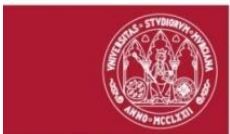


Situación del Mar Menor

UNA MIRADA
GLOBAL
SOBRE EL
MAR MENOR



Angel Pérez-Ruzafa
Universidad de Murcia



UNIVERSIDAD DE
MURCIA

VII JORNADA
AGUA Y SOSTENIBILIDAD
Murcia, 11 de mayo de 2018

cas
CÁTEDRA DEL AGUA
Y LA SOSTENIBILIDAD

Las actividades humanas en el Mar Menor tienen una larga historia

C.II B.C.-IV A.C. C.VIII-XIII C.XIII-XVI C.XVIII 1829 1878 1888 1900 1950-60 1960-70 1970-81

CAZA



AGRICULTURA



PESCA



ACUICULTURA



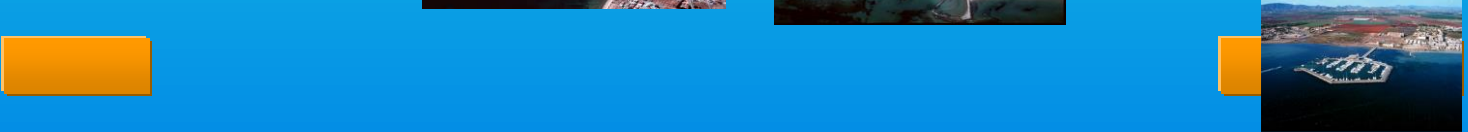
MINERÍA



DESARROLLO COSTERO



CONSTRUCCIÓN DE PUERTOS



TERRENOS GANADOS AL MAR



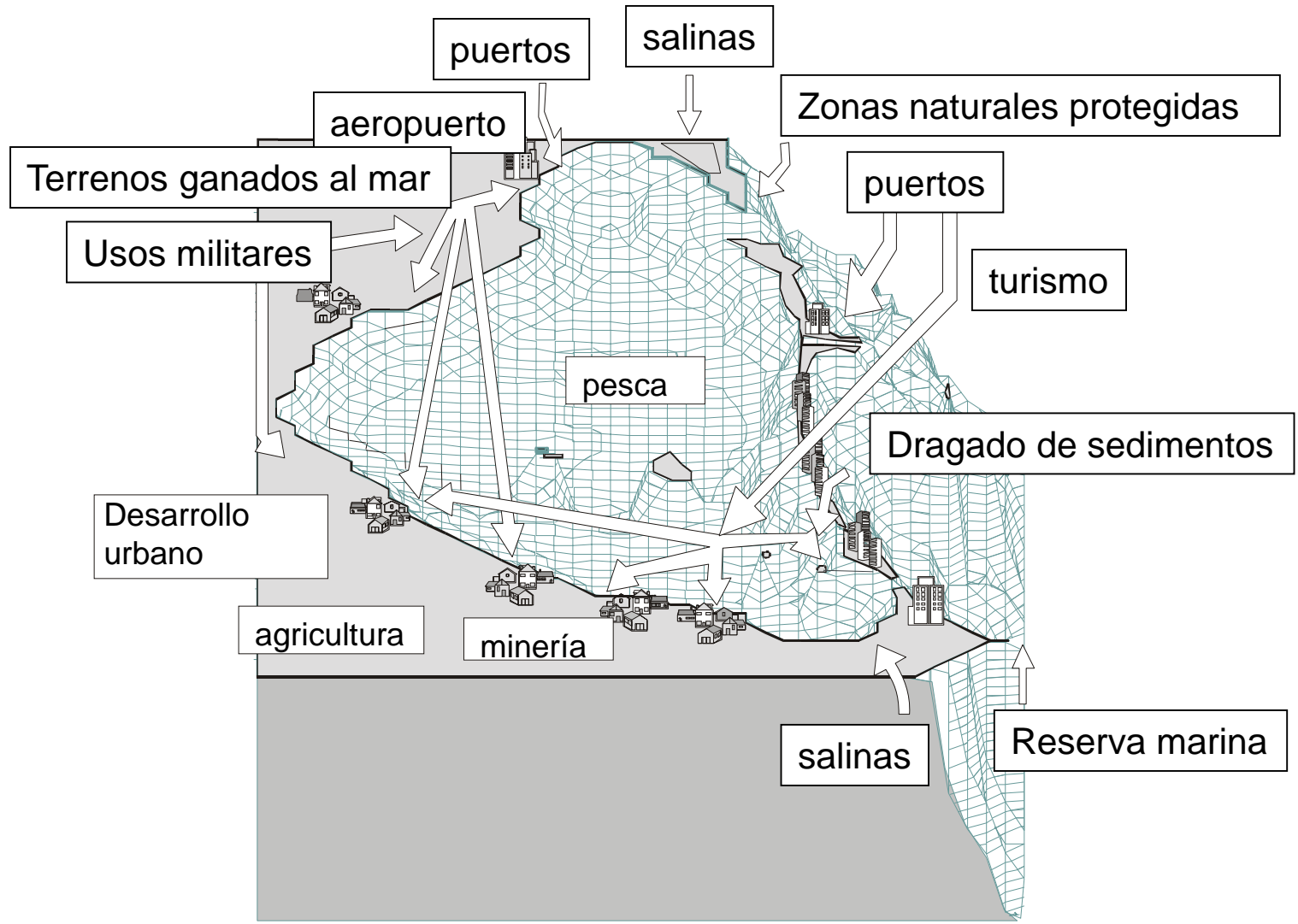
SALINAS



Actividades humanas en el Mar Menor



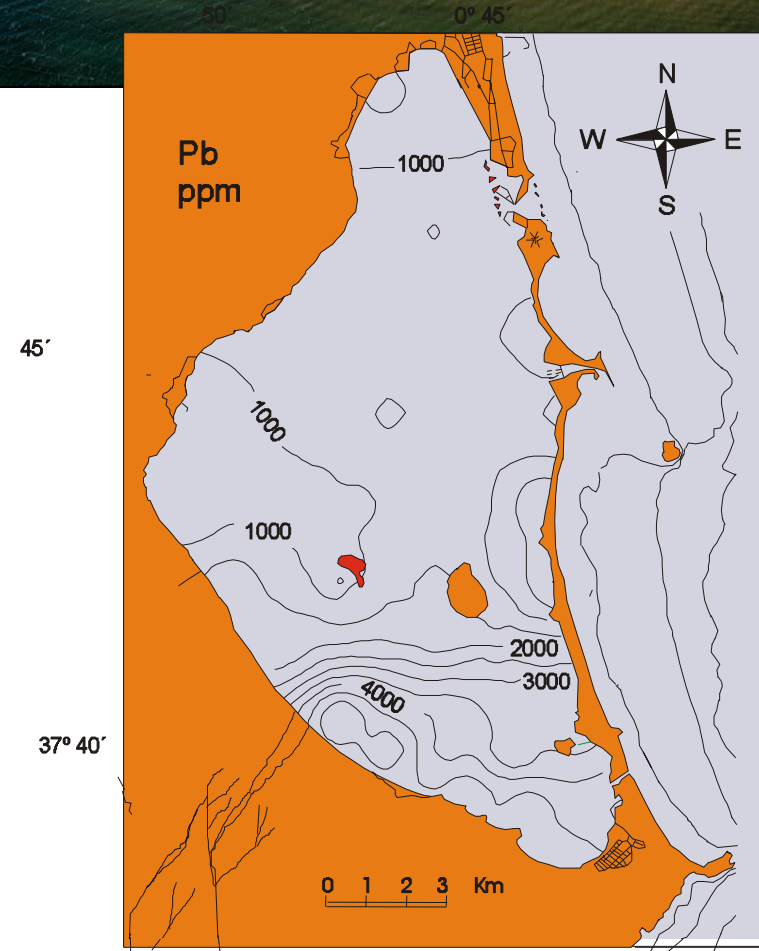
y se concentran en un espacio reducido



El Mar Menor: un sistema bajo presión



La minería se remonta a tiempos de los romanos y, hasta los años 1960 aportó sedimentos con altas concentraciones de plomo y zinc a la laguna a través de las ramblas y aún hoy puede aportar materiales.



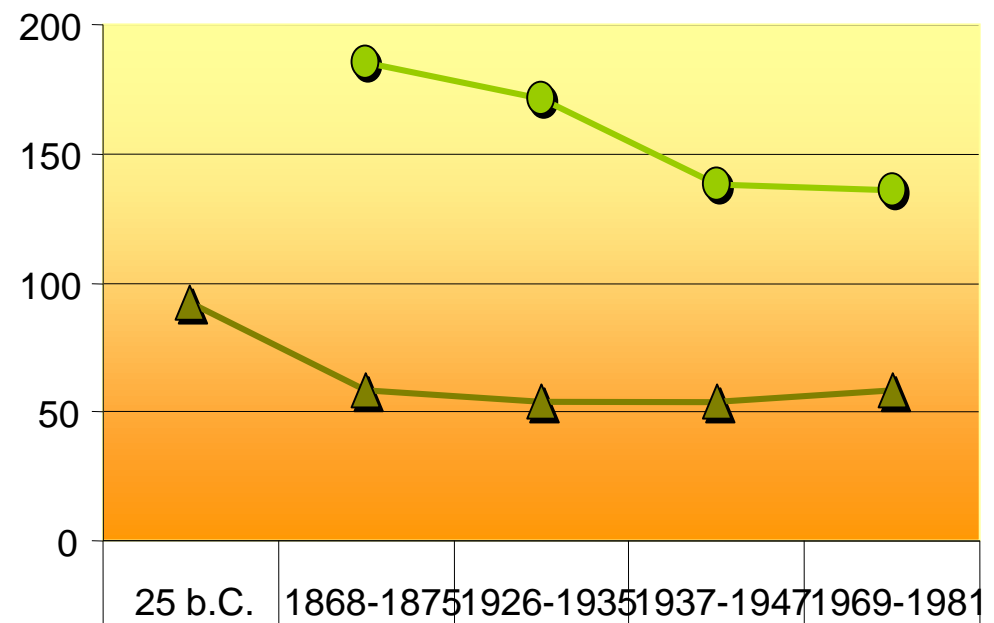
La actividad salinera, que por el contrario favorece la heterogeneidad ambiental y la biodiversidad, sin embargo, está siendo abandonada por falta de “rentabilidad económica”



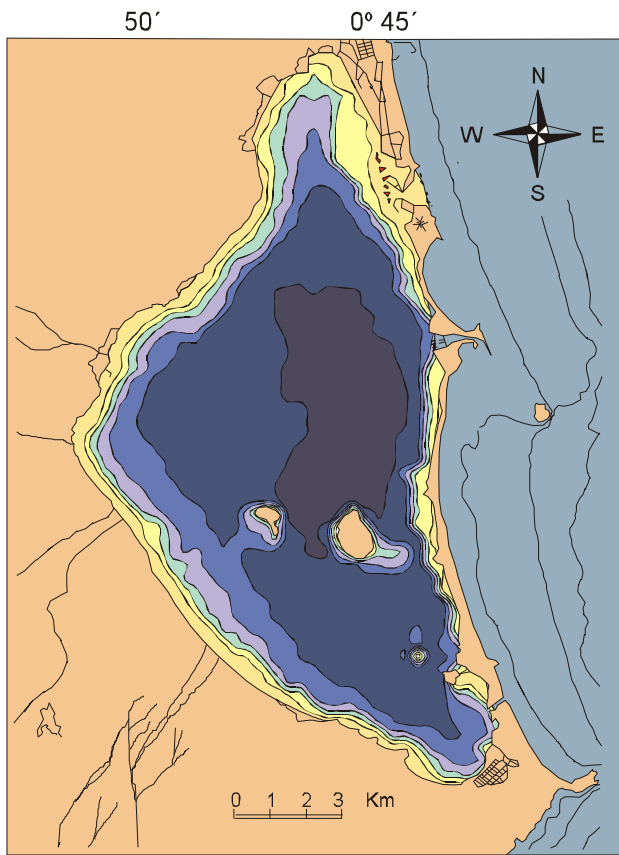
El crecimiento urbanístico ha ocupado y artificializado la mayor parte de la costa



Las obras costeras han cambiado la geomorfología de la laguna disminuyendo su superficie y alterando su perímetro.

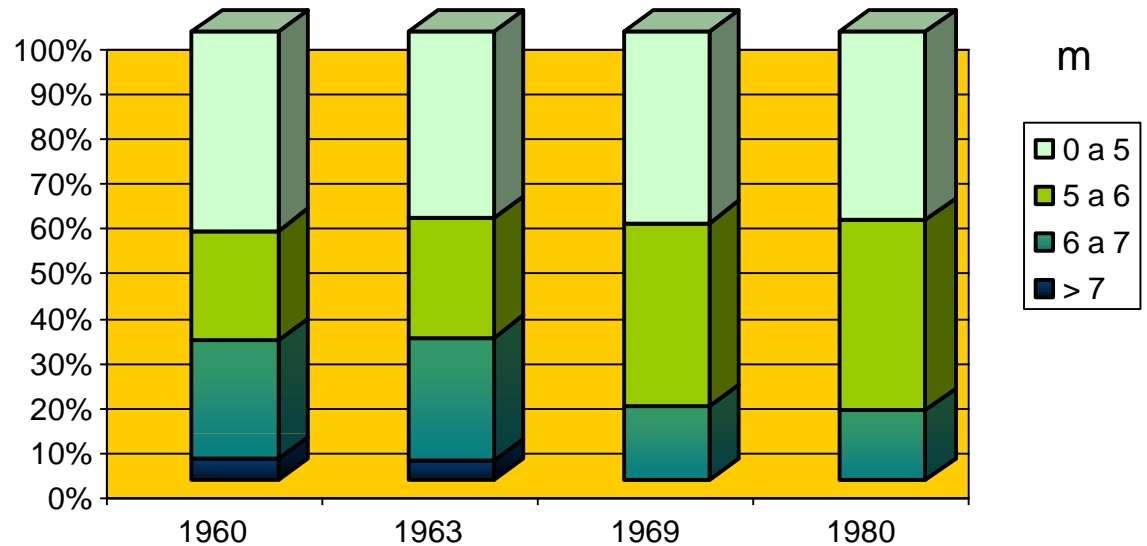


▲ Perímetro (Km)	92,592	58,5	54	54	58
● Superficie (Km ²)		185	171,5	138,23	135,76

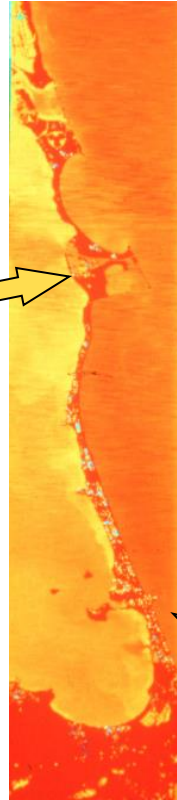


Las tasas de sedimentación han aumentado, primero por causa de las deforestaciones en la edad media y actualmente debido a las obras costeras, alcanzan los 30 cm por siglo, con lo que las profundidades máximas se han visto muy reducidas.

Evolución de la profundidad en el Mar Menor a lo largo de su evolución



Efectos de la apertura de canales



Pero una de las actuaciones que más ha afectado al funcionamiento del Mar Menor ha sido la apertura de canales artificiales de comunicación con el Mediterráneo

El Estacio

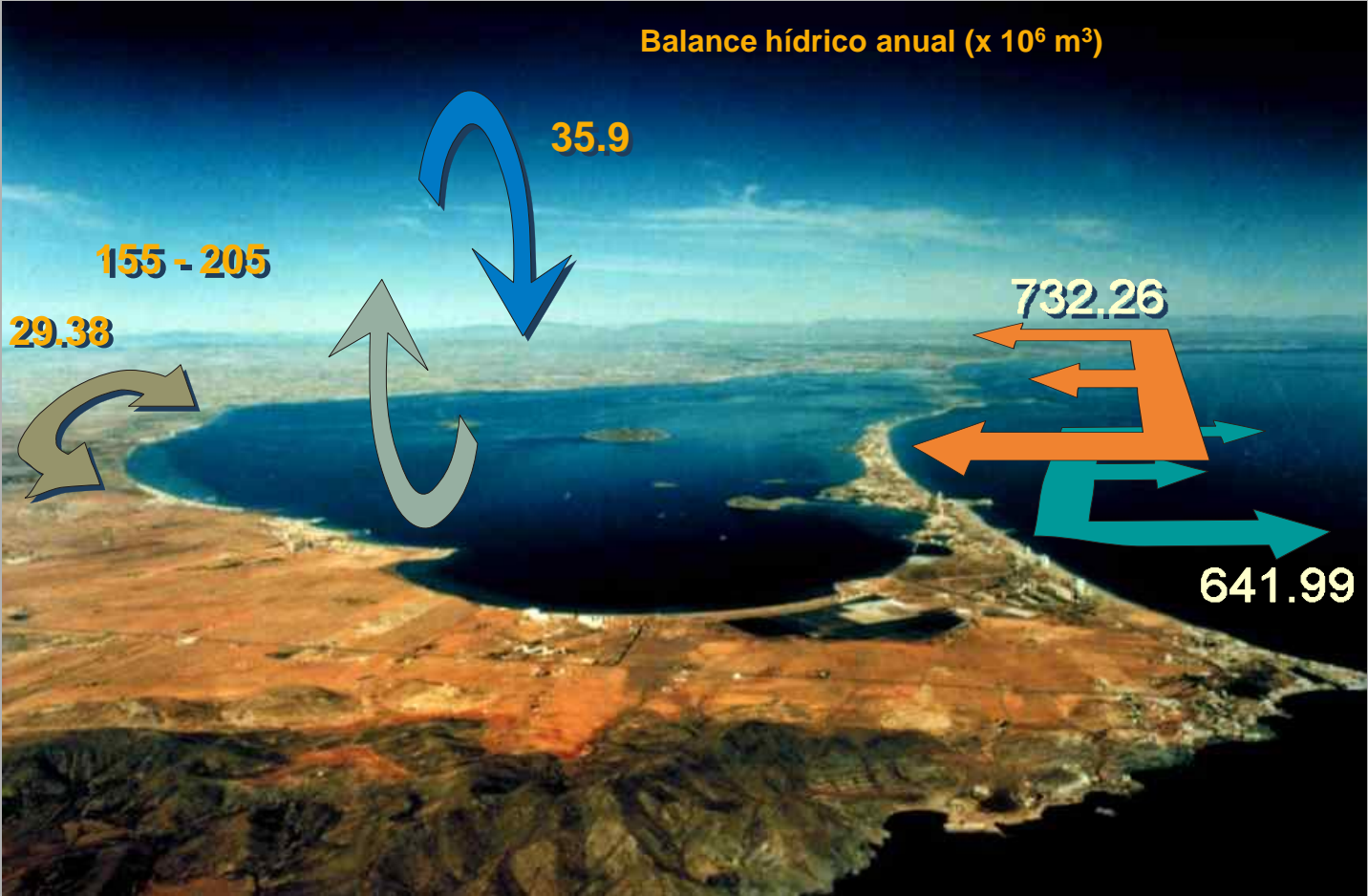
(dragado y ensanchado en 1973)

Marchamalo

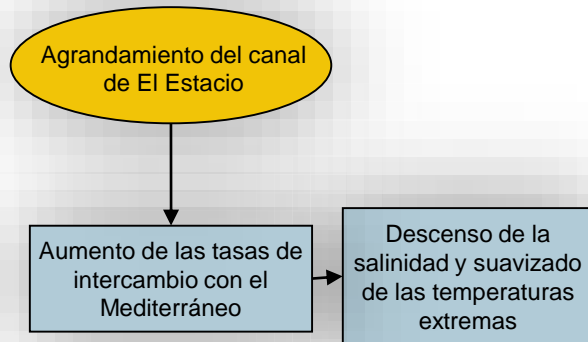
(abierto en 1878)



El dragado y ensanche del canal del Estacio indujo importantes cambios hidrológicos e hidrodinámicos en el Mar Menor



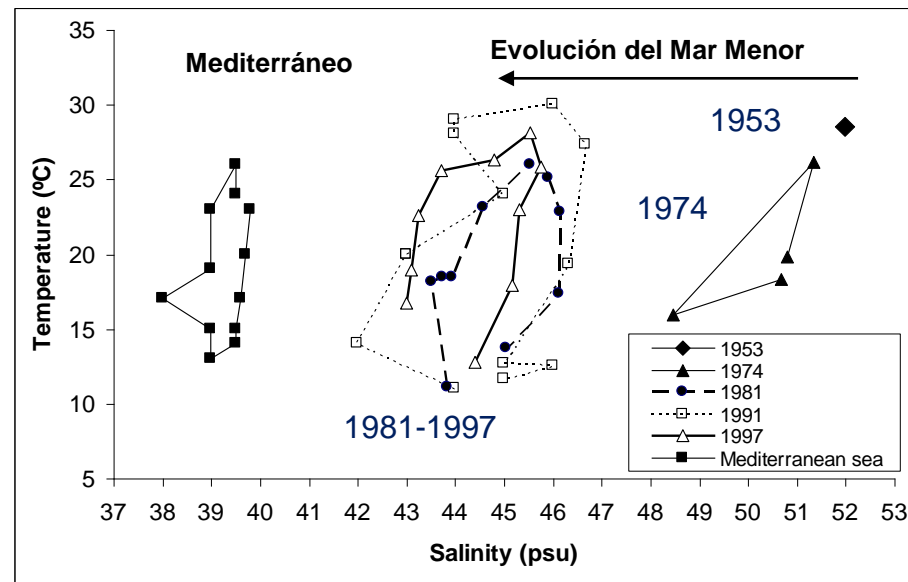
El dragado y ensanche del canal del Estacio indujo importantes cambios hidrológicos e hidrodinámicos en el Mar Menor



Marine Pollution Bulletin, 23: 747-751.

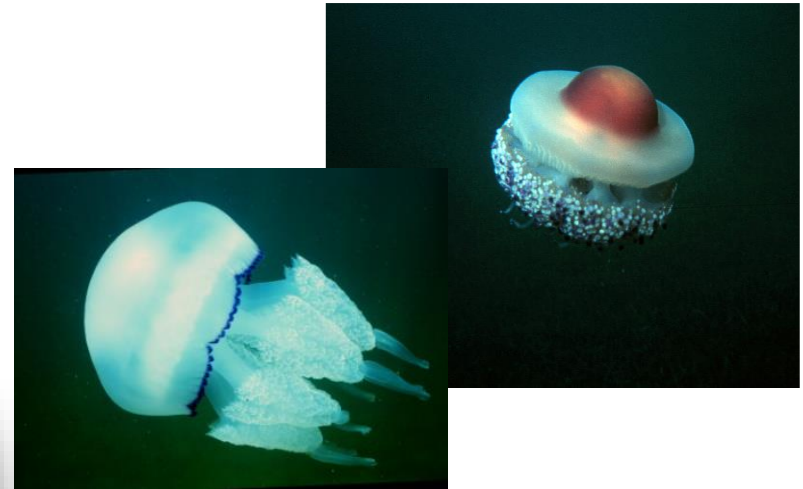
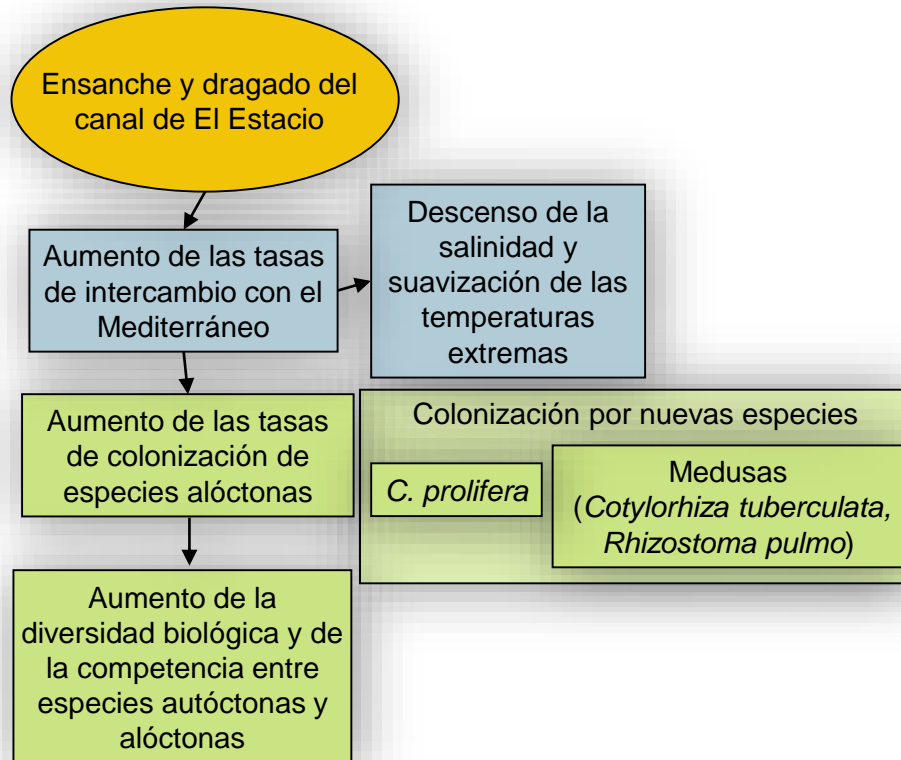
Mediterraneización de las condiciones hidrográficas del Mar Menor

	1970	1980	1988
Salida de agua hacia el Mediterráneo (m ³)	3.6 x 10 ⁸	6.1 x 10 ⁸	6.4 x 10 ⁸
Entrada de agua desde el Mediterráneo (m ³)	4.5 x 10 ⁸	7.2 x 10 ⁸	7.3 x 10 ⁸
Tiempo de residencia (años)	1.28	0.81	0.79
Temperatura (°C)	7.5 - 29	12 - 27.5	12 - 30.5
salinidad (‰)	48.5 - 53.4	43 - 46	42 - 45



Coastal Lagoons: Ecosystem Processes and Modeling for Sustainable Use and Development. CRC Press, Boca Ratón, Florida: 392-422.

El dragado y ensanche del canal del Estacio indujo a su vez la colonización y establecimiento de nuevas especies en el Mar Menor



Invasión y expansión de *Caulerpa prolifera*

A. Pérez-Ruzafa et al. / Estuarine, Coastal and Shelf Science 110 (2012) 101–115

107

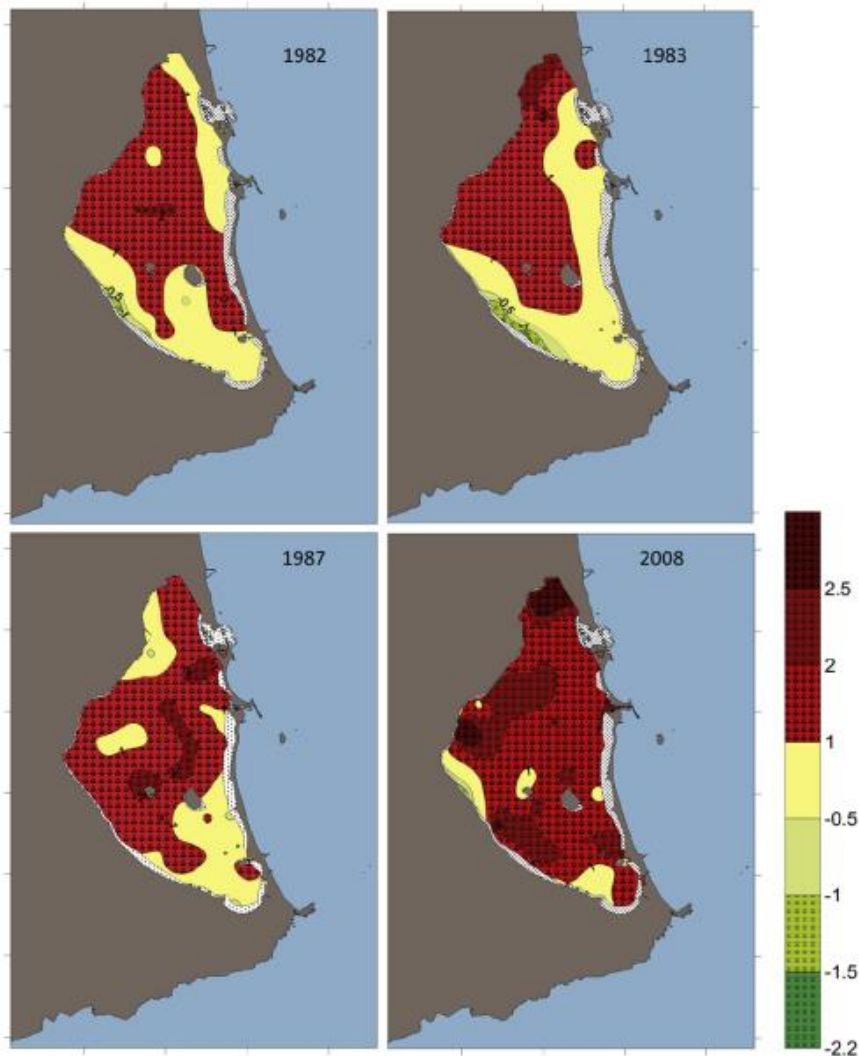


Fig. 5. Temporal changes in the spatial distribution of *C. prolifera* (red) *C. nodosa* (green) and mixed meadows (yellow), expressed as Ca/Cy ratio, in the deeper areas of the Mar Menor from 1982 to 2008.

El alga *Caulerpa prolifera* aporta materia orgánica, produce enfangamiento y reduce el contenido en oxígeno del sedimento



Concentración de oxígeno (mg/l) en la columna de agua sobre distintos tipos de sustrato y de praderas de macrófitos en una localidad frente a Los Urrutias a 300 m de la orilla (Julio de 1986)

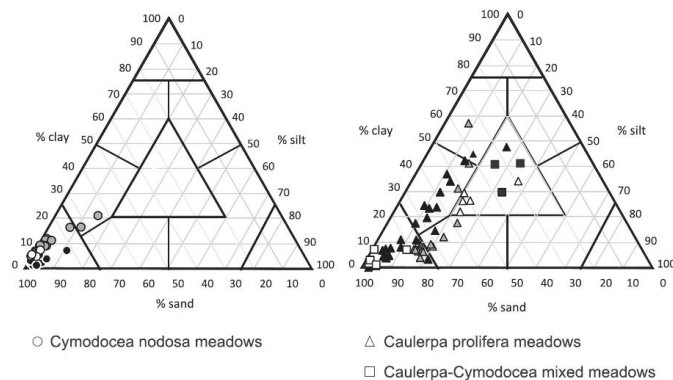


Fig. 8. Representation of the evolution of sediment characteristics of the bottoms associated with different macrophyte meadows in the texture triangle. a) *C. nodosa* and *Ruppia cirrhosa* monospecific meadows, b) *C. prolifera* monospecific meadows and *Cymodocea*-*Caulerpa* mixed meadows. White symbols correspond to 1982–1988 samples, grey symbols to 1996–1997 samples and dark symbols to 2002–2008 samples.

	Pradera densa de <i>Cymodocea nodosa</i> - <i>Caulerpa prolifera</i> sobre fango	Pradera densa de <i>Cymodocea nodosa</i> - <i>Caulerpa prolifera</i> sobre roca	Pradera clara de <i>Cymodocea nodosa</i> sobre fango
agua superficial	5.56	5.56	5.56
1 m	5.64		
2 m	5.87		
3 m	5.87		
3.2 m (fondo)	1.76	4.12	4.04

El aporte de materia orgánica y partículas finas propiciadas por el alga *Caulerpa prolifera* limitan el desarrollo de las praderas de *Cymodocea nodosa*

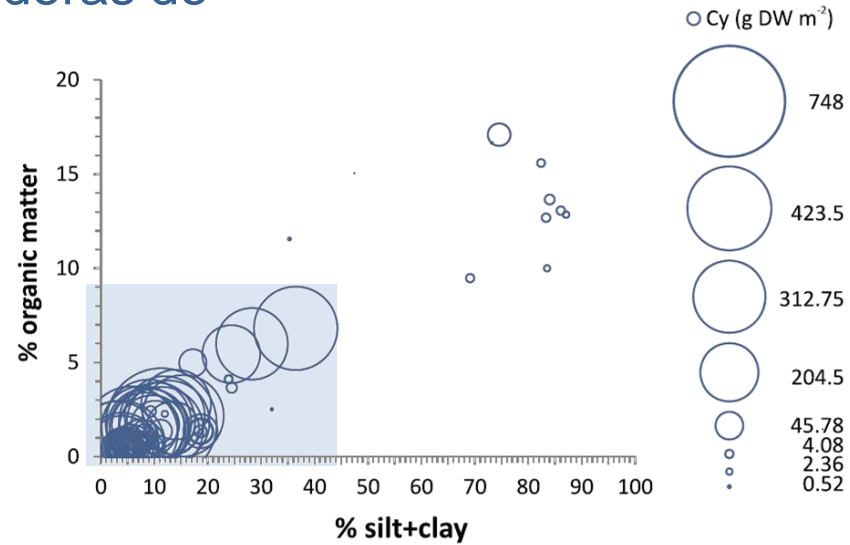
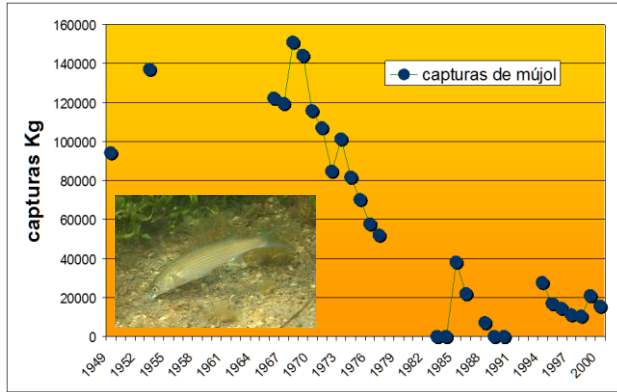


Fig. 9. Representation of the *C. nodosa* biomass distribution in the space defined by the organic carbon and fine particle content of the Mar Menor sediments. Circle diameters are proportional to seagrass biomass.

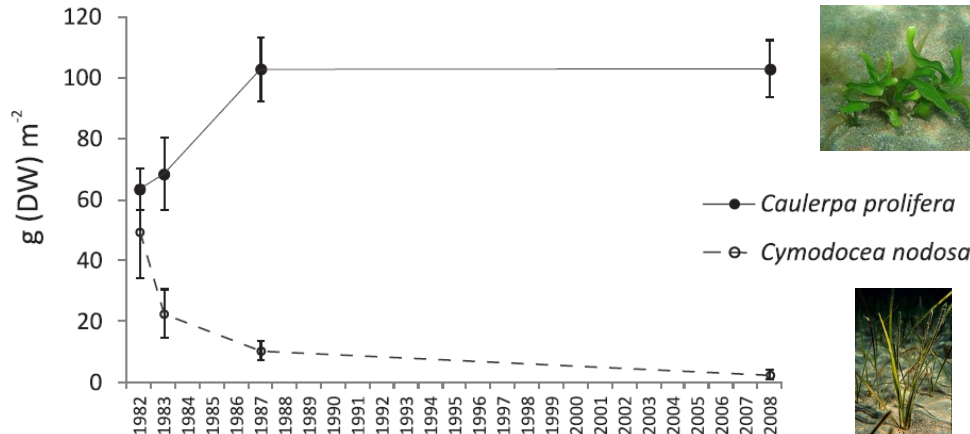


Fig. 3. Evolution of the mean biomass (g Dw * m⁻² ± se) of *C. prolifera* and *C. nodosa* in the deeper areas of the Mar Menor lagoon from 1982 to 2008.

Efectos de las regeneraciones de playas

Cymodocea tolera bien la luz, pero *Caulerpa* se ve limitada por la luz intensa

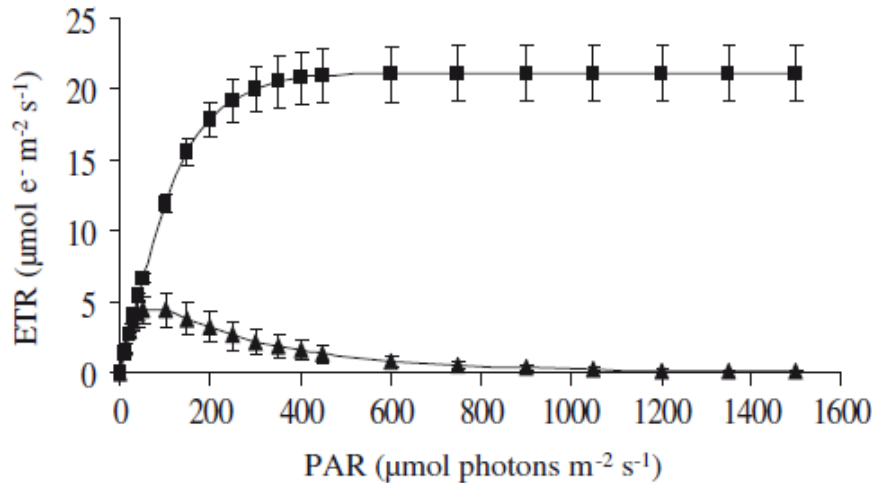


Fig. 2. Electron transport rate (ETR) versus irradiance curves for *Cymodocea nodosa* (square) and *Caulerpa prolifera* (triangle). Data are means \pm SE ($n = 7$).

El aumento de la turbidez favorece al alga *Caulerpa prolifera*



Marine Environmental Research 79 (2012) 37–47



Contents lists available at SciVerse ScienceDirect

Marine Environmental Research

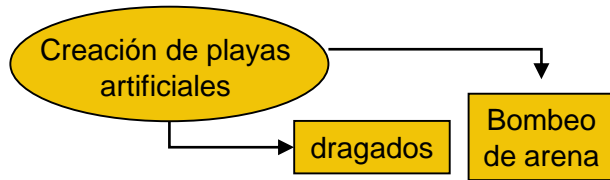
journal homepage: www.elsevier.com/locate/marenvrev



Physiological response and photoacclimation capacity of *Caulerpa prolifera* (Forskål) J.V. Lamouroux and *Cymodocea nodosa* (Ucria) Ascherson meadows in the Mar Menor lagoon (SE Spain)

Marta García-Sánchez^{a,*}, Nathalie Korbee^b, Isabel M^a Pérez-Ruzafa^c, Concepción Marcos^a, Belén Domínguez^b, Félix L. Figueroa^b, Ángel Pérez-Ruzafa^d

las regeneraciones de playas



Efectos de las regeneraciones de playas

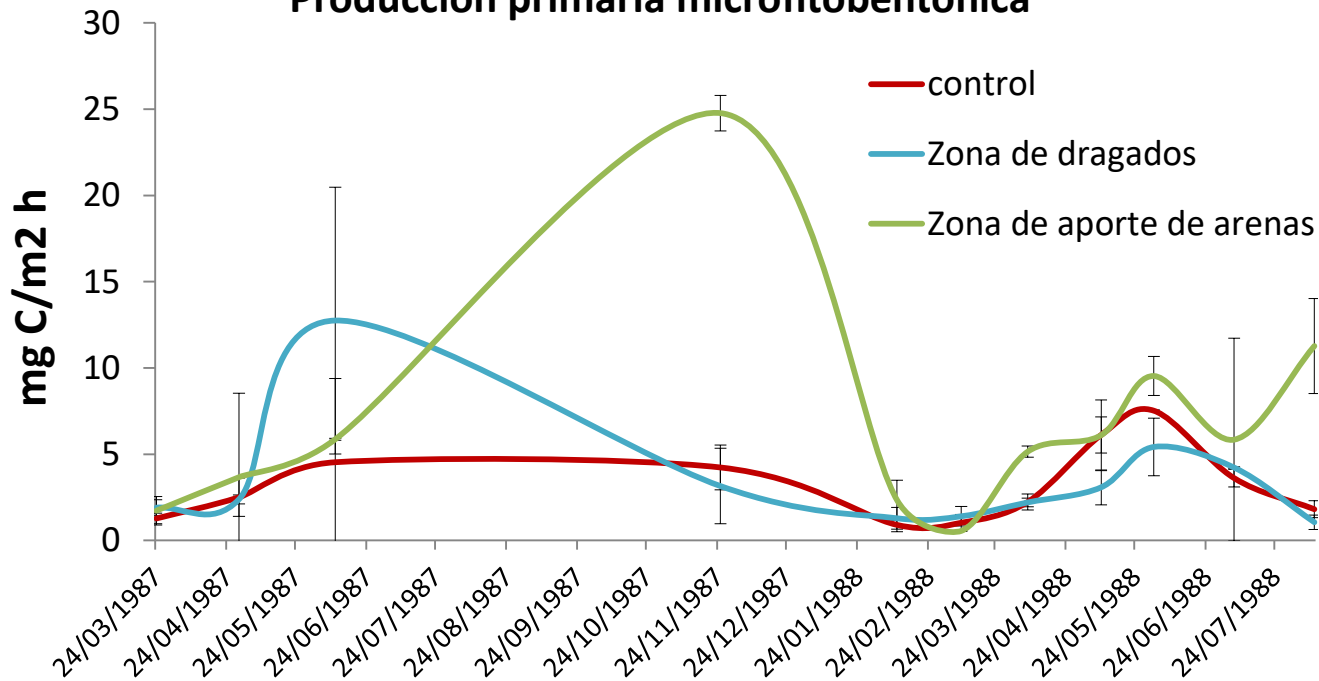


Environmental and Biological Changes Related to Recent Human Activities in the Mar Menor (SE of Spain)

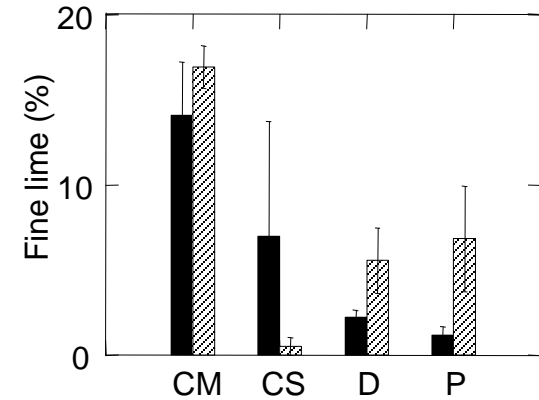
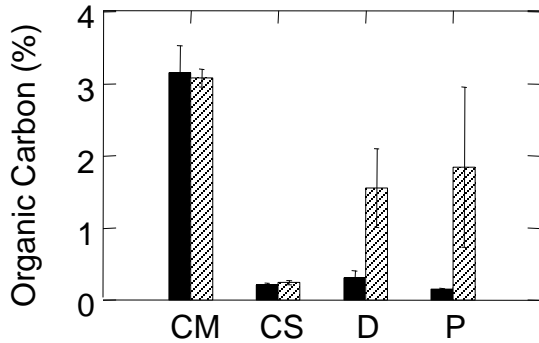
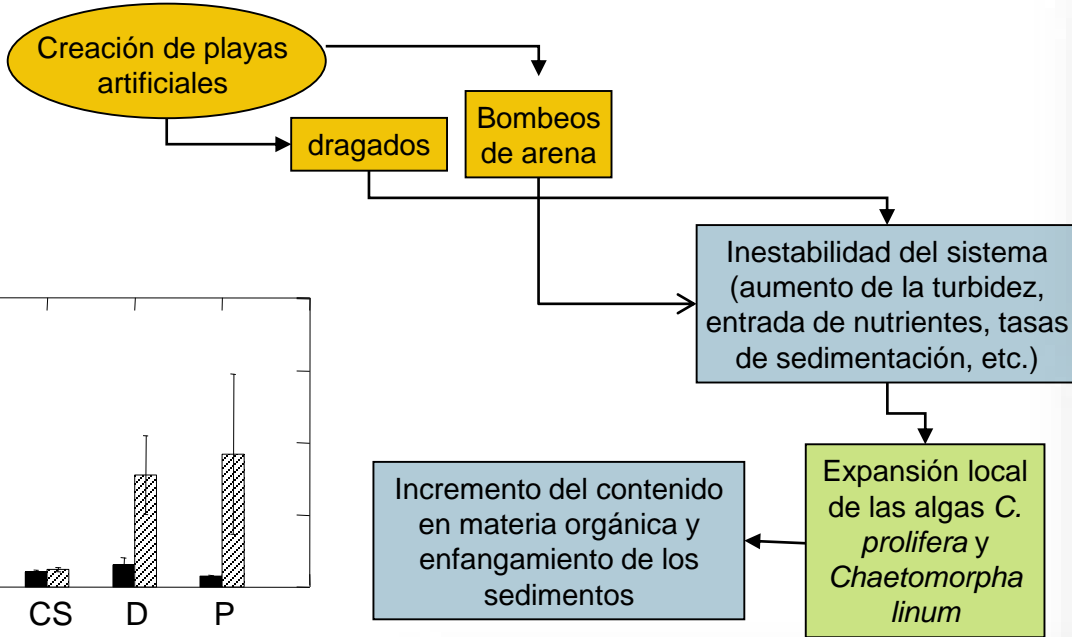
A. PEREZ-RUZAFÁ*, C. MARCOS-DIEGO* and J. D. ROS†
*Dpto. de Ecología, Universidad de Murcia, 30100 Murcia, Spain
†Dpto. de Ecología, Universidad de Barcelona, 08028, Spain

Marine Pollution Bulletin, Vol. 23, pp. 747-751, 1991.
Printed in Great Britain
0025-326X/91 \$3.00+0.00
© 1991 Pergamon Press plc

Producción primaria microfitobentónica



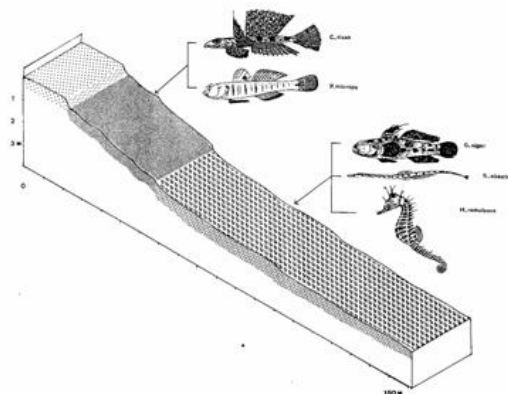
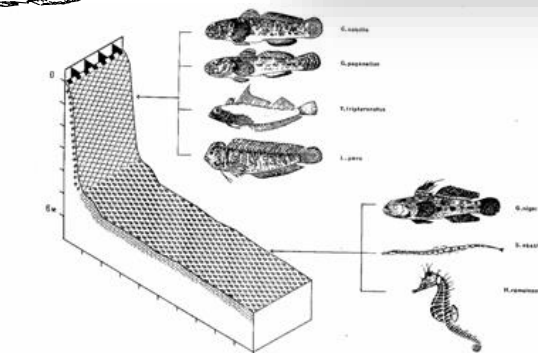
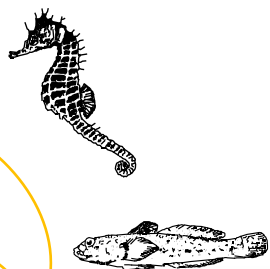
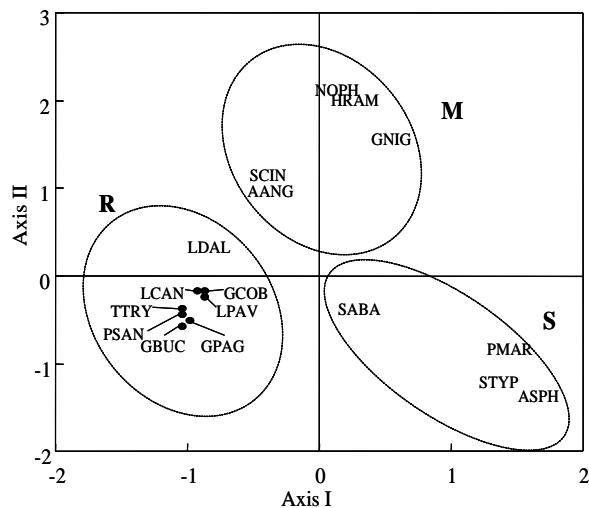
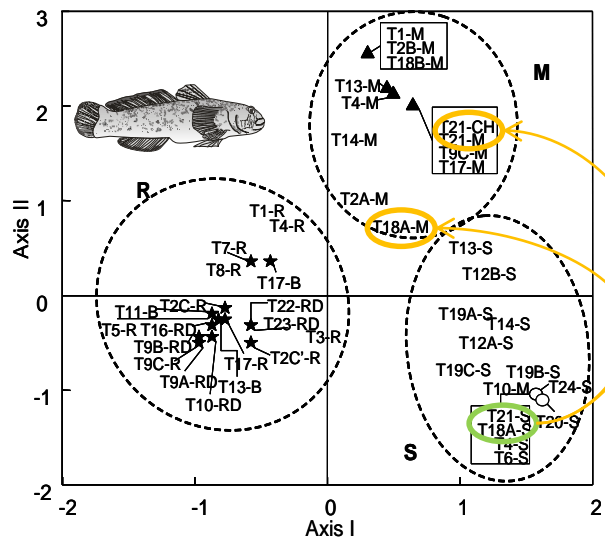
Efectos de las regeneraciones de playas



■ Before ▨ After

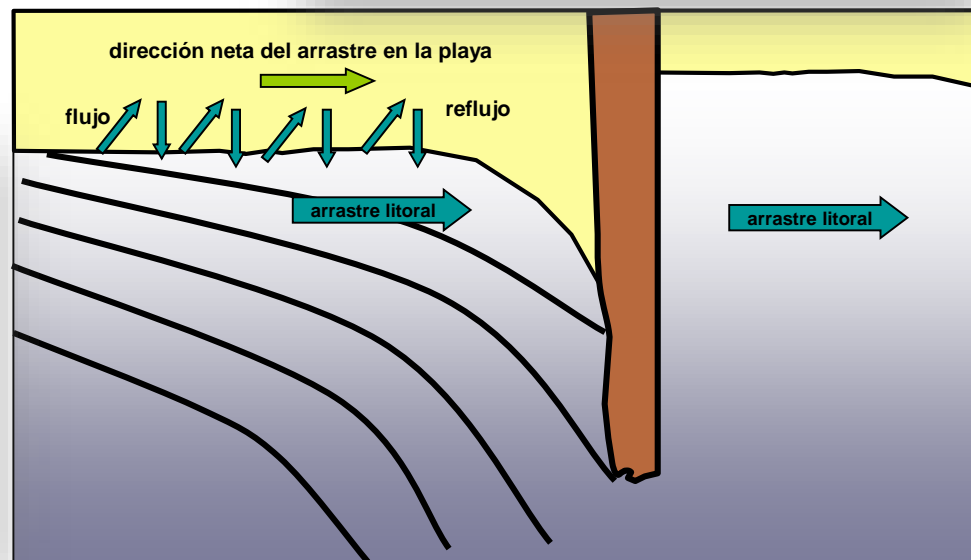
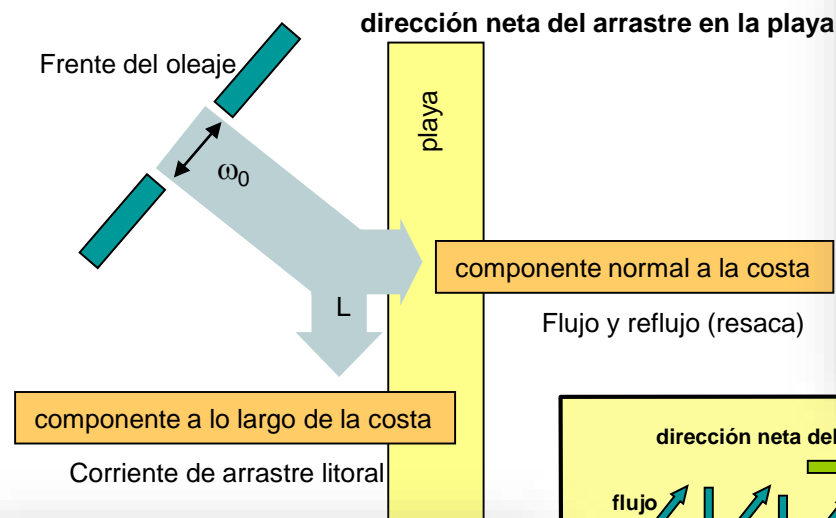


La sustitución de praderas de *Cymodocea nodosa* por praderas de *Caulerpa prolifera* produce cambios en las comunidades bentónicas, poblamientos de peces y en la diversidad

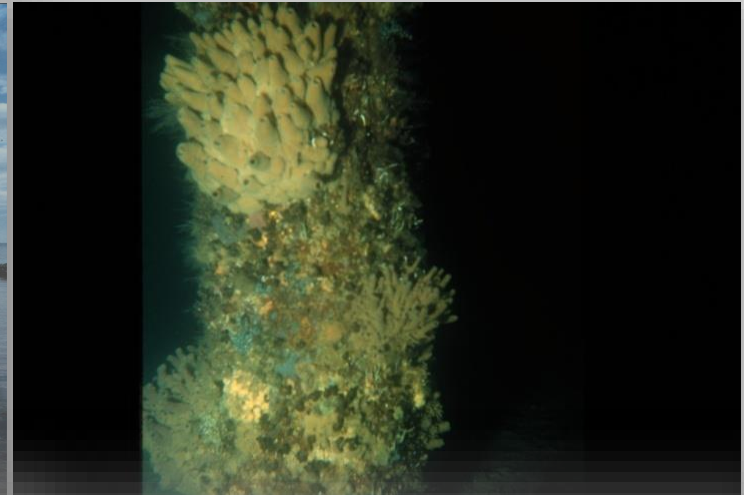




En las condiciones del Mar Menor, los espigones para las “regeneraciones de playas” y los diques ciegos afectan al hidrodinamismo y las corrientes litorales, no impiden la erosión de la playa, favorecen la retención de algas flotantes, el enfangamiento y el aumento de materia orgánica, perjudican el desarrollo de las comunidades esciáfilas en los balnearios y reducen la calidad de aguas y de baño

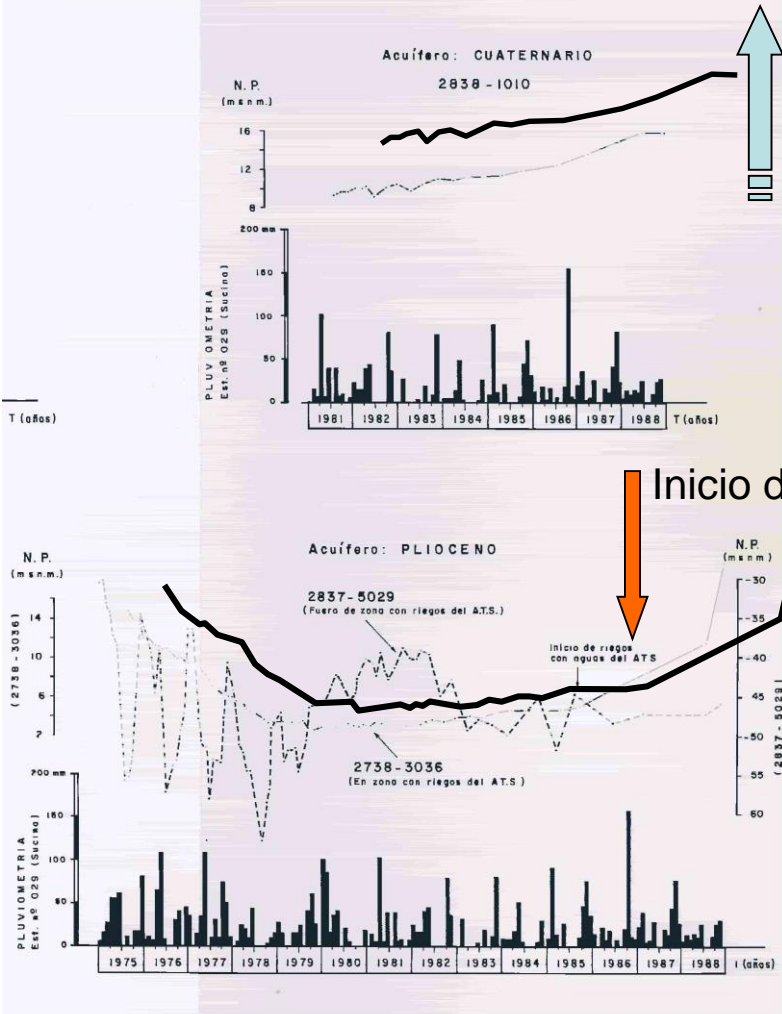


Los balnearios tradicionales albergan una elevada biodiversidad, con una comunidad basada en especies filtradoras que contribuyen al mantenimiento de la calidad de aguas



Cambios en las prácticas agrícolas

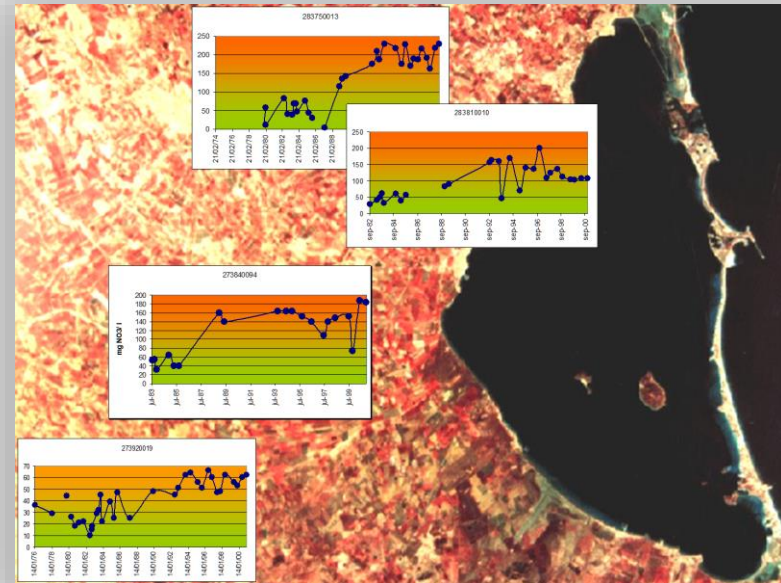
CAMPO DE CARTAGENA EVOLUCIONES PIEZOMETRICAS



Elevación del nivel freático

1 m / año

Nivel freático

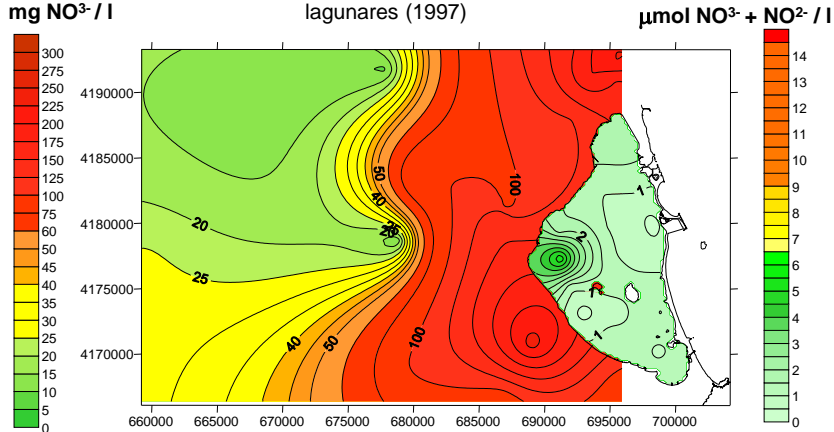


La rambla del Albuñon ha sido durante 30 años una fuente de nutrientes, agua dulce y contaminantes que amenazan con romper la integridad y complejidad del Mar Menor de forma irreversible



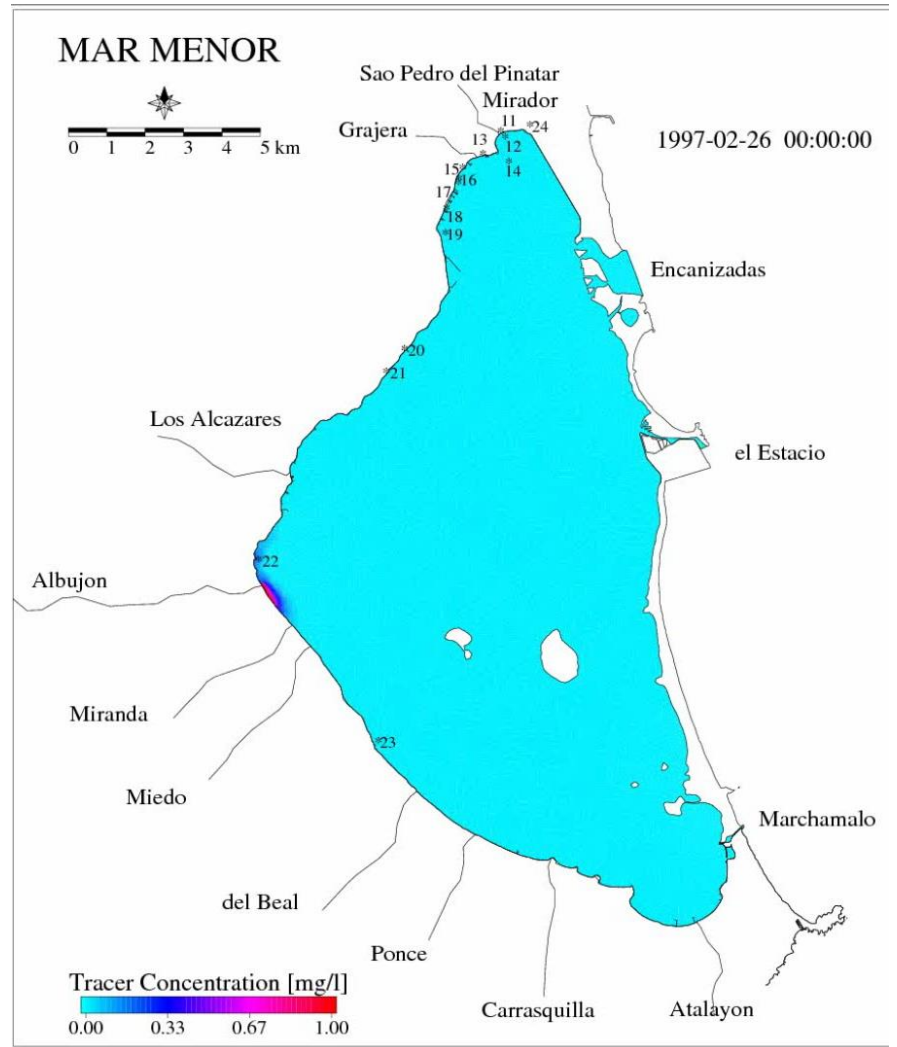
- Limite de unidad hidrogeológica
- isopiezia (1988-89) en msnm
- sentido del flujo subterráneo

Concentraciones medias de nitratos en las aguas subterráneas (1995-99) y en las aguas lagunares (1997)

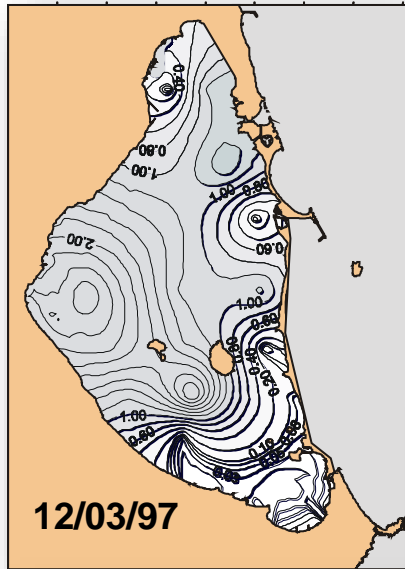


Calidad de las aguas

Calidad de las aguas
European Environmental Agency, 1999

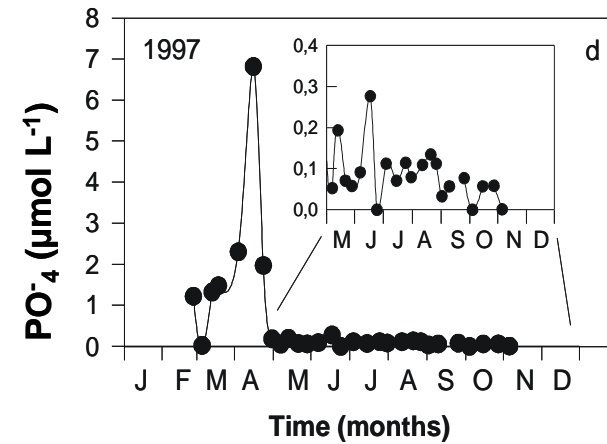
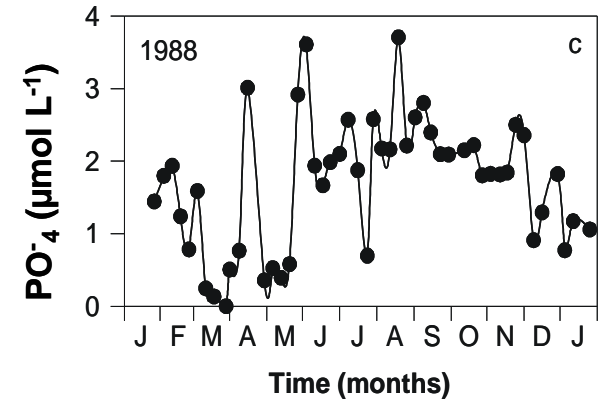
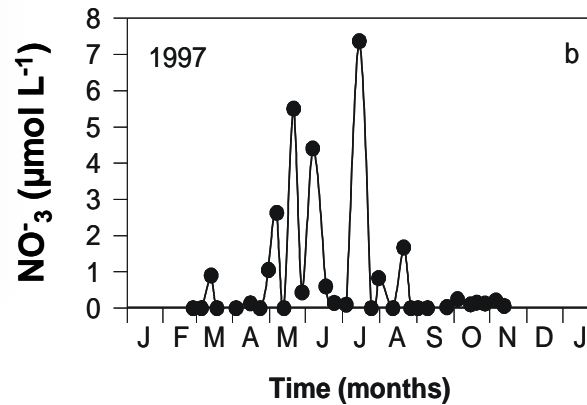
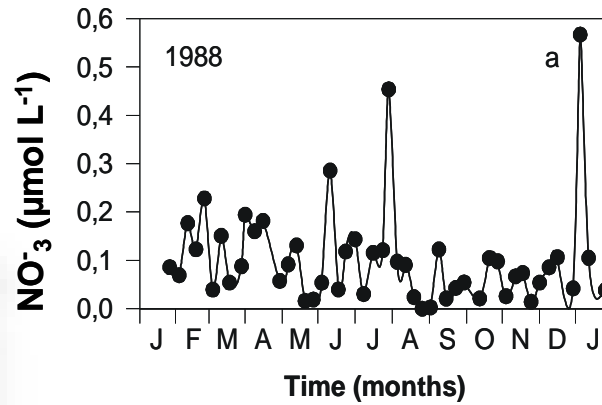
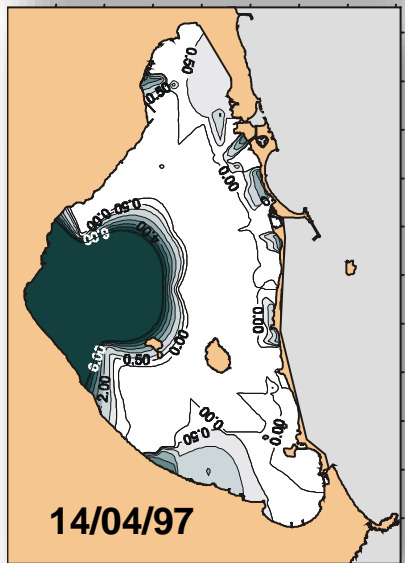
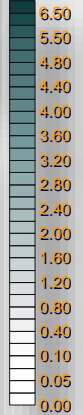


Induciendo cambios en las condiciones tróficas



Concentración de Nitratos en el agua

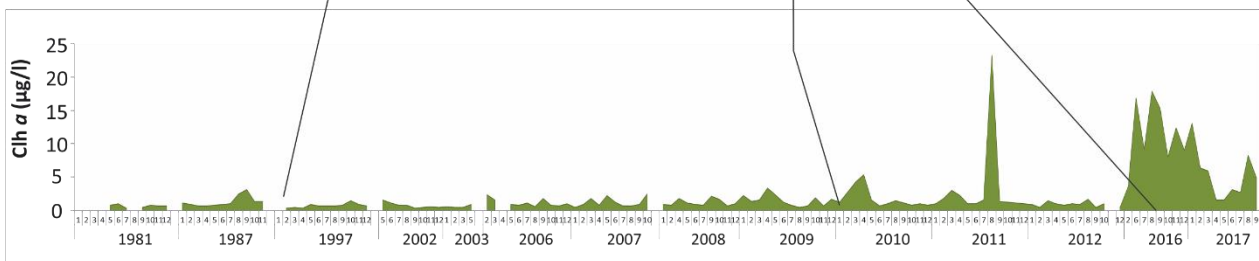
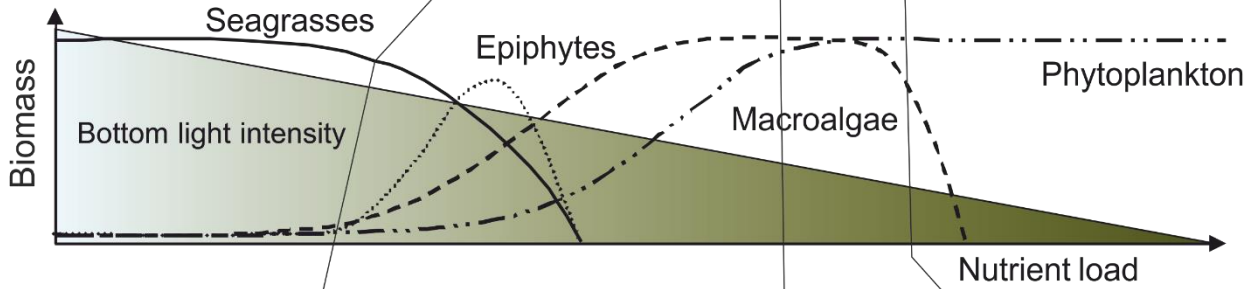
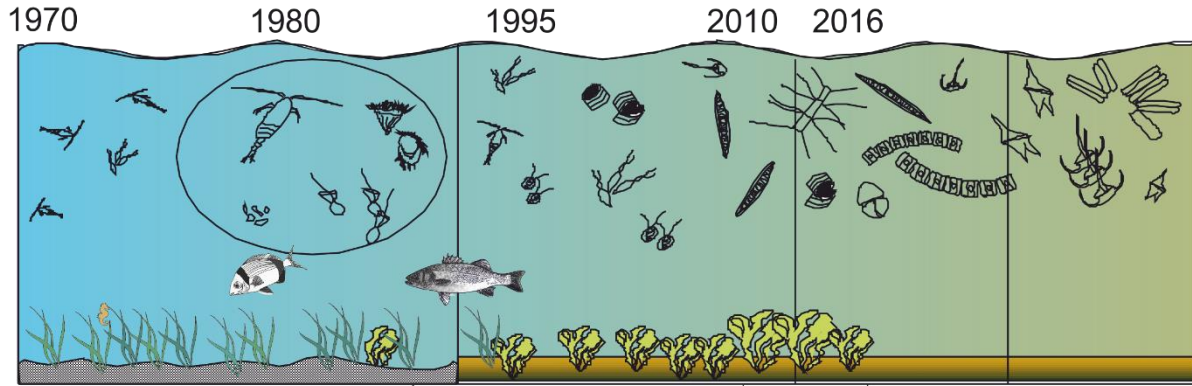
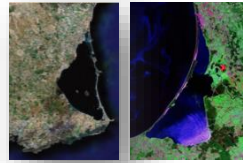
µg-at·L



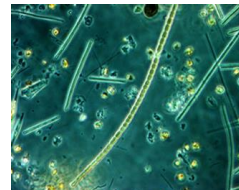
Gilabert, J., 2001. *J. Plankton Res.*, 23, 207.

Pérez-Ruzafa, A. et al., 2002. *Hydrobiologia*, 475/476: 359-369.

eutrophication process



However, despite the high increase in nutrient inputs, during the last 20 years, **chlorophyll a concentration in the Mar Menor waters has maintained low and similar to previous levels.**



funcionamiento de la red trófica



Hydrobiologia 475/476: 359–369, 2002.
 E. Orive, M. Elliott & V.N. de Jonge (eds), *Nutrients and Eutrophication in Estuaries and Coastal Waters*.
 © 2002 Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands.

3

Evidence of a planktonic food web response to changes in nutrient input dynamics in the Mar Menor coastal lagoon, Spain

A. Pérez-Ruzafa¹, J. Gilabert², J.M. Gutiérrez¹, A.I. Fernández¹, C. Marcos¹ & S. Sabah¹



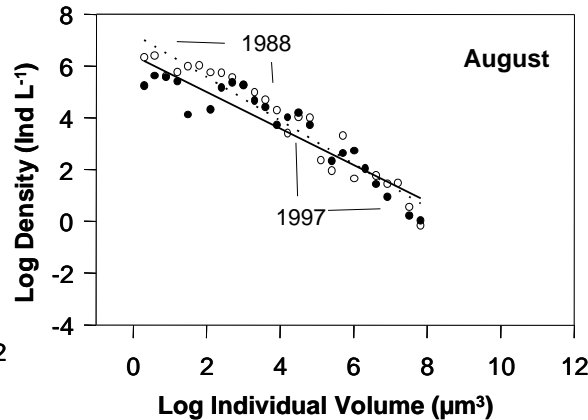
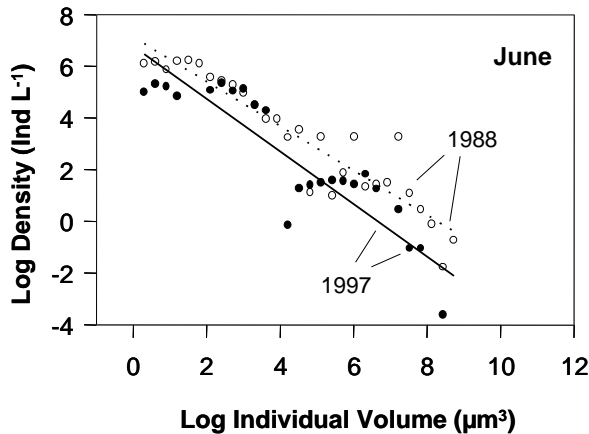
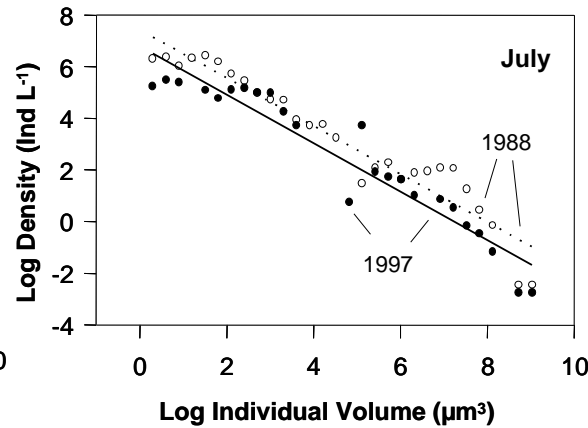
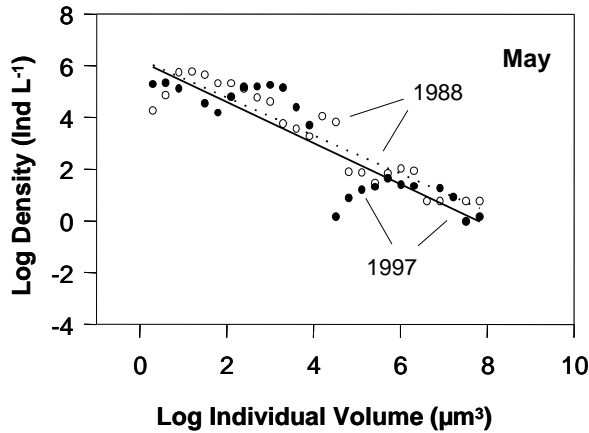
Aurelia aurita



Rhizostoma pulmo



Cotylorhiza tuberculata



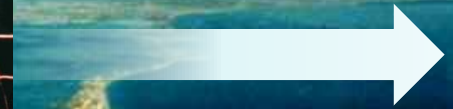
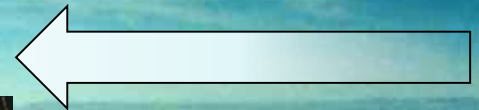
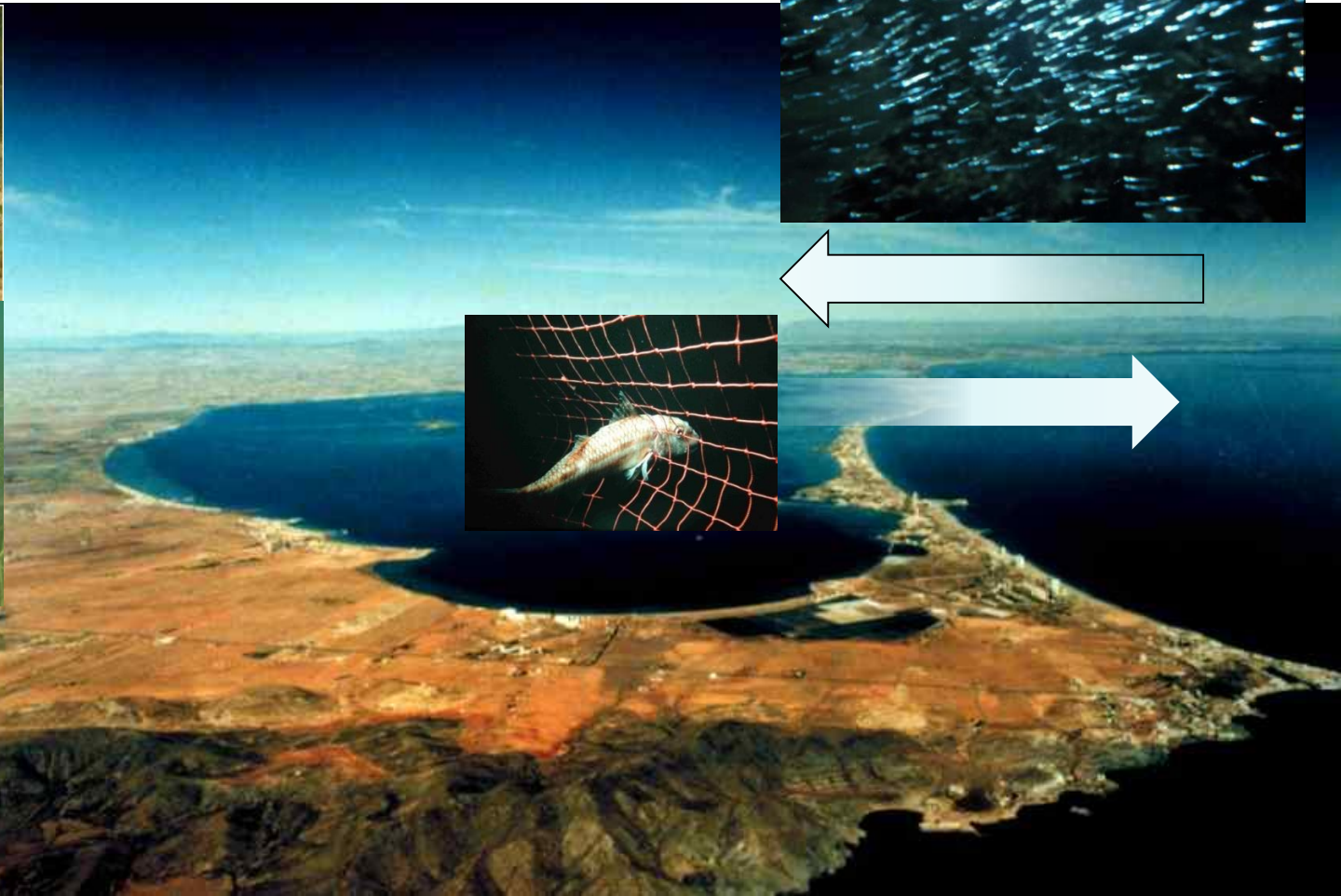
Top-down control

Las medusas no eran el problema, sino un síntoma y la respuesta homeostática del sistema para mantener su integridad

¿Cómo ha conseguido esto el Mar Menor? La importancia de los canales



Las lagunas costeras son ambientes altamente productivos como consecuencia de la cantidad e intensidad de los gradientes físico-químicos que contienen



Las lagunas costeras son ambientes altamente productivos como consecuencia de la cantidad e intensidad de los gradientes físico-químicos que contienen

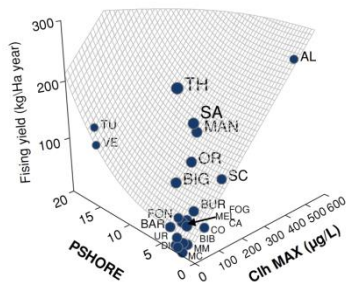
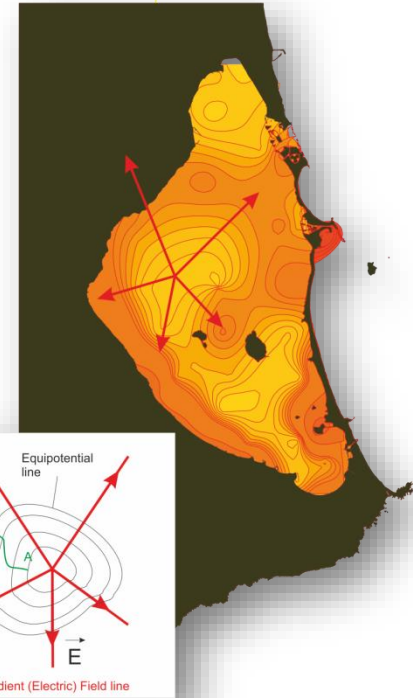
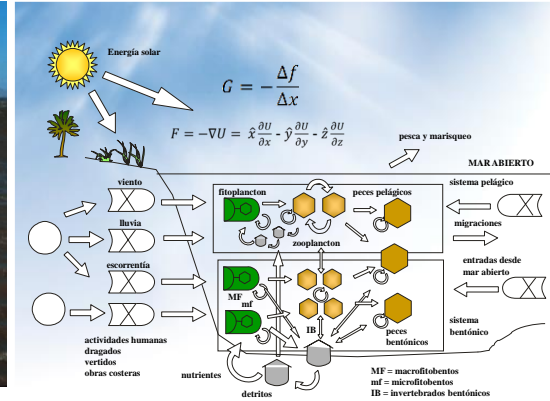


Fig. 8 Best regression model (GLM) after the forward selection of variables, explaining the relationship between the fishing yield in a coastal lagoon and their geomorphologic and hydrographic characteristics. The variables selected for the model were PSH or shoreline development ($p < 0.01$) and the maximum chlorophyll concentration in the lagoon water column ($p < 0.05$)

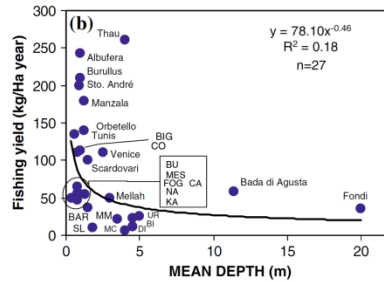


Fig. 6 The relationship between the fishing yield in a coastal lagoon and (a) the total length of the inlets connecting the lagoon to the open sea ($P = 0.01$); and (b) the mean depth of the lagoon ($P < 0.05$)

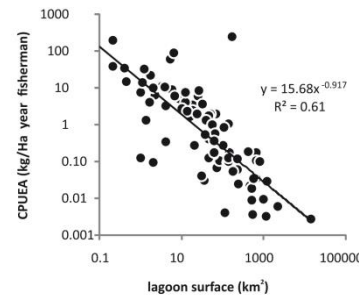
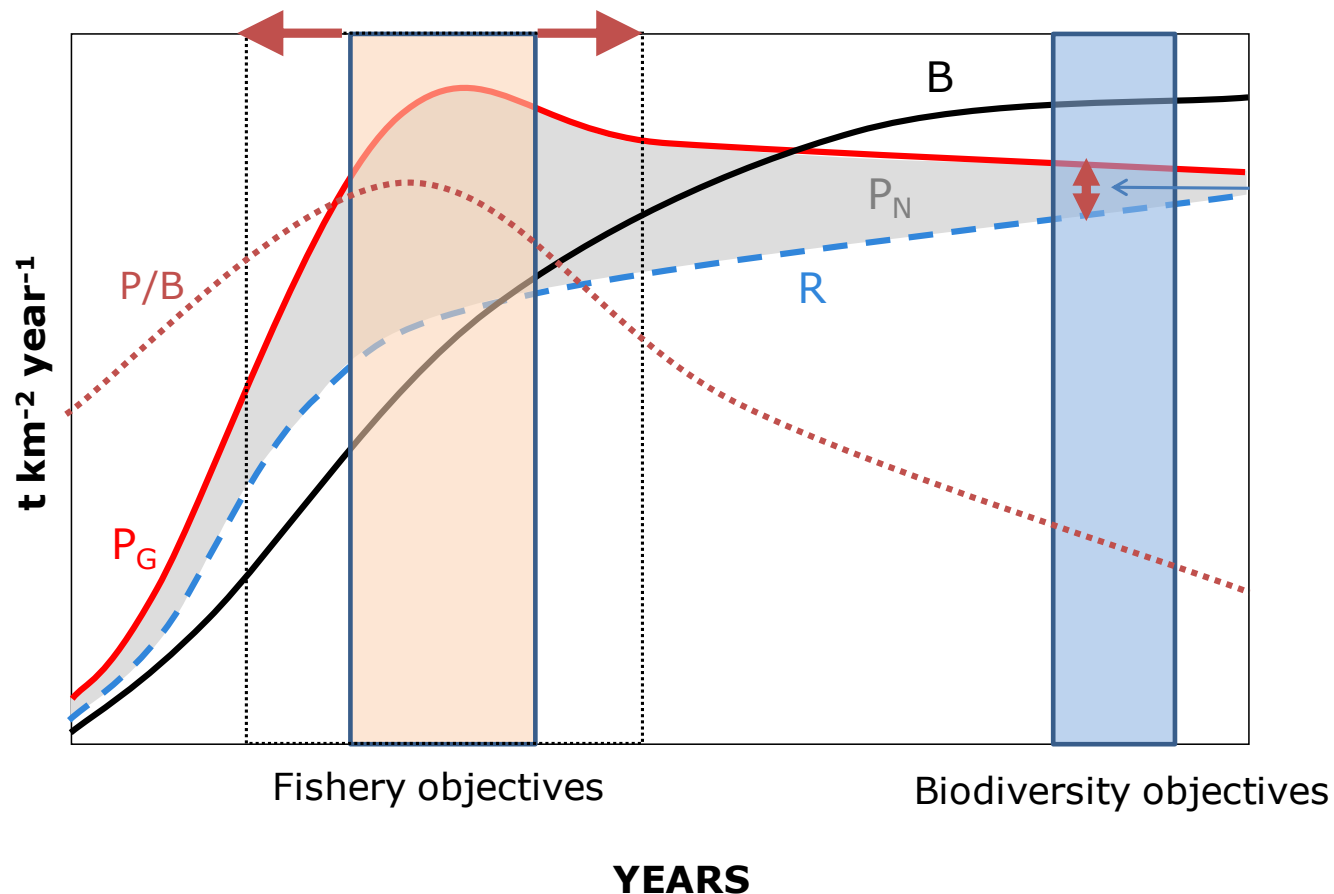


Fig. 11. Relationship between fishing productivity (catch per unit effort and area) and lagoon area (number of lagoons = 89; $P = 0.0000$). Values are shown on a log scale on the axes.

$$\mathbf{F} = -\nabla U = -\hat{x} \frac{\partial U}{\partial x} - \hat{y} \frac{\partial U}{\partial y} - \hat{z} \frac{\partial U}{\partial z}$$

Como sistemas productivos, con intensos flujos de energía, sería esperable que fueran simples, dominados por especies oportunistas y similares a los sistemas contaminados

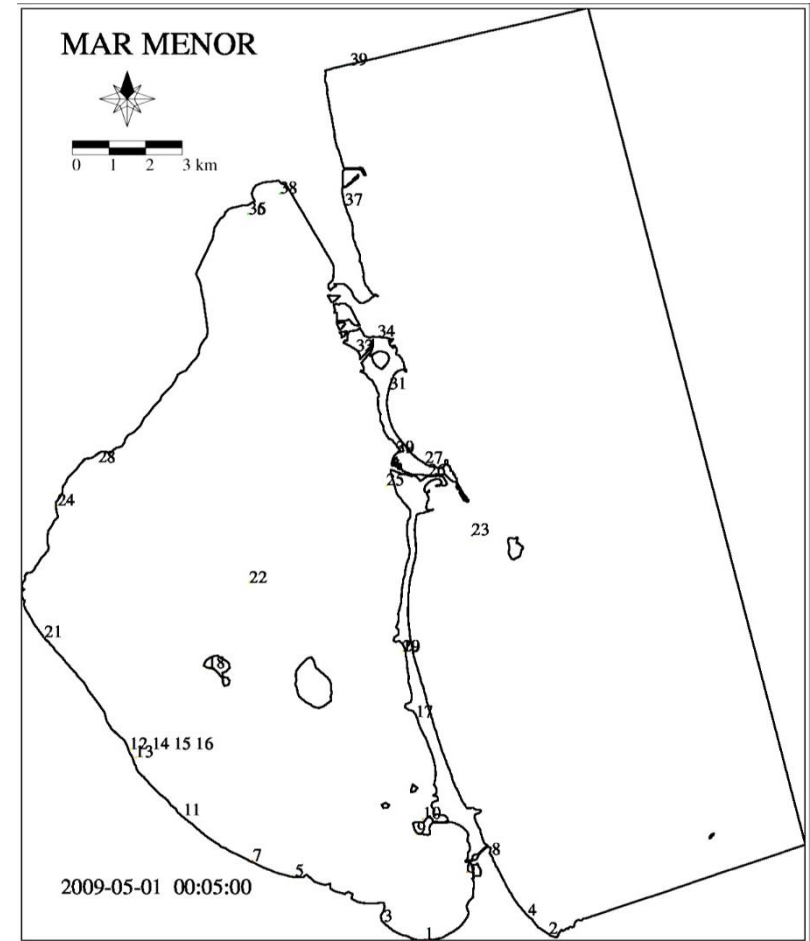
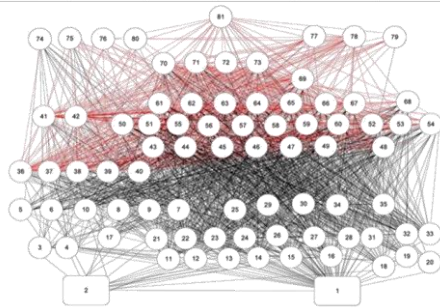
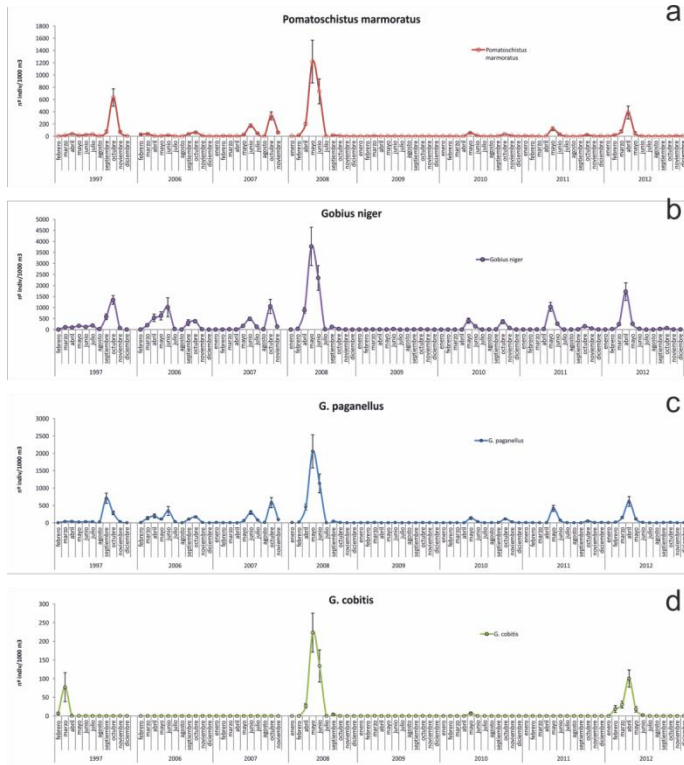


(Odum, 1954)

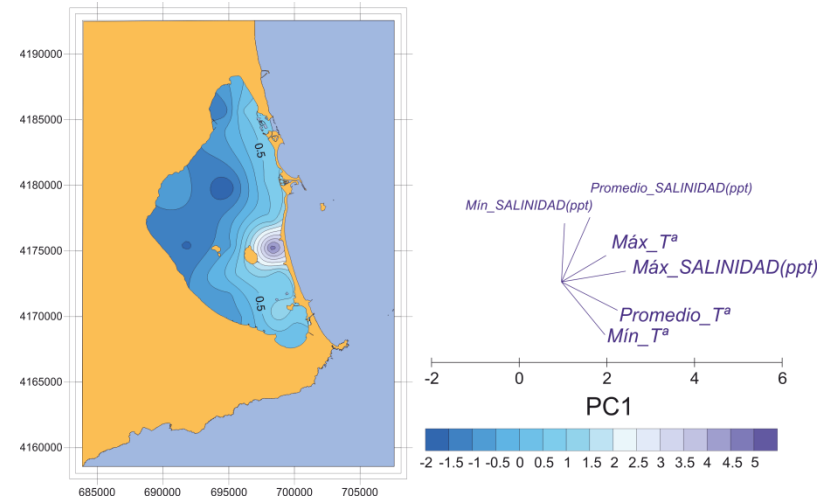
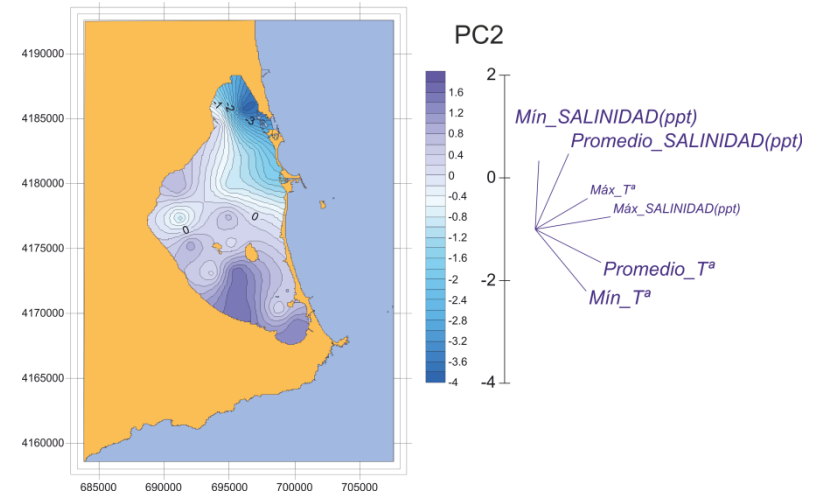
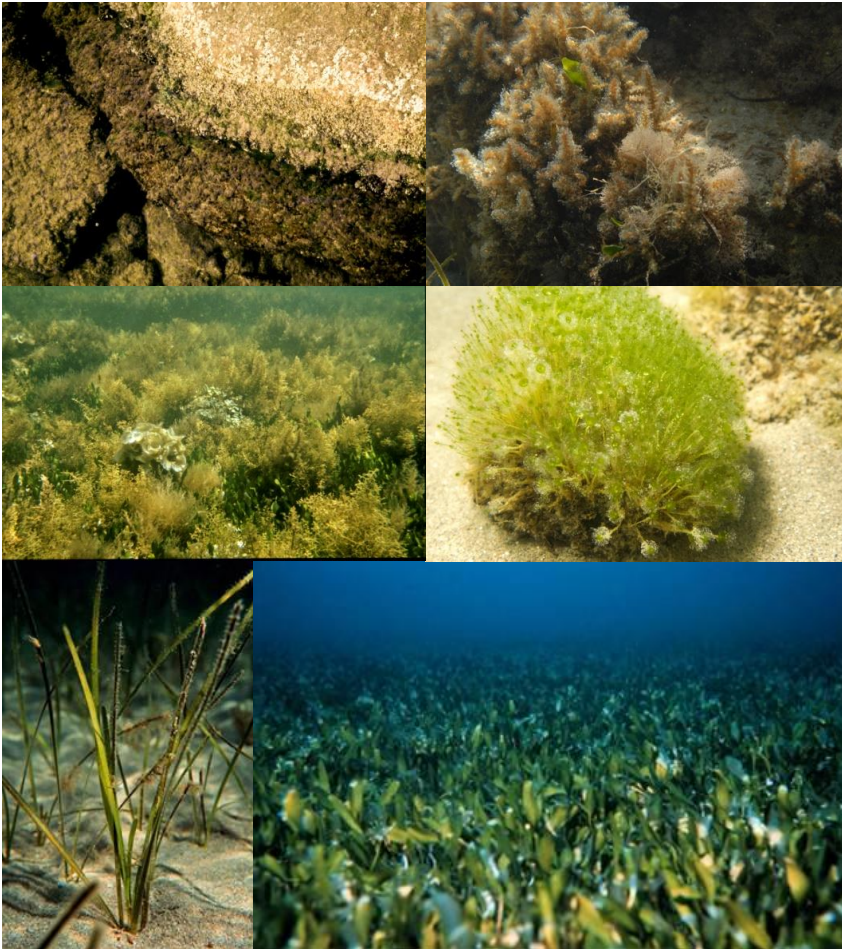
Biodiversidad y calidad de aguas



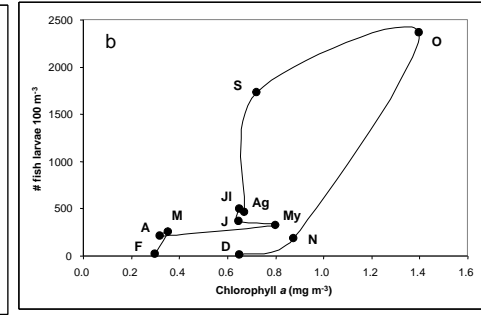
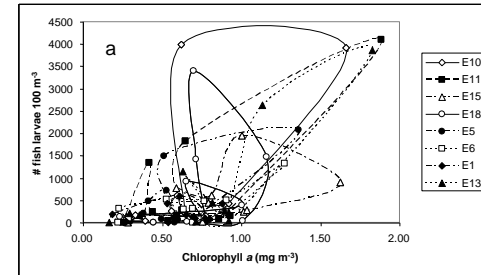
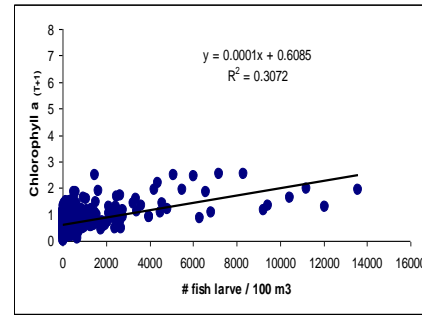
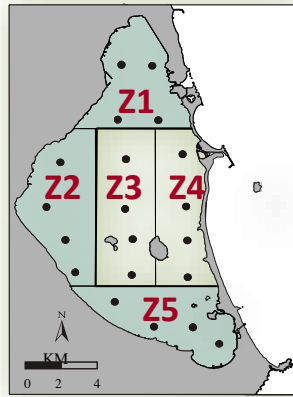
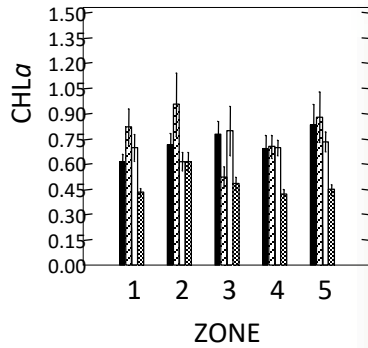
El funcionamiento de una laguna costera, y su capacidad homeostática, dependen íntimamente de la conexión restringida con el mar abierto



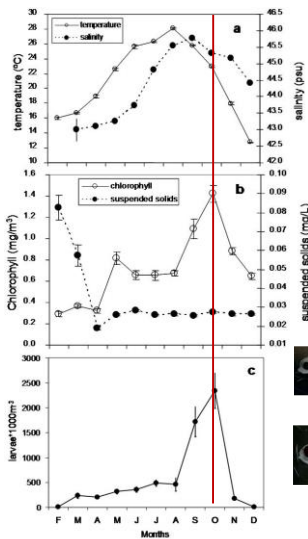
La heterogeneidad hidrológica y de sustratos contribuyen a mantener una elevada biodiversidad y a los mecanismos homeostáticos de las lagunas costeras



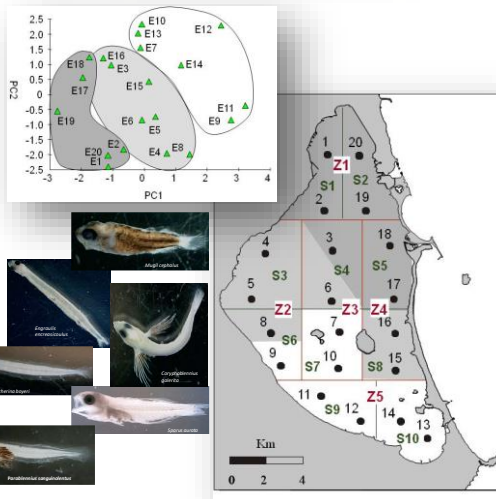
La heterogeneidad hidrológica y de sustratos contribuyen a mantener una elevada biodiversidad y a los mecanismos homeostáticos de las lagunas costeras



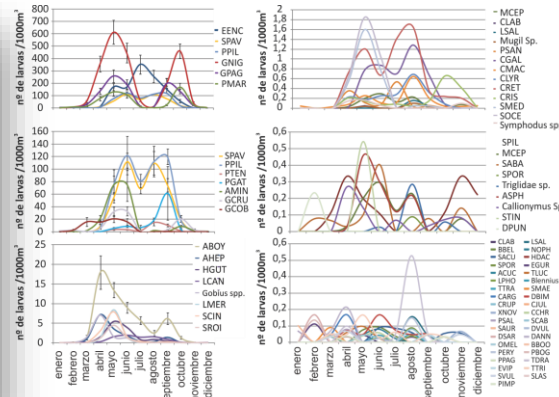
Sincronización ictioplancton-clorofila



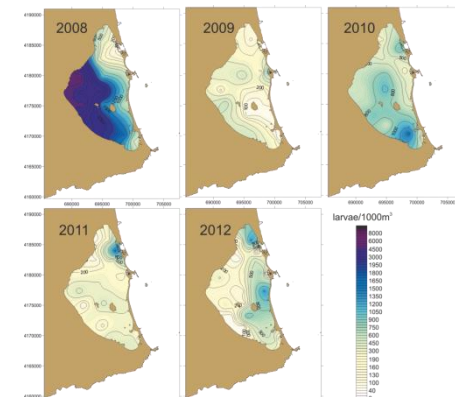
Escalas de variabilidad en el ictioplancton



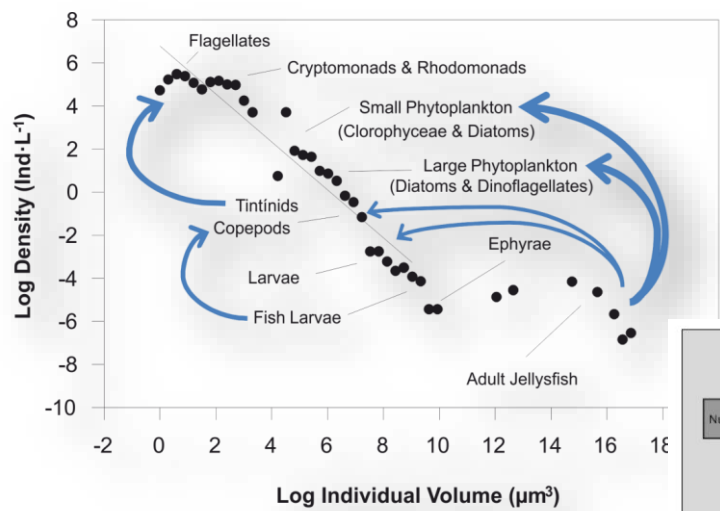
Dinámica estacional de la abundancia media de las especies de larvas de peces en el Mar Menor.



Variación interanual de la densidad del ictioplancton



Varios procesos y factores, incluyendo la depredación, que puede ser un mecanismo de control muy eficiente que proporciona **rutas alternativas del flujo de energía en la red trófica** mediante la **eliminación del exceso de biomasa** generada por el exceso de nutrientes, y las **diferentes escalas temporales y espaciales** de respuesta a través de la red trófica, serían un componente importante del filtro, sensu Cloern (2001), que **modula la respuesta a la eutrofización** en lagunas costeras.



Trophic relationships in the biomass spectra in the Mar Menor

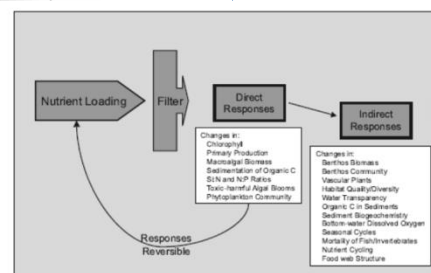
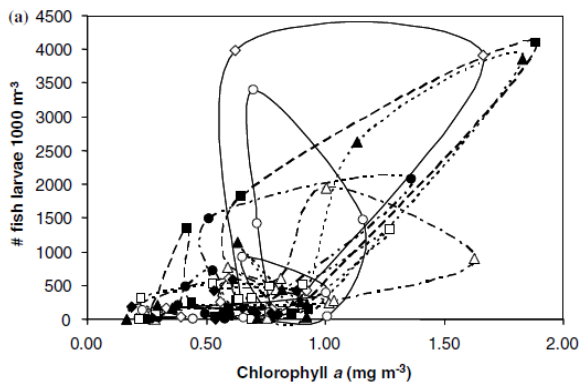
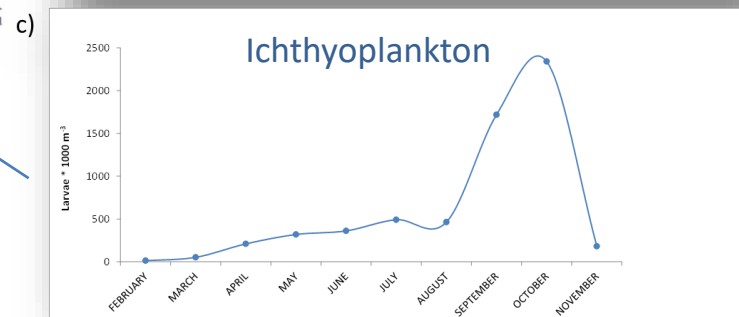
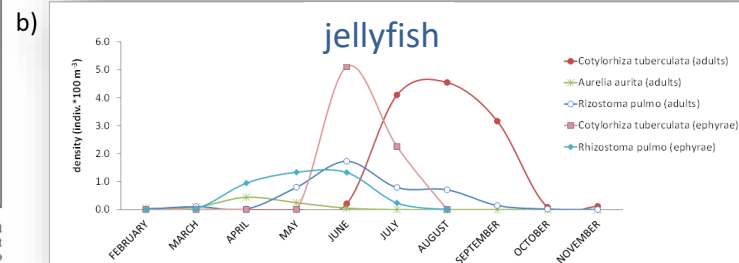
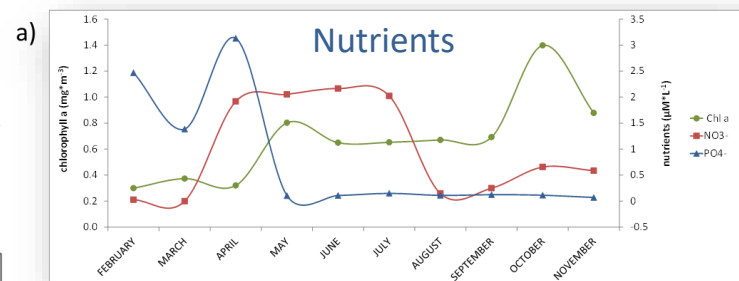


Fig. 22. Schematic representation of the contemporary (Phase II) conceptual model of coastal eutrophication. Advances in recent decades include explicit recognition of (1) a complex suite of both direct and indirect responses to change in nutrient inputs, (2) system attributes that act as a filter to modulate these responses, and (3) the possibility of ecosystem rehabilitation through appropriate management actions to reduce nutrient inputs to sensitive coastal ecosystems

Ciclos anuales Mar Menor



Pero al mismo tiempo, algunas lagunas costeras, como el Mar Menor, son sistemas altamente complejos, heterogéneos y con una elevada biodiversidad, lo que les confiere la capacidad de autorregularse y defenderse de las presiones antrópicas

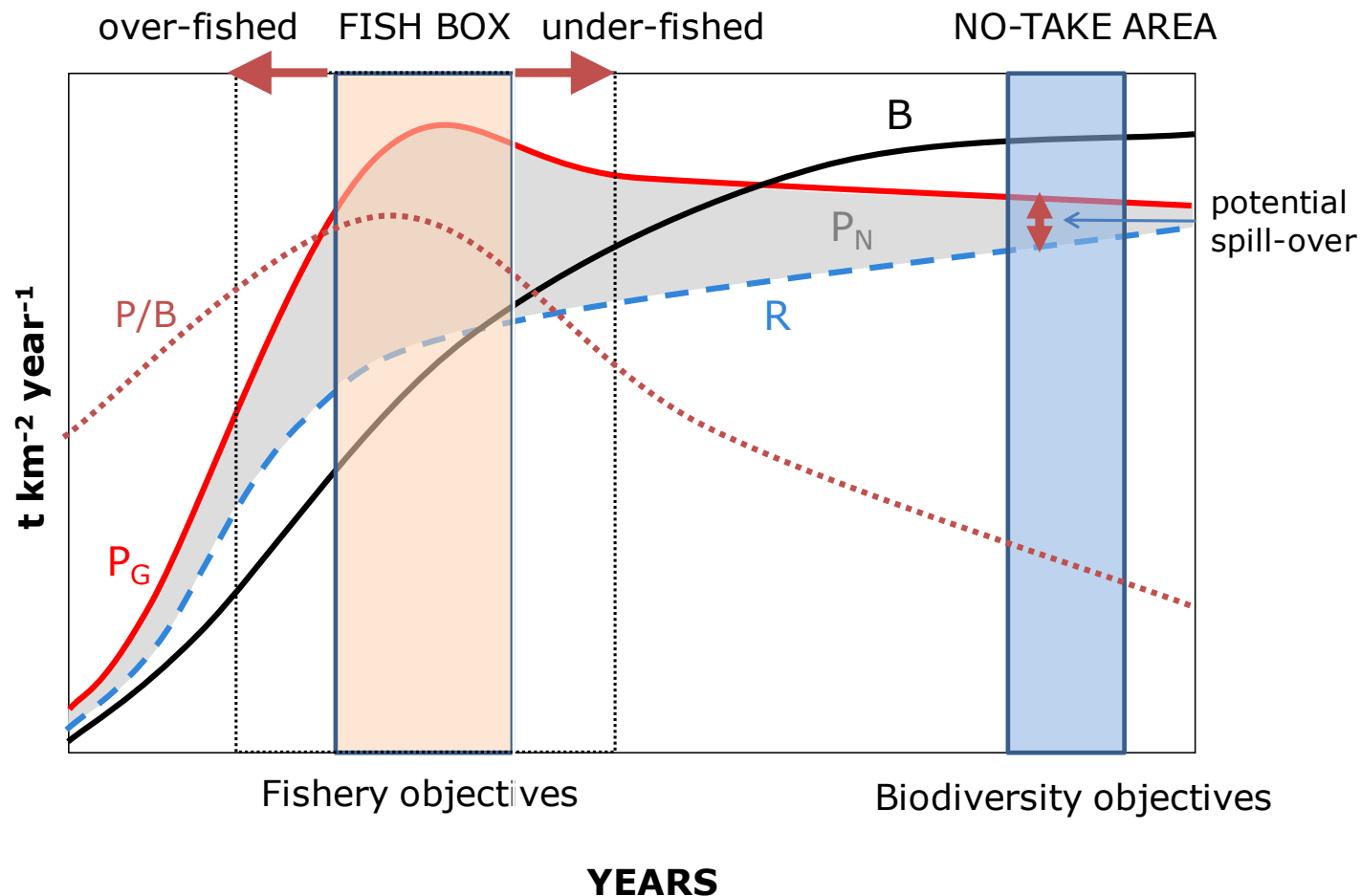
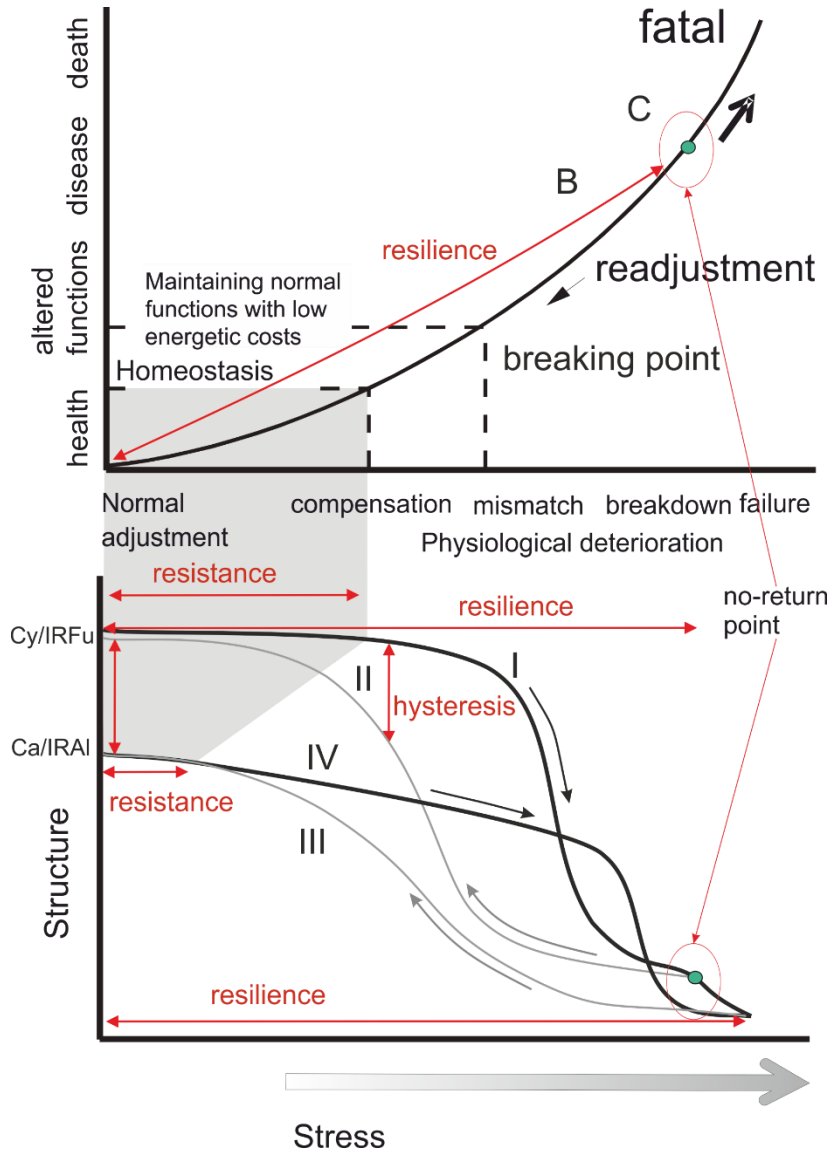


Figure from Pérez-Ruzafa et al. (2008) Journal for Nature Conservation 16: 187-192 modified from Odum

Diagnosticando el estado de salud



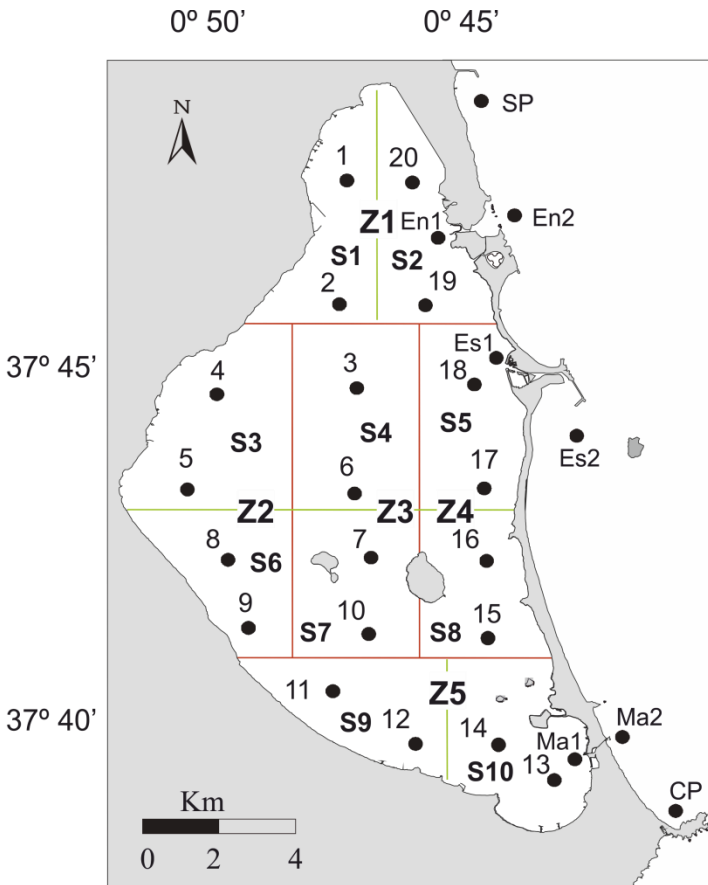
When maintaining ecological integrity and complexity is the best restoring tool:
The case of the Mar Menor lagoon.....

(Ángel Pérez-Ruzafa, Concepción Marcos, Isabel María Pérez-Ruzafa)

La situación actual



Methods



Círculo de innovación oceanográfica

Trabajo de campo

Parámetros hidrográficos y muestras de agua



Sampling details in:

Pérez-Ruzafa, A. et al, 2002. *Hydrobiologia*, 475/476: 359-369.

Pérez-Ruzafa, A. et al., 2004. *Journal of Fish Biology*, 64: 202-218, and unpublished data.



Monitorización de parámetros hidrográficos y biológicos

Caracterización hidrográfica

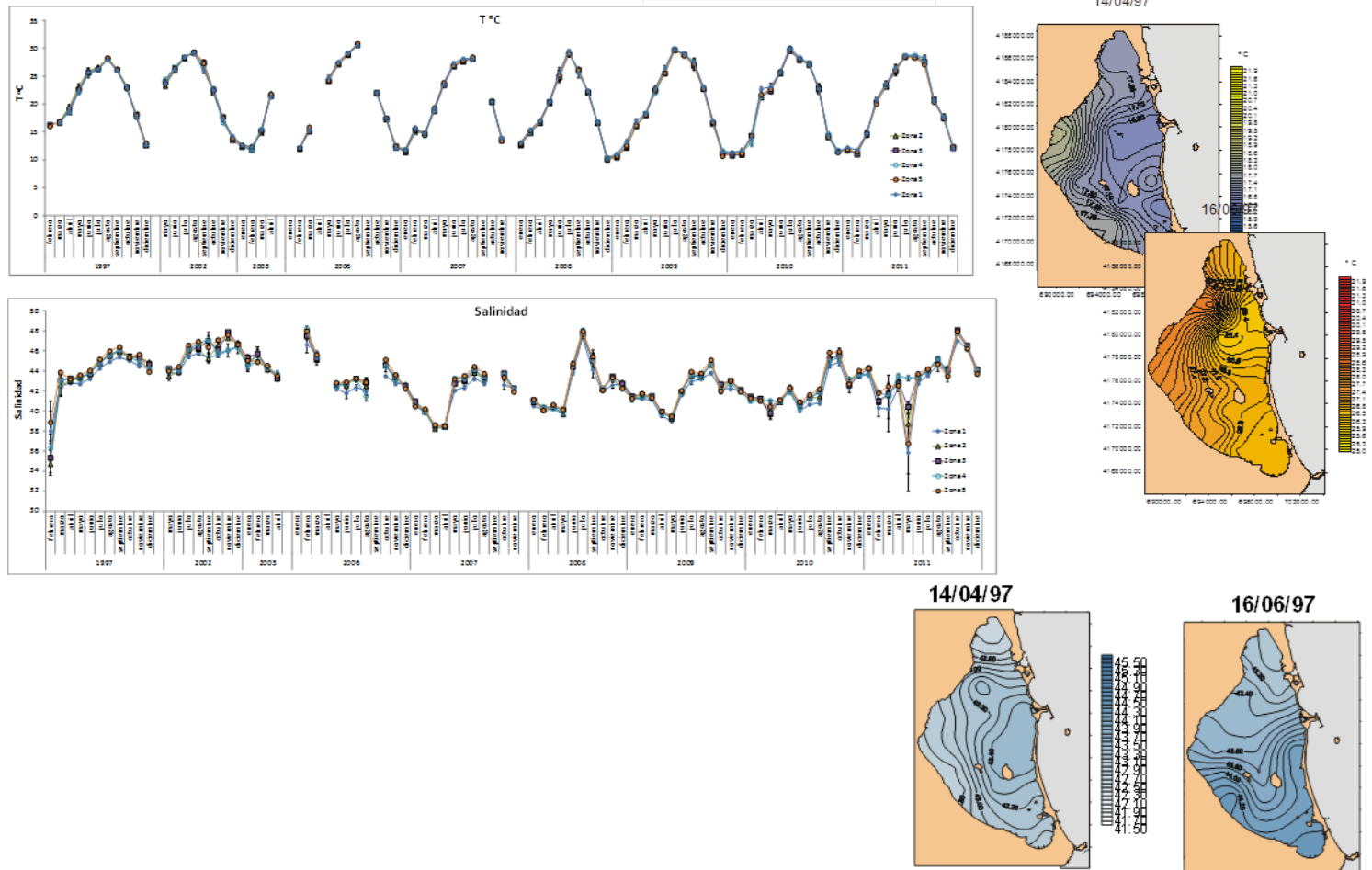
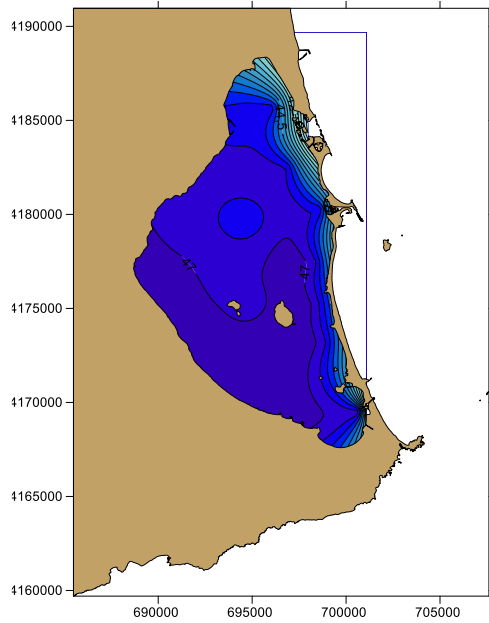


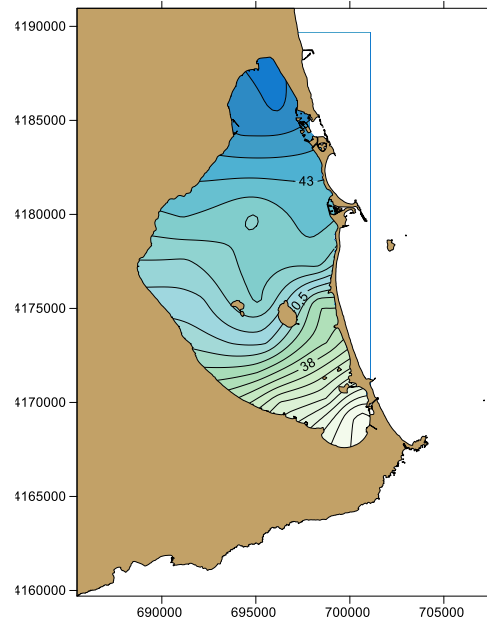
Figura 1. Evolución de la concentración de la salinidad y temperatura en el Mar Menor desde 1997 hasta 2011.

Salinidad

22-sept-2016



20-dic-2016



25-en-2017

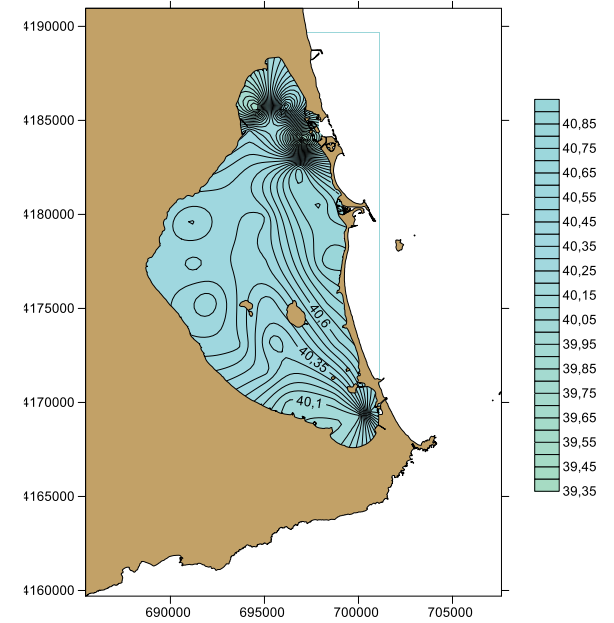
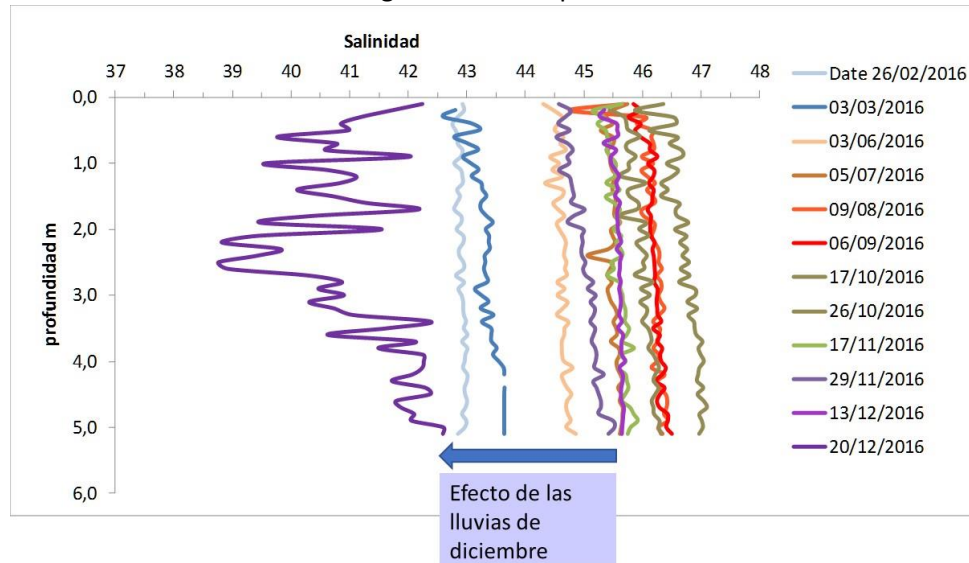
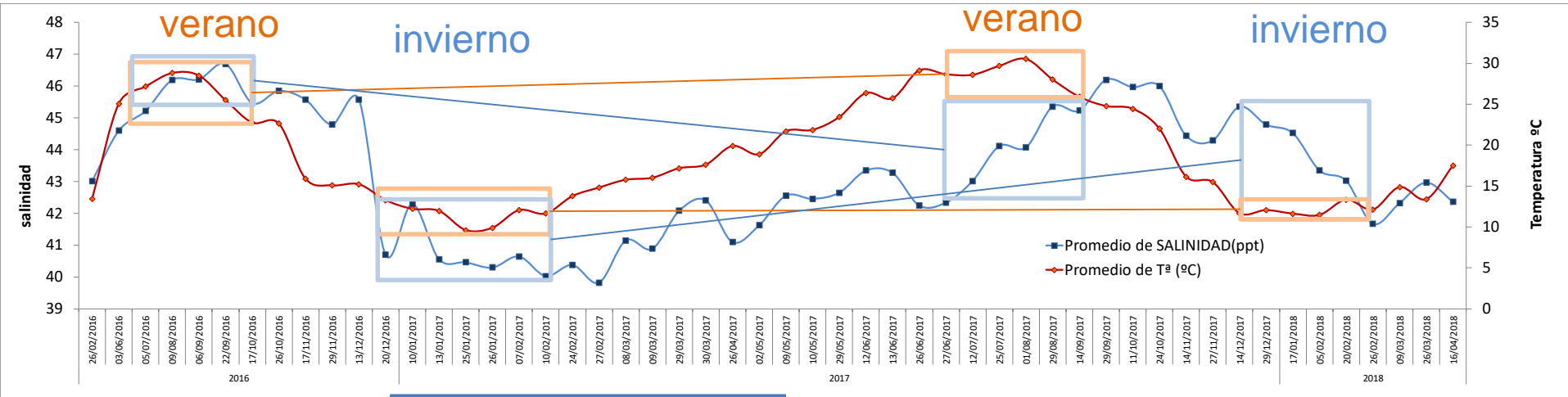


Figura 1. Perfiles medios de salinidad en la columna de agua durante el periodo de

08-marzo-2017



Salinidad-Temperatura

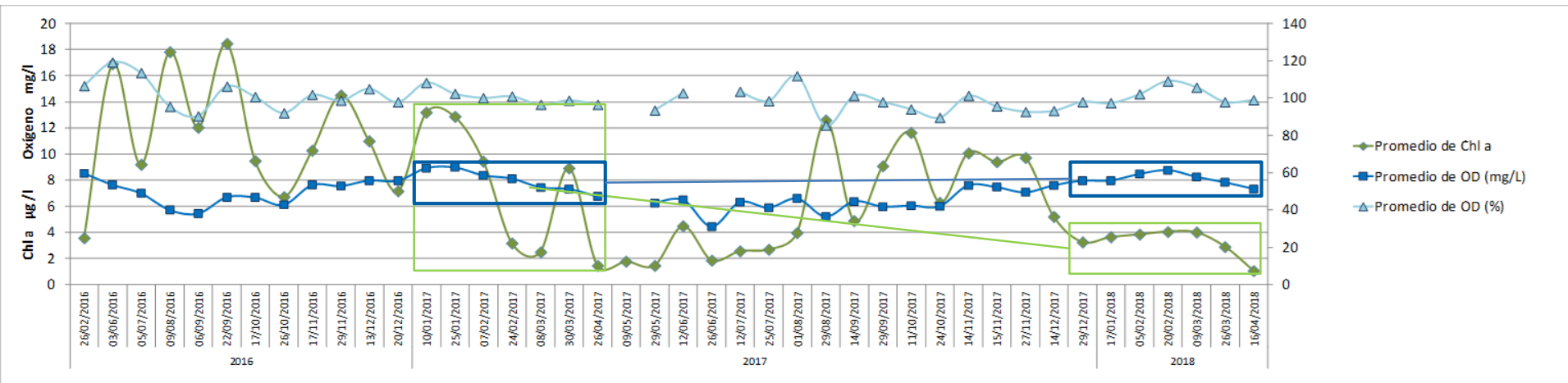


A diferencia con eventos anteriores, en 2017 la bajada de salinidad se vió sostenida anormalmente en el tiempo, probablemente como consecuencia de las entradas superficiales y subsuperficiales en las zonas someras de la ribera interna del Mar Menor



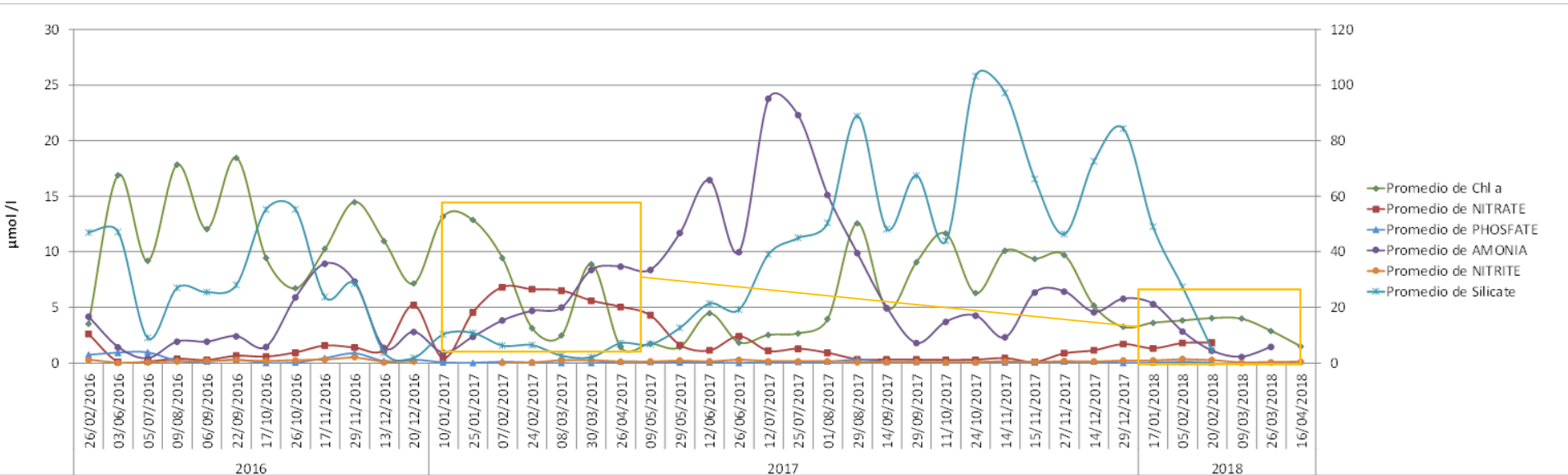


Evolución de la concentración de oxígeno en la columna de agua





Evolución del estado trófico (Nutrientes y clorofila a)



2016: Clorofila muy alta
El amonio está alto y aumenta cuando disminuye la clorofila, especialmente a partir del final de verano y otoño

2016: Lluvias torrenciales en diciembre y enero, con introducción de Nitratos y algo de fosfatos. Picos de clorofila. Se ralentiza la bajada de clorofila pero se mantienen a pesar de la primavera. El amonio sube a medida que baja la clorofila: posibles procesos de remineralización en la columna de agua

Primavera-verano de 2017: Los nitratos y la clorofila se mantienen bajos. El amonio empieza a bajar también. Los aportes desde el sedimento no son evidentes y requieren un estudio específico.

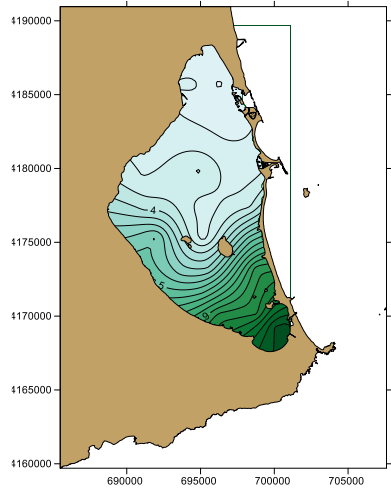
Agosto 2017: Temperaturas excepcionalmente altas. La clorofila aumenta bruscamente, posiblemente utilizando el amonio que aún hay en la columna de agua. Este sigue bajando. Subidas y bajadas consecutivas de amonio y clorofila en un proceso alternante de producción primaria y remineralización.

Otoño 2017: La clorofila empieza a decrecer de nuevo. Ligeramente repunte de los nitratos.

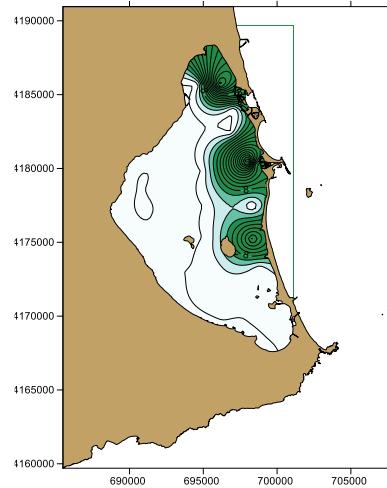
$\mu\text{mol NO}_3/\text{l}$



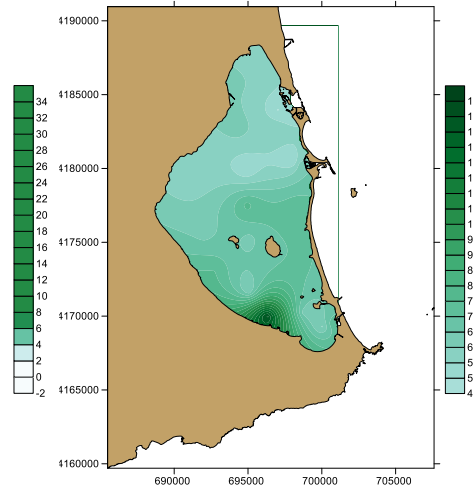
20-dic-2016



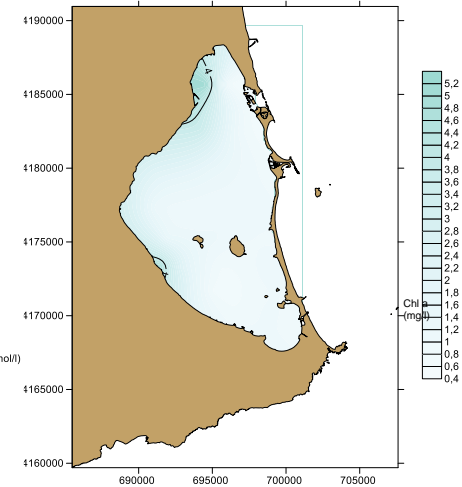
25-en-2017



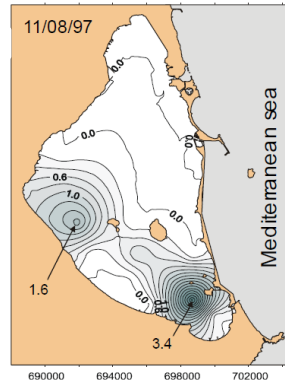
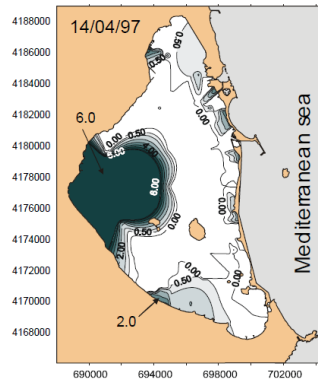
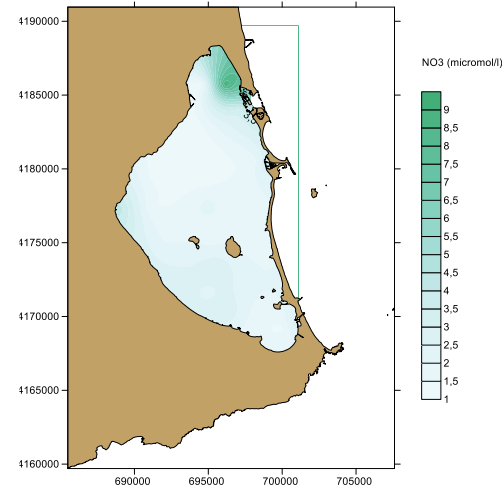
24-febrero-2017



29-dic-2017



26-junio-2017



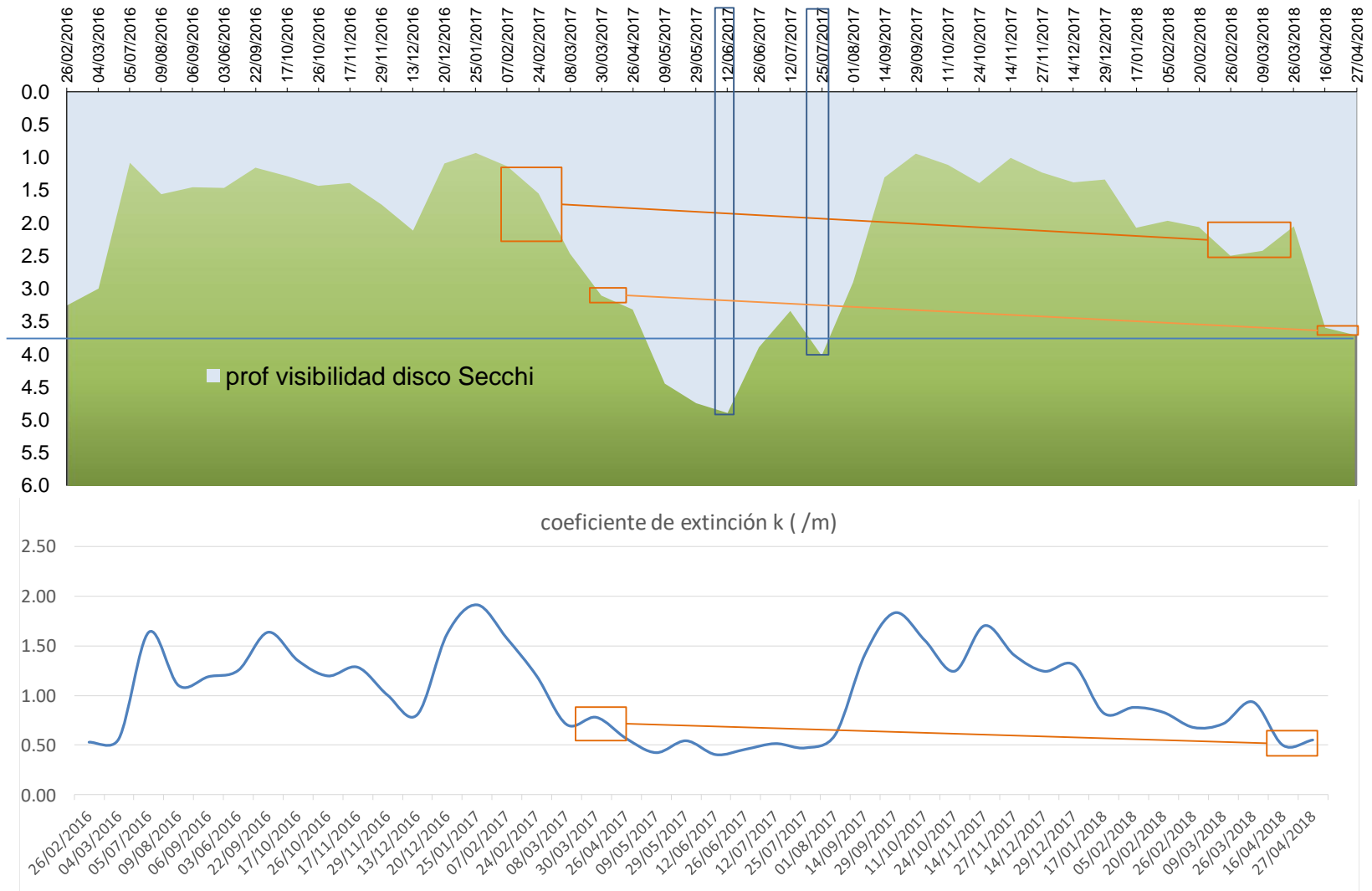
Serie histórica de datos no publicados del grupo de investigación Ecología y ordenación de ecosistemas marinos costeros (Universidad de Murcia)

Profundidad de visibilidad disco de Secchi



Verano 2016

Verano 2017



Inicio de la recuperación de las praderas



Datos del profesor Antonio Guerrero (UPCT)
tomados con vehículos submarinos



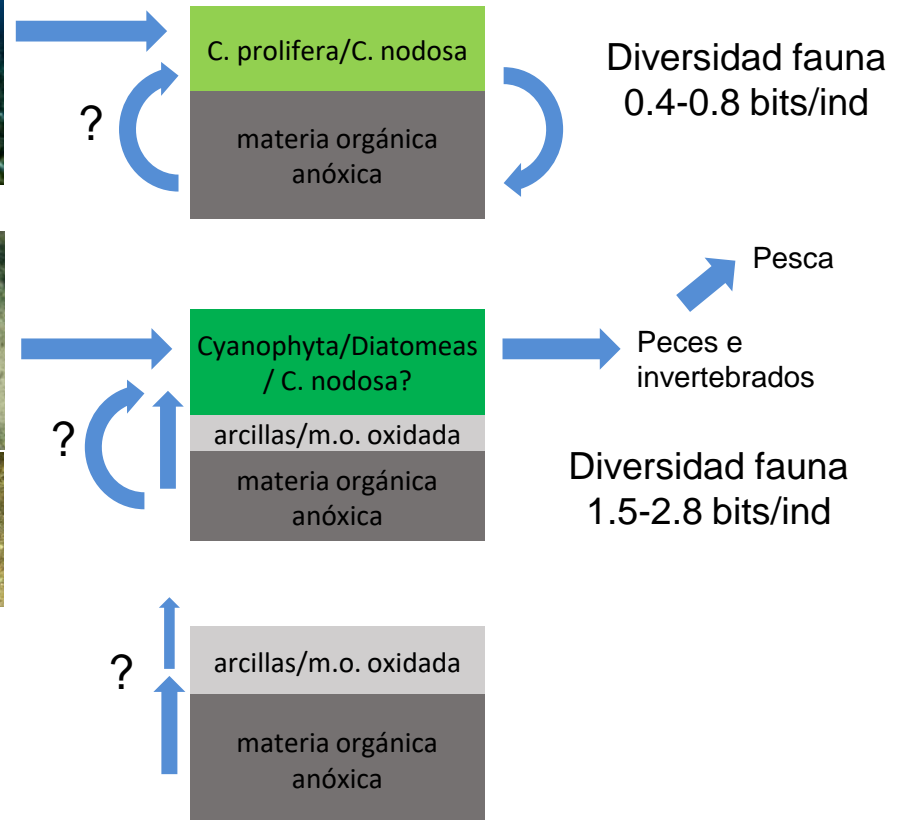
	mean Biomass in habitat area (gC/m ²)	Production / biomass (/year)	Total production (gC/m ² year)	Ratio Cyanophyta/Caulerpa
Cyanophyta/Diatomea	6,629	167,491545	1110,301452	4,176624969
Chlorophyta-Cau	2,880947	57,68125	166,1766241	
Ochrophyta	0,4676	16,8	7,85568	
Rhodophyta	1,344101	16,8	22,5808968	
C. prolifera	169	1,573	265,837	
Cymodocea nodosa	9,478083	2,75	26,06472825	

Capturas medias anuales antes y después de la expansión de *C. prolifera*

grupo	especie	Before	After	Before/After
Artropodos	C.cra	0	191,631579	0
Artropodos	P.ker	4457	3119,26316	1,42886309
Artropodos	C.med	0	213,052632	0
Artropodos	prawns	42,0909091	1278,36842	0,03292549
Moluscos	O.ed	0	7104,10526	0
Vertebrados	A.ang	72993,7273	59962,5789	1,21732135
Vertebrados	A.sp	141182,909	68636,8421	2,0569552
Vertebrados	S.pil	0	16475,0526	0
Vertebrados	E.enc	4067,09091	17959,4211	0,22646002
Vertebrados	G.cob	0	24,0526316	0
Vertebrados	D.lab	1260,36364	860,421053	1,46482194
Vertebrados	Mugilidaesp			
Vertebrados	p	131144,364	23793,6842	5,51173002
Vertebrados	Mullus spp	3600,18182	4882,94737	0,73729687
Vertebrados	D.anu	17712,0909	13256,1579	1,33614061
Vertebrados	D.spp	636,636364	1339,63158	0,47523242
Vertebrados	L.mom	36616,0909	34827,9474	1,0513422
Vertebrados	S.sal	0	137,842105	0
Vertebrados	S.aur	20463,6364	9523,26316	2,14880509
Vertebrados	Solea spp	3130,90909	842,947368	3,71424031
		437307,091	264429,211	1,65377755

nutrientes

Producción



Pero sigue habiendo vertidos que es esencial controlar



playas de Carrión y de La Concha (Los Alcáceres) 18 enero 2018



Etiquetas de fila	Promedio de Lat	Promedio de Lon	Máx. de DEP m	Promedio de °C	Promedio de SAL-ppt	Promedio de pH	Promedio de NTU	Promedio de Chl ug/L	Promedio de Chl RFU	Promedio de DO %	Promedio de DO mg/L
ALCA1	37,737450000	-0,849680000	,06	14,53	44,33	7,86	8,38	1,18	,31	105,19	8,16
ALCA10	37,737524595	-0,848790541	,25	20,35	16,71	8,0	1541,29	5,77	1,46	94,79	7,76
ALCA11	37,736823438	-0,849420625	1,23	12,64	44,40	7,86	6,73	1,49	,39	101,44	8,16
ALCA2	37,737430000	-0,849390000	,06	12,82	44,25	7,88	13,33	1,04	,27	102,98	8,26
ALCA3	37,737487045	-0,848772045	1,27	12,46	44,67	7,86	4,14	,79	,21	101,66	8,20
ALCA4	37,737030000	-0,849960000	,10	13,53	44,26	7,87	10,15	,96	,25	102,99	8,15
ALCA5	37,736930000	-0,849780000	,19	13,04	44,23	7,85	7,19	1,05	,28	101,50	8,11
ALCA6	37,736790000	-0,849527368	,19	12,70	44,57	7,86	4,91	,98	,26	101,40	8,14
ALCA7	37,736060000	-0,850542667	,10	14,17	44,40	7,85	23,14	2,07	,53	101,81	7,95
ALCA8	37,736013846	-0,850380000	,09	13,33	44,31	7,87	7,68	,95	,25	102,07	8,30
ALCA9	37,735940000	-0,850220000	,11	12,84	44,54	7,85	6,91	1,02	,27	100,69	8,06

Medidas a adoptar

Es urgente un plan de gestión de las aguas y de regulación no solo de vertidos, sino también de los niveles del freático. Mantener la vigilancia sobre los vertidos es esencial, pero, sobre todo, anticiparlos y evitarlos.

Inventario y caracterización de los tipos de agua, necesidades y recursos..

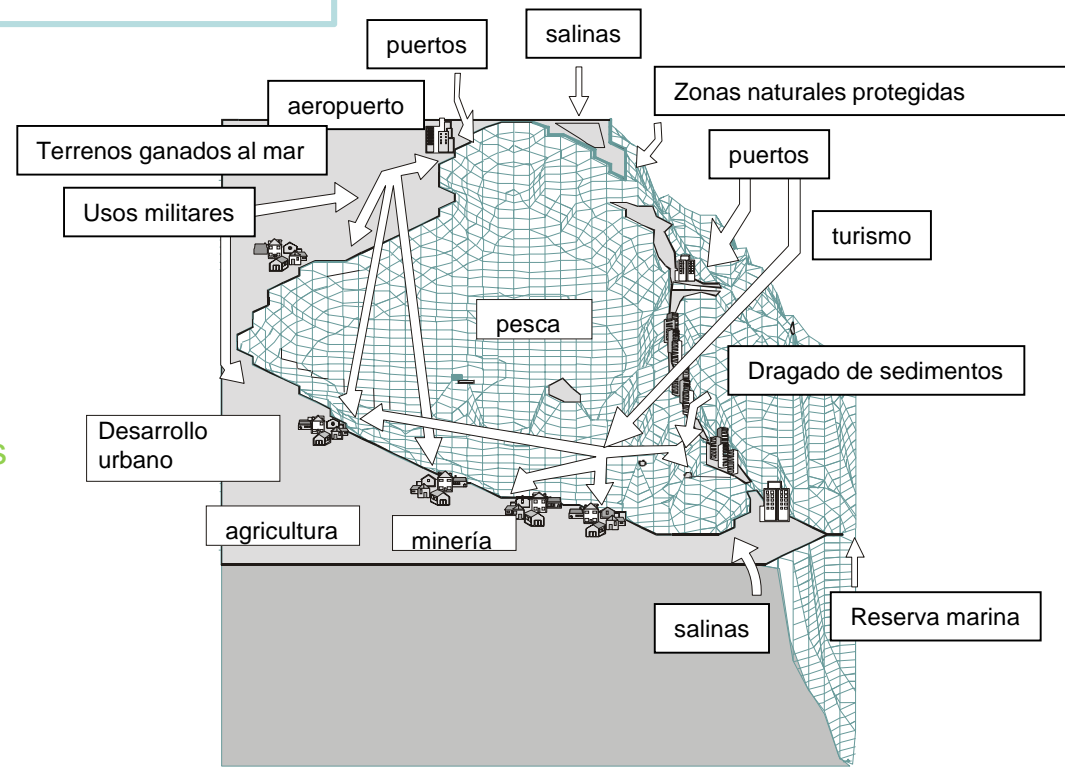
Infraestructuras de recogida y canalización

Sistemas de tratamiento en función de las características (salmueras, nutrientes, contaminantes) (depuración, desalación, filtros verdes, ...)

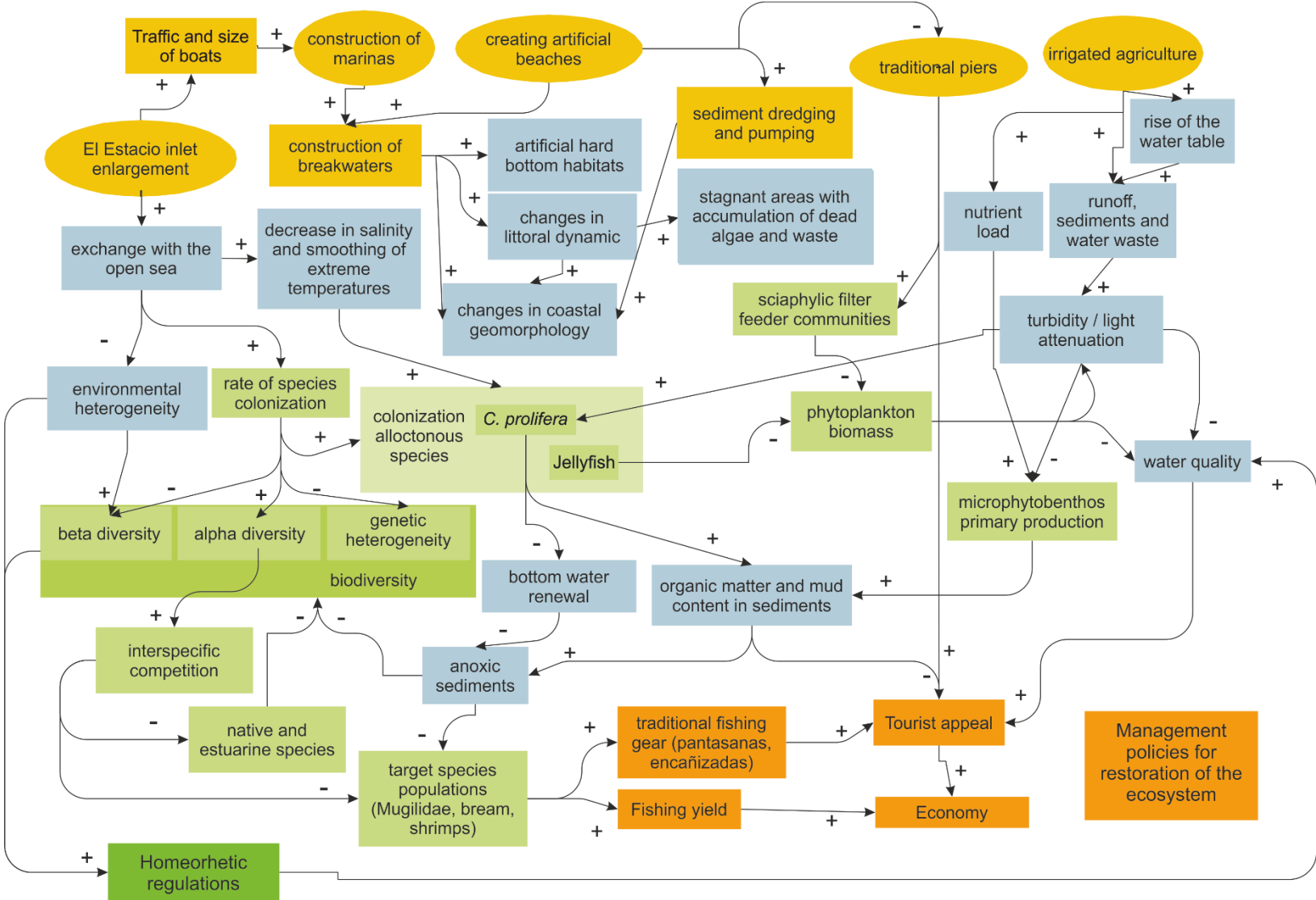
Recuperación de zonas naturales

Infraestructuras para la reutilización o el evacuado en función de las características del agua tratada

Gestión de las aguas subterráneas y de los niveles del freático

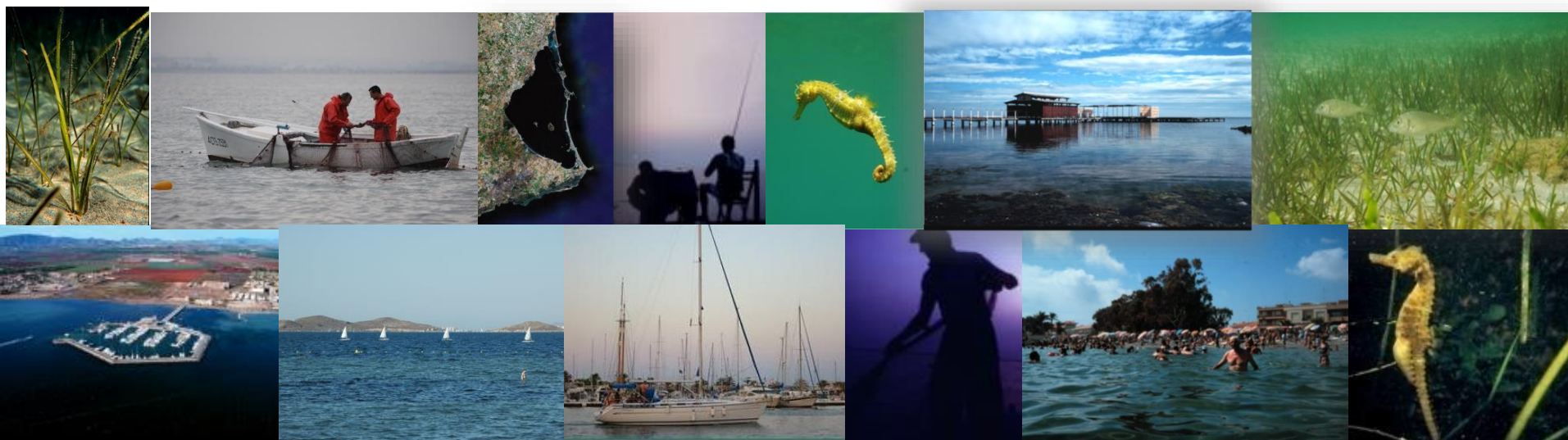


Medidas a adoptar



Hay que actuar ya

Solo podremos resolver la situación extrema a la que hemos llevado al Mar Menor y evitar su deterioro irreversible si se toma conciencia del problema, se evita la especulación y los oportunismos y todas las administraciones, departamentos de cada administración y usuarios implicados son capaces de coordinarse para buscar las soluciones, utilizando el conocimiento como base para la toma de decisiones.





UNIVERSIDAD DE
MURCIA