

# Programa de seguimiento de eutrofización en la laguna costera Mar Menor

*Acrónimo:* MMEM

Financiado por IEO



**Instituto Español de Oceanografía**

Centro Oceanográfico de Murcia (COMU)

Centro Oceanográfico de Málaga (COMA)

21 de agosto de 2017



## **Equipo de Trabajo**

### ***Coordinación***

Juan M. Ruiz<sup>1</sup>

E-mail: [juanm.ruiz@mu.ieo.es](mailto:juanm.ruiz@mu.ieo.es)

### ***Equipo científico:***

Marina Albentosa<sup>1</sup>

Víctor M. León<sup>1</sup>

Juan Santos<sup>1</sup>

Ignacio Franco<sup>1</sup>

Juan M. Ruiz<sup>1</sup>

Jesús Mercado<sup>2</sup>

M<sup>a</sup> Dolores Cortés<sup>2</sup>

Teodoro Ramírez<sup>2</sup>

Lidia Yebra<sup>2</sup>

### ***Equipo técnico:***

Juan Pedro Alvarez<sup>2</sup>

Francisco Gómez<sup>1</sup>

Rocío García<sup>1</sup>

Aranzazu Ramos<sup>1</sup>

Jaime Bernardeau<sup>1</sup>

Juan Perán<sup>1</sup>

Candela García Gómez<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Centro Oceanográfico de Murcia (COMU)

<sup>2</sup>Centro Oceanográfico de Málaga

### ***Colaboradores externos:***

Maria Dolores Belando.

***Advertencia:*** este informe contiene datos provisionales y, por tanto, tiene carácter preliminar y no definitivo. No se permite su difusión sin autorización previa.

## **OBJETO DEL PRESENTE INFORME**

Aportar datos actualizados de clorofila y turbidez de la columna de agua hasta el 17 de agosto de 2017 que permitan interpretar los cambios recientes de la calidad del agua experimentados por el ecosistema lagunar.

Como se puede apreciar, estas variables son parte de un espectro más amplio de variables cuya obtención tiene lugar en campañas de muestreo que se realizan por los equipos del Centro Oceanográfico de Murcia con una periodicidad de 1 a 1,5 meses. Los resultados correspondientes al resto de variables todavía no están disponibles y por ello no se muestran en este informe, pero serán aportados más adelante en un informe anual. En el presente informe se incluyen detalles del diseño de muestreo, así como de la metodología de determinación y análisis de las variables muestreadas.

## 1. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS

El Mar Menor es una de las lagunas costeras hipersalinas mayores de Europa con una extensión de 135 km<sup>2</sup> y una profundidad media de 3,6 m (máximo 7 m). Al tratarse de un cuerpo de agua semicerrado, el ecosistema lagunar es muy vulnerable a los impactos de la actividad humana, particularmente concentrados en su entorno debido al intensivo desarrollo turístico y agrícola experimentado por la zona, razón por la cual en la laguna se solapan varias figuras de protección (LIC Mar Menor, ZEPIM y RAMSAR). Antes de las grandes transformaciones producidas por la acción directa del hombre, la laguna se caracterizaba por tener aguas oligotróficas e hipersalinas (70-53 UPS) dominadas por fondos sedimentarios con praderas de *C. nodosa* o “entinas”. Desde la década de los 70 este ecosistema singular experimentó una gran transformación oceanográfica y, de forma paralela, se produjo un cambio en las prácticas agrícolas desarrolladas en la extensa superficie del campo de Cartagena que ocupa gran parte de la cuenca de drenaje de la laguna, donde los cultivos tradicionales de secano fueron sustituidos por cultivos intensivos de regadío. Este cambio conllevó un marcado incremento en el aporte a la laguna de aguas excedentarias agrícolas con elevada carga de nutrientes. Durante estas últimas 3 décadas el ecosistema lagunar ha mostrado una elevada resiliencia a estos cambios gracias a elementos del mismo que han sido capaces de manejar los excesos de nutrientes a través del control del compartimento planctónico (p.e. macroalgas bentónicas, especies filtradoras como las medusas o el bivalvo *Pinna nobilis*), pero desde verano de 2015 la proliferación masiva de plancton indica que estos controles han dejado de actuar y el proceso de eutrofización es ya más que evidente. El mantenimiento de esta situación en el tiempo puede tener consecuencias ecológicas y socio-económicas particularmente adversas, ya que pondría en riesgo no solo la integridad del ecosistema lagunar sino las actividades humanas que dependen de ello, como el turismo y, a largo plazo, la propia pesca.

Sin embargo, a pesar de la importancia ecológica y socio-económica del Mar Menor, la ausencia de programas de seguimiento en continuo no nos permite determinar ni la magnitud del fenómeno ni las causas que lo han desencadenado. Desde sus orígenes (1967) la actividad del Centro Oceanográfico de Murcia ha estado ligada al Mar Menor y, si bien no ha mantenido en el tiempo programas específicos dedicados al seguimiento continuado de las características oceanográficas y ecológicas de la laguna, ha realizado diferentes campañas oceanográficas y proyectos a partir de los cuales se ha obtenido información básica crucial para descifrar y comprender la evolución de la laguna durante las últimas 5 décadas.

Dada la gravedad de los cambios recientes experimentados por el Mar Menor, y el compromiso de este organismo con las instituciones y la sociedad, el IEO, a través de sus centros oceanográficos de Murcia y de Málaga (COMU y COMA), ha puesto en marcha desde junio de 2016 un programa de seguimiento en continuo para determinar la evolución del proceso de eutrofización (*Mar Menor Eutrophication Monitoring*

*Programme: MMEM*), enfocado principalmente a los aspectos físicos, químicos y biológicos que determinan dicho proceso a nivel de la columna de agua.

El objetivo general del programa es la detección y caracterización de episodios de eutrofización en el Mar Menor y su evolución, en la columna de agua. De acuerdo con esto, los **objetivos específicos** del programa MMEM son los siguientes:

- a) Puesta en marcha de un programa de muestreo de la columna de agua con periodicidad mensual.
- b) Caracterización físico-química del agua.
- c) Caracterización de la comunidad fitoplanctónica.
- d) Caracterización de la comunidad zooplanctónica (incluyendo medusas).
- e) Diagnóstico sobre el proceso de eutrofización y su evolución temporal.

## **2. METODOLOGIA Y DISEÑO DE MUESTREO**

### **2.1 Área de estudio**

El programa se centra en la detección y caracterización de procesos de eutrofización que afecten a la masa de agua lagunar de forma más global y extensa a largo plazo. Por ello el esfuerzo se centra en la caracterización de las principales masas de agua en que se divide la laguna: cubeta norte, centro y cubeta sur. Se descartan así las zonas periféricas más someras para evitar interferencias con estructuras oceanográficas de alcance más local.

### **2.2 Muestreo preliminar en mayo de 2016**

Con vistas al diseño y puesta en marcha de un programa de seguimiento de eutrofización del Mar Menor, en mayo de 2016 se realizó una primera toma de muestras para obtener información básica sobre la naturaleza del fenómeno de coloración y enturbiamiento de las aguas lagunares, persistente desde finales de verano de 2015. Se obtuvieron dos muestras de agua en diferentes partes del Mar Menor y se realizaron mediciones y observaciones sobre la concentración del material particulado y su naturaleza (orgánica-inorgánica y espectro de tamaños), la concentración de pigmentos fotosintéticos, las concentraciones de nutrientes (amonio) y la composición de la comunidad fitoplanctónica. Los métodos empleados son los mismos que se explican en los siguientes apartados, excepto para el caso de los nutrientes que se midieron con kits comerciales y sonda multiparmétrica (Orion Dual Star). El fitoplancton solo se estudió a nivel cualitativo en este muestreo.

La posición de las localidades en que se recolectaron las muestras fueron las siguientes:

- San Pedro del Pinatar: 37°48'49.8"N 0°47'05.0"W (Norte)
- Desembocadura de la Rambla del Beal: 37°40'06.7"N 0°48'41.3"W (Sur)

Las muestras se tomaron a una profundidad de 1m y fueron transportadas al Centro Oceanográfico de Murcia (IEO) en oscuridad y refrigeración. Los resultados de este

muestreo sirvieron para diseñar los objetivos y contenidos del programa de seguimiento definitivo.

## 2.3 Programa de seguimiento

El primer muestreo del programa de seguimiento definitivo se realizó el 15 de junio de 2016. A continuación se explican las variables y grupos de variables seleccionados para el seguimiento, las metodologías empleadas y se exponen los resultados obtenidos hasta la fecha.

### 2.3.1 Diseño de muestreo

Para el muestreo de la masa de agua lagunar consideramos el Mar Menor dividido en 3 grandes unidades fisiográficas y oceanográficas:

1. Cubeta Norte (zona A): es la situada más al norte, con mayor influencia de agua mediterránea y, por tanto, con mayor tasa de renovación del agua.
2. Cubeta Central (zona B): comprende todas las islas del Mar Menor y sus aguas presentan un grado de confinamiento intermedio.
3. Cubeta Sur (zona C): está situada al sur de las islas y es la parte del Mar Menor cuyas aguas presentan un mayor grado de confinamiento.

En cada una de estas zonas se han seleccionado 2 estaciones de muestreo (6 estaciones en total: A1, A2, B1, B2, C1, C2), todas a una profundidad máxima de entre 5 y 6 m (Tabla 1, Fig. 1). En cada estación de muestreo cada variable es muestreada en 3 sitios seleccionados al azar ( $n=3$ ,  $N = 18$ ), excepto la irradiancia PAR, que se determina por zona.

**Tabla 1.** Coordenadas UTM y profundidad de las estaciones de muestreo.

Sitio	X	Y	Profundidad
A1	695176.973	4185157.05	4,9
A2	695461.962	4181988.06	6,2
B1	695437.587	4174626.78	6,1
B2	695652.935	4175957.12	6,5
C1	698236.922	4171323.13	6,6
C2	699213.916	4169658.13	5,2



**Figura 1.** Localización de las estaciones de muestreo seleccionadas para el programa de seguimiento MMEM. En cada estación las variables se obtienen en 3 sitios seleccionados al azar ( $n = 3$ ;  $N = 18$ ).

La selección de las estaciones de muestreo se ha realizado en base a la posición de las estaciones de unos muestreos realizados entre 1981 y 1982 para el seguimiento y caracterización de la columna de agua en términos de nutrientes y clorofila *a*. Las posiciones de estas estaciones también coinciden con estaciones próximas estudiadas por diferentes investigadores del COMU en diferentes periodos de la década de los 2000 con diferentes fines: plancton y medusas (2005), contaminantes (2010) y vegetación bentónica (2014). De esta forma se facilitará el análisis comparativo de los



resultados obtenidos en diferentes periodos y épocas y, por tanto, la reconstrucción de la evolución temporal, al menos de determinadas variables concretas.

En cada estación, la medición de las variables y la toma de muestras se realizan a una profundidad fija de 3 metros. Algunas variables físico-químicas se miden también en el primer medio metro de la columna de agua (superficie).

### ***2.3.2 Salidas de muestreo***

Cada estación será visitada con una periodicidad aproximadamente mensual.

#### *Muestreo de fitoplancton:*

En cada punto de muestreo se realizarán las siguientes mediciones y actividades:

1. Obtención de datos meteorológicos y estado de la mar durante el muestro en cada estación.
2. Medición de variables físico-químicas de la columna de agua con sondas específicas (sonda multiparamétrica, CTD y fotómetro).
3. Obtención de 3 muestras de agua al azar mediante botella Niskin de 5 litros para el análisis en laboratorio de las diferentes variables seleccionadas para caracterizar la columna de agua (ver más abajo). Teniendo en cuenta el diseño de muestreo explicado anteriormente, se obtendrá un total de 18 muestras.

Durante la jornada de muestreo las muestras obtenidas son almacenadas en frío dentro de neveras transportadas en la misma embarcación.

#### *Muestreo de zooplancton:*

En cada punto de muestreo se realizarán las siguientes actividades:

1. Obtención de datos meteorológicos y estado de la mar durante el muestro en cada estación.
2. Medición de variables físico-químicas de la columna de agua con CTD.
3. Pesca de plancton con periodicidad mensual con red de 200 micras y 50 cm de diámetro. En la época de presencia de larvas de medusas además pesca de plancton con red de 2000 micras y 1 m de diámetro.

Este muestreo empezará a realizarse a partir del 1 de agosto de 2016 y se estima que este muestreo tendrá una duración total de 6 horas.

### 2.3.3 Variables físico-químicas

La irradiancia PAR (400-700 nm) se registró mediante sensor plano de irradiancia de la marca LICOR, modelo LI-193. A partir de medidas realizadas justo bajo el nivel del mar (subsuperficial) y justo sobre el fondo, se obtiene el coeficiente de extinción de la luz ( $k$ ,  $m^{-1}$ ), a partir de la ecuación de Lambert-Beer (Kirk, 1994)

La temperatura, la salinidad y la concentración de oxígeno disuelto fueron obtenidas mediante sonda multiparamétrica de la marca WTW, modelo Mult340i. Las medidas de pH se realizaron con un sensor de pH de la marca CRISON, modelo ph/mv-meter506.

**Material particulado:** Esta medición será realizada para cada muestra en el laboratorio de fisiología de moluscos del COMU.

#### 1.1. Distribución por tamaños y volumen

En el laboratorio las muestras de agua se pasarán por el contador de partículas Coulter Multisizer III con 3 tubos de diferente tamaño de poro:

- Tubo de 30  $\mu m$ , lecturas entre 0.6-18  $\mu m$
- Tubo de 100  $\mu m$ , lecturas entre 2-60  $\mu m$
- Tubo de 1000  $\mu m$ , lecturas entre 30-600  $\mu m$
- TOTAL 0.6-600  $\mu m$

Determinación de: n° de partículas/L y el tamaño de las mismas ( $mm^3/L$ ) pudiendo distinguir un total de 256 canales para cada intervalo de tallas.

#### 1.2. Cuantificación de la masa correspondiente al material particulado

Se determinará la masa de diferentes fracciones determinadas en el Coulter mediante filtración selectiva:

- Tamizado con nylon 20  $\mu m$  y filtrado en GF/F (0.7  $\mu m$ ): rango obtenido 0.7-20  $\mu m$ .
- Tamizado con nylon 60  $\mu m$  y filtrado en GF/C (1.2  $\mu m$ ): rango obtenido 1.2-60  $\mu m$ .
- Filtrado total en GF/C (1.2  $\mu m$ ): rango obtenido total >1.2  $\mu m$ .

En todas estas muestras se obtendrá:

TPM (mg/L), materia particulada total (secado a 100°C, 24 h)

PIM (mg/L), materia particulada inorgánica (calcinación a 450°C, 1-4 h)

POM (mg/L), materia particulada orgánica (calcinación a 450°C, 1-4 h)

POM/TPM (%), porcentaje de materia orgánica

VOL ( $mm^3/L$ ), volumen particulado

POM/VOL (mg OM/ $mm^3$ ), materia orgánica por unidad de volumen particulado.

**Materia orgánica disuelta y sustancias fluorescentes:** La materia orgánica disuelta se determinará en el agua de mar filtrada usada en la determinación de POM. Para ellos se colocará la muestra en frascos de vidrio previamente muflados y acidificará a pH <2 con  $H_3PO_4$  para ser analizada mediante un analizador de carbono elemental que nos proporcionará valores de carbono orgánico disuelto (DOC) y de nitrógeno total disuelto (TDN) (Shimadzu TOC V-CPH) (Álvarez-Salgado y Miller, 1998). Además, se caracterizará esta materia orgánica mediante el análisis de los compuestos fluorescentes utilizando un espectro de luminiscencia (Perkin-Elmer LS-55) (Nieto-Cid et al., 2005). Este método permite discernir entre diferentes tipos de materia orgánica presentes en el

medio marino como las sustancias húmicas marinas y las sustancias proteicas lo que ayudará a interpretar el origen de la misma.

**Nutrientes:** Durante el muestreo, las muestras de agua para nutrientes se almacenan en botes de plástico PP de 100 ml y en frío hasta su procesamiento en el laboratorio pocas horas después. En el laboratorio se filtran con filtros CF/F y se guardan congeladas a -20°C. Las muestras serán enviadas al CO Málaga en nieve carbónica para la determinación de las concentraciones de:

- Nitratos
- Nitritos
- Amonio
- Fosfatos
- Silicatos
- Urea
- TDP
- DOP
- DON

Los nutrientes inorgánicos disueltos se analizarán mediante autoanalizador QuAAtro39 (Seal Analytical) de microflujo continuo segmentado, siguiendo las técnicas modificadas de Strickland y Parsons (1972) y Hansen y Koroleff (1999). Las concentraciones de DON y DOP se determinarán por diferencia entre las concentraciones de N inorgánico disuelto y P inorgánico disuelto y la concentración de N total disuelto y P total disuelto, respectivamente

#### **2.3.4 Variables biológicas**

**Pigmentos fotosintéticos:** Para cada muestra se determinarán en laboratorio las concentraciones de clorofilas a, b, c, carotenoides y total ( $\mu\text{g/L}$ ) y los índices Chl b/Chl a y Chl c/Chl a, una vez filtrada con filtros CF/F ( $0,7 \mu\text{m}$ ) y siguiendo la metodología propuesta por Jeffrey y Humphrey (1975). Extracción en etanol y lectura en espectrofotómetro al día siguiente. Esta medición será realizada en los laboratorios de Ecología de Angiospermas Marinas del COMU.

**Caracterización de la comunidad de fitoplancton:** El análisis de la comunidad de fitoplancton se ha realizado mediante el estudio de material vivo el mismo día de muestreo y de 250 ml agua de mar fijada con una solución de lugol (3%). Para un análisis previo y cualitativo de la composición de especies, se han analizado muestras de agua de mar en fresco para la observación de los flagelos y cloroplastos, ya que son caracteres taxonómicos imprescindibles para la identificación de especies. Para ello se ha utilizado un microscopio óptico (MO, LM, Leica DMRB) con cámara incorporada (Leica DC-500) a magnificación 40x y 100x con el uso de aceite de inmersión (Índice de refracción 1.45).

El análisis cuantitativo (abundancia), se ha llevado a cabo mediante métodos tradicionales de análisis microscópico, previa concentración de las muestras mediante sedimentación de 50 ml de agua de cada estación de muestreo en columnas de sedimentación. El conteo de los individuos se ha realizado con un microscopio óptico (Nikon) a magnificación 40x (excepto para individuos con tamaños inferiores a <10 µm). La abundancia de los organismos de pequeño tamaño se ha obtenido de las observaciones en el Coulter. Para realizar esa cuantificación mediante el Coulter, previamente se han realizado una caracterización del tamaño de cada especie utilizando imágenes de MO y microscopio electrónico de barrido (MEB). Para la determinación a nivel de especie, las muestras han sido observadas a MEB (JEOL-6100, Oxford Instrument, Abingdon UK) operando a 15 kV. Para ello se filtraron 50/100 ml de agua con filtros Millipore (1,2 µm de tamaño de poro) del material fijado (lugol 3%) y lavado con agua destilada para la retirada de sales. Unos filtros fueron directamente montados en pedestal y recubiertos de oro y otros fueron previamente deshidratados (punto crítico).

**Análisis de imágenes de satélite:** Se recopilarán las imágenes diarias proporcionadas por los satélites VIIRS (700 m<sup>2</sup> de resolución) y MODIS-Aqua (1,1 Km<sup>2</sup> de resolución) desde 2012 hasta la actualidad. Ambos satélites proporcionan imágenes de color del agua (diferentes bandas de fluorescencia dentro del rango visible) que permiten el cálculo de variables derivadas tales como clorofila a, PAR, carbono orgánico particulado y materia orgánica. El análisis de la serie temporal de las imágenes desde 2012 permitirá determinar si los patrones estacionales en la concentración de clorofila han sido alterados sustancialmente en los dos últimos años, así como, en su caso, detectar los posibles cambios que vayan ocurriendo en los próximos meses.

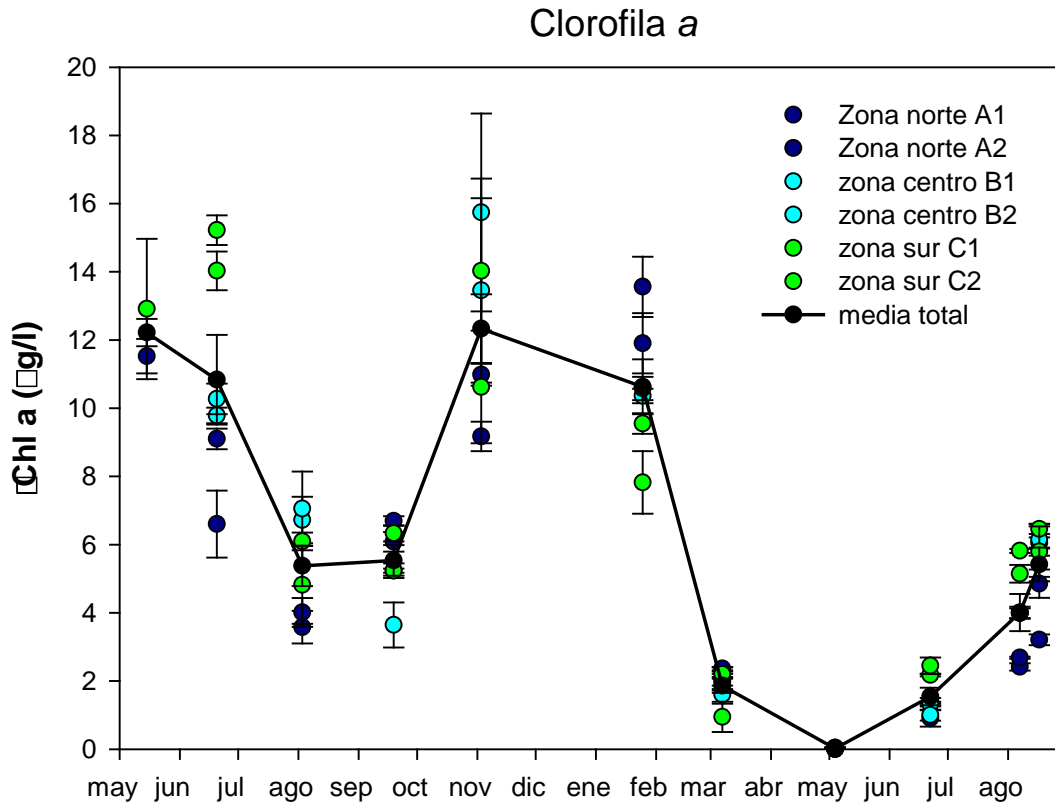
**Zooplankton y medusas (A PARTIR DE AGOSTO DE 2016):** Muestreo con red de 200 micras y periodicidad mensual y muestreo con red de 2000 micras coincidiendo con la presencia de larvas de medusas.

- Identificación de especies de la comunidad zooplanctónica
- Abundancias relativas
- Estimación de biomásas (mediante peso seco y análisis de imagen)
- Medición de producción (actividad AARS)

Esta actividad será realizada en colaboración con el Centro Oceanográfico de Málaga. También se determinará el impacto de la actual situación de las aguas del Mar Menor sobre la fase vida pelágica de caballito de mar (*Hippocampus guttulatus*) y se realizará una valoración del posible efecto sobre la población de adultos.

### 3 RESULTADOS

#### Evolución reciente de la clorofila a

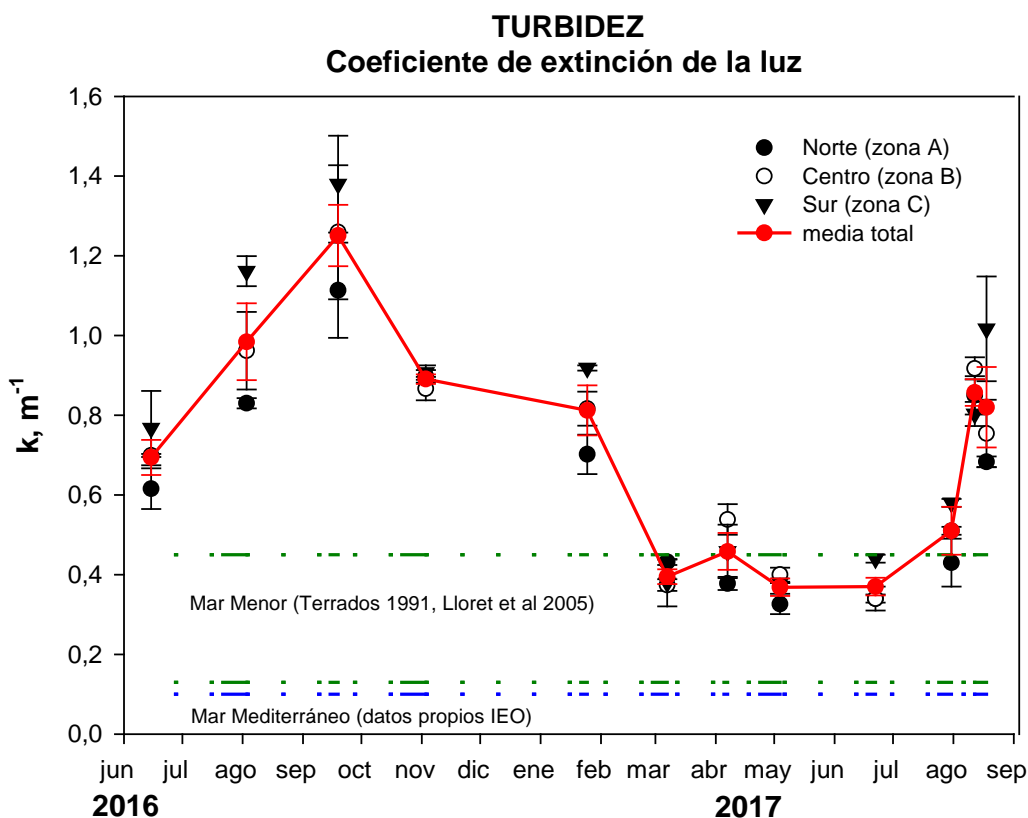


Valor medio y error estándar ( $n = 3$ ) de la concentración de clorofila a (chl a) obtenido en cada estación de muestreo definida para cada zona: norte (círculos azules), centro (círculos azul celeste) y sur (círculos verdes). La línea negra continua indica la media total de cada evento de muestreo. El periodo estudiado abarca desde mayo de 2016 hasta mediados de agosto de 2017.

Tras unos 4-5 meses de valores bajos de Chl a, desde la segunda quincena de junio de 2017 se observa una tendencia creciente de incremento de las concentraciones del pigmento hasta valores medios de  $5,4 \pm 0,49 \mu\text{g/l}$  observados el 17 de agosto. Entre el 22 de junio y el 17 de agosto se observa claramente una variación de esta variable formando un gradiente espacial caracterizado por valores máximos en la cubeta sur (estaciones zona C), valores medios en el centro (estaciones zona B) y valores mínimos en la cubeta norte (estaciones zona A), siendo en agosto cuando este gradiente es acusado. El 10 de agosto tuvo lugar un temporal de levante, con vientos de más de 15 nudos que causó una disrupción parcial de este gradiente debido a una mayor homogenización de la masa de agua de la laguna. Hasta este momento, el aspecto verde de las aguas se limitaba a la zona sur y centro y apenas alcanzaba las zonas perimetrales, de aspecto más transparente. El 17 de agosto, una semana después del temporal (y tras varios días de condiciones más calmadas), los valores de chl a

continúan aumentando hasta alcanzar los valores máximos registrados desde primavera de 2017 (3,21-6,4  $\mu\text{g/l}$ ).

### Evolución reciente de la turbidez del agua



Evolución de la turbidez del agua determinada a partir del coeficiente de extinción de la luz ( $k$ ,  $\text{m}^{-1}$ ). Se representan valores medios por zona y su error estándar. La línea roja continua representa el valor medio total de cada evento de muestreo. La línea verde discontinua representa el rango de variación natural de  $k$  obtenido en estudios realizados en las dos décadas anteriores a 2016 y la línea azul discontinua son los valores medios para el Mediterráneo obtenidos a partir de una base de datos propia.

Entre primavera y verano de 2017 los valores medios de turbidez disminuyeron hacia valores similares a los registrados en el Mar Menor en décadas anteriores al evento de eutrofización de 2016. Aunque estos valores todavía se mostraban elevados respecto a su rango de variación natural, la transparencia de las aguas volvió a niveles que no se observaban desde verano de 2015. Sin embargo, tras este periodo de 4-5 meses de aguas más transparentes, la turbidez de la columna de agua muestra una tendencia de incremento rápido hasta valores medios iguales a los del periodo de turbidez anterior (2016-febrero de 2017). Los valores más bajos se dan siempre en la cubeta norte, aunque el temporal de levante del 10 de agosto causó una homogenización de dichos valores en toda la laguna. Una semana después del temporal, y tras varios días de condiciones

mucho más calmadas, los valores se mantienen elevados y con valores máximos en la cubeta sur (de hasta  $1,01 \pm 0,13 \text{ m}^{-1}$ ).

### Valoración provisional de resultados

Los resultados de las dos variables mencionadas, concentración de clorofila a (chl a) y turbidez (coeficiente de extinción de la luz, k) indican claramente la activación de un nuevo desarrollo fitoplanctónico (*bloom*), tal y como de era de esperar a medida que la luz y la temperatura del agua fueran aumentando en los meses estivales. De acuerdo con los datos disponibles en Canal Mar Menor, la elevada disponibilidad de nitrógeno en forma amonio es la condición determinante para que produzca este nuevo *bloom*; la temperatura actúa de acelerador, pero la importancia relativa del pico de fitoplancton la determina la disponibilidad de los nutrientes. Como se puede comprobar, las bajas concentraciones de fósforo no han supuesto una limitación para que se produzca este bloom, tal y como se especulaba durante los meses previos, lo cual es esperable ya que la relación N:P para el fitoplancton es muy elevada. No se dispone de datos concretos sobre el origen de este amonio, pero de forma especulativa, lo más probable es que se deba a procesos de desnitrificación y amonificación microbiana que actúan sobre las diversas fuentes de N orgánico e inorgánico (nitratos), principalmente:

- a) aportes de vertidos
- b) aportes subterráneos
- c) remineralización del *pool* de materia orgánica contenida en los sedimentos y que ha quedado a disposición del sistema tras la desaparición de la vegetación.

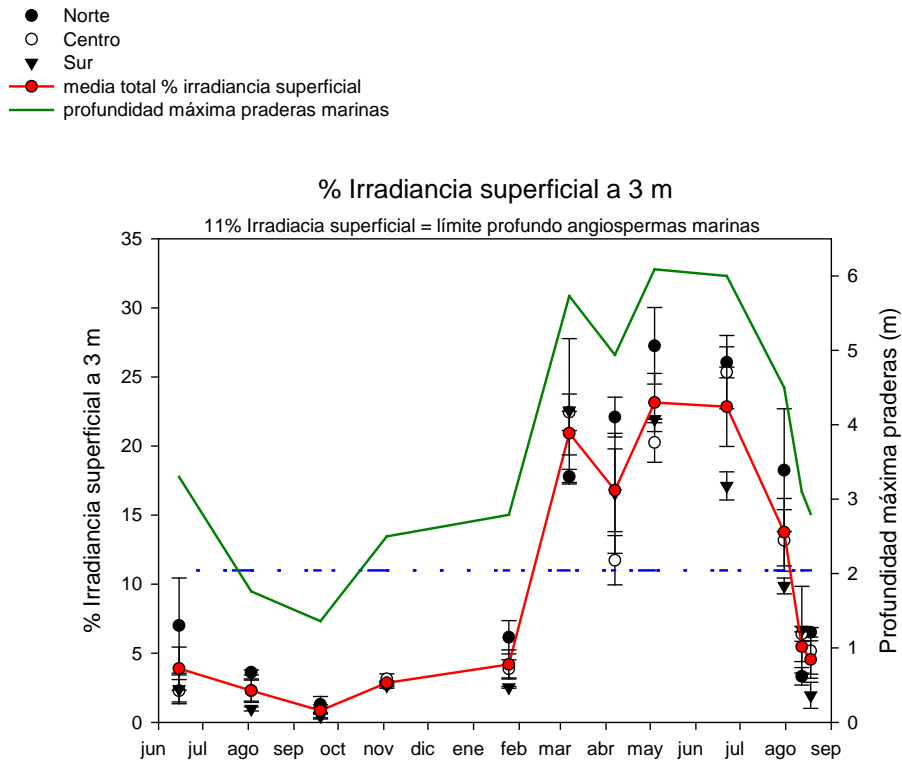
Debe resaltarse la necesidad urgente de estudios concretos que permitan conocer la importancia relativa de los procesos de remineralización y de las diferentes fuentes mencionadas.

En términos de chl a, este nuevo episodio de enverdecimiento del agua no es tan acusado (por ahora) que el observado en los meses de mayo-julio 2016 y noviembre 2016-febrero 2017, en los que alcanzaron valores medios de hasta  $16 \mu\text{g/l}$ , pero si es equiparable a la situación de los meses de agosto a octubre de 2016, cuando los valores medios del pigmento se situaban entre 4 y  $7 \mu\text{g/l}$ . Estas concentraciones siguen siendo superiores a las reportadas en la bibliografía en las décadas anteriores, de acuerdo con diferentes estudios y fuentes, tal y como se muestra en la siguiente tabla:

Código fuente:	Año	media	ES
1. COMU-IEO	1982	0,643	0,108
2. Marín Guirao et al. 2005	2001	4,743	0,526
3. proyecto EUROGEL	2003	3	0,1
	2004	3,2	0,8
	2005	0,75	0,05
4. M.D. Belando Torrentes (no publ.)	2007	2,988	0,425

**Valores medios y error estándar de la Clorofila a obtenidos en diversos estudios procedentes de fuentes fiables. Todos los valores corresponden a meses estivales (junio-agosto).**

No obstante, en términos de turbidez la situación actual es muy parecida a la observada a lo largo de 2016, con valores medios superiores a  $1 \text{ m}^{-1}$  en la actualidad. Estos valores son muy superiores a los registrados históricamente en la laguna, incluso en periodos de elevada turbidez causados por la proliferación de fitoplancton característicos de la época estival (Terrados 1991, Lloret et al 2005), y similares a eventos de aportes de lluvias torrenciales con una duración determinada de días. De hecho, en términos de la disponibilidad de irradiancia PAR en el fondo, la situación actual es prácticamente la misma que en 2016, tal y como se puede apreciar en la siguiente gráfica:



La línea roja continua representa el valor medio y error estándar del porcentaje de irradiancia superficial que alcanza los 3 metros de profundidad (profundidad de conveniencia). Los símbolos son los valores medios por zona: norte (círculos negros), centro (círculos blancos) y sur (triángulos negros). La línea azul discontinua representa el requerimiento de luz mínimo para el crecimiento de las angiospermas marinas y la línea verde continua representa la profundidad a la cual se alcanza dicho valor mínimo en cada evento de muestreo, deducida a partir de la Ley de Lambert Beer.

Como se aprecia en la gráfica, a una profundidad fija de 3 m, la disponibilidad de luz varía entre 7% y 1% de la que alcanza por la superficie. Al aplicar la Ley de Lambert Beer a estos datos se deduce que, a partir de aproximadamente 2,8 m de profundidad (en promedio) ya no hay luz suficiente para el crecimiento de las praderas de angiospermas marinas. Ello implica que se pierden de nuevo las posibilidades de recuperación de las praderas de *Cymodocea nodosa* a partir de estas profundidades, aunque ello dependerá finalmente de la duración de este nuevo evento de turbidez. Es necesario recordar que estas praderas ocupaban el 66% de la superficie del fondo de la laguna y que su pérdida masiva en 2016 puede haber condicionado la repetición de nuevos eventos de turbidez



como el experimentado en el momento actual. Por tanto, la posibilidad de su recuperación contribuirá sin duda a restablecer las condiciones existentes antes de 2016. Respecto a *Caulerpa prolifera*, al ser un alga, sus requerimientos mínimos de luz para desarrollar crecimientos y biomásas son menos exigentes que en el caso de las angiospermas marinas, lo cual está de acuerdo con observaciones realizadas en muestreos muy recientes (agosto 2017\*) que indican que el macrófito ha sido capaz de recolonizar de forma parcial los fondos de varias zonas de la laguna hasta 4 y 5 metros de profundidad. El nuevo episodio de turbidez podría afectar negativamente al alga en estos fondos recolonizados, aunque de nuevo ello dependerá del comportamiento del mismo en términos de duración e intensidad. Esta mayor capacidad de recuperación de *Caulerpa prolifera* es favorable para restablecer los equilibrios existentes antes del proceso de eutrofización ya que ayuda a estabilizar las grandes extensiones de fangos altamente anóxicos que quedaron expuestas al medio tras la pérdida masiva de la vegetación en 2016 y, en consecuencia, los ciclos y flujos biogeoquímicos de los que dependen los balances de nutrientes y carbono en la laguna.

\* Proyecto: **Restauración y conservación de hábitat costeros y lagunares como adaptación ante los efectos del cambio climático sobre el litoral del Sureste de la Península Ibérica**. IEO-ANSE. Financiado por Fundación Biodiversidad (convocatoria 2017)