

Efectos de la extracción de *chaetomorpha linum* y *ulva* spp sobre el estado ecológico del mar menor durante la primavera y verano de 2022

Effects of the extraction of *chaetomorpha linum* and *ulva* spp on the ecological status of the mar menor during spring and summer of 2022

EMILIO MARÍA DOLORES PEDRERO

Servicio de Pesca y Acuicultura. Dirección General de Ganadería, Pesca y Acuicultura. Avenida de Murcia. Edificio Foro II. Cartagena. 30204. (España).

emilio.mariadolores@carm.es

ORCID : <https://orcid.org/0000-0002-8436-1684>

JOSÉ PEÑALVER GARCÍA

Servicio de Pesca y Acuicultura. Dirección General de Ganadería, Pesca y Acuicultura. Avenida de Murcia. Edificio Foro II. Cartagena. 30204. (España).

jose.penalver2@carm.es

ORCID :0000-0002-0251-4908

MIGUEL ÁNGEL SÁNCHEZ RIVERA

Servicio de Pesca y Acuicultura. Dirección General de Ganadería, Pesca y Acuicultura. Avenida de Murcia. Edificio Foro II. Cartagena. 30204. (España).

miguela.sanchez4@carm.es

ORCID :

MARCELO MARTÍNEZ PALAO

Servicio de Pesca y Acuicultura. Dirección General de Ganadería, Pesca y Acuicultura. Avenida de Murcia. Edificio Foro II. Cartagena. 30204. (España).

marcelo.martinez@carm.es

ORCID :

MANUEL ERENA ARRABAL

IMIDA. Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Medio Ambiental. Calle Mayor s/n. La Alberca. Murcia. 30150. (España).

manuel.arena@carm.es

ORCID :

OBDULIA GÓMEZ BERNAL

Servicio de Pesca y Acuicultura. Dirección General de Ganadería, Pesca y Acuicultura. Avenida de Murcia. Edificio Foro II. Cartagena. 30204. (España).

obdulia.gomez@carm.es

ORCID :

CARLOS GARCÍA ALONSO, C. J.

Servicio de Pesca y Acuicultura. Dirección General de Ganadería, Pesca y Acuicultura. Avenida de Murcia. Edificio Foro II. Cartagena. 30204. (España).

carlosj.garcia3@carm.es

ORCID :

FRANCISCO MURCIA NAVARRO, F.J

Servicio de Pesca y Acuicultura. Dirección General de Ganadería, Pesca y Acuicultura. Avenida de Murcia. Edificio Foro II. Cartagena. 30204. (España).

franciscoj.murcia@carm.es

ORCID :

ELVIRA VIUDA ALBACETE

Servicio de Pesca y Acuicultura. Dirección General de Ganadería, Pesca y Acuicultura. Avenida de Murcia. Edificio Foro II. Cartagena. 30204. (España).

elvira.viuda@carm.es

ORCID :

ANTONIO CÁRCEL LÓPEZ

Servicio de Pesca y Acuicultura. Dirección General de Ganadería, Pesca y Acuicultura. Avenida de Murcia. Edificio Foro II. Cartagena. 30204. (España).

antonio.carcel@carm.es

ORCID :

MONSERRAT DELGADO RUIZ

Servicio de Pesca y Acuicultura. Dirección General de Ganadería, Pesca y Acuicultura. Avenida de Murcia. Edificio Foro II. Cartagena. 30204. (España).

monserrat.delgado@carm.es

ORCID :

Recibido: 1-02-23. Aceptado: 1/05/23.

Cómo citar: María Dolores Pedrero, Emilio et al., “Efectos de la extracción de chaetomorpha linum y ulva spp sobre el estado ecológico del mar menor durante la primavera y verano de 2022”, *Revista Española de Estudios Agrosociales y Pesqueros* 260 (2023): 359-394.



Este artículo está sujeto a una [licencia “Creative Commons Reconocimiento-No Comercial” \(CC-BY-NC\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

DOI: <https://doi.org/10.24197/reep.260.2023.359-394>

Resumen: El Mar Menor a diferencia de otras lagunas costeras es de carácter oligotrófico y en las últimas décadas derivado de presiones agrícolas y urbanas, y una planificación litoral de escasa integración ambiental han desencadenado episodios eutróficos que el sistema ha intentado controlar mediante proliferaciones de medusas, algas, fitoplancton y zooplancton, en un intento de favorecer el sistema de producción primaria de arriba-abajo. El Gobierno de la Región de Murcia durante 2022 realiza una retirada de las algas con el fin de evitar la putrefacción y descomposición en zonas someras que generan fangos, y minimizando la incorporación de nutrientes desde el sedimento

Palabras clave: Mar Menor; Laguna Costera; Eutrofización litoral; *Chaetomorpha linum*; oligotrófico

Abstract: The Mar Menor, unlike other coastal lagoons, is oligotrophic and in recent decades derived from agricultural and urban pressures, and coastal planning of little environmental integration has triggered eutrophic episodes that the system has tried to control through proliferations of jellyfish, algae, phytoplankton and zooplankton, in an attempt to control the primary production system from top to bottom. The Government of the Region of Murcia during 2022 carries out a removal of algae in order to avoid putrefaction and decomposition in shallow areas that generate sludge, and minimizing the incorporation of nutrients from the sediment.

Keywords: Mar Menor; Coastal Lagoon; Coastal eutrophication; *Chaetomorpha linum*; oligotrophication

INTRODUCCIÓN

Con su recientemente estrenada personalidad jurídica, el Mar Menor es una laguna costera situada en el sureste español que tiene una superficie aproximada de 135 km², cuenca de vertido del campo de Cartagena mediante más de 20 ríos cataclinales o consecuentes, de los cuales ninguno mantenía un flujo continuo de agua hasta hace unos pocos años, como es el caso de la rambla del Albuñón que desde principios de la década de los 90 mantiene un flujo casi continuo de agua derivado de las prácticas agrícolas y de cambios en el nivel freático (Pérez-Ruzafa y Aragón, 2002).

Esta laguna costera siempre ha tenido un marcado carácter oligotrófico (Pérez-Ruzafa y Aragón, 2019) pero debido a la contaminación por nutrientes los niveles de fitoplancton han ido elevándose de forma progresiva en los últimos 25 años y de una forma más visible desde el año 2016 en que ocurrió el primer episodio grave de eutrofización que conllevó la muerte de una parte importante de las macroalgas bentónicas derivado del oscurecimiento de la columna de agua, y el estrés metabólico al que se sometieron *Cymodocea nodosa* (Ucria)

Ascherson (1870), y *C. nodosa*–*Caulerpa prolifera* (Forsskål) J.V. Lamouroux, 1809 lecho mixto.

El Mar Menor siempre ha sido una laguna hipersalina derivado de los bajos intercambios con el Mediterráneo, las bajas entradas de aguas continentales hasta la década de los 90, y su elevada evaporación. En esta situación su salinidad llegó a ser en siglo XIX de entre 70 y 80 psu antes del temporal de 1869 que rompió parte de la barrera de arena que hoy es La Manga del Mar Menor. (Javier de Salas et al. Industria y Legislación de Pesca. 1870). Tras la apertura del canal del Estacio la salinidad de la laguna ha estado en valores inferiores a 50 psu, y en los últimos años en el entorno de los 45-47 psu.

La eutrofización no es un estado trófico, sino un proceso derivado del incremento en el suministro de materia orgánica al ecosistema (Víctor M. León y Jose M^a Bellido. Mar Menor: una laguna singular y sensible. Evaluación científica de su estado. 2016), y esto provoca diferentes reacciones por parte del ecosistema que van dirigidas en la mayor parte de los casos a un control del nivel de nutrientes. El desarrollo del regadío en el campo de Cartagena en las tres últimas décadas, y el aumento progresivo del nivel de nutrientes con un incremento muy significativo del nitrato en la columna de agua, no ha venido acompañado de aumentos de concentración de clorofila (Pérez-Ruzafa et al., 2002).

En una década, entre 1988 y 1997 la concentración de nitrato en la columna de agua pasó de ser inferior a 1 $\mu\text{mol N l}^{-1}$ durante todo el año, a concentraciones de hasta 8 $\mu\text{mol N l}^{-1}$, estimulando el crecimiento de algas fitoplanctónicas de gran tamaño. Sin embargo, no se observaron cambios significativos en las pendientes del espectro de biomasa de la red trófica pelágica debido al control que ejercían dos especies de medusas (*Rhizostoma pulmo* y *Cotylorhiza tuberculata*), que penetraron en la laguna tras la apertura tras el dragado y ensanchado del canal del Estacio en 1973, y que desde el año 1997 hasta la actualidad han tenido una presencia casi continua, con poblaciones que algunos años han superado los 50 millones de ejemplares en estimaciones realizadas por diferentes equipos.

El Mar Menor ha sido durante décadas objeto de numerosos trabajos de investigación que en ocasiones se han tratado de plasmar en libros recopilatorios (El Mar Menor estado actual del conocimiento científico, 2009; Mar Menor: una laguna singular y sensible. Evaluación científica de su estado Víctor M. León y Jose M^a Bellido, 2016).

El área de ecología litoral de la Facultad de Biología de la Universidad de Murcia ha venido realizando un seguimiento científico de los niveles de nutrientes en la laguna relacionándolos con los niveles de clorofila y con parámetros de calidad de agua (Long-Term Dynamic in Nutrients, Chlorophyll a, and Water Quality Parameters in a Coastal Lagoon During a Process of Eutrophication for Decades, a Sudden Break and a Relatively Rapid Recovery Angel Pérez-Ruzafa) mediante el establecimiento de una red de control de estaciones fijas, pero no existía una monitorización en continuo de la laguna que permitiera sobre una red de estaciones un seguimiento semanal de su evolución a nivel de parámetros tomados con sonda multiparamétrica.

Esta red de seguimiento (figura 1), diseñada inicialmente por la Universidad de Murcia en colaboración con el Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agroalimentario (IMIDA), ha facilitado el seguimiento de la laguna por funcionarios de la Consejería de Agua, Agricultura, Ganadería, Pesca, Medio Ambiente y Emergencias, mediante salidas semanales desde agosto de 2016 realizadas en una embarcación tipo zodiac, y utilizando para ello una sonda multiparamétrica *seabird* que permite registrar datos de temperatura, clorofila, salinidad, conductividad y turbidez en toda la columna de agua.

En el Mar Menor los niveles de clorofila tienen una correlación negativa con la concentración de nutrientes y positiva con la abundancia de ictioplancton, sugiriendo que el fitoplancton controla la concentración de nutrientes, mientras que los herbívoros son controlados por las larvas de peces, reforzando la evidencia de un control de arriba-abajo (top-down) de la red trófica (Pérez-Ruzafa et al., 2005b).

Desde 2016 los niveles de nitrógeno han aumentado, los valores medios de nitrógeno en forma de nitratos registrados en los aforamientos realizados en el Mar Menor arrojan valores medios de 163,83 mg/l en 2021 y valores medio de 123,77 mg/l en 2022. Estos valores medios junto a las entradas de agua registradas en la rambla del Albuñón (SAIH de la CHS), 4,51 hm³ en 2021 y de 7,66 hm³ hasta 20/09/2022 suponen entradas de nitratos que superan las 740,02 tn en 2021 y las 948,78 tn hasta esa misma fecha en 2022.

El ecosistema lagunal tiene una productividad y una tasa de renovación elevadas y, por tanto, una relación producción/biomasa elevada (P/B) (Margalef, 1969; Elliott y Quintino, 2007). En estos cuerpos de agua, que de forma natural reciben cantidades elevadas de nutrientes, la

vegetación debe incluir especies efímeras de algas verdes filamentosas como *Chaetomorpha linum*, *Cladophora dalmatica*, *Cladophora vagabunda*, *Ceramium diaphanum*, o formas finas tubulares o foliares como *Ulva compressa*, *Ulva intestinalis*, *Ulva prolifera* o *Ulva rigida*, etc. (Pérez-Ruzafa et al., 2011).

En sistemas alterados en los que la eutrofización se cronifica se generan eventos de hipoxia de extensión variable y de duración temporal que suelen ir acompañados de floraciones de fitoplancton y en ocasiones microalgas tóxicas, juntos a la aparición de espumas en zonas someras, con cambios en los patrones de especies e incluso en estructura comunitaria. (Desmit et al., 2018). Una vez instaurados los procesos de eutrofización, hay manifestaciones inequívocas de alteración por exceso de nutrientes, se torna muy difícil detener o revertir el procedimiento y la posterior entrega de nutrientes de los sedimentos del fondo puede prolongarse durante años (Duarte et al., 2013; McCrackin et al., 2016). En el Mar Menor en sus zonas de sedimentos no consolidados con una carga en materia orgánica variable pero que alcanza valores del 8%, el agua de poro del sedimento podría durante la época estival derivado de altas temperaturas ser un vehículo de paso de compuestos de fósforo a la columna de agua que lo hacen biodisponible para la producción primaria fitoplanctónica.

Durante este año 2022 han sido especialmente elevadas las proliferaciones de macroalgas, principalmente *Chaetomorpha linum* y *Ulva spp*, así como cantidades significativas de *Caulerpa prolifera* al final de la época estival.

Estas proliferaciones de macroalgas vienen precedidas de varios años en los que la presencia de medusas ha sido baja para las dos especies de verano *Rhizostoma pulmo* y *Cotylorhiza tuberculata*, y de una presencia desigual en el caso de la *Aurelia aurita*, hecho que contrasta con la situación del año 2022 donde los celentéreos han sido muy frecuentes durante la época de primavera con elevada presencia no cuantificada de *Aurelia Aurita*, y con estrobilaciones muy elevadas de *Rhizostoma pulmo* y *Cotylorhiza tuberculata* pero de bajo nivel de reclutamiento, y sorpresivamente con elevada estrobilación y reclutamiento de la *Phyllorhiza punctata* durante la segunda quincena del mes de agosto y septiembre.

Los niveles de clorofila medida mediante sonda multiparamétrica han sido bajos durante todo el año 2022, hecho que coincide con la puesta en marcha de un amplio dispositivo para la retirada de algas en las zonas someras del Mar Menor que ha permitido extraer hasta finales de septiembre de 2022 una cantidad de algas que supera las 20.673 tn, y que ha permitido retirar el equivalente a 430,92 tn de nitrógeno y 16,78 tn de fósforo.

En este trabajo se analizan los efectos que la retirada masiva de macroalgas pueda tener sobre el estado ecológico del Mar Menor, en particular sobre sus niveles de transparencia y su bajo nivel de clorofila, que junto con la presencia de celentéreos e ictioplancton pueden haber favorecido un control de arriba-abajo dentro del ecosistema lagunar.

1. MATERIAL Y MÉTODOS

1.1.-Área de Estudio

1.1.1.- Breve descripción del área de estudio: mar menor y cuenca

El ámbito territorial del Mar Menor está formado por los términos municipales de: San Pedro del Pinatar, San Javier, Torre Pacheco, Los Alcázares, Cartagena, y el distrito marítimo de San Pedro del Pinatar.

Dentro de esta estructura territorial se encuentra la Laguna Costera del Mar Menor con sus 135 km² de superficie, siendo la laguna litoral con mayor extensión de Europa. Tiene forma semi-elíptica con una longitud de eje mayor de 21 Km. orientado, aproximadamente, en dirección N-S y una anchura máxima de 11 Km. en dirección perpendicular. Cuenta con un perímetro total de costa de 72 Km. la profundidad de la mayoría de los fondos está comprendidos entre los 5 y 6 metros (un 56% de la superficie total) y una profundidad máxima de 7,2 m que es alcanzado en el extremo septentrional de la isla interior del Barón.

La importancia medioambiental del entorno queda puesta de manifiesto tras la aprobación del Decreto 259/2019 Plan de Gestión Integral de los Espacios Protegidos del Mar Menor y de la Franja Litoral Mediterránea de la Región de Murcia. Además de estas figuras, existen figuras de protección Regionales: Paisaje Protegido y Parque Regional si incluimos las Salinas de San Pedro

El clima del litoral de la Región de Murcia, típicamente mediterráneo, se caracteriza por un gradiente creciente de aridez en sentido este-oeste presenta una temperatura media anual de 17°C, con una precipitación anual que oscila entre 240-380 mm, y con una evapotranspiración potencial de aproximadamente 850 mm y un déficit hídrico de unos 540 mm. Con frecuencia en la época otoñal se producen lluvias torrenciales con descargas que alcanzar los 100 mm en intervalos inferiores a 24 horas. Respecto a los vientos dominantes son del primer cuadrante (NE y E principalmente). Desde el punto de vista bioclimático, el ombrotipo dominante del área es el semiárido, mientras que el termotipo es el termomediterráneo.

A nivel geológico pertenece a la zona Bética, y como elementos singulares destacan: una barra de cierre de la laguna costera, de naturaleza arenosa, con una longitud aproximada de 25 Km y una anchura que varía entre los 1.500 y los 100 m. La parte emergente de la barrera no representa más que una porción de la misma, encontrándose sumergida casi en su totalidad, y una serie de canales o golas que intercomunican el Mar Mediterráneo con el Mar Menor. La entrada y salida de agua a través de estos canales depende fundamentalmente de la altura relativa del nivel del mar a un lado y otro de la barrera, siendo el principal motor de este intercambio las variaciones de baja frecuencia de la presión atmosférica (López Castejón, 2017. Tesis doctoral: “Caracterización de la hidrodinámica del mar menor y los flujos de intercambio con el mediterráneo mediante datos in situ y modelado numérico”. UPCT). Las golas de intercambio son tres las golas que presenta La Manga del Mar Menor: Las Encañizadas de la Torre y el Ventorrillo, El Estacio y Marchamalo. Algunos de estos canales se mantienen abiertos de forma artificial.

La red de drenaje de la cuenca del Mar Menor está constituida por ramblas y cauces con caudales discontinuos. Las principales ramblas que surcan el campo de Cartagena en su sector norte y central son las siguientes: rambla de Los Alcázares, que recoge las aguas de la zona situada al sur del Cabezo Gordo; rambla del Albuñón, que es el principal

colector del campo de Cartagena, al que afluyen la mayor parte de las aguas de los relieves circundantes y recorre una veintena de kilómetros hasta desembocar al norte de la marina del Carmolí. En la zona sur se encuentran otras ramblas de menor relevancia en los aportes de agua, pero significativas respecto a los aportes de residuos mineros.

A nivel hidrodinámico el Mar Menor es muy complejo debido a la elevada influencia que ejercen los vientos y a las diferencias de salinidad en la columna de agua por las entradas de agua dulce, generándose diferentes giros ciclónicos y anticiclónicos que provocan un acumulo de nutrientes y fitoplancton en determinadas áreas de la laguna.



Figura 1. Afluentes en el Mar Menor. Fuente: Instituto Geográfico Nacional

1.2.-Monitorización con sonda multiparamétrica

La monitorización del Mar Menor se ha realizado con una sonda multiparámetrica de la marca SeaBird, modelo 19-plus, con número de serie: 19P263504081, manejada desde una embarcación tipo zodiac en las estaciones de control fijas establecidas en la laguna costera. El software utilizado para el procesado es Seasoft V2 CTD Data Processing and Plotting Software for Windows 2000/XP suministrado por la empresa Sea-Bird Electronics, inc.

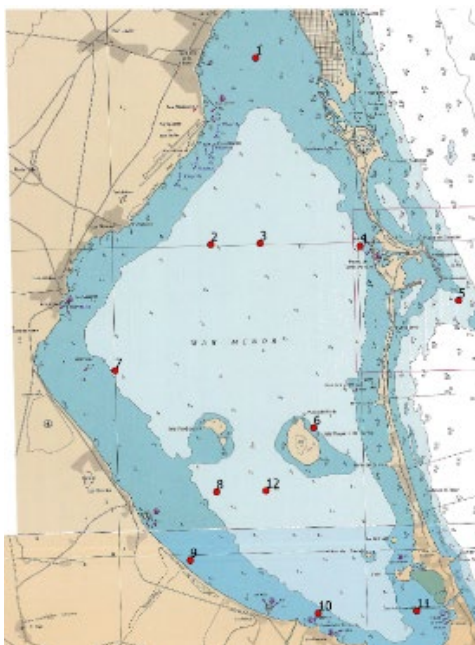


Figura 2. Estaciones de control con CTD



Figura 3. Estación control del IMIDA para nutrientes

Las mediciones se realizan de forma semanal al amanecer y el manejo de la sonda la realizan dos operadores para no introducir sesgos en el proceso de toma de datos.

Por parte del IMIDA (Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agroalimentario) se han realizado tomas de muestras destinadas a valorar la concentración de nutrientes en el agua en una red de control que incluye los puntos que forman la red de control de la sonda multiparamétrica, con otros puntos adicionales. Las muestras se toman en botella de 1 l de capacidad a un metro de profundidad en las estaciones marcadas con círculo rojo de la figura 3. Estas muestras han sido posteriormente analizadas en la empresa LABAQUA S.A. mediante procedimientos acreditados por ENAC en la ISO17025 de acuerdo con la tabla 1

Parámetro	Procedimiento ensayo	Unidades	Incertidumbre	Límite cuantificación
Amonio	A-C-PE-0023 Espectrofotometría absorción	μmol/L	25%	0.05 mg/L
Nitratos	A-C-PE-0025 Reducción de Cadmio	μmol/L	12%	0.2 mg/L
Nitritos	A-C-PE-0010 Espectrofotometría absorción	μmol/L	13%	0.01 mg/L
Ortofosfatos	A-C-PE-0006 Espectrofotometría Absorción	μmol/L	18%	0.05 mgPO ₄ /L

Tabla 1. Procedimientos analíticos para agua del Mar

1.3.-Control de aforamientos

La Dirección General del Mar Menor viene realizando aforos desde el 30/08/2019 de frecuencia variable a lo largo del año, siendo diaria entre los meses de junio y septiembre, y de dos veces a la semana el resto del periodo anual, el número de registros generados durante este periodo es de 270 muestreos.

La red de muestreo se realiza en 20 puntos en la zona centro y sur de la laguna, abarcando las ramblas y zonas de afloramientos que aportan agua continental a la laguna, incluyendo la rambla del Albuñón.

En esta red de control de aforos se mide caudal instantáneo, concentración de nitratos y fosfatos en el agua aforada y conductividad. Los caudales de entrada detectados excepto en momentos de lluvia son de baja intensidad salvo en la rambla del Albuñón que presenta un caudal continuo durante todo el año, al confluír en ella los drenajes de riego del campo de Cartagena, y los aliviaderos de la EDAR de Torre Pacheco y de Los Alcázares, además del agua de lluvia canalizada a través de la rambla en periodos más húmedos. Por esta razón para el cálculo de las entradas de nitratos y ortofosfatos se han utilizado los datos del SAIH-CHS aplicando sobre estas las concentraciones registradas para dichos compuestos en el momento de la medición.

La metodología utilizada se encuentra bajo la ISO 17025 y han sido realizadas por la empresa Tyspa Laboratorio S.A. mediante los procedimientos analíticos indicados en la tabla 2.

Parámetro	Unidad	Resultado	Pretratamiento	Procedimiento	Técnica empleada	Incert. ¹
*Caudal "in situ"	L/s	245		PNTE/LTTC/02	Aforo	54
Conductividad "in situ" a 25°C	μS/cm	6360		PNTE/LTTC/04	Electrometría	760
Nitratos	mg NO ₃ /L	73	Filtración-Adición de Al(OH) ₃	PNTE/LTE/21	Espectroscopía a UV-VIS	17
Ortofosfatos	mg PO ₄ /L	1.62	Filtración	PNTE/LTE/22	Espectroscopía a UV-VIS	0.46

Tabla 2. Procedimientos analíticos aforamientos Mar Menor



Figura 4. Seguimiento aforos Mar Menor

La cantidades de agua aforadas por la rambla del Albuñón mediante mediciones en continuo son realizadas por el SAIH CHS, ([SAIH Segura \(chsegura.es\)](http://chsegura.es)), que tiene establecido en la desembocadura de la rambla un azud para laminación del agua de entrada y medición de flujos

1.4.-Extracción de algas

El Gobierno de la Región de Murcia en colaboración con los ayuntamientos costeros lleva varios años realizando una retirada de las macroalgas que llegan a la playa para facilitar el baño e impedir la putrefacción de las mismas en zonas someras.

Este año 2022 durante el mes de abril empezaron a registrarse elevadas proliferaciones de macroalgas lo que provocó la realización de un contrato de emergencia para proceder a la retirada de las mismas. El dispositivo ha estado formado por 100 empleados que de forma manual para evitar resuspensiones y de forma selectiva para evitar daños a la flora y la fauna hayan realizado una retirada masiva de algas.

Estas algas se depositaban en contenedores situados en las zonas de retirada, se cubicaba diariamente la cantidad extraída, se realizaba un escandallo para determinar los diferentes tipos de algas, y se realizó una 16/05/2022 con el fin de determinar peso seco, materia seca, así como contenidos en nitrógeno y en fósforo.

Los escandallos realizados atribuyen un porcentaje estable del 60% a la mezcla de ova formada por *Ulva intestinalis* y *Chaetomorpha linum*, y un 40% a *Caulerpa prolifica*. Los análisis sobre materia seca, nitrógeno y fósforo total fueron realizados por Laboratorios Munuera SLU mediante procedimiento bajo norma ISO 17025, y con los procedimientos internos: RESIDUO SECO (105°C) *Determinación gravimétrica (PE/MUNLAB/06 151)*, HUMEDAD *Determinación gravimétrica (PE/MUNLAB/06 151)*, NITROGENO TOTAL KJELDAHL (NTK) *Método Kjeldahl por titulación volumétrica (PE/MUNLAB/06 26)*, FOSFORO TOTAL *Digestión (PE/MUNLAB/06 30)* y *determinación por ICP (PE/MUNLAB/06 400)*. Los valores promedios se indican en la tabla 3

Resultados Analíticos		<i>Ulva intestinalis / Chaetomorpha linum</i>		<i>Caulerpa prolifica</i>	
Parámetro analizado	Método de análisis	Resultado	Unidades	Resultado	Unidades
RESIDUO SECO (105°C)	Determinación gravimétrica	21,4	%(p/p)	19,7	%(p/p)
NITRÓGENO TOTAL KJELDAHL (NTK)	Método Kjeldahl por titulación volumétrica	14.734,00	mg/Kg	30.009,00	mg/Kg

FÓSFORO TOTAL	Digestión y determinación por ICP	588,1	mg P/Kg	1147,3	mg P/Kg
---------------	-----------------------------------	-------	---------	--------	---------

Tabla 3. Resultados analíticos extracción de algas.

Las macroalgas del género *Ulva* presentan altas tasas de crecimiento, capacidad de multiplicación vegetativa, potencial para captar y crecer en medios con alto contenido en N (NO_3^- y NH_4^+ principalmente) y P. En el caso de *Chaetomorpha linum*, esta macroalga puede desarrollarse bajo un enorme rango de salinidades y temperaturas, con gran capacidad de crecimiento que se traduce en una elevada actividad fotosintética, con absorción de nutrientes, absorción de CO_2 y liberación de oxígeno, absorbiendo no solo nitrato y fosfato, sino que también es capaz de consumir amonio. En el caso de *Caulerpa prolifera* los beneficios de esta alga son muy importantes debido a su alta capacidad de absorber nutrientes. Los nutrientes que retira sobre todo en verano, cuando alcanza su máximo crecimiento, pasan a sus tejidos y de ahí a los sedimentos de la laguna evitando que estén en la columna de agua, y contribuyendo, por tanto, a la transparencia de las aguas.

Las zonas de extracción de algas se han agrupado en cuatro áreas: zona norte, la manga, zona centro, zona sur (figura 5)



Figura 5. Zonas extracción algas

2.RESULTADOS

2.1.Monitorización con sonda multiparamétrica

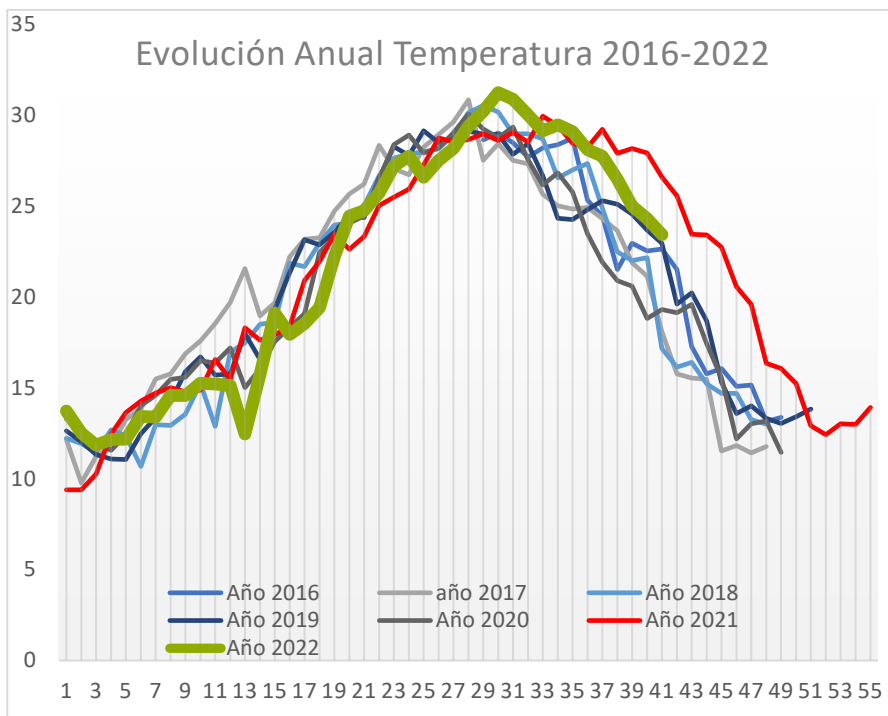
Los resultados obtenidos con la sonda multiparamétrica desde el 02 de agosto de 2016, hasta el día 05 de octubre son los siguientes:

2.1.1. Temperatura

El Mar Menor presenta un comportamiento térmico diferente a la masa del agua del Mediterráneo que se traduce en que alcanza temperaturas superiores durante el verano e inferiores durante el invierno como consecuencia del menor volumen de agua.

El patrón de temperatura semanal presenta pocas variaciones en el periodo analizado, si bien es cierto que se aprecia un tendencia al aplanamiento de la curva en los momentos más cálidos del verano lo que significa que el periodo de mayor temperatura tiende a ser de mayor número de días, y destaca el año 2022 en el que la temperatura máxima media del Mar Menor para todas las estaciones y como media de toda la columna de agua alcanzó 31,25°C el día 28/07/22, permaneciendo en valores medios superiores a 30°C desde el 20/07/22 al 11/08/22.

Respecto a las temperaturas mínimas se suelen dar en la segunda semana del mes de enero de cada año, y oscilan en un rango que va desde los 9,39°C registrados en 2021 hasta los 13,29°C en 2020, con posterioridad a esa segunda semana de enero los valores tienden a crecer.

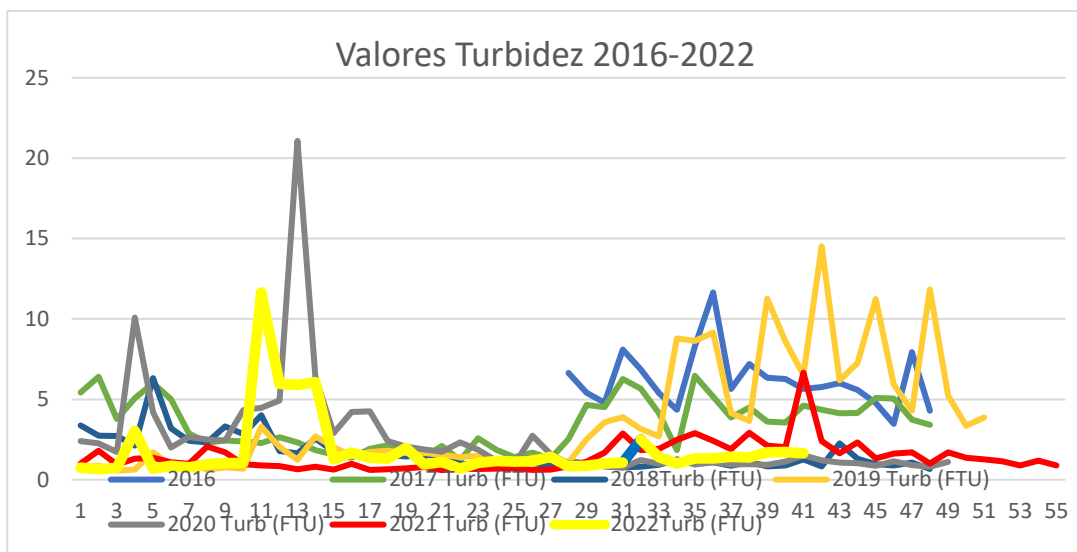


Grafica 1. Evolución temperatura agosto 2016-septiembre/2022

2.1.2. Turbidez

Los valores de turbidez van asociados a los niveles de resuspensión de material particulado desde el fondo que vuelve a la columna por los efectos del viento y oleaje, y en otras ocasiones derivado de los efectos de las escorrentías en episodios abundantes de lluvias. Este efecto de resuspensión no es apreciable con la misma intensidad en toda la laguna, siendo de mayor intensidad en la ribera interna, y dentro de esta en la zona más cercana a la rambla del Albujión.

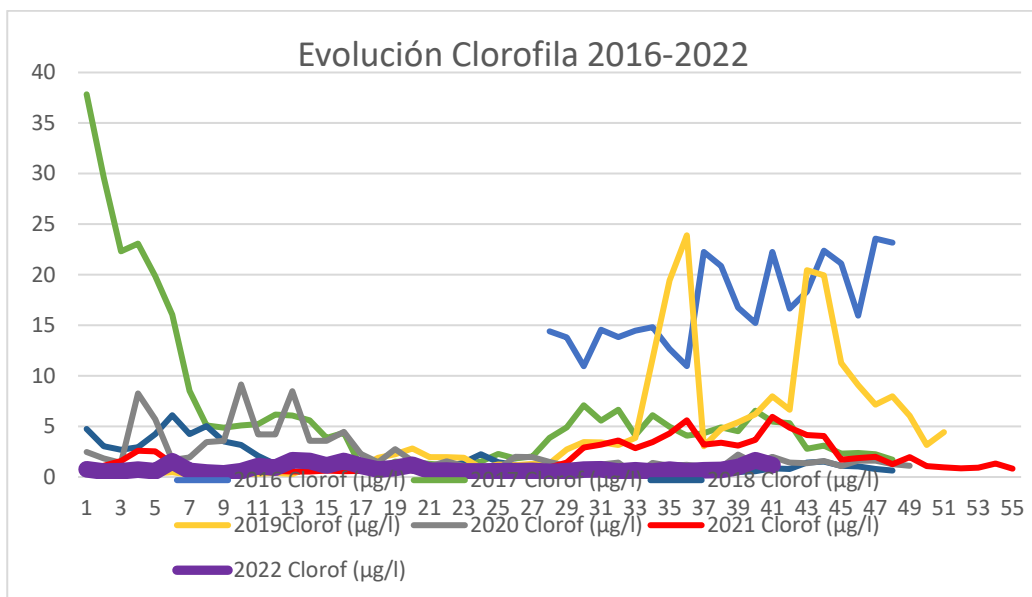
Los valores máximos registrados se han asociado a lluvias y temporales alcanzando valores de 21,03 ftu el día 27/03/2020, 14,10 ftu el día 25/10/2019, siendo los valores medios registrados para 2022 de 1,59 ftu



Grafica 2. Evolución turbidez agosto 2016-septiembre/2022

2.1.3. Clorofila

La presencia de clorofila va asociada a los niveles de fitoplancton presentes en la columna de agua. Los mayores niveles detectados fueron durante el mes de enero del 2017, periodo de máxima eutrofización en la laguna con valores que alcanzaron como media para toda la columna 37,84 $\mu\text{g/l}$, estando prácticamente todo el año 2017 con valores entre 10 y 20 $\mu\text{g/l}$.

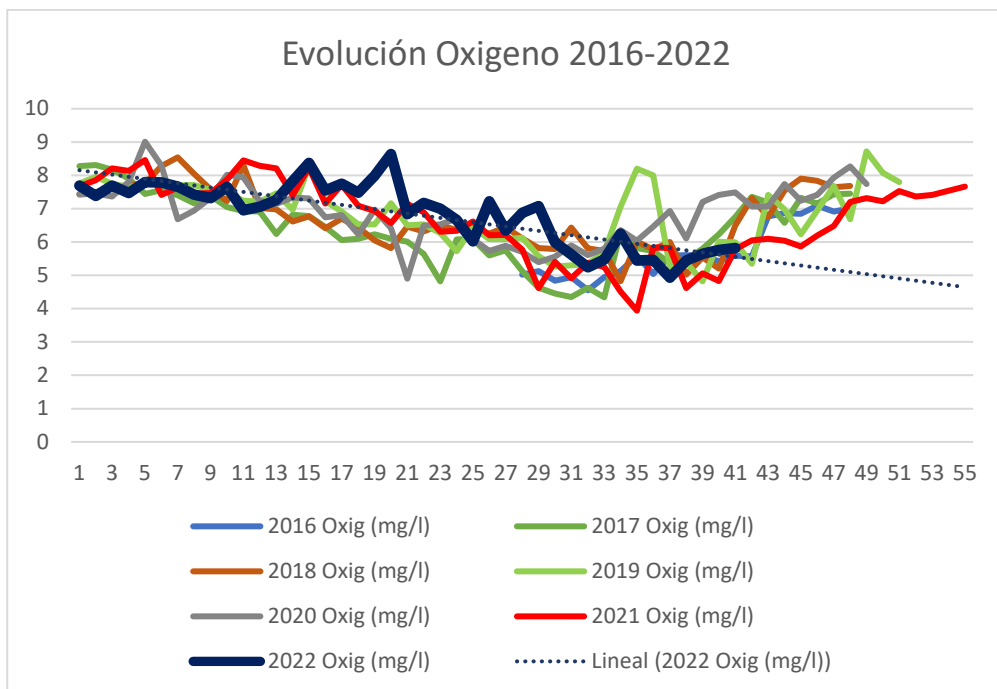


Grafica 3. Evolución clorofila agosto 2016-septiembre/2022

2.1.4. Oxígeno

El Mar Menor durante el final de verano e inicio del otoño en zonas someras con fondos fangosos ha presentado niveles de oxígeno por debajo de los 5mg/l y en ocasiones incluso por debajo de 3,5 mg/l generando fenómenos de hipoxia locales y muy limitados en el tiempo y en momentos en que la demanda de oxígeno nocturna es elevada por la actividad metabólica del fondo y por el consumo del fitoplancton en la columna de agua.

El valor medio más bajo registrado en el periodo analizado fue de 3,94 mg/l el día 24/08/2021 que coincide con el episodio de mortalidad de peces que ocurrió en la zona sur del Mar Menor y que provocó la aparición de peces muertos en las playas por espacio de una semana, y manteniéndose valores por debajo de 5 mg/l como media hasta el día 02/09/2021. Los valores máximo registrados han estado entre 8 y 9 mg/l y se dan siempre en invierno donde la presencia de fitoplancton es más baja, la actividad metabólica del bento es de poca intensidad, y cuando la temperatura facilita la disolución del oxígeno en el agua

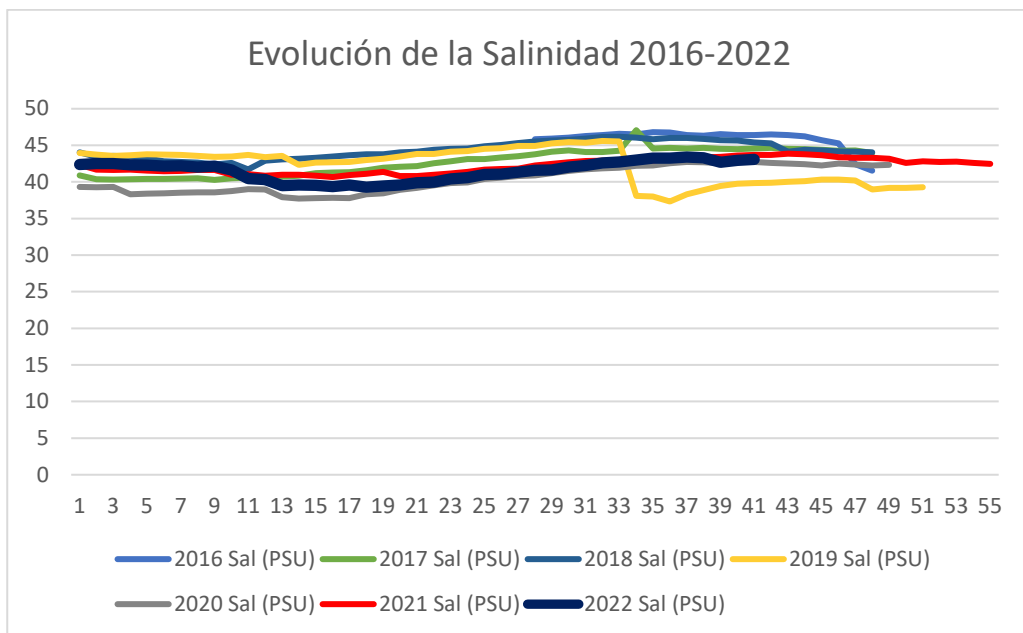


Grafica 4. Evolución oxígeno agosto 2016-septiembre/2022

2.1.5. Salinidad

Los valores medios de salinidad registrado en el periodo de estudio oscilan entre los 47,01 psu del día 20/09/2017 hasta 37,33 psu del 19/09/2019 tras la DANA de ese año.

La evolución anual viene marcada por la evaporación, por las entradas de aguas continentales y de agua de lluvia, así como por los intercambios de agua con el Mediterráneo donde el viento es la mayor fuerza motora de los mismos (Castejón López, F.2016)



Gráfica 5. Evolución salinidad agosto 2016-septiembre/2022

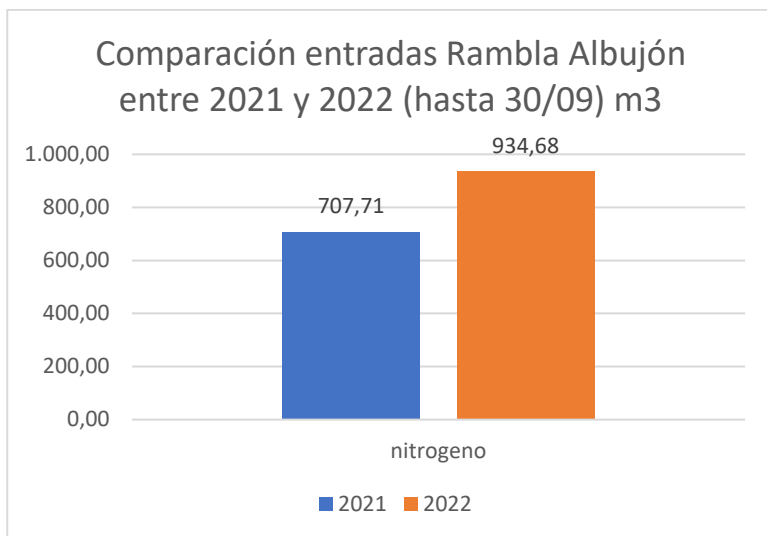
2.2. Control de aforamientos

2.2.1. Aforamientos DG Mar Menor

Los valores medios anuales para los años 2021 y 2022 son respectivamente 163,83 y 124,19 mg/l para los nitratos, y de 0.46 y 0.74 mg/l en el caso del fosfato (tabla 4)

	nitratos (mg/l)	Ortofosfatos (mg/l)
2021	163,83	0,46
2022	124,19	0,74

Tabla 4. Valores medios nutrientes en aforamientos Rambla Albuñón



Gráfica 6. Entradas nitrógeno 2021-septiembre 2022



Gráfica 7. Entradas fósforo 2021-septiembre 2022

2.2.2. Aforamientos SAIH-CHS

El servidor de datos, SAIH, de la Confederación Hidrográfica del Segura muestra datos anuales completos desde 2021.

Las entradas de agua registradas en 2021 fueron de 4,31 hm³, y en 2022 hasta el mes de septiembre han sido de 7,56 hm³, lo que supone un 75,40% más de agua continental que ha entrado en la laguna, solamente por el aforamiento del Albujón, sin considerar las entradas superficiales, sub-superficiales y subterráneas que puedan acceder por otras áreas derivadas en la mayor parte por el elevado nivel del freático. Excepcionando el mes de enero de 2021, para el resto de los meses de 2022 las entradas han sido superiores en este último año

	2021	2022
enero	199.225	196.739
febrero	25.557	130.802
marzo	531.630	1.356.495
abril	331.343	2.929.951
mayo	425.350	1.184.908
junio	398.405	561.118
julio	333.507	424.930
agosto	230.504	267.039
septiembre	567.208	508.283
octubre	345.366	
noviembre	599.591	
diciembre	332.114	
Total	4.319.800	7.560.265

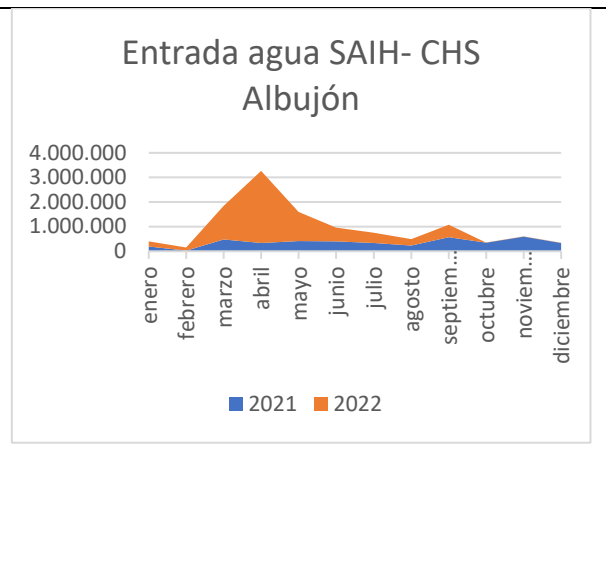
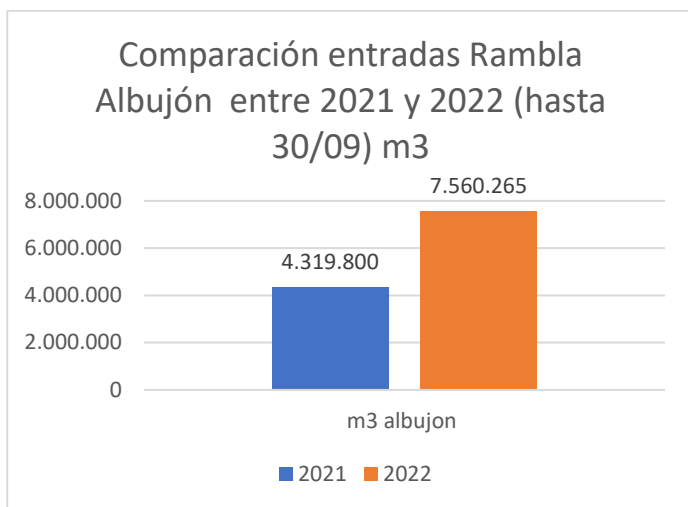


Tabla 5. Entradas en m³ 2021-2022 rambla Albujón

Gráfica 8. Entradas en m³ 2021-2022 rambla Albujón



Gráfica 9. Entradas de agua rambla Albuñon 2021 a septiembre 2022

2.2.3. Nutrientes en columna agua

Los días 08/08/22 y 20/08/22 se realizó un control en la red de nutrientes del IMIDA que fueron procesados en el laboratorio LABAQUA SA con las técnicas anteriormente descritas con los siguientes resultados en $\mu\text{moles/l}$ indicados en la tabla 6.

Estos valores se encuentran en el caso del amonio y nitritos en el rango del límite bueno moderado con gradientes muy bajos en todas las estaciones muestreadas, a excepción de la A01 y A04 que estarían cerca del límite para el campo medio, y que se encuentran frente a la zona del Albuñon (A01) y en su área de influencia (A04). Los valores obtenidos para el nitrato tendrían como resultado el límite de bueno moderado para todas las estaciones en campo medio y campo próximo, nuevamente con las excepciones de la A10 con valores de $18,45 \mu\text{moles/l}$ y de la A01 que tendría un valor de $12,22 \mu\text{moles/l}$, en el límite para campo próximo y prácticamente el doble para campo medio en el caso de la A01, y fuera de rango para el caso de la A10.

Valores de nutrientes muestreo 08/08/2022				
Muestra	Amonio	Nitritos	Nitratos	Ortofosfatos
A01	<2,778	0,317	12,22	0,647
A04	<2,778	0,417	3,26	0,595
A06	<2,778	<0.217	<3.23	0,655
A07	<2,778	<0.217	<3.23	0,569
A10	<2,778	0,37	18,45	0,707
A11	<2,778	<0.217	<3.23	0,611
A13	<2,778	<0.217	<3.23	<0,521
A16	<2,778	<0.217	<3.23	0,603
E01	<2,778	<0.217	<3.23	0,621
E05	<2,778	<0.217	<3.23	<0,521
E06	<2,778	<0.217	3,49	0,559
P01	<2,778	<0.217	<3.23	0,638

Tabla 6. Resultados analíticos en columna de agua

Considerando el Real Decreto 817/2015, de 11 de septiembre, por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental, y en el caso de la laguna costera del Mar Menor (AC-T11) los valores de referencia en Campo Próximo (CP)(0-200 m), y en Campo Medio (CM) (>200m) se indican en la tabla 7

Tipos aguas costeras	Indicador	Unidades	Valor absoluto.	Indicadores biológicos e hidromorfológicos: RCE Indicadores químicos y biológicos (ChIA):			
			Condición de referencia/ condición específica del	Límite muy bueno/ bueno	Límite bueno/ moderado	Límite moderado/ deficiente	Límite deficiente/malo
AC-T11	Chl-a	µg/L	0,9	1,1	1,8		
AC-T11	CARLIT		Valor establecido	0,75	0,60	0,40	0,25
AC-T11	BOPA		Fauna únicamente compuesta por	0,95	0,54		
AC-T11	Amonio	µmol NH ₄ /L			4,60 (CP) 2,30 (CM)		
AC-T11	Nitritos	µmol NO ₂ /L			0,92 (CP) 0,46 (CM)		
AC-T11	Nitratos	µmol NO ₃ /L			12,90 (CP) 6,45 (CM)		
AC-T11	Fosfatos	µmol PO ₄ /L			0,76 (CP) 0,38 (CM)		

Tabla 7. Valores de referencia R.D. 817/2015

2.3. Extracción de algas

Durante el año 2022 se han extraído hasta el 04/10/2022 un total de 20.673,43 tn, de las cuales 12.404,06, un 60%, se agruparían como las especies *Ulva intestinalis* y *Chaetomorpha linum*, y 8.269,37 tn, un 40%, serían de la especie *Caulerpa prolífica*.

Considerando el residuo seco a 105°C, y la composición en nitrógeno total (NTK) y de fósforo total, las cantidades extraídas alcanzarían las 430,92 t

n de nitrógeno y las 16,78 tn de fósforo, evitando de esta forma que estas algas al acabar su ciclo productivo se acumulen en el sedimento, entren en putrefacción y puedan incorporarse nuevamente parte de esos nutrientes a la cadena de producción primaria, tal y conforme recoge la tabla 10

<i>Ulva intestinalis</i> / <i>Chaetomorpha linum</i> (60%) = 12.404,06 tn / 04-10-22					
Parámetro analizado	Método de análisis	Resultado	Unidades	TOTAL KG	TOTAL Tn
RESIDUO SECO (105°C)	Determinación gravimétrica	21,4	%(p/p)	2.654.468,84	2.654,47
NITRÓGENO TOTAL KJELDAHL (NTK)	Método Kjeldahl por titulación volumétrica	14.734,00	mg/Kg	182.761,42	182,76
FÓSFORO TOTAL	Digestión y determinación por ICP	588,1	mg P/Kg	7.294,83	7,29

Tabla 8. Valoración química de las algas *Ulva intestinalis* y *Chaetomorpha linum*

<i>Caulerpa prolifica</i> (40%)= 8.269,37 tn /04-10-2022					
Parámetro analizado	Método de análisis	Resultado	Unidades	TOTAL KG	TOTAL Tn
RESIDUO SECO (105°C)	Determinación gravimétrica	19,7	%(p/p)	1.409.014,92	1.409,01
NITRÓGENO TOTAL KJELDAHL (NTK)	Método Kjeldahl por titulación volumétrica	30.009,00	mg/Kg	248.155,52	248,16
FÓSFORO TOTAL	Digestión y determinación por ICP	1147,3	mg P/Kg	9.487,45	9,49

Tabla 9. Valoración química de las algas *Caulerpa Prolifica*

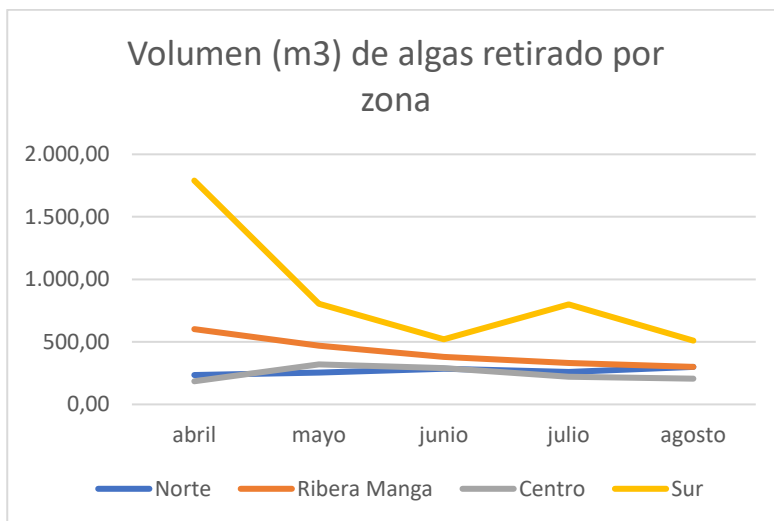
	kg	tn
TOTAL NITRÓGENO	430.916,94	430,92
TOTAL FÓSFORO	16.782,28	16,78

Tabla 10. Cuantificación en nutrientes de las algas retiradas hasta 04/10/2022

Estas retiradas de algas se han realizado en 4 zonas, y con datos procesados entre abril y agosto, es la zona sur la que ha mostrado mayor acumulación de algas, con valores de retirada que duplican en volumen a la segunda zona con mayor densidad que ha sido la ribera de La Manga, y con valores muy semejantes los obtenidos en la zona centro y en la zona norte, tal y conforme se recoge en la tabla 11 y en la gráfica 10.

Cantidades extraídas por zona en m3	Norte	Ribera Manga	Centro	Sur
abril	235,00	602,00	185,00	1.790,00
mayo	255,00	470,00	320,00	805,00
junio	285,00	380,00	290,00	520,00
julio	260,00	330,00	220,00	800,00
agosto	300,00	300,00	205,00	510,00
subtotal	1.335,00	2.082,00	1.220,00	4.425,00
total	9.062,00			

Tabla 11. Distribución espacio-temporal en metros cúbicos de las algas retiradas



Gráfica 10. Distribución espacio-temporal en metros cúbicos de las algas retiradas

3. DISCUSION

Los ecosistemas costeros como el Mar Menor presentan una especial sensibilidad a la incorporación de materia orgánica en su sistema trófico, ya sea en forma de fitoplancton, restos vegetales procedentes de macroalgas, o en el caso de aportaciones de materia orgánica por escorrentías y lixiviados que de forma canalizada a través de ramblas o por laminación en el caso de lluvias torrenciales.

El Mar Menor recibe a través de la rambla del Albuñón cantidades de agua muy elevadas cargadas de nutrientes como nitratos y fosfatos, pero con cargas de materia orgánica muy bajas excepto en momentos de lluvias torrenciales. Estos niveles de nutrientes son elevados y superan los límites marcados por la normativa de aguas en nitratos con valores medios anuales en la rambla de 163,83 mg/l en 2021, y una entrada total estimada solo esta rambla de 740,02 tn, y con valores medios de ortofosfato para ese mismo año de 0,460 mg/l, con entradas estimadas de 2,08 tn de ortofosfato y unos registros de agua de entrada para el “río” Albuñón de 4,51 Hm³.

Estos valores para el año 2022 se han incrementado sustancialmente debido a las abundantes lluvias que la cuenca de vertido del Mar Menor registró durante los meses de marzo y abril, con un registro medio cercano a los 500 mm durante esa primavera. Los valores medios registrados para nitrato hasta 30 de

septiembre de 2022 son de 124,19 mg/l y para el ortofosfato de 0,739 mg/l, casi el doble que en 2021. A estos valores medios en el aforamiento de la rambla del Albuñón se suma un volumen de agua de 7,56 Hm³ lo que ha generado entradas totales estimadas hasta esa fecha de 934,68 tn de nitratos y 5,62 tn de ortofosfatos.

Las entradas de nutrientes durante el año 2022 han sido muy abundantes y se traducen en unos valores medios diarios de nitratos de 3.607,58 kg/día y de 23,90 kg/día para el caso del ortofosfato, siendo la rambla del Albuñón el medio de entrada para el 68,83% de los nitratos y el 87,86 % del ortofosfato que accede al Mar Menor de forma superficial o subsuperficial.

Los niveles de amonio, nitritos son compatibles con estado del agua bueno moderado de acuerdo con el RD 817/2015, pero prueba del lesivo efecto de la rambla es el nivel de nitratos en la estación A01 con valores de 12,22 μ moles/l, y A10 con valores de 18,45 μ moles/l, en el límite para campo próximo y prácticamente el doble para campo medio en el caso de la A01, y fuera de rango para la A10. Estos valores bajan en el resto de las estaciones como consecuencia de su consumo por la cadena de producción primaria, y por la propia dilución fruto de la dispersión en el medio.

Conviene subrayar la situación del ortofosfato que en las estaciones A10, A01 y A11 que tienen valores de 0,707; 0,647 y 0.611 μ moles/l respectivamente, superando el valor de referencia para estado bueno moderado en campo medio de 0,38 μ moles/l y muy cercanos al valor límite para campo próximo de 0,76 μ moles/l. Cabe recordar que el fósforo es el factor limitante para que se produzcan fenómenos de eutrofización al requerir una relación N/P aproximada de 16/1. Por tanto, el nitrógeno estaría en exceso y el fósforo sería nuestro factor limitante.

A nivel de clorofila son las estaciones 7 y 8 de la red de control de sonda multiparamétrica las que siempre registran valores medios superiores al resto de la laguna, estando por debajo de 1 μ g/l durante el invierno, pero superando los valores de 6 μ g/l durante algunos momentos del verano, principalmente en fondo. En la zona donde están situadas estas estaciones aparecen habitualmente las éfiras de cnidarios, y presentan los valores más elevados de nitratos y ortofosfatos al coincidir en el área de las estaciones A10 y A01 para nutrientes.

En el Mar Menor los niveles de clorofila tienen una correlación negativa con la concentración de nutrientes y positiva con la abundancia de ictioplancton, sugiriendo que el fitoplancton incorpora nutrientes y controla su concentración, mientras que el zooplancton es controlado por las larvas de peces, reforzando la evidencia de un control de arriba-abajo (top-down) de la red trófica, con un decalaje natural entre los picos de nutrientes, de fitoplancton y de ictioplancton, coincidiendo nuestros resultados con los de Pérez-Ruzafa et al., 2005b.

Sin embargo, cuando hay un desequilibrio entre la proliferación de fitoplancton y la capacidad del sistema para incorporarlo, se generan con frecuencia agregados mucilaginosos que contienen fitoplancton en descomposición que cae al fondo, descomponiéndose y afectando a otros sustratos del bento, se pega a las redes de los pescadores afectando la economía por el deterioro de las capturas, y en ocasiones llega a la costa por los efectos del viento.

Este incremento de materia orgánica en el sedimento procedente del fitoplancton junto a las macroalgas que se generan, provoca un deterioro ambiental derivado de una intensificación de los procesos degradativos en el fondo. Estos procesos durante el verano, con temperaturas medias en la columna de agua cercanas y superiores a los 30°C, facilitan que el sedimento presente condiciones anaerobias que a su vez pueden afectar la transferencia de nutrientes (fundamentalmente N y P) y de otros elementos como los metales traza, retroalimentando el sistema de producción primaria al estar nuevamente biodisponibles esos nutrientes en la columna de agua.

Este año 2022 la proliferación de *Ulva intestinalis* y *Chaetomorpha linum*, ha sido muy superior a la detectada otros años, a la que se ha unido en menor medida abundantes masas de *Caulerpa prolifica* que conforme avanzaba el verano entraba en descomposición. Es cierto que los macrófitos marinos son un elemento clave en los procesos de intercambio entre el sedimento y la columna de agua., ya que contribuyen a la protección del sedimento frente a la erosión, reduciendo su resuspensión a la columna de agua y la retención de partículas en suspensión facilitando así su sedimentación. Sin embargo, la retirada de las algas durante este año 2022 ha sido una actuación esencial para el mantenimiento de la transparencia de las aguas del Mar Menor ya que al retirarlas se ha evitado su descomposición, a veces en zonas someras que coinciden con zonas de baño, y la posterior incorporación de esos nutrientes inicialmente al sedimento y posteriormente a la columna de agua, y también se ha evitado que se potencia la generación de lodos por descomposición de esta materia orgánica.

Los valores resultantes de las analíticas practicadas a las 20.673,43 tn de algas retiradas hasta el 04/10/22, junto a los escandallos realizados para tipificación de especies, arrojan unos valores de retirada de nutrientes equivalentes a 430,92 tn para el nitrógeno, y de 16,78 tn para el fósforo, lo que supone haber retirado hasta esa fecha el 46,10% del nitrógeno y el 298 % del fósforo que ha entrado en el Mar Menor hasta finales del mes de septiembre de 2022, siempre en referencia a las estimas de entrada de estos dos elementos.

Esas 20.673,43 tn dentro del Mar Menor hubieran retroalimentado el sistema, aumentado la disponibilidad de nutrientes por descomposición de la materia orgánica, y es del todo probable que los niveles de fitoplancton se hubieran desacoplado del control por el ictioplacnton generando densidades en columna que habrían acabado por oscurecer la columna de agua, aumentando la turbidez e impidiendo que la radiación PAR (radiación fotosintéticamente activa) hubiera llegado al fondo, lo que hubiera provocado un estrés metabólico sobre los macrófitos que les podría conducir a la muerte como ya sucedió en el verano y otoño de 2016. En consecuencia, una actuación crítica sin la cuál es del todo probable que la situación ecológica del Mar Menor durante el verano de 2022 hubiese sido bien distinta, considerando los niveles de nutrientes detectados en la columna de agua, la potencia del fangos del sedimento en muchas zonas de la laguna, y las elevadas temperaturas que hemos tenido este verano 2022, alcanzando máximos de 31,25°C como media para toda la laguna, temperatura nunca registrada hasta este verano.

4. CONCLUSIONES

El Mar Menor sufrió un fuerte oscurecimiento de toda su columna de agua en 2016 tras los incrementos de fitoplancton lo que provocó una extensa mortalidad de los macrófitos derivado del estrés que sufrieron al no llegar la luz al fondo marino. Esto facilitó una descomposición masiva de todas las algas con incorporaciones de nutrientes al sedimento y a la columna de agua que retroalimentan el sistema trófico de la laguna, al que se añaden las continuas entradas de nutrientes por las diferentes ramblas de forma discontinua, y de forma continua por la rambla del Albuñón

La recuperación de una gran parte de las praderas de algas desde el año 2016 facilita la fijación de nutrientes, pero este tipo de procesos de recuperación tras

crisis eutróficas son largos y difíciles, y no directamente reversible incluso después de la reducción de nutrientes (Duarte et al., 2008, 2013; Duarte, 2009; Carstensen et al., 2011; McCrackin et al., 2016), por eso esencial bajar el estrés del sistema que genera la aportación exógena de nutrientes al mismo. A pesar de la recuperación de los macrófitos, el sedimento en épocas de verano vehicula nutrientes a la columna de agua junto a las elevadas entradas de nitratos y ortofosfatos que este año 2022 ha sido particularmente abundantes

Los niveles de nitratos que entran cada año a la laguna son elevados y conducen a situaciones locales en algunos puntos del Mar Menor, siendo uno de ellos las inmediaciones de la desembocadura de la rambla del Albuñón, áreas incontestables de eutrofización, de resuspensión de materiales y de un efecto trófico que atrae a medusas e ictioplancton a esas zonas de la laguna. Los elevados niveles de nitratos registrados en la rambla del Albuñón tienen su origen en el freático en sus momentos de mayor elevación debido a que el acuífero cuaternario presenta niveles que en algunos puntos llegan a alcanzar valores de 300 ppm. El fósforo que tiene su origen en lixiviados procedentes de lavados por lluvias copiosas, y aguas urbanas que llevan al Mar Menor procedentes de la red de alcantarillado debido a filtraciones, o bien de forma masiva en episodios de lluvias torrenciales al no existir redes separativas de pluviales. Su concentración en la desembocadura de la rambla del Albuñón es baja, salvo en lluvias torrenciales, y su concentración en la laguna está dentro del estado bueno moderado de acuerdo con la normativa vigente. La baja concentración por esos escasos insumos y su rápido consumo por parte de los productores primarios lo convierte en un factor limitante para que el proceso eutrófico se inicie y se mantenga en el tiempo.

En estos últimos años se han puesto en marcha medidas por diferentes administraciones públicas dirigidas a mejorar el estado ecológico de la laguna, medidas que afectan a numerosos sectores productivos que interactúan de una forma o de otra con la laguna costera. Sin embargo, la actuación más urgente y prioritaria para llevar el Mar Menor a un proceso de oligotrofización es el bloqueo de las aguas de entrada del Albuñón en su estado actual de aportación de nutrientes, actuación sin la cual los riesgos de reinicio de procesos eutróficos son continuos por las aportaciones exógenas y por la propia carga de nutrientes que tiene el sedimento.

En este sentido la retirada de macrófitos ha permitido retirar enormes cantidades de nitrógeno y fósforo, nutrientes que ya están fuera del sistema de producción primaria de la laguna, y que contribuyen a la reversión de los procesos hacia la

oligotrofia.

Es necesario utilizar todas las herramientas que permitan, de una forma respetuosa con el hábitat y sus pobladores, cortar las aportaciones exógenas de nutrientes, facilitar la extracción de macrófitos que se generan por el exceso de nutrientes, particularmente de nitrógeno, e iniciar los procedimientos que permitan diagnosticar la conveniencia de la retirada de lodos y fangos en las zonas con elevada potencia, de forma que actuando sobre los distintos compartimentos del sistema se acelere la recuperación del Mar Menor

BIBLIOGRAFÍA

- Carstensen, J., Sánchez-Camacho, M., Duarte, C. M., Krause-Jensen, D., and Marbà, N. (2011). Connecting the dots: responses of coastal ecosystems to changing nutrient concentrations. *Environ. Sci. Technol.* 45, 9122–9132. doi: 10.1021/es202351y
- Desmit, X., Thieu, V., Billen, G., Campuzano, F., Dulière, V., Garnier, J., et al. (2018). Reducing marine eutrophication may require a paradigmatic change. *Sci. Total Environ.* 635, 1444–1466. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.04.181
- Duarte, C. M., Borja, A., Carstensen, J., Elliott, M., Krause-Jensen, D., and Marbà, (2013). Paradigms in the recovery of estuarine and coastal ecosystems. *Estuar. Coasts* 38, 1202–1212. doi: 10.1007/s12237-013-9750-9
- Duarte, C. M., Conley, D. J., Carstensen, J., and Sánchez-Camacho, M. (2008). Return to neverland: shifting baselines affect eutrophication restoration targets. *Estuar. Coasts* 32, 29–36. doi: 10.1007/s12237-008-9111-2
- El Mar Menor estado actual del conocimiento científico. Editores: [Instituto Euromediterráneo del Agua](#). 2009
- Javier de Salas et al. Industria y Legislación de Pesca. 1870. Repositorio UPM nº 0700061631.

León Victor M, Bellido, J.M. (Eds) Mar Menor: una laguna singular y sensible.

Evaluación científica de su estado. 2016

López Castejón F. *Caracterización de la hidrodinámica del Mar Menor y los flujos de intercambio con el Mediterráneo mediante datos in situ y modelado numérico*. 2016. *Repositorio Digital UPCT*.

McCrackin, M. L., Jones, H. P., Jones, P. C., and Moreno-Mateos, D. (2016). Recovery of lakes and coastal marine ecosystems from eutrophication: a global meta-analysis. *Limnol. Oceanogr.* 62, 507–518. doi: 10.1002/lno.10441

Nienhuis, P. H. (1992). Eutrophication, water management, and the functioning of Dutch estuaries and coastal lagoons. *Estuaries* 15, 538–548. doi: 10.2307/1352396

Pérez-Ruzafa, A., Gilabert, J., Gutiérrez, J. M., Fernández, A. I., Marcos, C., and Sabah, S. (2002). Evidence of a planktonic food web response to changes in nutrient input dynamics in the Mar Menor coastal lagoon, Spain. *Hydrobiologia* 475/476, 359–369. doi: 10.1023/A:1020343510060.

Pérez-Ruzafa, A., Marcos, C., and Gilabert, J. (2005b). “The ecology of the Mar Menor coastal lagoon: a fast-changing ecosystem under human pressure,” in *Coastal Lagoons: Ecosystem Processes and Modeling for Sustainable Use and Development*, eds I. E. Gönenç and J. P. Wolflin (Boca Ratón, FL: CRC Press), 392–422.

Pérez-Ruzafa, A., Marcos, C., and Pérez-Ruzafa, I. M. (2011a). Mediterranean coastal lagoons in an ecosystem and aquatic resources management context. *Phys. Chem. Earth* 36, 160–166. doi: 10.1016/j.pce.2010.04.013

Pérez-Ruzafa, A., Marcos, C., and Pérez-Ruzafa, I. M. (2011b). Recent advances in coastal lagoons ecology: evolving old ideas and assumptions. *Transit. Waters Bull.* 5, 50–74.

Pérez-Ruzafa, A., Marcos, C., Pérez-Ruzafa, I. M., and Pérez-Marcos, M. (2011c). Coastal lagoons: “transitional ecosystems” between transitional and coastal waters. *J. Coast. Conserv.* 15, 369–392. doi: 10.1007/s11852-010- 0095-2

*Pérez-Ruzafa, Angel, Sara Campillo, José María Fernández-Palacios, Antonio García-acunza, Miriam García-Oliva, Helena Ibañez, Pedro C. Navarro-Martínez, María Pérez-Marcos, Isabel M. Pérez-Ruzafa, Jhoni Ismael Quispe-Becerra, Antonio Sala-Mirete, Olga Sánchez and Concepción Marcos¹. Long-Term Dynamic in Nutrients, Chlorophyll *a*, and Water Quality Parameters in a Coastal Lagoon During a Process of Eutrophication for Decades, a Sudden Break and a Relatively Rapid Recovery. Frontiers in Marine Science. Febraury 2019.*

[SAIH Segura \(chsegura.es\)](http://chsegura.es)