



**ESTUDIO SOBRE LAS REPERCUSIONES DE LAS EMBARCACIONES MOVIDAS POR TURBINAS (WATERJETS) EN EL ZOOPLANCTON DEL MAR MENOR**



**GOIBSE**

GRUPO OPERATIVO DE INNOVACIÓN  
EN BIOECONOMÍA DEL SURESTE

## **PRESENTACIÓN**

El Mar Menor es una laguna litoral de amplio valor natural, ecológico y paisajístico. Su entorno, emplazado en la Comarca Campo de Cartagena, acoge un gran dinamismo socioeconómico y elevada concentración de actividades y personas. Está sometido a presiones tanto de origen natural, sucesiones de períodos de lluvias torrenciales (DANA) y sequías, como antrópico, cinturón de urbanizaciones y distintas fuentes de contaminación. Por todo ello, es una laguna altamente estudiada, protagonista del interés de multitud de disciplinas.

Este estudio se centra en las comunidades planctónicas de la laguna litoral; sobre todo zooplancton, de gran importancia para el ecosistema marino, y en los impactos que estas reciben como consecuencia de las embarcaciones que emplean el sistema de propulsión en chorro o *waterjet*, que tienen su mayor exponente en las motos de agua, escogidas para este estudio como protagonistas y representantes en suma de las presuntas afecciones a estas comunidades del Mar Menor causadas por este sistema. Caracterizadas por su gran versatilidad y libertad de desplazamiento, requieren escasos centímetros de columna de agua para iniciar su marcha.

Las aguas someras son lugares de cría y desarrollo de numerosas especies de fauna marina de elevado interés, así como el hábitat de especies protegidas como el fartet. Estas, como muchas otras especies, presentan en su etapa más temprana naturaleza zooplanctónica (ictioplancton) y se encuentran en suspensión en la columna de agua, sobre todo, en dichas áreas. Las motos de agua, por su parte, requieren importantes volúmenes de agua para su desplazamiento (hasta 200 l/s.), volumen de agua que es alto candidato de recoger cientos de ejemplares entre fitoplancton, zooplancton e ictioplancton. Esta agua es succionada y expulsada sometándose a procesos fisicoquímicos (incremento de presión y temperatura) y remoción, además de recorrer un complejo sistema mecánico compuesto por bombas, turbinas, toberas etc., siendo este el objeto del estudio analizar los daños producidos por estos sistemas en las comunidades zooplanctónicas del Mar Menor.

El zooplancton, además, es el principal consumidor del fitoplancton, destacando su papel para el control del desarrollo masivo del plancton vegetal que, como es conocido, origina, entre otros factores, el estado eutrófico del Mar Menor, alcanzando valores máximos en 2016 generando el fenómeno conocido como “sopa verde” que supuso una elevada mortandad de la fauna marina de la laguna.

Son numerosas las publicaciones científicas en las que se emplea Teledetección para la medición de bioindicadores del estado químico del agua como la clorofila o la turbidez, altamente relacionados con el desarrollo de las comunidades planctónicas en tales medios. Para este estudio, se han tomado como referencia publicaciones que emplean este tipo de técnicas junto mediciones *in situ* para la validación de tales modelos, sobre todo:

- Informe de síntesis sobre el estado actual del Mar Menor y sus causas en relación a los contenidos de nutrientes (Universidad de Murcia, Instituto Español de Oceanografía y CEBAS-CSIC. 2020)

- Informe de evolución y estado actual del Mar Menor en relación al proceso de eutrofización y sus causas (Instituto Español de Oceanografía. 2020)
- Informe integral sobre el estado ecológico del Mar Menor (Comité de Asesoramiento Científico del Mar Menor. 2017)
- Dinámica espacio-temporal del ictioplancton del Mar Menor y factores ambientales asociados (Jhoni Ismael Quispe Becerra. 2014)
- Ictiofauna de las zonas someras litorales del Mar Menor: Parámetros de su biología y relaciones con el hábitat (David Verdiell Cubedo. 2009)

Por otra parte, abunda la bibliografía sobre las comunidades planctónicas del Mar Menor anterior a las primeramente citadas, no obstante, cabe señalar que la evolución de estas comunidades es muy cambiante en cuanto a naturaleza y estructura, depende tanto de factores naturales y ambientales como antrópicos. Se destacan:

- Distribución temporal de las dinoflageladas del Mar Menor (Manuela Ros y María Rosa Miracle. 1984)
- Análisis del ecosistema planctónico del Mar Menor. Ciclo anual, distribución de tamaños y red trófica (Javier Gilabert Cervera. 1992)
- El Mar Menor. Relaciones, diferencias y afinidades entre la laguna costera y el Mar Mediterráneo adyacente (Julio Mas Hernández. 1994)

El estudio presenta tres partes claramente diferenciadas, en primera instancia se realiza un análisis sobre los sistemas de propulsión en chorro o *waterjet*, poniendo especial énfasis en sus componentes, funcionamiento, embarcaciones que lo emplean, legislación específica sobre las motos de agua en el Mar Menor y en el cálculo del volumen de agua que requieren estas para su desplazamiento. A continuación, se desarrolla un estudio sobre el Mar Menor que comprende su área de influencia, componentes hidrológicos, hidrodinámica y ecología lagunar. Finalmente, para el apartado destinado para el diseño experimental, resultados, conclusiones y propuestas destaca la elaboración de una tipificación de la fauna marina con fases o naturaleza zooplanctónica en base, sobre todo, a los criterios de *status* e intereses de las especies de zooplancton más representativas del Mar Menor que guía esta parte.

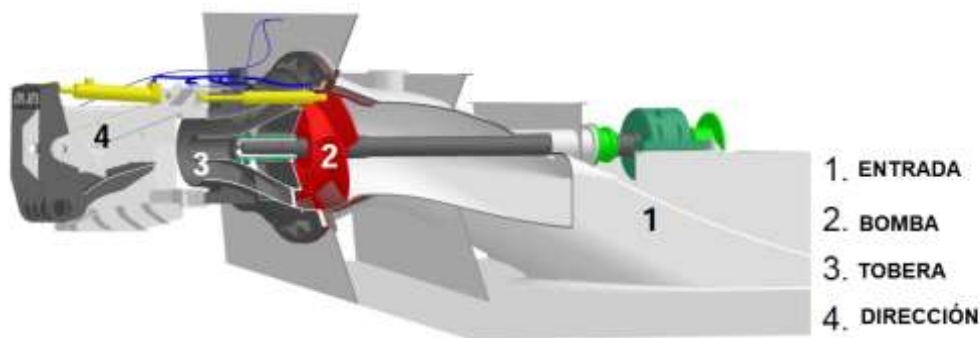
## ÍNDICE

EL SISTEMA DE PROPULSIÓN EN CHORRO O <i>WATERJET</i> .....	1
<b>Sistema de propulsión a chorro o <i>waterjet</i></b> .....	1
<b>Funcionamiento del sistema <i>waterjet</i></b> .....	1
<b>Embarcaciones que emplean el sistema <i>waterjet</i></b> .....	3
<b>Volumen de agua requerido para el funcionamiento de los sistemas <i>waterjet</i></b> .....	7
<b>Regulación de las motos de agua en el Mar Menor</b> .....	8
LA LAGUNA LITORAL MAR MENOR .....	9
<b>Área de estudio, la laguna litoral Mar Menor (Región de Murcia)</b> .....	9
<b>Análisis hidrológico</b> .....	13
<b>Estado químico del Mar Menor</b> .....	16
<b>Características hidrodinámicas</b> .....	17
<b>Ecología lagunar</b> .....	20
DISEÑO EXPERIMENTAL, RESULTADOS, CONCLUSIONES Y PROPUESTAS	26
<b>Diseño experimental</b> .....	26
<b>Resultados</b> .....	26
<b>Conclusiones y Propuestas</b> .....	32

## EL SISTEMA DE PROPULSIÓN EN CHORRO O WATERJET

### Sistema de propulsión a chorro o waterjet

El sistema de propulsión a chorro o *waterjet* es un sistema altamente utilizado para la propulsión de embarcaciones a velocidades que varían entre 20-70 nudos según autores, modelo de embarcación y tipo/funcionamiento del propio sistema. Se basa en la propulsión generada por la eyección de un chorro de agua bombeado hasta el sistema a través de conductos de entrada hacia el sistema de dirección y salida pasando por una tobera. De esta manera, la aceleración se consigue en base a los principios de la Segunda ley de Newton: “*La fuerza neta aplicada sobre un cuerpo es proporcional a la aceleración que adquiere dicho cuerpo*”. Depende, por lo tanto, de la fuerza generada por el movimiento del volumen de agua/tiempo que entra al sistema absorbido por la bomba y de la transformación de esta energía potencial en cinética a su paso por la tobera.



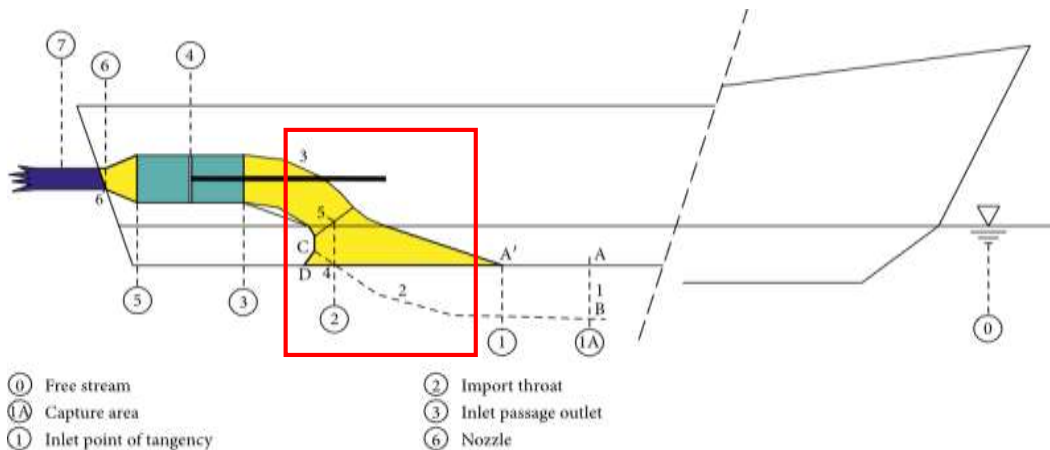
-Figura 1: Esquema del sistema *waterjet*.

### Funcionamiento del sistema *waterjet*

Entrada, Bomba, Tobera y Dirección son los principales componentes del sistema de propulsión en chorro o *waterjet*.

- Entrada:

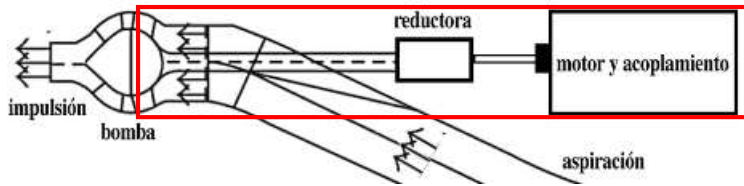
El ducto de entrada es el encargado de conseguir que el agua llegue desde la toma de mar hacia el sistema. Tiene un sentido ascendente, teniendo pérdidas de carga inherentes a su forma debido a la inclinación del ducto y a sus codos.



-Figura 2: Esquema del funcionamiento de la entrada de agua del sistema *waterjet*.

- Bomba:

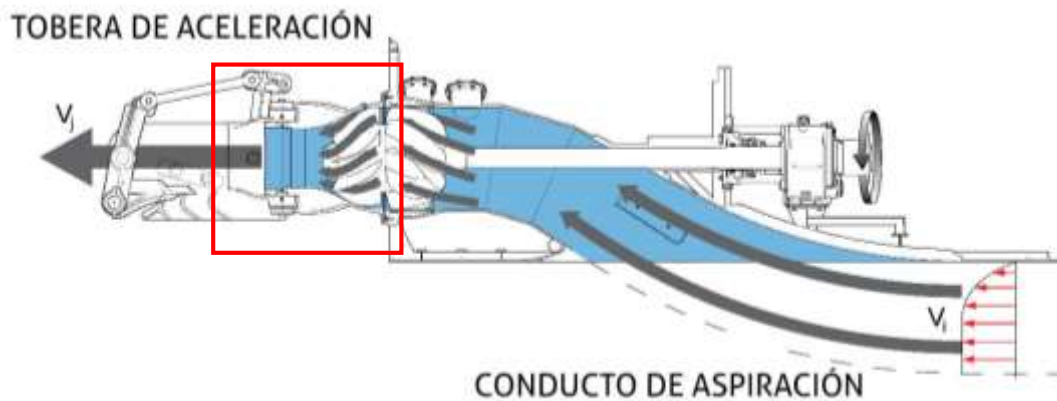
La bomba succiona el agua desde el ducto de entrada, está accionada por un motor de combustión, generalmente, al cual se une mediante un eje. De esta manera, cuando el motor gira, provoca el mismo giro para la bomba aumentando la fuerza de succión en función de la potencia otorgada, que es la fuerza bruta que provoca el movimiento en este sistema. La mayoría de *waterjets* utilizan bombas mixtas, aunque también hay diseños exitosos que emplean bombas axiales.



-Figura 3: Esquema del funcionamiento de la bomba en el sistema *waterjet*.

- Tobera:

La tobera transforma la energía potencial o fuerza bruta procedente de la bomba y el motor en energía cinética, provocando el incremento del empuje o fuerza neta sobre la embarcación. Este aumento es debido a que, para el mismo caudal recogido, el diámetro y la presión disminuyen en la tobera, provocando un aumento de la velocidad del agua al pasar por esta.

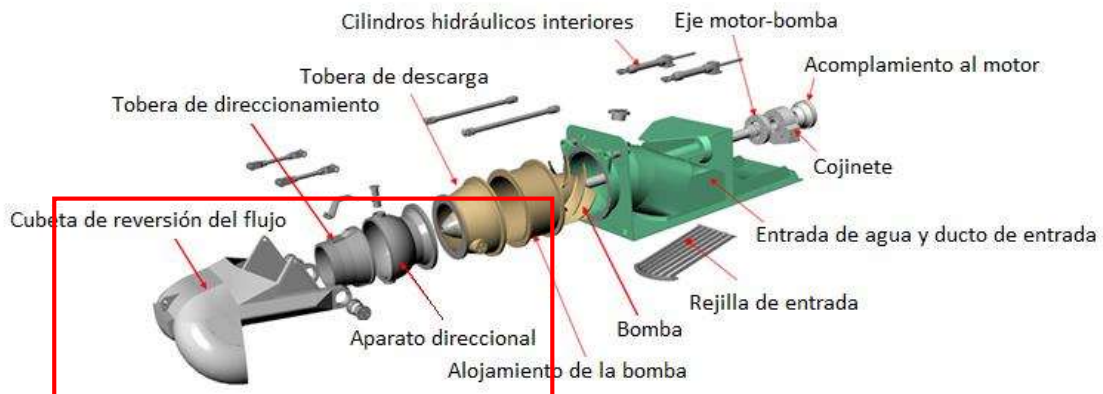


-Figura 4: Esquema del funcionamiento de la tobera en el sistema *waterjet*.

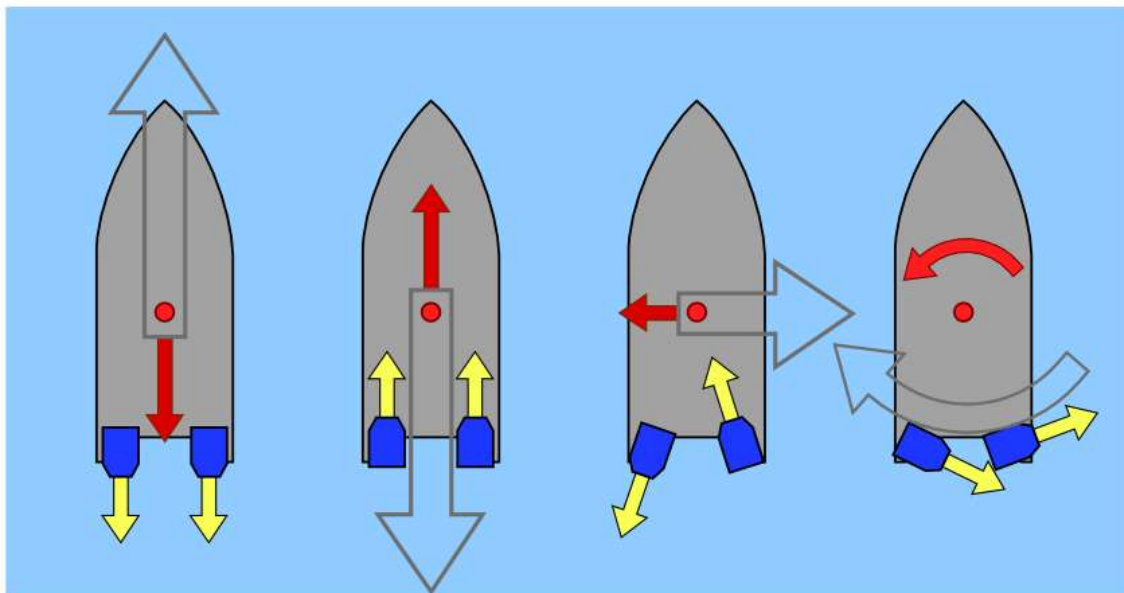
- Dirección:

El aparato direccional y la cubeta son los encargados del gobierno de una embarcación propulsada mediante el sistema *waterjet*. Los cambios de dirección se consiguen desviando el chorro con respecto al eje de crujía, generalmente con un brazo hidráulico que dirige el chorro de agua mediante un giro de la tobera sobre un acoplamiento semiesférico. Por otra parte, las cubetas se emplean para la marcha atrás, con estas, el

chorro de agua sigue bombeando de la misma manera, pero se coloca la cubeta de tal manera que revierte el sentido del mismo enviándolo hacia la proa.



-Figura 5: Esquema del funcionamiento de la dirección en el sistema *waterjet*.



-Figura 6: Esquema de los desplazamientos de una embarcación mediante el sistema *waterjet*

**Embarcaciones que emplean el sistema *waterjet***

Motos de agua, *fast ferries*, embarcaciones rápidas y los *flyboards* son las principales embarcaciones que emplean el sistema *waterjet*, encontrándose otros usos como sistemas mixtos añadidos a la propulsión mecánica convencional para mejoras de dirección, entre otros.

- Yamaha Waverunner:

Las motos de agua o *jet-ski* emplean exclusivamente el sistema *waterjet*. En 1976, Kawasaki lanza el primer modelo comercial de este tipo de embarcaciones, no obstante, en la actualidad se reconocen numerosos fabricantes clave para este sector, sobre todo, Yamaha y Bombardier. Continuos avances y mejores permiten la existencia de modelos

en los que pueden viajar hasta tres personas alcanzando velocidades hasta 60 nudos, y es que el *jet-ski* se ha convertido en una práctica deportiva muy popular, realizándose campeonatos de todo tipo, travesías e incluso copas del mundo.

La oferta de motos de agua Yamaha, las Waverunner, es muy amplia, distinguiéndose 15 modelos, entre Recreativas, de Crucero y Deportivas, con 3 tipos de motores:

Tricilíndricos: TR-1 y TR-1 HO

Tetracilíndricos: HO o SVHO



-Figura 7: Yamaha EX Deluxe (2019). Motor TR-1 de 100 cv.

- HSC Avemar Dos

Los *fast ferries* son grandes buques destinados al transporte de personas y mercancías dotados de servicios y comodidades, como cafeterías, tiendas, suites, hotel-can etc. Son indispensables para la comunicación de y entre islas. Mediante el sistema *waterjet* alcanzan velocidades máximas hasta 40 nudos, para ello, es común el uso de motores con cilindros dispuestos en V y turboalimentados, optimizando así el espacio/potencia. Algunos de los fabricantes más extendidos son:

Caterpillar: series 3616-3618 (7000 – 10000 cv.)

Ruston/MAN: series rk270-rk280 (V28/33D) (5500 – 9600 cv.)

MTU: series 1163-8000 (6500 – 12000 cv.)

Un hito español para este sector es la empresa Balearia, dedicada al transporte marítimo de pasaje y carga desde 1998. Incorporando su primer buque de alta velocidad, el Federico



García Lorca, en 2002, la naviera, une diariamente las islas Baleares con la Península a través de los puertos de Barcelona, Valencia y Denia, y es la única compañía del sector que tiene conexiones interinsulares en las cuatro islas del archipiélago, además de conectar Ceuta y Melilla con puertos peninsulares y Canarias con la península, también ofrece servicios desde 2011 entre los Estados Unidos y las Bahamas bajo la marca Balearia Caribbean.

De la extensa flota de la naviera conformada por 14 ferris, 10 *fast ferries* y 4 *eco-fast ferries*, el *fast ferry* HSC Avemar Dos opera en el estrecho de Gibraltar en la ruta que une el puerto de Algeciras (Cádiz) con la ciudad autónoma de Ceuta, siendo una de las principales rutas entre España y Marruecos. Es uno de los más rápidos alcanzando máximas de 34 nudos con una capacidad de hasta 855 pasajeros (sin limitaciones de equipaje) y 150 vehículos aproximadamente, incluyendo zonas recreativas como cafeterías y tiendas. Con 82 m. de eslora y 24 m. de manga, se sirve de 4 motores MTU 20V1163-TB73L de 9100 cv. de potencia cada uno para desarrollar su actividad.



-Figura 8: HSC Avemar Dos (1997). 4 motores MTU 20V1163-TB73L de 9100 cv.

- Foners:

Debido a su alto rendimiento, el sistema *waterjet* es empleado en embarcaciones de todo tipo que requieran desarrollar altas velocidades, de esta manera, se encuentra este sistema en embarcaciones militares, de salvamento y también, en barcos recreativos o yates.

Navantia es una empresa pública española dedicada, desde 2005, a la construcción naval civil y militar. Los orígenes de esta sociedad se remontan a la fusión entre Astilleros Españoles (AESAs), que a su vez incluía históricas navieras con factorías en Ferrol, Cartagena, San Fernando, Gijón, Puerto Real, Sestao y Sevilla.

Del prolífero recorrido de Navantia, la antigua AESA y demás factorías y entidades especializadas en el sector relacionadas, el Foners es un potentísimo yate de lujo fabricado

en los Astilleros Bazán (Cartagena) en el año 2000. Es uno de los yates más rápidos del mundo, equipado con tres motores Rolls-Royce Kamewa *waterjets* (6700 cv.) y dos MAN (1280 cv.) desarrolla una velocidad máxima de 70,1 nudos con sus 22600 cv. de potencia. Tiene una capacidad para 14 personas, con 4 cabinas entre individuales y dobles, además de unas medidas de 41,5 m. de eslora y 9,2 m. de manga.



-Figura 9: Foners (2000). 3 motores Rolls-Royce Kamewa *waterjets* y 22660 cv.

- Jetlev-Flyer JF-300:

El *flyboard*, creado en 2012, consiste en una tabla unida por una manguera a una moto de agua con la que se consigue elevarse y sumergirse en el agua. El *jet pack*, por su parte, es la evolución del *flyboard*, es una mochila propulsada mediante un sistema similar. Su funcionamiento requiere de una unidad de potencia que aspire el agua (en este caso, una moto de agua) y de un conducto que envíe dicha agua hacia la mochila/tabla del conductor. Cuando el agua atraviesa este sistema es expulsada pasando unas toberas consiguiendo el desplazamiento final.

Jetlev-Flyer es una empresa alemana de referencia para el sector de los *jet packs*. El Jetlev-Flyer JF-300 es su modelo más potente, cuenta con un motor tricilíndrico Rotax 900 ACE de 4 tiempos y una potencia de 300 cv. para la propulsión del jet.



-Figura 10: Jetlev-Flyer JF.300 (2020). Motor Rotax 900 ACE de 300 cv.

**Volumen de agua requerido para el funcionamiento de los sistemas *waterjet***

Descrito el funcionamiento del sistema *waterjet* y los tipos de embarcaciones que lo emplean, cabe señalar en este apartado el volumen de agua que requiere el sistema para su funcionamiento. Centrándose en las pequeñas embarcaciones privadas, sobre todo, motos de agua, se propone un modelo teórico para el cálculo del volumen de agua/tiempo que utiliza el sistema *waterjet* de este tipo de embarcaciones a velocidades máximas.

El modelo utiliza el cilindro como aproximación geométrica regular al diseño de una bomba, calculando el volumen de este a partir de las medidas de la bomba se consiguen los valores máximos de agua que puede absorber esta. Las revoluciones por minuto del motor, conectado a la bomba por un eje haciéndola girar a la par, pueden entonces tomarse como giros por segundo de la bomba o como cantidad de veces que succiona X volumen de agua calculado previamente. De esta manera, en la siguiente tabla se representan los resultados obtenidos para 3 modelos de motos de agua de distinta potencia.

Modelo	Potencia (cv.)	Motor y potencia (rpm)	Dimensiones de la bomba	Volumen de agua	Litros /segundo
Yamaha VX 2020	115	3 cylinders, TR-1 High Output, 4 stroke, DOHC, 4 valves. 8000 rpm	155x75 mm	0,19 m <sup>3</sup> /s	190
SeaDoo Spark 2up	60	Rotax 900 ACE-60. 4 stroke, 3	140x75mm	0,135 m <sup>3</sup> /s	135

STD 60 2020		cylinders, 4 valves. 7000rpm			
Kawasaki Ultra 310R	300	Supercharged and intercooled, 4- stroke, DOHC, four valves per cylinder, inline 4-cylinder. 8000rpm	161x83mm	0,225 m3/s	225

-Tabla 1: Obtención del volumen de agua/tiempo utilizando el modelo teórico descrito.

### **Regulación de las motos de agua en el Mar Menor**

Existen normativas que regulan algunos aspectos de las motos de agua a nivel nacional y en el Mar Menor.

- Normativas legales a nivel nacional:

Real Decreto 875/2014, de 10 de octubre, por el que se regulan las titulaciones náuticas para el gobierno de las embarcaciones de recreo.

Real Decreto 259/2002, de 8 de marzo, por el que se actualizan las medidas de seguridad en la utilización de motos náuticas.

Orden de 16 de diciembre de 1998, por el que se regula el procedimiento abreviado de registro y matriculación de las motos náuticas.

- Ley 3/2020, de 27 de julio, de recuperación y protección del Mar Menor:

Sección 2.<sup>a</sup> Ordenación y gestión de la navegación. 2. C:

Las embarcaciones de recreo con motores intraborda o mixtos sin escape integrado, las motos náuticas, los motores fueraborda y los motores mixtos con escape integrado cuyas emisiones sonoras superen los siguientes valores:

<b>Potencia del motor</b>	<b>Nivel de presión sonora máxima=LpASmax en dB</b>
PN < 10	67
10 < PN < 40	72
PN > 10	75

-Tabla 2: Regulación de las emisiones sonoras para las motos de agua según la Ley 3/2020, de 27 de julio, de recuperación y protección del Mar Menor

Siendo:

PN = potencia nominal en kW a velocidad nominal

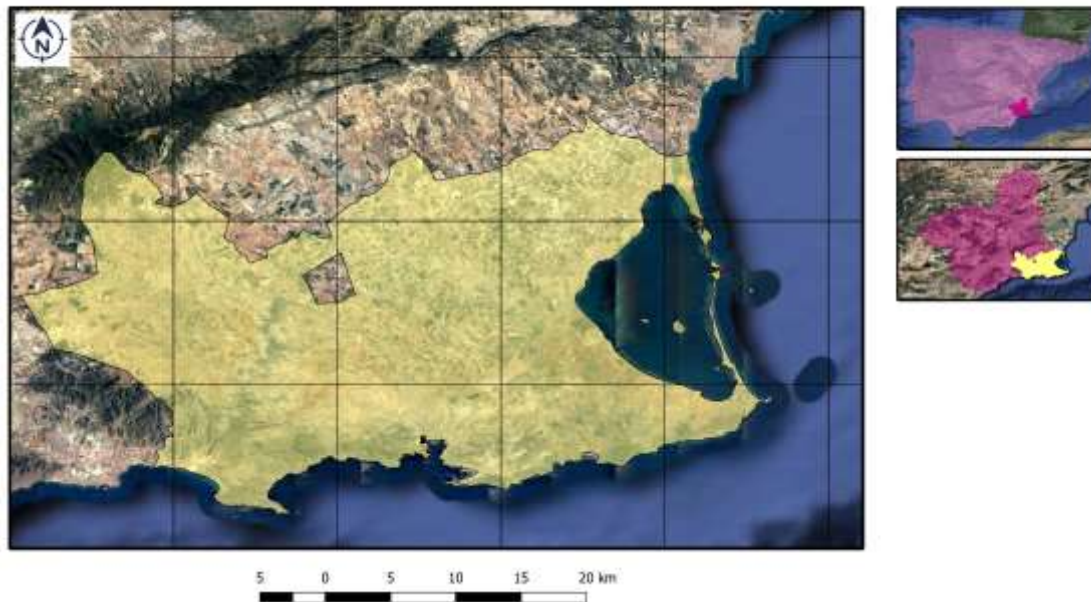
LpASmax = nivel de presión sonora máxima en dB calculada con arreglo a las pruebas definidas en la norma UNE EN ISO 14509

## LA LAGUNA LITORAL MAR MENOR

### Área de estudio, la laguna litoral Mar Menor (Región de Murcia)

Las lagunas litorales pueden definirse como ensanches de agua salada en áreas costeras desarrollados por el aislamiento de una gran masa de agua con respecto al mar abierto mediante una barra de arena u otra naturaleza. Pueden tener conexión con el mar aledaño en zonas específicas de manera temporal o permanente, permitiendo el desarrollo de unas características propias con respecto a las del mar abierto, con ecosistemas singulares asociados.

El Mar Menor (Región de Murcia, sureste de la Península Ibérica) es una de las mayores lagunas litorales del Mediterráneo; 170 km<sup>2</sup>, de naturaleza hipersalina, acoge numerosas especies de flora y fauna entre sus límites y entorno, siendo un espacio de alto valor natural y paisajístico.



-Figura 11: Localización del área de estudio.

- Comarca Campo de Cartagena:

El Campo de Cartagena es una comarca localizada en el extremo suroriental de la Región de Murcia. Se caracteriza por su amplia llanura, con pequeña inclinación hacia el sureste, rodeada en todos sus contornos, a excepción de la zona del litoral de elevaciones montañosas. Destacan algunos cerros o cabezos como el Cabezo Gordo (312 m.), al oeste de San Javier y el Carmolí (117 m.), más al sur y junto al Mar Menor. Tiene una extensión de 1.698 km<sup>2</sup>, de los cuales el 80% corresponden a una llanura y el resto al área montañosa. La llanura litoral, se inclina hacia el Mediterráneo con dirección NW-SE, con pendientes que no superan el 10%, y en una amplia zona en torno al Mar Menor (más del 32% de la superficie total), la pendiente es inferior al 1%. Por el norte y noroeste está limitada por las sierras prelitorales de Carrascoy (1.075 m.), Cabezos del Pericón y Sierra

de las Victorias, El Puerto, Los Villares, Columbares y Escalona; al sur y suroeste por las sierras litorales de El Algarrobo, Sierra de la Muela, Pelayo, Gorda, Sierra de La Fausilla y la Sierra minera de Cartagena-La Unión, con sus últimas estribaciones en el Cabo de Palos, que constituye una costa recortada y abrupta; por el oeste existe una delimitación natural que sigue la divisoria occidental de la cuenca de la Rambla del Albuñón; y por el este está delimitada por el Mar Menor, que comprende una superficie de 180 km<sup>2</sup>, cuyo límite con el Mediterráneo lo constituye la restinga de La Manga.

- Climatología:

El Campo de Cartagena se engloba en el clima de tipo Mediterráneo semiárido. Las temperaturas medias anuales oscilan entre los 16 °C. y los 18 °C., en toda la llanura central y entre 14 °C. y 16 °C. en el reborde montañoso. Las temperaturas medias máximas alcanzan valores extremos de entre 38 y 42 °C. en todo el sector nororiental de la cuenca y en la zona sur del Mar Menor, con máximos superiores a los 42 °C. en un amplio sector del entorno de la pedanía murciana de Corvera. En las sierras del sur, La Manga y norte del Mar Menor, las medias de las máximas, no superan los 36 °C.

En cuanto a las precipitaciones medias anuales, oscilan entre valores ligeramente inferiores a los 300 mm en el sector central de la cuenca y los 350 mm. de la zona litoral, Sierra Minera y zona norte de Cartagena. Sólo se alcanzan los 400 mm. en cotas superiores a 800 m. en la Sierra de Carrascoy. El periodo seco se extiende entre 7 y 9 meses según las áreas. Las escasas precipitaciones, junto a las elevadas temperaturas, determinan que las necesidades de agua de la comarca sean muy altas y el déficit hídrico, por tanto, es muy elevado.

La irregularidad de las precipitaciones es uno de los factores más destacados y son frecuentes los años con precipitaciones inferiores a 200 mm. o, por el contrario, días en los que en pocas horas pueden caer caen más de 150 mm., ocasionando, con frecuencia, inundaciones con grandes pérdidas económicas y, en ocasiones, humanas tras estos períodos de DANA.



-Figura 12: Vista desde un helicóptero de la Unidad Militar de Emergencias, del casco urbano del municipio murciano de los Alcázares tras las inundaciones de 2016.

- Cuencas vertientes:

La comarca del Campo de Cartagena carece de cursos de agua superficiales, relacionada con su topografía (escasa pendiente) y poca elevación de sus relieves, la aridez del clima y la ausencia de cursos de agua alógenos. La red de drenaje se reduce en abundantes ramblas continuamente secas, salvo en los escasos días de lluvias intensas. Algunas de ellas se extinguen en la llanura al carecer de pendiente y llegar a colmatarse de sedimentos. Otras, por el contrario, vierten sus aguas al Mar Menor o al Mediterráneo. En el Campo de Cartagena se pueden diferenciar un total de 24 unidades de drenaje, cuya superficie conjunta es de 1.418 Km<sup>2</sup>. De ellas, la de mayor superficie es la Rambla del Albuñón con una extensión de 441,32 Km<sup>2</sup>., lo que representa el 31 % de la superficie total del conjunto de cuencas.

Se distinguen cuatro cuencas vertientes al Mar Menor: Cuencas nororientales (Rambla de la Maraña), Cuenca de la Rambla del Ciprés-Campoy, Cuenca de la Rambla del Albuñón y Cuencas meridionales (Rambla de Miranda, Miedo, Beal, Los Blancos y Carrasquilla).



-Figura 13: Cuencas costeras del Campo de Cartagena. Fuente: El Campo de Cartagena. Una visión global.

- Figuras de protección:

El Mar Menor y los humedales de su entorno son los únicos espacios naturales de la Región de Murcia con un reconocimiento a escala mundial al haber sido declarado en 1994 como Sitio de Importancia Internacional del Convenio Ramsar. Asimismo, el Área del Mar Menor y Zona Oriental Mediterránea de la costa de la Región de Murcia fue declarada en 2001 como Zona Especialmente Protegida de Importancia para el Mediterráneo (ZEPIM). Entre las disposiciones legales vigentes internacionales, cabe destacar la Directiva de Hábitats de la Unión Europea, enfocada a la conservación de los principales ecosistemas de la Unión, por lo que incluye un catálogo de Lugares de Importancia Comunitaria (LIC), en el que se ha propuesto en 1999 la inclusión de la laguna del Mar Menor, el Parque Regional de las Salinas y Arenales de San Pedro del Pinatar, el Paisaje Protegido de los Espacios Abiertos e Islas del Mar Menor y el Parque Regional de Calblanque, Monte de las Cenizas y Peña del Águila. Por otro lado, en cumplimiento de la Directiva de Aves Silvestres de la Unión Europea que establece la necesidad de declarar Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPA) sobre la base de unos criterios ornitológicos, han sido declaradas como tal las Salinas y Arenales de San Pedro del Pinatar en 1998, por la importante colonia nidificante de Cigüeñuela, Avoceta, Pagaza Piconegra y Charrancito. También ha sido declarada como ZEPA el Mar Menor, que engloba los humedales del Paisaje Protegido Espacios Abiertos e Islas del Mar Menor, las Salinas del Rasall y la Laguna del Mar Menor, pues cumplen los criterios numéricos para cigüeñuela, terrera marismería y garceta común. Finalmente, las aves acuáticas además de estar tutelados por la normativa específica de los Planes de Ordenación de Recursos Naturales de cada uno de los espacios anteriores, se encuentran igualmente protegidas por la inclusión del Mar Menor y los humedales de su entorno como Área de Protección de la Fauna Silvestre, según figura en el anexo II de la Ley 7/1995, de Fauna Silvestre, Caza y Pesca Fluvial.



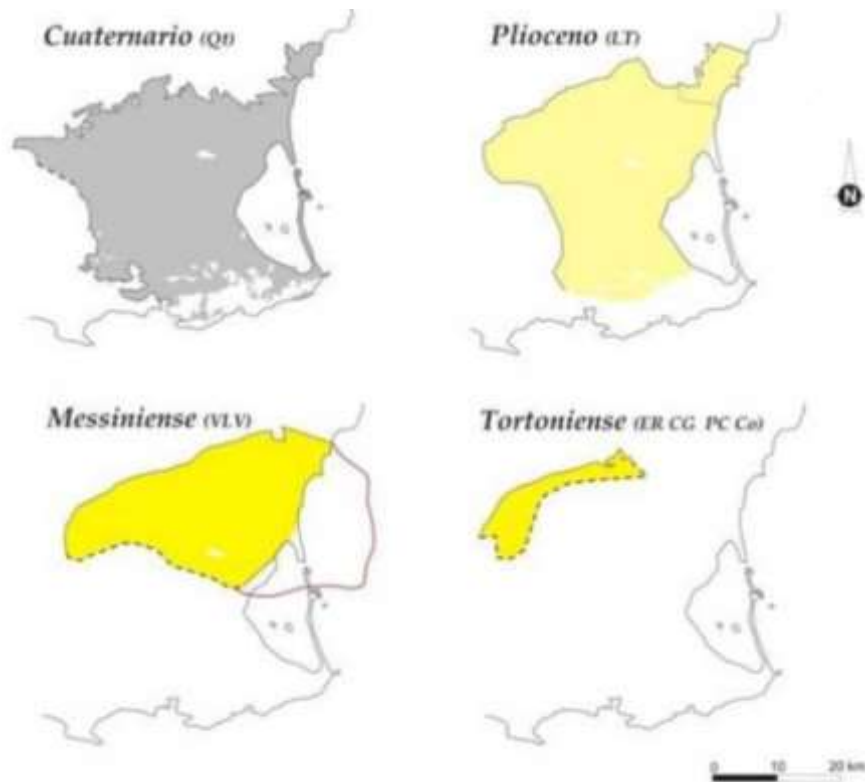
### **Análisis hidrológico**

Emplazado en la comarca Campo de Cartagena, el Mar Menor se nutre del sistema de acuíferos, las escorrentías y las conexiones con el Mar Mediterráneo.

- Aguas subterráneas:

La comarca Campo de Cartagena se desarrolla sobre una cuenca sedimentaria de hasta 1500 m. de espesor. De material principalmente detríticos, impermeables, (fundamentalmente margas) con intercalaciones de materiales de alta permeabilidad dan lugar a la formación del complejo sistema de acuíferos de la comarca, de gran importancia para su desarrollo socioeconómico. Se definen cuatro acuíferos separados en profundidad en el Campo de Cartagena: 1) Acuífero Cuaternario, compuesto por gravas, arenas y arcillas, con relativamente alta heterogeneidad de parámetros hidráulicos; 2) Acuífero Plioceno, compuesto por calcarenitas bioclásticas y conglomerados; 3) Acuífero Messiniense o Andaluciense, compuesto por calcarenitas, conglomerados y calizas; y 4) Acuífero Tortoniense, compuesto por conglomerados y areniscas. Este esquema puede sintetizarse como un sistema multicapa (aunque no todos los acuíferos están presentes a lo largo de toda la extensión superficial del Campo de Cartagena), constituido por un acuífero superficial libre de edad Cuaternario y tres acuíferos profundos fundamentalmente. Por último, se define un quinto material de características acuíferas formado por rocas carbonatadas de edad Pérmico-Triásico, que aflora en el Cabezo Gordo, y tiene un eje elevado hacia Sucina, y que, en determinados sectores se conecta con el acuífero Messiniense. Estos materiales constituyen el acuífero independiente que apenas tiene relación hidrogeológica actual con el resto de los acuíferos del Campo de Cartagena.

De acuerdo con la información disponible, el único acuífero que conecta directamente con el Mar Menor es el Cuaternario, con descargas en cauces del sector litoral y en el Mar Menor y Mediterráneo subterráneamente por franjas de la orilla. Se estima que la entrada de agua dulce (salobre) hacia la laguna, con variabilidad espaciotemporal, es de al menos 5 hm<sup>3</sup>/año. de forma directa y 1,18 hm<sup>3</sup>/año. como descarga ambiental. No obstante, cabe mencionar que los métodos para la medición de estos aportes son complejos y se estima que las cifras reales de aportes de aguas salobres del acuífero Cuaternario al Mar Menor podrían superar a las de las aguas superficiales (entre 8 y 12 hm<sup>3</sup>/año.).



-Figura 14: Acuíferos del Campo de Cartagena. Fuente: Informe integral sobre el estado ecológico del Mar Menor.

- Escorrentías:

En el Campo de Cartagena no existen cursos permanentes de aguas superficiales sino numerosos barrancos y ramblas que recogen y canalizan las aguas de los periodos de lluvias, de naturaleza irregular y torrencial con desbordamientos e inundaciones asociadas. Pueden distinguirse ramblas como las del Beal, Ponce y Carrasquilla, que drenan la Sierra Minera de Cartagena-La Unión, con origen en Carrascoy y el Valle, y que siguen la disposición del relieve; inclinado hacia el sureste, hasta el Mar Menor, como las del Albujón y de la Maraña.

Fruto de las avenidas, se estima que en el Mar Menor se vierten entre 8 y 12 hm<sup>3</sup>/año. de aguas de escorrentía por las cuencas vertientes.



-Figura 15: Vista satelital de las escorrentías producidas tras los períodos de DANA en 2019.

- Conexión con el Mar Mediterráneo:

El Mar Menor tiene un carácter eminentemente marino y es muy diferente del resto de lagunas litorales del Mediterráneo. Una estrecha barra de 22 km.; La Manga del Mar Menor, cuya anchura oscila entre 100 y 1500 m., separa a la laguna litoral del Mediterráneo, aquí se abren 5 golas o canales de comunicación (tres son de origen artificial) en las que pueden encontrarse encañizadas para fines pesqueros. El nivel del Mar Menor, hasta 7 m. de profundidad máxima y 4 m. de media, se mantiene en su mayor parte por el aporte de agua desde el Mediterráneo, conformando un estuario negativo donde la elevada evaporación (1500 l/m<sup>2</sup> año.) y escasa aportación de agua dulce le confieren a la laguna sus principales características, sobre todo, en cuanto salinidad y temperatura: Entre 43-46 gr/l. en el Mar Menor versus 36-37,5 gr/l. del Mediterráneo y 9 °C. en diciembre y 29 °C. en agosto de la laguna litoral frente a los 12 °C. y 27°C del Mediterráneo.



-Figura 16: Canales de comunicación entre el Mar Menor y el Mediterráneo.

### **Estado químico del Mar Menor**

Al Mar Menor llegan contaminantes de origen residual y fuente urbana, agrícola y minera mediante el drenaje y lixiviado de la cuenca vertiente. Esta situación, prolongada durante décadas, ha supuesto la degradación del estado químico de la laguna litoral con pérdidas de biodiversidad asociadas, destacando, sobre todo, su estado eutrófico debido a la alta concentración de nutrientes inorgánicos (nitrógeno y fósforo) llegados a la laguna litoral sobrepasando la capacidad de autorregulación de este sistema.

- Urbanización del entorno del Mar Menor:

A partir de los años sesenta comienza a tomar cuerpo la idea de un cinturón de urbanizaciones en torno al Mar Menor, este, cierra casi en su totalidad el perímetro de la laguna litoral exceptuando territorios de defensa como el del Carmolí y algunos entornos de salinas y ramblas. El proceso de sellado artificial del suelo, su urbanización, y su consiguiente impermeabilización conlleva, entre otros impactos, pérdidas de sus funciones ecológicas, respecto al agua: menos infiltración y más escorrentías, la biota: eliminación de la cubierta vegetal, y en el paisaje: aumento de la erosión eólica e hídrica.

La urbanización del entorno del Mar Menor se hizo en detrimento de humedales litorales y criptohumedales. Estos son humedales carentes de lámina de agua libre en la mayor parte de su superficie que se desarrollan sobre zonas llanas o de escasa pendiente y drenaje difuso, receptoras de escorrentías, descargas laterales y subterráneas, pero topográfica y funcionalmente independientes de la red hidrográfica asociada. Entre sus valores ambientales se encuentran comunidades de vegetación halófila (saladares, juncales y estepa salina), la presencia de aves acuáticas invernantes y nidificantes, aves esteparias, invertebrados acuáticos y terrestres, así como de fauna piscícola endémica puntualmente. Tienen un papel fundamental para la defensa frente avenidas, además de un alto valor ecológico. En el entorno del Mar Menor se reconocen criptohumedales y humedales litorales como: la Marina del Carmolí, Playa de la Hita, Saladar de Lo Poyo y Salinas de San Pedro del Pinatar.

- Contaminación por metales pesados y metaloides:

La Sierra Minera de Cartagena-La Unión es rica en metales pesados, principalmente Fe, Pb y Zn, que se encuentran formando, sobre todo, sulfuros como blenda (ZnS) pirita (FeS<sub>2</sub>) y galena (PbS), aunque también óxidos, hidróxidos y carbonatos, entre otros. Se datan explotaciones mineras desde los pueblos prerrománicos en la sierra minera, no obstante, fue en la primera mitad del siglo XX cuando comienzan a emplearse métodos de extracción a cielo abierto que movían gran cantidad de material generando millones de toneladas de residuos, sobre todo, procedentes del lavado de mineral. Hasta 1958 estos residuos se desechaban mediante descargas directas a los cauces de ramblas de desembocan en el Mar Menor (por ejemplo, El Beal, El Miedo, Ponce y Carrasquilla), a partir de esta fecha se comienza a verter estos residuos en depósitos de almacenamiento, abandonados cuando cesa la actividad minera en 1991. Actualmente, la gran cantidad de residuos mineros que permanecen en esos antiguos depósitos, en las cortas y escombreras,

y en los lechos de los cauces, provoca el arrastre de sedimentos y aguas cargadas de metales hacia el Mar Menor en los períodos de lluvias torrenciales.

- Contaminación por nutrientes:

Desde la llegada del Trasvase Tajo-Segura (1979) la superficie irrigada del Campo de Cartagena se ha multiplicado por diez. Entre 1988 y 2009, por ejemplo, esta se duplicó, pasando de unas 25150 Ha. a más de 55000 Ha. En la agricultura de regadío del Campo de Cartagena pueden distinguirse tres subsistemas: invernaderos, cítricos y hortícolas. En todos ellos se utiliza fertirrigación y, además, en los cultivos hortícolas se realizan abonados de fondo muy intensos antes de la plantación para acondicionar el suelo. Este tipo de agricultura; que sigue el modelo de todo el sureste ibérico, sin medidas de conservación de suelos conlleva que, durante los períodos de lluvias torrenciales, las escorrentías arrastren gran cantidad de sedimento más el nitrato y fosfato no consumido por la cosecha y no percolado hacia el Mar Menor. Por ejemplo, tras la DANA de 2016, se estima que fueron arrastradas 1000-2000 toneladas de nitrato, 35 toneladas de amonio y 150-190 toneladas de fosfato.

La entrada de estos elementos a la laguna litoral se ha producido tanto a través de escorrentías, especialmente por la rambla del Albuñón, como por las aguas subterráneas. Este proceso, prolongado durante décadas, ha supuesto la degradación profunda del Mar Menor y su estado eutrófico, con episodios de anoxia y alta mortandad que le confieren un alto grado de vulnerabilidad.



-Figura 17: Vista satelital pre y post DANA del Mar Menor en 2019.

### **Características hidrodinámicas**

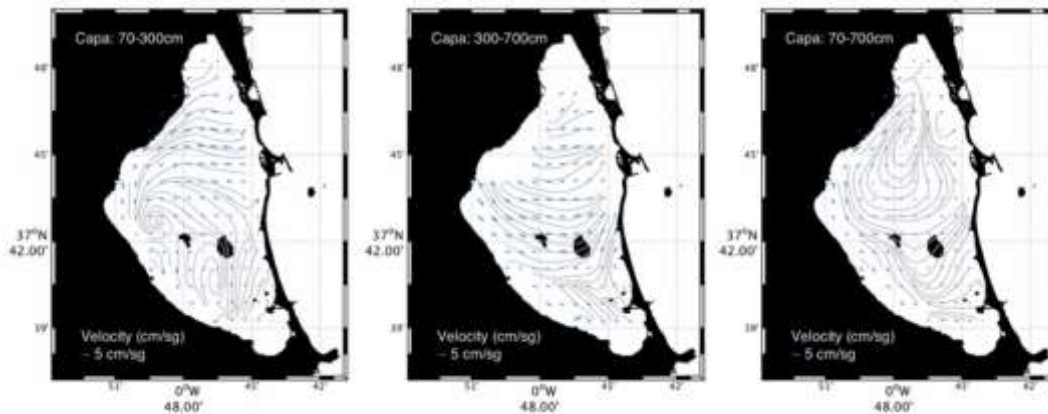
Características como la batimetría, sus corrientes y dinámica sedimentaria determinan, entre otros procesos y factores fisicoquímicos, la unicidad de la laguna litoral Mar Menor.

- Corrientes:

El Mar Menor, lejos de tener un patrón de velocidades único para toda la columna de agua, presenta un patrón dinámico complejo con una estructura bien diferenciada en dos capas. Una capa superficial, entre 0,7- 3 metros de profundidad y una capa profunda de entre 3 metros y el fondo. Estos patrones de velocidad están fuertemente ligados a los

patrones de viento, así como a diferencias termohalinas propiciadas por las diferentes entradas de agua del Mar Menor, ya sea aportes del Mediterráneo o continentales.

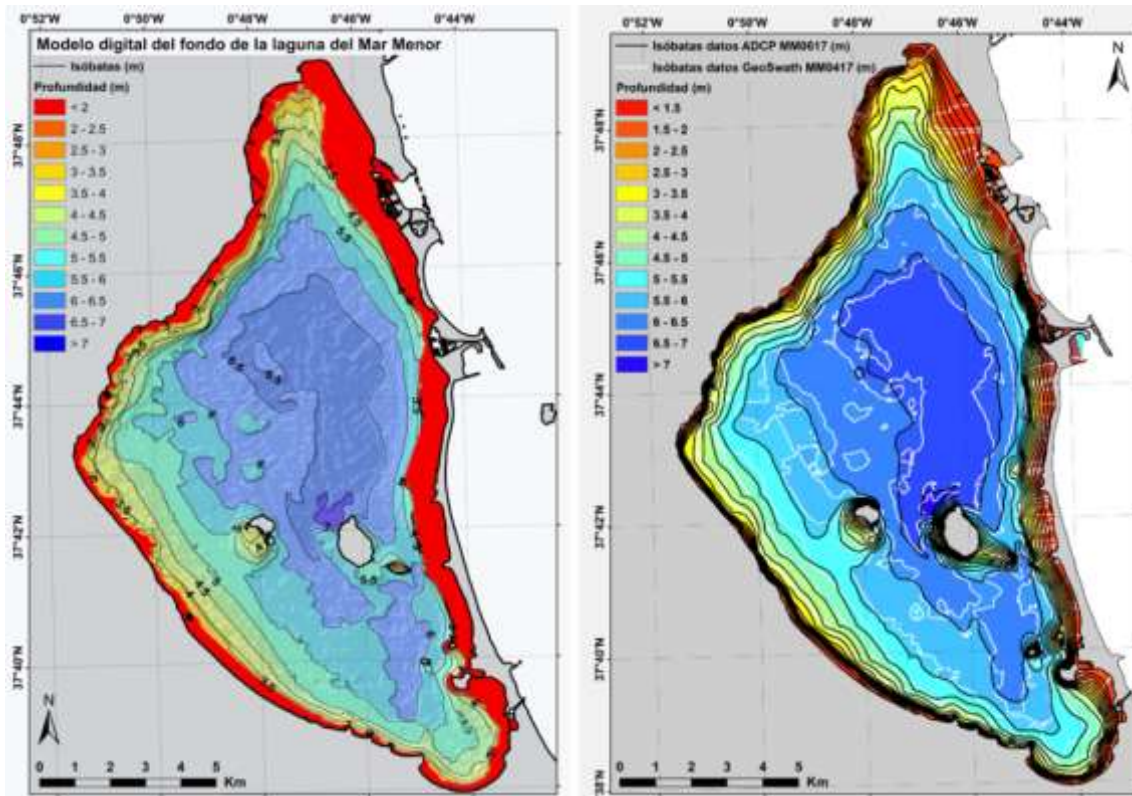
La capa superficial, presenta una dinámica con transportes de este a oeste, propiciado por las entradas de agua procedentes del Mediterráneo con una velocidad media variable entre 2,3 - 2,6 m/s. La capa profunda, por su parte, presenta un patrón de corriente inverso a la capa superficial, generalmente de oeste a este y algo más dinámico, con valores medios de entre 2,5 - 3,3 m/s. Finalmente, el patrón dinámico general en toda la columna de agua es ciclónico para la cubeta central norte y sur y anticiclónico para la zona norte de la cubeta norte.



-Figura 18: Mapas de distribución del campo de velocidad promedio de las corrientes en las capas: superficial (70-300 cm), intermedia (300-700 cm) y total (70-700cm). Fuente: Evolución y estado Actual del Mar Menor en relación al proceso de eutrofización y sus causas.

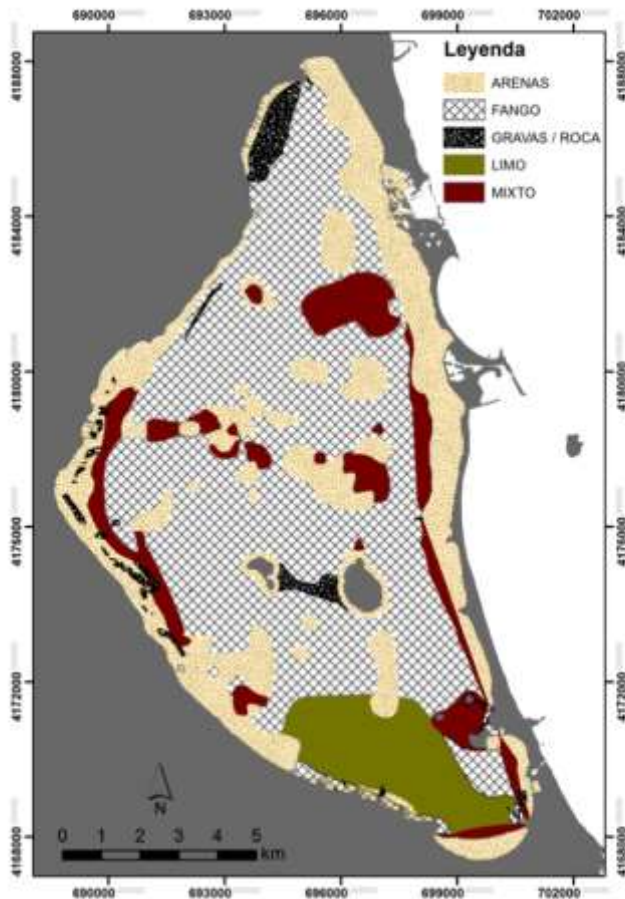
- Batimetría y naturaleza del fondo:

Dada su naturaleza lagunar, el Mar Menor, está sometido a un proceso de colmatación causado por los aportes de materiales terrígenos. Cada vez con mayor intensidad, las actividades mineras, agrícolas y urbanísticas, con las consiguientes deforestaciones, se han sumado a los procesos de colmatación naturales, desempeñando así un papel decisivo en la pérdida de superficie y de profundidad de la laguna.



-Figura 19: Modelos digitales del fondo de la laguna del Mar Menor en 2017. Fuente: Evolución y estado Actual del Mar Menor en relación al proceso de eutrofización y sus causas.

De forma general, los sedimentos arenosos ocupan las partes periféricas someras y los fangos la amplia cubeta central. Los sustratos duros (gravas/roca y mixtos), de menor superficie, se distribuyen sobre todo frente la zona de Lo Pagán-Santiago de la Ribera y Los Alcázares-Los Nietos. Además, en la zona sur se diferencia una amplia extensión de limos, que coincide con las áreas de mayores concentraciones de metales pesados, lo que revela la elevada influencia en esta zona del transporte de sedimentos procedentes de la sierra minera.



-Figura 20: Naturaleza del fondo marino de la laguna litoral del Mar Menor en 2018. Fuente: Evolución y estado Actual del Mar Menor en relación al proceso de eutrofización y sus causas.

- Dinámica sedimentaria:

Los procesos de colmatación del interior de la laguna son debidos, entre otros, a procesos físico-geológicos como la dinámica lagunar (corrientes, transporte y circulación de los sedimentos), al transporte de sedimento desde el Mediterráneo al Mar Menor (colmatación de las golgas), meteorológicos (aporte de sedimentos por las ramblas durante los procesos de DANA y escorrentías) y debido a la deforestación y urbanización del entorno del Mar Menor (disminución de la infiltración y aumento de la escorrentía). No obstante, cabe señalar que en el Mar Menor también se dan procesos de profundización por subsidencia.

De este modo, el Mar Menor ha pasado en la última década por dos procesos opuestos: uno de profundización general de 29,7 cm. entre 2008 y 2016 y otro de colmatación generalizado de 8,8 cm. el mismo año, coincidiendo con un episodio de lluvias torrenciales.

### **Ecología lagunar**

El Mar Menor es un espacio de alto valor ecológico y natural en el que interactúan, se desarrollan y coexisten numerosas especies entre sus límites y entorno, destacando el



papel de la fauna y praderas marinas, de las aves acuáticas y de las comunidades planctónicas.

- Fauna marina:

Tradicionalmente se ha considerado la salinidad como el factor clave en este tipo de entornos marinos, sobre todo, porque determina las adaptaciones fisiológicas de la mayoría de organismos. Sin embargo, factores como la influencia del mar abierto, la línea de costa, la composición iónica, el tipo de sustrato, la exposición al oleaje, la disponibilidad de alimento, la concentración de oxígeno, la temperatura o la batimetría también juegan un papel importante en la riqueza de especies.

La comunidad de peces presente en el Mar Menor muestra una alta diversidad con presencia de 45 especies representantes de 19 familias, siendo las familias Sparidae, Syngnathidae, Gobiidae y Mugilidae (por ejemplo, Dorada, Caballito de mar, Rhinogobius duospilus y Mújol respectivamente) las más representativas y la última de éstas, la dominante en términos de abundancia y biomasa.

Los moluscos son muy abundantes en el Mar Menor, destacan los gasterópodos y los bivalvos. Los cefalópodos, por su parte, no pueden soportar la salinidad de esta laguna, aunque ocasionalmente pueda encontrarse pulpos por los canales que la comunican con el Mediterráneo. Por su singularidad y estatus de peligro de extinción se resalta el papel de la nacra, y especies como la ostra, la navaja y el mejillón.

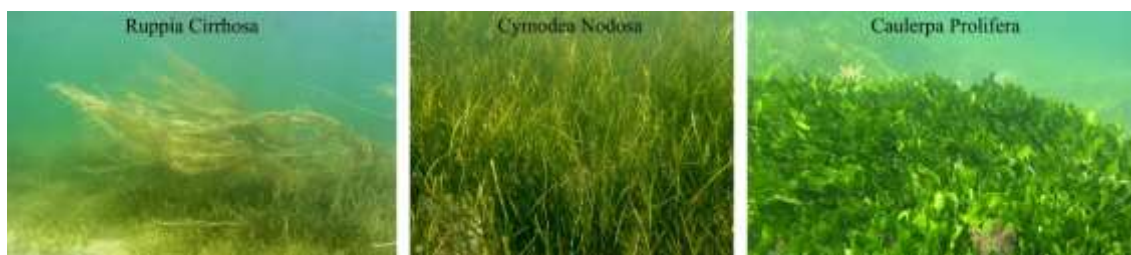
Respecto a los crustáceos, el Mar Menor es muy frecuente el pequeño cangrejo *Brachynotus sexdentatus* y ermitaños como *Diogenes pugilator* ocupando conchas vacías de moluscos gasterópodos, no obstante, se destaca el langostino del Mar Menor, de hábitos nocturnos, pasa el día enterrado en la arena.

- Praderas marinas

Previamente al desarrollo masivo de la actividad humana del entorno del Mar Menor, sus aguas eran predominantemente oligotróficas, es decir, con un bajo desarrollo de algas y praderas marinas. Estas se limitaban a comunidades micro y macrofitobentónicas de acuerdo a dichas condiciones de la laguna litoral, sobre todo, *Cymodea nodosa* y *Ruppia Cirrhosa*. Sin embargo, a partir de los años 70, con la urbanización y el desarrollo del regadío del entorno del Mar Menor, así como la apertura del canal de El Estacio, comienza la mediterrización y los aportes masivos de nutrientes en la laguna litoral, auspiciando el desarrollo de determinadas especies como la *Caulerpa prolifera* en detrimento de otras. No obstante, se conoce a la DANA de 2016 como el colapso de las praderas marinas, supuso una drástica reducción del 85% como consecuencia de excesiva turbidez y dulcificación.

En 2017, la *C. prolifera* había recuperado ya un 34,4% del área colonizada perdida en 2016, y en 2019 ocupaba un área incluso algo mayor (4,3%). Esta rápida recuperación se explica por su elevada capacidad para crecer en condiciones de luz limitante. Si bien, la *C. prolifera* ha conseguido recolonizar las áreas perdidas en 2016, la biomasa perdida es,

por ahora, irreversible. Todo ello se traduce en una mayor disponibilidad de nutrientes para el fitoplancton.



-Figura 21: Praderas marinas del Mar Menor.

- Aves acuáticas

En la Región de Murcia hay descritas unas 283 especies de aves, de las que 175 se enmarcan en la laguna del Mar Menor y humedales de su entorno. La distribución de las aves acuáticas atiende a la localización de las áreas de alimentación y nidificación más favorables, siendo el Mar Menor un espacio de alto valor para tales fines. La ZEPA del Mar Menor, que engloba los humedales del Paisaje Protegido Espacios Abiertos e Islas del Mar Menor, las Salinas del Rasall y la Laguna del Mar Menor, se origina por el cumplimiento de los criterios numéricos para Cigüeñuela, Terrera Marismeña y Garceta Común, entre otras especies.



-Figura 22: Cigüeñuela, Terrera Marismeña y Garceta Común.

- Comunidades planctónicas

El plancton se compone de un conjunto de organismos acuáticos, mayoritariamente microscópicos, que se encuentran suspendidos en la columna de agua debido a su inexistente o limitada capacidad natatoria. Se subdivide entre fitoplancton (plancton vegetal) y zooplancton (plancton animal). El primero se compone, sobre todo, por cianobacterias y algas unicelulares, son organismos autótrofos que necesitan la luz solar y la existencia de minerales en suspensión para su desarrollo, por ello, se encuentran en zonas poco profundas (hasta 50 m.) irradiadas por la luz del sol. El zooplancton, sin embargo, habita en toda la columna de agua, aunque es más abundante en las zonas someras donde se encuentra la materia orgánica elaborada de la que se alimenta (sobre todo fitoplancton), pues no es autótrofo. Principalmente, lo componen crustáceos, moluscos y gusanos, además del ictioplancton, que hace referencia a los huevos, larvas y alevines de peces, de naturaleza planctónica, que permanecen suspendidos en la columna de agua hasta que alcanzan el tamaño suficiente para desplazarse de manera autónoma.

El fitoplancton o plancton vegetal incluye organismos unicelulares que pueden formar colonias, agregaciones o cadenas. Los tamaños oscilan entre un amplio rango: 20-200  $\mu\text{m}$ . para el microplancton y 200-2000  $\mu\text{m}$  para el macroplancton. En el Mar Menor, destacan las comunidades fitoplanctónicas de cianobacterias, diatomeas y dinoflagelados, sobre todo, *Nitzschia closterium* en verano y *Rhodomonas*, *Cryptomonas* y *Cyclotella* durante el resto del año. Cabe destacar la presencia de *Synechococcus*, sobre todo, asociada a los picos máximos de los bioindicadores clorofila y turbidez, con valores máximos en 2016.

El fitoplancton es el productor primario más importante, responsable de más del 45% de la producción primaria planetaria. Este, es el proceso que transforma la materia inorgánica (no asimilable) en orgánica (asimilable) gracias a la energía luminosa procedente del sol. El fitoplancton, al realizar la fotosíntesis utiliza la luz solar, el dióxido de carbono, el agua, los nutrientes que conformarán la estructura de las células y elementos minerales esenciales para sintetizar la materia orgánica (carbohidratos, lípidos, proteínas y ácidos) que aprovechan los seres vivos restantes. Este proceso, en el que se libera oxígeno, coloca al fitoplancton en la base de la cadena trófica de los ecosistemas marinos, pues habilita la vida en ellos. No obstante, un crecimiento masivo de la comunidad fitoplanctónica altera dichos procesos de intercambio, con fenómenos de anoxia y mortandad asociados: eutrofización. En el Mar Menor, los aportes masivos de nutrientes han provocado el aumento continuado del fitoplancton, sobre todo, asociado a los períodos de lluvias torrenciales. Tras la DANA de 2016, por ejemplo, se alcanzaron valores máximos históricos, la laguna litoral se tornó verde y turbia; denominada “sopa verde”, revelando su estado eutrófico y elevada vulnerabilidad.

El zooplancton o plancton animal incluye desde protistas heterótrofos (protozoos flagelados y ciliados) hasta metazoos de gran tamaño. Así, es posible diferenciar el microzooplancton (< 200  $\mu\text{m}$ .), incluye principalmente rotíferos y larvas de crustáceos, el mesozooplancton (200-2000  $\mu\text{m}$ .), dominado por crustáceos (copépodos y cladóceros), y el macrozooplancton (> 2000  $\mu\text{m}$ .), plancton gelatinoso (medusas), el ictioplancton (larvas de peces), y las larvas meroplanctónicas (fases larvarias de los organismos bentónicos). En el Mar Menor, el grupo dominante es el mesozooplancton, sobre todo, copépodos (80% de la abundancia relativa), aunque su composición ha sufrido variaciones. Respecto al macrozooplancton, desde los años 90 se tiene constancia de proliferaciones masivas estacionales de medusas (verano). Destacan las especies de copépodos *Acartia latisetosa* y *Centropages ponticus*, y las medusas *Cotylorhiza tuberculata*, *Aurelia aurita* y *Rhizostoma pulmo*.

El zooplancton juega un papel clave en los ecosistemas marinos, constituye el principal consumidor de los productores primarios (sobre todo fitoplancton), además, es fuente de alimento para niveles tróficos superiores y es punto de unión de la red trófica clásica con el bucle microbiano, proporcionando materia orgánica y nutrientes al medio. Sin embargo, en ambientes eutróficos con dominancia de fitoplancton, ciertas cianobacterias pueden no ser asimilables por el zooplancton por lo que pasan a la vía detrítica y modifican la red trófica.

El ictioplancton está formado por huevos y larvas de peces que flotan en la columna de agua. La mayor parte de los huevos son de aproximadamente 1 mm de diámetro, considerándose organismos planctónicos (zooplancton). No obstante, también hay especies que desovan en el fondo, cobijando sus crías entre las comunidades bentónicas, sobre y bajo el lecho marino. El Mar Menor presenta una abundante y diversa comunidad íctica, siendo una de las lagunas litorales con mayor riqueza de especies del Mar Mediterráneo (más de 80 especies). En conjunto, el poblamiento ictioplantónico mantiene una abundancia relativamente alta de individuos sostenida de abril a octubre, por encima de las 500 larvas/1000 m<sup>3</sup>., predominan *Gobius niger*, *Engraulis encrasicolus*, y *Gobius paganellus*, con el 34,65%, 16,76%, y el 15,26% de dominancia. Estas especies son seguidas en orden de abundancia por *Pomatoschistus marmoratus* (8,72%), *Parablennius pilicornis* (7,83%), *Salapia pavo* (6,55%), *Aphia minuta* (2,96%), *Gobius cruentatus* (1,63%), *Parablennius gattorugine* (1,48%), *Gobius cobitis* (1,08%), *Atherina boyeri* (0,87%), *Parablennius tentacularis* (0,47%), *Atherina hepsetus* (0,24%), *Hippocampus guttulatus* (0,20%), *Symphodus cinereus* (0,20%), *Labrus merula* (0,16%), *Lipophrys canevae* (0,12%) y *Symphodus roissali* (0,10%) respectivamente.

El ictioplancton es fundamental para el desarrollo tanto ecológico-natural como económico-social, en El Mar Menor mantiene su importante y tradicional actividad pesquera, sobre todo, en torno a las familias Mugilidae, Sparidae y Clupeidae.

Las comunidades planctónicas se ven sometidas a cambios en su estado y estructura durante las estaciones, también sufren alteraciones y modificaciones fruto de factores climatológicos (sobre todo, períodos de lluvias torrenciales y sequía, además de los cambios de temperatura) y antrópicos (aportes de nutrientes y otros contaminantes, actividades desarrolladas como la pesca, modificación de los canales de comunicación etc.), siendo su dinámica espacio-temporal objeto de alto interés de estudio por su naturaleza cambiante. De esta manera, es posible realizar aproximaciones a esta basadas en la bibliografía sin obviar la necesidad de disponer datos actuales tomados *in situ*.

Tipo	Tipo	Estaciones (Concentraciones máximas)			
		Invierno	Verano	Otoño	Primavera
Fitoplancton	Dinoflagelados	Rhodomonas spp. y Cryptomonas spp.		Rhodomonas y Ceratium furca	Ceratium furca
	Diatomeas		Nitzschia closterium		Nitzschia closterium
	Clorofitas			Pyramimonas	
	Cianobacterias	Synechococcus		Synechococcus	
Zooplancton	Microzooplancton	Estable con picos en verano y mínimos en primavera, sobre todo: Oikopleura			

	Mesozooplancton	Sobre todo copépodos, estables con descenso en los meses más calurosos y picos en invierno, sobre todo: <i>Acartia latisetosa</i> y <i>Centropages ponticus</i>			
	Macrozooplancton		<i>Cotylorhiza tuberculata</i> , <i>Aurelia aurita</i> y <i>Rhizostoma pulmo</i>		
Ictioplancton		<i>Gobius cobitis</i>		<i>Diplodus puntazo</i> , <i>Diplodus sargus</i> , <i>Pagellus bogaraveo</i> y <i>Eutrigla gurnardus</i> y <i>Syngnathus abaster</i>	<i>Gobius niger</i> , <i>Gobius paganellus</i> , <i>Pomatoschistus marmoratus</i> , <i>Engraulis encrasicolus</i> , <i>Aphia minuta</i> , <i>Parablennius pilicornis</i> y <i>Salaria pavo</i>

-Tabla 3: Dinámica estacional de las comunidades planctónicas del Mar Menor.

La distribución espacial de las comunidades planctónicas de la laguna del Mar Menor está relacionada principalmente con los patrones de circulación de la laguna (corrientes y dinámica sedimentaria) y con la colonización a través de los canales de comunicación con el mar abierto, pudiendo señalar la importancia para el ictioplancton de la zona centro-oriental, bajo la influencia directa del Estacio, con mayor riqueza absoluta, y las zonas someras; sobre todo bancos de arena, por su importante papel en la cría de especies como la dorada, la aguja o la anguila, además de ser el hábitat de especies protegidas como el fartet y altamente representativas como el langostino del Mar Menor, las desembocaduras de ramblas, sobre todo, para el fitoplancton, donde se halla en mayor concentración por bioindicadores como la clorofila, así como, estabilidad y uniformidad en las comunidades de zooplancton; sobre todo copépodos, destacando las proliferaciones estacionales masivas de macrozooplancton: medusas.

## DISEÑO EXPERIMENTAL, RESULTADOS, CONCLUSIONES Y PROPUESTAS

### Diseño experimental

El diseño experimental para el estudio de las repercusiones de los *waterjets* en las comunidades zooplanctónicas se compone de dos ensayos.

- Ensayo 1:

Se liberan 125000 copépodos (25 ud/l.) en un depósito cerrado con agua de mar sobre el que se colocará una moto de agua. Esta, se activará directamente sobre el agua marina con copépodos hasta los límites del depósito. El agua expulsada se recogerá en otro depósito de similares características y se realizarán muestreos (20 muestras de 250 ml.) que serán filtrados mediante una bomba de vacío para conseguir un concentrado de zooplancton (copépodos) y agua que permita evaluar el estado de los mismos con microscopio. Los resultados se clasificarán en cuatro categorías en función de los daños recibidos:

Nivel 1 copépodo vivo con movilidad y con todos sus apéndices completos.

Nivel 2 copépodo con movilidad, pero con apéndices afectados.

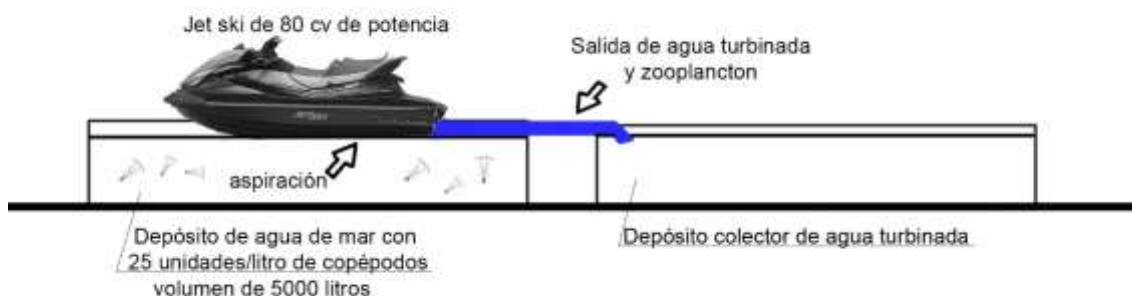
Nivel 3 copépodo sin movilidad

Nivel 4 copépodo fragmentado

Cabe mencionar la imposibilidad de supervivencia de los copépodos a partir del Nivel 1.

- Ensayo 2:

Se emplea la misma metodología que en el primero, pero con distintas densidades de copépodos a distintas revoluciones del motor.






-Figura 23: Esquema del funcionamiento del diseño experimental.

### Resultados




En primer lugar, se han analizado los sistemas de propulsión en chorro o *waterjet*, calculando, entre otros aspectos, los volúmenes de agua requeridos para el

funcionamiento de tres tipos de motos de agua comprendidas en su rango máximo de potencia (50-300 cv.) y pertenecientes a las casas comerciales Yamaha, Kawasaki y SeaDoo, de referencia en el sector de la motonáutica. Además, se ha revisado la legislación para estas a nivel nacional y local (Mar Menor), detectando aspectos positivos como la regulación a 5 nudos en zonas de baño (aguas someras) y negativos, sobre todo, relacionados con la falta de una zonificación en base a la distribución zooplanctónica poniendo especial atención a períodos de cría y migración de especies representativas e importantes, incluyendo algunas vulnerables y en peligro de extinción.


En base a criterios naturales y socioeconómicos es posible realizar una clasificación o tipificación de la fauna marina más representativa del Mar Menor que presenta naturaleza zooplanctónica en toda o parte de su ciclo vital. De esta manera, se han seleccionado aquellas especies que, ya sea por criterios de *status* de vulnerabilidad o situación de peligro de extinción, como por criterios socioeconómicos, sobre todo, relacionados con la actividad pesquera del Mar Menor, o naturales, importante papel de filtrado y regulación, por ejemplo, del desarrollo masivo de fitoplancton, se consideran de interés y merecen conservarse y protegerse, estudiando posibles impactos hasta ahora no contemplados y que podrían manifestarse como altamente perjudiciales requiriendo planes de seguimiento exhaustivo y monitorización, así como, regulación y control para la mitigación de tales. Se hace referencia a los impactos en las comunidades planctónicas por los sistemas de propulsión en chorro o *waterjet*.

Tipo	Nombre común	Nombre científico	Ciclo larvario	Zonas de cría	Status	Importancia	Imagen
Copépodo	Arcatia latisetosa	<i>Arcatia latisetosa</i>	15 días	Tanto en zonas bentónicas como en suspensión (pelágicas)		Filtradores Consumidores de zooplancton	
Copépodo	Centropages ponticus	<i>Centropages ponticus</i>				Filtradores Consumidores de zooplancton	
Molusco	Nacra	<i>Pinna nobilis</i>	14 días	Praderas marinas	En peligro de extinción	Filtradores Consumidores de zooplancton	



Crustáceo	Langostino	<i>Dendrobranchiata</i>	2-3 días	Bancos de arena	Vulnerable	Importancia pesquera	
Pez	Mújol	<i>Mugil cephalus</i>	2 días	Cubetas central y sur, también en zonas de influencia de El Estacio		Importancia pesquera	
Pez	Sargo	<i>Diplodus sargus</i>	30 días	Cubeta norte		Importancia pesquera	

Pez	Boquerón	<i>Engraulis encrasicolus</i>	2-3 días	Zonas más profundas (hasta 7m.)		Importancia pesquera	
Pez	Fartet	<i>Aphanius iberus</i>	10-18 días	Aguas someras	En peligro de extinción	Endemismo Importancia pesquera	
Pez	Caballito de Mar	<i>Hippocampus hippocampus</i>	Desarrollo en bolsa hasta 60 días	Cubeta central y norte y sector oriental	Vulnerable	Biodiversidad y valor natural	
Pez	Dorada	<i>Sparus aurata</i>	10 días	Mar Mediterráneo (Migración trófica hacia el Mar Menor de postlarvas y juveniles)		Importancia pesquera	

Pez	Pez Aguja	<i>Syngnathus abaster</i>	10-13 días			Importancia pesquera	
-----	-----------	---------------------------	------------	--	--	----------------------	---

-Tabla 4: Tipificación de las especies más representativas del Mar Menor con fases o naturaleza zooplanctónicas.

Se han seleccionado once especies que por los criterios *status* e importancia, entre copépodos, moluscos, crustáceos y peces. No obstante, cabe mencionar que en el Mar Menor existen cientos de especies zooplanctónicas, siendo esta laguna litoral un espacio de alto interés natural y ecológico.

El Fartet y la Nacra son especies en peligro de extinción. Han sufrido un claro retroceso en la historia reciente y tienen la particularidad de poder encontrarse en todas las fases de su ciclo vital en el Mar Menor. Por otra parte, el Caballito de Mar y el Langostino son especies vulnerables que también se han defraudado en los últimos años por la sobrepesca, la contaminación y el estado eutrófico del Mar Menor. Los copépodos, las comunidades de zooplancton más representadas en la laguna, tienen un importante papel en la regulación del desarrollo del fitoplancton, causante entre otros factores de dicho estado eutrófico. Finalmente, especies como el Mújol, Boquerón y Sargo se han seleccionado por su elevada importancia para el desarrollo de la pesca, además, se encuentran desde estado íctico hasta adultos, por el contrario, otras especies de peso para tal actividad, la Dorada y el Pez Aguja, se encuentran en etapas juveniles y postlarvarias en la laguna, no obstante, estas proceden del Mediterráneo y migran al Mar Menor en busca de alimento tempranamente.

### **Conclusiones y Propuestas**

El Mar Menor es un entorno de amplio carácter y valor natural y ecológico. En él, las comunidades zooplanctónicas juegan un papel importante para el mantenimiento de la actividad pesquera (ictioplancton), así como la capacidad de filtrado y regulación del crecimiento masivo de fitoplancton. Con relevantes especies, destacadas por su *status* e importancia, que presentan naturaleza zooplanctónica en toda o parte del ciclo vital, es importante estudiar las posibles repercusiones, hasta ahora desconocidas, que las embarcaciones movidas por el sistema de propulsión en chorro o *waterjet* pueden suponerle a estas. Para ello, este estudio preliminar requiere completarse con una cartografía estacional de la distribución zooplanctónica del Mar Menor basada en mediciones *in situ* para la futura elaboración de una zonificación dinámica de áreas de mayor peligro de afecciones a estas comunidades de zooplancton tan importantes. Esto es debido a la naturaleza cambiante de estas comunidades planctónicas, sometidas a procesos dinámicos que alteran su estructura.