Martín, J.M., Riding, R., Aguirre, J., Sánchez-Almazo, I.M. and Dinarès-Turell, J. (2006). Testing models for the Messinian salinity crisis: the Messinian record in Almería, SE Spain. *Sedimentary Geology*, 188-189: 131-154.
- Crame, J. A. 1980: Succession and diversity in the Pleistocene coral reefs of the Kenya coast. *Palaeontology*, 23: 1-37.
- Crame, J. A. 1981: Ecological stratification in the Pleistocene coral reefs of the Kenyan coast. *Palaeontology*, 24: 609-646.
- Dabrio, C.J., Esteban, M. and Martín, J.M. (1981). The coral reef of Níjar, Messinian (Uppermost Miocene), Almería Province, S.E. Spain. *Journal of Sedimentary Petrology*, 51: 521-539.
- Esteban, M., Braga, J.C., Martín, J.M. and Santisteban, C. (1996). Western Mediterranean reef complexes. In: *Models for Carbonate Stratigraphy from Miocene Reef Complexes of the Mediterranean Regions* (E. Franseen, M. Esteban, B. Ward and J.M. Rouchy, Editors). Society of Economic Paleontologists and Mineralogists (SEPM), Concepts in Sedimentology and Paleontology Series 5, Tulsa, Oklahoma, p. 55-72.
- Hayward, A.B. (1982). Coral reefs in a clastic sedimentary environment: fossil (Miocene, SW Turkey) and modern (Recent, Red Sea). *Coral Reefs*, 1: 109-114.
- Hsü, K.J., Montadert, L., Bernoulli, D., Cita, M.B., Erickson, A., Barrison, R.E., Kidd, R.B., Melières, F., Müller, C. and Wright, R. (1977). History of the Messinian salinity crisis. *Nature*, 267: 399-403.
- Martín, J.M. and Braga, J.C. (1994). Messinian events in the Sorbas Basin in southeastern Spain and their implications in the recent history of the Mediterranean. *Sedimentary Geology*, 90: 257-268.
- Martín, J.M. and Braga, J.C. (2010). Arrecifes. En: *Sedimentología* (A. Arche, Editor). Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), Servicio de Publicaciones, Textos Universitarios 46, Capítulo XVIII, p. 919-970.
- Martín, J.M., Braga, J.C. and Rivas, P. (1989). Coral successions in Upper Tortonian reefs in SE Spain. *Lethaia*, 22: 271-286.
- Martín, J.M., Braga, J.C. and Riding, R. (1993). Siliciclastic stromatolites and thrombolites, late Miocene, S.E. Spain. *Journal of Sedimentary Petrology*, 63: 131-139
- Martín, J.M., Braga, J.C. and Riding, R. (1997). Late Miocene *Halimeda* alga-microbial segment reefs in the marginal Mediterranean Sorbas Basin, Spain. *Sedimentology*, 44: 441-456.
- Martín, J.M., Braga, J.C., Sánchez-Almazo, I.M. and Aguirre, J. (2010). Temperate and tropical carbonate-sedimentation episodes in the Neogene Betic basins (southern Spain) linked to climatic oscillations and changes in Atlantic-Mediterranean connections: constraints from isotopic data. In: *Carbonate systems during the Oligocene-Miocene climatic transition* (M. Mutti, W. Piller & C. Betzler, Editors). International Association of Sedimentologists (IAS), Special Publication, 42: 49-70.
- Martín, J.M., Puga-Bernabéu, A., Aguirre, J. and Braga, J.C. (2014). Miocene Atlantic-Mediterranean seaways in the Betic Cordillera (southern Spain). *Revista de la Sociedad Geológica de España* 27 (1): 175-186.
- Montaggioni, L.F. and Camoin, G.F. (1993). Stromatolites associated with coralgal communities in Holocene high-energy reefs. *Geology*, 21 (2): 149-152.
- Riding, R., Martín, J.M. and Braga, J.C. (1991). Coral-stromatolite reef framework, Upper Miocene, Almería, Spain. *Sedimentology*, 38: 799-818.
- Wallace, R. J. and Schafersman, S. D. (1977). Patch-reef ecology and sedimentology of Glovers Reef Atoll, Belize. In: *Reefs and related carbonates - ecology and sedimentology* (M. P. Frost, M.P. Weiss and J. B. Saunders, J. B., Editors). American Association of Petroleum Geologists (AAPG), Studies in Geology, 4: 37-52.