

Estudio y seguimiento espaciotemporal de poblaciones faunísticas de gestión prioritaria (ictiofauna y la especie invasora *Callinectes sapidus*): Situación actual en zonas someras e intermareales del Mar Menor.

INFORME - Parcial

Mayo 2024

UNIVERSIDAD DE MURCIA (UMU)

**Departamento de Zoología y
Antropología Física**

Grupo de Investigación E0A0-04
Zoología básica y aplicada a la gestión
y conservación.



**UNIVERSIDAD
DE MURCIA**

UNIVERSIDAD DE MURCIA (UMU)

Departamento de Zoología y Antropología Física

Grupo de Investigación E0A0-04

Zoología básica y aplicada a la gestión y conservación.

Dirección y coordinación:

Dra. Mar Torralva Forero (torralva@um.es)

Dr. Francisco J. Oliva Paterna (fjoliva@um.es)

Realización:

Dra. Mar Torralva Forero

Dr. Francisco J. Oliva Paterna

Antonio Zamora López

Adrián Guerrero Gómez

Patricio López Martínez de la Plaza

Antonio Andrés Herrero Reyes

Dr. José Manuel Zamora Marín

Recomendación para citar el documento:

Torralva M., Zamora-López A, Guerrero-Gómez A, López-Martínez de la Plaza, Herrero-Reyes A, Zamora-Marín JM & Oliva-Paterna FJ. 2024. *Estudio y seguimiento espaciotemporal de poblaciones faunísticas de gestión prioritaria (ictiofauna y la especie invasora Callinectes sapidus): situación actual en zonas someras e intermareales del Mar Menor*. Informe – Parcial. Mayo 2024. Universidad de Murcia.

Estudio y seguimiento espaciotemporal de poblaciones faunísticas de gestión prioritaria (ictiofauna y la especie invasora *Callinectes sapidus*): Situación actual en zonas someras e intermareales del Mar Menor

INFORME – Parcial Mayo 2024

I.	Estado actual de ejecución del proyecto y consecución de objetivos.	5
1.	Resumen de antecedentes y objetivos.	8
1.1.	Antecedentes y justificación específica del proyecto.	8
1.2.	Descripción del objeto del proyecto.	14
2.	Equipo de trabajo.	19
3.	Selección de red de monitoreo y diseño de seguimiento.	20
3.1.	Marco de seguimiento de comunidades ictiológicas de áreas someras.	20
3.1.1.	Periodicidad de muestreo.	22
3.1.2.	Localidades de muestreo: tareas de campo.	23
3.1.3.	Evaluación de la comunidad de peces de pequeña talla.	23
3.1.4.	Evaluación de variables abióticas y bióticas: Tipificación de hábitat.	26
3.1.5.	Metodología de laboratorio y análisis de datos.	28
3.1.6.	Metodología de evaluación de cambios en la comunidad de peces.	30
3.1.7.	Análisis estadístico.	39
3.2.	Marco de seguimiento de <i>Callinectes sapidus</i> Rathbun (1896) en Las Encañizas del Mar Menor.	40
3.2.1.	Periodicidad de muestreo.	41
3.2.2.	Localidades de muestreo: Tareas de campo.	41
3.2.3.	Evaluación de la población de <i>Callinectes sapidus</i> en la Encañizada del Mar Menor: Métodos de captura.	41
3.2.4.	Evaluación de variables abióticas y bióticas: Tipificación de hábitat.	45
3.2.5.	Procesado de material y obtención de datos.	46
4.	Resultados del proyecto.	47

4.1. Ejecución de las campañas de muestreo de ictiofauna en el marco del proyecto.	47
4.2. Evolución temporal de parámetros o métricas descriptoras de la comunidad ictícola de las áreas someras.....	49
4.3. Evolución temporal de taxones de interés de conservación e interés pesquero con cambios poblacionales relevantes.	56
5. Conclusiones.	60
6. Bibliografía.....	62

I. Estado actual de ejecución del proyecto y consecución de objetivos.

En este apartado se detallan los objetivos alcanzados hasta la fecha en el marco del presente proyecto, siendo el objetivo principal el estudio y seguimiento espacio-temporal de las poblaciones faunísticas de gestión prioritaria en las áreas someras e intermareales del Mar Menor, entendiendo estas zonas como hábitats críticos de elevado valor ecológico. En este sentido, la ictiofauna de interés conservacionista y pesquero, así como la especie exótica invasora *Callinectes sapidus* (cangrejo azul o jaiba), han sido seleccionados como componentes faunísticos objeto de estudio. A continuación, se detalla el grado de consecución de los siguientes objetivos específicos del proyecto:

- *Evaluar la respuesta de las comunidades de peces de las áreas someras ante la situación actual de la laguna. Evaluación de la dinámica poblacional de taxones de interés pesquero y de conservación.*

Para la consecución de dicho objetivo específico se han desarrollado en el marco del presente proyecto las campañas de muestreo de ictiofauna en áreas someras correspondientes a las estaciones de invierno y primavera de 2024. En el presente documento se incorporan y analizan los datos obtenidos en dichas campañas de muestreo, incorporando a su vez datos previos obtenidos en otros proyectos para estudiar dinámicas temporales. Se muestra una actualización de la información relativa a los parámetros o métricas descriptoras de la comunidad ictícola de las áreas someras (ver apartado 4.2) y la evolución temporal de taxones representativos (especies de interés pesquero y de conservación) (ver apartado 4.3).

De forma posterior a la entrega de este informe intermedio, y hasta la fecha de finalización del proyecto en curso, los datos de ictiofauna serán completados con la información recabada en las próximas campañas de muestreo, que se desarrollarán en julio y octubre de 2024. Estos datos nos permitirán concluir el seguimiento anual de la estructura y composición de la comunidad, discutiendo a su vez aspectos relativos a la dinámica de las especies de interés de conservación e interés pesquero.

- *Estudiar el papel como hábitats críticos y de refugio de las áreas someras del Mar Menor, teniendo en cuenta la heterogeneidad ambiental que estos albergan.*

La ejecución de las campañas de muestreo de ictiofauna correspondientes a las estaciones de invierno y primavera, así como la inclusión de la información obtenida, ha permitido ampliar la serie temporal de datos disponible para estudiar la evolución de los parámetros de la comunidad de peces y su respuesta ante posibles cambios o perturbaciones en el ambiente. En el informe final del proyecto en curso se procederá a la integración y evaluación de otras variables descriptoras de hábitat, aportando una mayor información sobre la heterogeneidad ambiental de las áreas someras y la implicación de estos ambientes marinos como hábitats críticos.

- *Generar información base relativa a la dinámica poblacional y biología reproductiva del cangrejo azul (*Callinectes sapidus*) en un hábitat intermareal del Mar Menor (Las Encañizadas, PR Salinas y Arenales de San Pedro del Pinatar).*

Para la consecución de dicho objetivo se realizarán a partir de finales del mes de mayo muestreos quincenales de *Callinectes sapidus* en dos zonas del espacio natural de Las Encañizadas, cada una de éstas con diferente grado de influencia mediterránea. Los muestreos se extenderán hasta el mes de octubre, recabando información relativa a su dinámica poblacional durante el periodo de aguas cálidas y máxima actividad. Además, los ejemplares capturados serán examinados para estudiar la estructura de la población y aspectos sobre su biología reproductiva. La información y conclusiones resultantes de este estudio permitirán elaborar recomendaciones de gestión orientadas al control de esta especie invasora en dicho espacio protegido.

Para la consecución de los objetivos específicos anteriormente citados es necesario el desarrollo de tareas de campo, laboratorio y análisis, las cuales se listan y especifican en la Tabla I.1. Además, se incorpora el cronograma del proyecto con las tareas ejecutadas hasta la fecha y aquellas previstas de desarrollo antes de la finalización del presente proyecto. Cabe destacar que la definición y priorización de las tareas ejecutadas se establecieron sobre la base de las necesidades descritas por el Grupo de trabajo de Ecología Lagunar, la Dirección General del Mar Menor u otros grupos de trabajo.

Tabla I.1. Definición de las tareas del proyecto incluidas en el pliego de cláusulas administrativas, técnicas y económicas.

Tareas desarrolladas en el proyecto	
T1	Revisión bibliográfica, preparación y actualización de bases de datos.
T2	Diseño de muestreo del seguimiento.
T3	Muestreo de campo a escala de red de monitoreo.
T4	Trabajo de laboratorio y gabinete. Evaluación y análisis de datos.
T5	Elaboración de informes

Tabla I.2. Cronograma de tareas desarrolladas y previstas durante el periodo de ejecución del proyecto. En verde se indican las tareas completadas hasta la fecha de entrega del presente informe. En amarillo se hace referencia al resto de tareas pendientes de ejecutar.

Tareas	2024									
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT
T1	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
T2	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
T3	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
T4	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
T5	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

1. Resumen de antecedentes y objetivos.

1.1. Antecedentes y justificación específica del proyecto.

- En el estudio **FAUNA DEL MAR MENOR Y DIRECTRICES PARA SU MANEJO Y CONSERVACIÓN (Contrato II-123/02) adjudicado** en 2002 y finalizado en 2004, por la Consejería de Agricultura, Agua y Medio Ambiente de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia al Departamento de Zoología y Antropología de la Universidad de Murcia, se caracterizó la comunidad de peces presente en las áreas someras y humedales del entorno de la laguna. Además, se estableció el estado de conservación de estas áreas en función de dicha comunidad.
- Las zonas someras de la laguna se mostraron muy importantes como áreas de reclutamiento y de refugio para estados juveniles de diversas especies. La comunidad de peces detectada en las zonas litorales del Mar Menor mostró una alta diversidad con presencia de 45 especies (19 familias). Más del 50% de estas especies eran consideradas objetivo de las pesquerías o se encontraban legalmente protegidas. Por tanto, quedó señalado el importante papel de las áreas someras como lugares de cría y engorde, mostrando una relación significativa en el mantenimiento de sus poblaciones. Además, **estas áreas litorales proporcionan hábitats esenciales para especies gravemente amenazadas.**
- Estas características hacen que las **áreas someras sean consideradas como hábitats críticos en la laguna**. Es decir, pueden definirse como *áreas específicas esenciales para mantener y conservar favorablemente la comunidad de peces y que requieren, a veces por su ubicación o uso, de una gestión particular*. Resulta básico buscar soluciones poco impactantes que puedan ser compatibles con los múltiples usos y actividades humanas (ej. desarrollo de herramientas que ayuden en la toma de decisiones y que permitan protocolizar la respuesta de la Administración a las actividades desarrolladas sobre áreas someras).
- Durante el periodo 2015-2017 en el marco del convenio de colaboración que mantuvo el Dpto. de Zoología y Antropología Física de la Universidad de Murcia con la empresa TECOMA, Ingeniería y Ambiente, S.L. (ASESORIA Y APOYO TÉCNICO EN PROGRAMAS DE SEGUIMIENTO Y GESTIÓN DE FAUNA) se realizó un seguimiento de las áreas someras. Estos trabajos al centrarse en la utilización de un indicador específico

basado en una fracción de la comunidad de peces **resultaron escasos para evaluar cambios en el estado de conservación de las áreas someras y de las comunidades ictiofaunísticas asociadas.**

- En el proyecto **ESTUDIO DEL ESTADO DE LA ICTIOFAUNA INDICADORA DE ZONAS SOMERAS, MEJORA DE LA INFORMACIÓN Y APLICACIÓN EN LA REDACCIÓN DE PROYECTOS EN ZONA SUMERGIDA DEL MAR MENOR** desarrollado durante 2018 y 2019 por el Dpto. de Zoología y Antropología Física de la Universidad de Murcia en el marco del contrato de investigación con la empresa **TECNOLOGÍAS Y SERVICIOS AGRARIOS, S.A. (TRAGSATEC)**, se desarrolló un seguimiento y actualización del estado de conservación de las comunidades ictícolas de las áreas someras del Mar Menor. Los cambios detectados en la estructura y composición de estas comunidades, así como la observación de tendencias taxonómicas dispares, mostraron que es **indispensable el seguimiento continuado a través de estudios con estos fines u objetivos paralelos.**

- Entre noviembre de 2019 y abril de 2020 el Dpto. de Zoología y Antropología Física de la Universidad de Murcia, realizó el proyecto **EVALUACIÓN DEL ESTADO DE LA COMUNIDAD DE PECES EN ZONAS SOMERAS TRAS EL FENÓMENO METEOROLÓGICO DANA**, que tuvo como objetivo estudiar la resistencia y resiliencia inicial de las comunidades ictícolas de las zonas someras ante la elevada entrada de agua derivada de dicho fenómeno meteorológico. Los resultados mostraron una notable afección en las comunidades de peces de las áreas someras más afectadas por los episodios de anoxia y mortandad, recalcando su efecto negativo sobre las poblaciones de especies residentes de la laguna. El impacto negativo de este episodio en la funcionalidad de la comunidad ictícola y en la calidad ecológica de las áreas someras, así como la ausencia de signos inmediatos de recuperación, hizo **indispensable la evaluación de la respuesta a largo plazo para esclarecer la resiliencia del sistema.**

- Durante el proyecto **EVALUACIÓN DE LA RECOLONIZACIÓN DE LA ICTIOFAUNA DE LAS ZONAS SOMERAS SOMETIDAS A MORTANDEDES POR FENÓMENOS DE ANOXIA**, desarrollado entre los meses de mayo y noviembre de 2020, se apreció cierta recuperación y **similitud entre las comunidades de las localidades afectadas por el fenómeno de mortandad masiva derivado de la anoxia y las no**

afectadas por el mismo. No obstante, la calidad ecológica del conjunto perimetral se vio mermada, fruto de un notable decremento de la abundancia de las especies residentes. Este hecho indica, una vez más, la **necesidad de continuar con el seguimiento para cuantificar la capacidad de recuperación, principalmente de aquellas especies que cierran su ciclo de vida en la laguna**, ya que las presiones de origen antrópico de las últimas décadas podrían haber reducido la resiliencia de la comunidad de peces.

- Entre los meses de febrero y julio de 2021 se llevó a cabo el proyecto **VALORACIÓN DE LA FAUNA PISCÍCOLA DE LAS ÁREAS SOMERAS DEL MAR MENOR. REVISIÓN DE ANTECEDENTES DE LA ESPECIE INVASORA *CALLINECTES SAPIDUS***, que reflejó la mejora de la calidad ecológica de las áreas someras durante las estaciones de invierno y primavera de dicho año respecto a los valores obtenidos durante el ciclo anual posterior a la mortandad acontecida en octubre de 2019. Sin embargo, quedó **constancia de la afección y dificultad de respuesta poblacional de algunos taxones de interés, como es el caso de singnátidos, cuyas poblaciones se vieron drásticamente mermadas.** Los datos analizados relativos a la especie de cangrejo invasora, *Callinectes sapidus*, reflejaron su extendida distribución en las áreas someras de la laguna, así como su aparente preferencia por los hábitats vegetados.

- En la primera fase del proyecto **ESTUDIO Y SEGUIMIENTO ESPACIOTEMPORAL DE LAS POBLACIONES FAUNÍSTICAS DE GESTIÓN PRIORITARIA (ictiofauna y la especie invasora *Callinectes sapidus*): SITUACIÓN ACTUAL EN ZONAS SOMERAS E INTERMAREALES DEL MAR MENOR**, desarrollado entre agosto de 2021 y septiembre de 2022, se concluyó el efecto negativo de las mortandades sobre la calidad ecológica de las áreas someras, disminuyendo ésta durante el periodo 2020-2022, con respecto a la serie temporal previa. Así mismo, se detectaron diferencias espaciales y temporales en el impacto de las dos principales mortandades biológicas (otoño de 2019 y verano de 2021). Además, se observaron ciertas variaciones en la estructura y composición de las comunidades de peces que podrían tener repercusiones sobre el correcto funcionamiento y/o capacidad de respuesta del ecosistema.

- Paralelamente, en el marco de los proyectos anteriormente mencionados, el Departamento de Zoología y Antropología Física ha constatado la presencia del crustáceo invasor *Callinectes sapidus* en algunos hábitats críticos del Mar Menor, así como un notable incremento de su densidad a partir de 2018. Tras la presentación en abril de 2019 del asunto **ANÁLISIS PARA LA ERRADICACIÓN DEL CANGREJO AZUL AMERICANO (*Callinectes sapidus*)**, ante el Grupo de trabajo “Ecología lagunar” del Comité de Asesoramiento Científico del Mar Menor, se consideró oportuno estudiar aspectos relativos a su estatus poblacional y selección de hábitats en la zona intermareal de Las Encañizadas. A su vez, se propuso evaluar la efectividad de diferentes técnicas de captura, generando información base para el desarrollo de posibles planes de control de la especie invasora.

- En la segunda fase del proyecto **ESTUDIO Y SEGUIMIENTO ESPACIOTEMPORAL DE LAS POBLACIONES FAUNÍSTICAS DE GESTIÓN PRIORITARIA (ictiofauna y la especie invasora *Callinectes sapidus*): SITUACIÓN ACTUAL EN ZONAS SOMERAS E INTERMAREALES DEL MAR MENOR**, ejecutada entre noviembre de 2022 y septiembre de 2023, se ratificó la persistencia del impacto de las mortandades de fauna marina en la calidad ecológica de las áreas someras del Mar Menor, manteniéndose las anomalías en la estructura y composición de las comunidades de peces. Entre los taxones de interés de conservación, los signátidos se destacaron como el grupo de especies principalmente afectado. Por su lado, los resultados relativos al seguimiento de la especie invasora *Callinectes sapidus* en Las Encañizadas del Mar Menor mostraron un incremento significativo de la densidad de la especie respecto a la detectada en la primera fase del proyecto. Además, se generó información relativa a la selección de hábitat de la especie en dicho espacio protegido y datos sobre la eficacia de captura de las diferentes trampas empleadas.

JUSTIFICACIÓN

El Mar Menor es la mayor laguna costera del litoral español y presenta una serie de características ambientales que la hacen única; fruto de estos valores ambientales confluyen en este espacio hasta 6 figuras de protección (LIC, ZEPA, ZEPIM, Humedal de Importancia Internacional RAMSAR, Paisaje Protegido y Área de Protección de la Fauna Silvestre). Estos elevados valores naturales obligan a la Administración Regional a alcanzar el mejor estado de conservación favorable para la fauna y la flora típica de la laguna, es decir, que la estructura y las funciones específicas necesarias para su mantenimiento a largo plazo existan y puedan seguir existiendo en el futuro.

A pesar de su enorme importancia ambiental, el Mar Menor ha sufrido durante las últimas cuatro décadas un evidente proceso de transformación de su estado ecológico, resultado de las presiones derivadas de los diferentes usos y actividades realizadas en la laguna y en su cuenca. En el año 2016 la laguna sufrió una crisis eutrófica y un colapso ambiental que supuso importantes cambios en sus componentes y procesos, afectando enormemente a sus comunidades.

Otras presiones o factores agudos también pueden desencadenar en determinados eventos o situaciones de estrés en la laguna. En este sentido, destacan los fenómenos de gota fría como consecuencia de una depresión aislada en niveles altos (DANA), tales como los acontecidos en la Región de Murcia durante el 12 y 13 de septiembre de 2019. Este hecho supuso un aporte de gran cantidad de agua dulce (en torno a 90 Hm³) que arrastró sedimentos de diferente naturaleza, materia orgánica y nutrientes. Como consecuencia, la columna de agua se estratificó creando un sistema bicapa, con una capa superior de agua dulce y otra capa inferior con alta salinidad y, por tanto, mayor densidad que la superior. Una cantidad importante del material vertido pasó a la capa del fondo debido a corrientes verticales descendentes y fenómenos de floculación, entre otros. No obstante, las mortandades de peces pueden estar relacionadas con efectos sinérgicos derivados de la DANA, como podrían ser cambios drásticos en la salinidad y alta densidad de limos en suspensión; escasez y decrementos drásticos de oxígeno disuelto en agua, principalmente en profundidad; mortandades puntuales relacionadas con artes de pesca y su posible confinamiento de ejemplares y/o procesos de toxicidad y contaminación bacteriológica, entre otros. La situación anóxica generó un importante incremento del metabolismo anaeróbico, y como consecuencia de los vientos, la capa anóxica afloró por la cubeta norte provocando la mortandad masiva de peces y crustáceos en esta zona. Posteriormente, en el mes de enero de 2020,

una segunda gota fría, GLORIA, volvió a significar un aporte de agua dulce de en torno a 60 Hm³, agravando aún más la situación en la laguna.

En agosto de 2021, las condiciones eutróficas límite de la laguna agravadas por las altas temperaturas propias de la estación estival llevaron a la laguna a un nuevo evento de hipoxia. Durante este episodio tuvieron lugar sucesivos eventos de mortandad a lo largo de varios días consecutivos, mostrando a diferencia de las mortandades de 2019 un impacto más extendido en el perímetro lagunar, viéndose afectadas prácticamente la totalidad de las áreas someras de las cubetas sur y este. A pesar del cese de los eventos de mortandad, la concentración de peces en las áreas someras en busca de refugio se extendió durante varias semanas, haciendo presagiar posibles eventos de mortandad que finalmente no se desarrollaron o, que al menos no fueron observados en superficie.

Desde 2022 y hasta diciembre de 2023, fecha previa al inicio del presente proyecto, los parámetros ambientales del Mar Menor se mantuvieron en valores relativamente aceptables, sin dar síntomas de un nuevo colapso eutrófico o de desencadenar eventos de mortandad. No obstante, las variaciones observadas en la estructura de la comunidad de peces, así como el declive de determinadas especies de elevado interés de conservación (p. ej. signátidos), resalta la necesidad de mantener el seguimiento de este componente biológico. Además, cabe destacar la funcionalidad de este grupo faunístico en el equilibrio del ecosistema, así como su elevada importancia económica para el sector pesquero. Por ello, **el seguimiento continuado de la ictiofauna se considera vital para recabar información esencial que pueda ser integrada en el diseño de medidas de gestión y conservación destinadas a la recuperación del ecosistema lagunar.**

Por otro lado, las especies exóticas invasoras (EEI) conforman una amenaza creciente sobre los sistemas acuáticos desde hace varias décadas y, actualmente, se interpretan como uno de los principales factores promotores de cambios ecosistémicos en las aguas de transición de la región mediterránea. Las principales vías de introducción de las EEI en sistemas acuáticos de transición están relacionadas con actividades humanas como la acuicultura, el transporte por barco (agua de lastre, *biofouling* de los cascos, etc.), la liberación intencionada para la pesca recreativa y/o profesional, las sueltas o escapes derivadas del comercio de especies ornamentales, etc. Recientemente, se está observando que varias de estas especies invasoras presentan, además, un notable impacto socioeconómico en sectores como la pesca comercial y la acuicultura de entornos ambientales como el Delta del

Ebro y Albufera de Valencia. La situación del Mar Menor es semejante a los entornos mencionados. En éste, la eliminación de barreras naturales provocadas por la conexión artificial de la laguna con el Mediterráneo y la alta presión turística (ej. puertos deportivos) han fomentado la entrada y establecimiento de nuevas especies con efectos socio-económicos muy importantes.

La entrada de EEI fomenta la degradación socio-ambiental del Sistema Socio-Ecológico del Mar Menor (SSEMM) reflejada en su Estrategia de gestión integrada de zonas costeras (2019, *EAE201760020 Estrategia de Gestión Integrada de las Zonas Costeras del Sistema Socio-Ecológico del Mar Menor y su entorno*). Actualmente, la situación de inestabilidad y el nivel de perturbación que soporta la laguna es un factor clave que puede facilitar y aumentar los efectos problemáticos de las EEI.

En este contexto, es imprescindible la elaboración de una Estrategia integral de gestión y control de EEI en el Mar Menor y se deben iniciar con urgencia trabajos relativos a investigación y seguimiento, así como propuestas de medidas de gestión de EEI. Proyectos como los desarrollados en los últimos años por el Dpto. de Zoología y Antropología Física de la Universidad de Murcia sobre las poblaciones de cangrejo azul (*Callinectes sapidus*) en el espacio natural protegido de Las Encañizadas, permiten generar información sobre la fase de invasión y los aspectos biológicos de las EEI, siendo estos detalles esenciales para orientar dichas estrategias de gestión y control de EEI.

1.2. Descripción del objeto del proyecto.

El presente informe técnico se elabora en el marco del PROYECTO DE INVESTIGACIÓN DESARROLLADO POR LA UNIVERSIDAD DE MURCIA A PETICIÓN DE LA DIRECCIÓN GENERAL DE MAR MENOR de la Consejería de Agua, Agricultura, Ganadería, Pesca y Medio Ambiente de la Región de Murcia para dar cumplimiento a la indicado en la ORDEN DE CONCESIÓN DE SUBVENCION NOMINATIVA A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD DE MURCIA PARA EL PROYECTO “ICTIOFAUNAS – INVASORAS”.

De forma previa al desarrollo de este proyecto, el conocimiento y la experiencia previa del Grupo de Investigación de Zoología Básica y Aplicada a la Gestión y Conservación del Departamento de Zoología y Antropología Física de la

Universidad de Murcia ha permitido **evaluar la extensión temporal de la delicada situación de la comunidad ictiológica del Mar Menor, determinar su estatus actual e indagar en la dinámica de la EEI *Callinectes sapidus* en los hábitats críticos de las áreas someras del Mar Menor.**

Definición de tareas y cronograma de trabajos realizados

Según lo descrito en el documento de la Subvención Nominativa antes referida, las tareas necesarias para el *Estudio y seguimiento espaciotemporal de poblaciones faunísticas de gestión prioritaria (ictiofauna y la especie invasora *Callinectes sapidus*): Situación actual en zonas someras e intermareales del Mar Menor*, quedan descritas en la tabla 1.1. No obstante, el proyecto se fundamenta en el desarrollo, por parte de personal especializado, de los trabajos de campo y laboratorio, así como el posterior análisis estadístico de los datos, destinados a la consecución de una evaluación detallada del estado actual de los taxones presentes en las áreas someras del Mar Menor, ayudando de esta forma a comprender la resistencia y resiliencia de las comunidades ictiológicas ante las diversas presiones e impactos asociados a la laguna.

Entre las prioridades iniciales del proyecto, se enumeran:

- Identificar y evaluar, a diferentes escalas, la situación de la comunidad de peces alevines y juveniles de las zonas someras en el contexto actual de degradación de la laguna, prestando especial atención a taxones de interés pesquero y conservacionista.
- Analizar el estatus y capacidad de recuperación de la ictiofauna de las áreas someras tras los sucesivos episodios de estrés ambiental acontecidos.
- Evaluar el estatus poblacional del cangrejo azul (*Callinectes sapidus*) en la Encañizada del Mar Menor y estudiar aspectos asociados a su biología.

A continuación, se especifica el listado de tareas enmarcadas en el proyecto (Tabla 1.1) y el cronograma de ejecución de estas (Tabla 1.2).

Tabla 1.1. Definición de las tareas del proyecto incluidas en el pliego de cláusulas administrativas, técnicas y económicas.

Tareas desarrolladas en el proyecto	
T1	Revisión bibliográfica, preparación y actualización de bases de datos.
T2	Diseño de muestreo del seguimiento.
T3	Muestreo de campo a escala de red de monitoreo.
T4	Trabajo de laboratorio y gabinete. Evaluación y análisis de datos.
T5	Elaboración de informes

Tabla 1.2. Cronograma de tareas previstas durante el periodo de ejecución del proyecto.

Tareas	2024									
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT
T1										
T2										
T3										
T4										
T5										

(T1) Búsqueda y actualización de bases de datos y documentos bibliográficos.

- Actualización y estandarización de bases de datos de proyectos ictiológicos desarrollados previamente en las áreas someras del Mar Menor.
- Actualización de bases de datos bibliográficas, focalizando en el análisis comparado a diferentes escalas (laguna completa y/o escalas espaciales inferiores), sobre las comunidades ictiológicas de diferentes mesohábitats en ecosistemas de transición.
- Actualización de bases de datos bibliográficas relativa a invasiones biológicas de *Callinectes sapidus* en ecosistemas de transición.

(T2) Establecimiento de una red de monitoreo óptima.

- Realización de prospecciones con evaluación rápida de localidades de muestreo con la intención de hacer una selección de la red de monitoreo adecuada.
- Selección de la red de monitoreo definitiva para el desarrollo de las campañas estacionales de muestreo e inicio inmediato de la toma de datos.

(T3) Muestreo de campo a escala de red de monitoreo

- Ejecución de cuatro campañas de muestreo estacionales en la totalidad de localidades que comprenden la red de monitoreo establecida, orientadas al seguimiento de las comunidades ictícolas en las áreas someras.
- Ejecución de campañas de muestreo quincenales de *Callinectes sapidus* en Las Encañizadas del Mar Menor durante el periodo de aguas más cálidas (mayo-octubre).
- Procesado y análisis de los datos obtenidos (campo y laboratorio).

(T4). Trabajo de laboratorio y gabinete. Evaluación y análisis de datos.

Los datos recabados son registrados e incorporados en las bases de datos diseñadas para sendos seguimientos. En el caso de la ictiofauna de las áreas someras del perímetro lagunar, los datos son contrastados y analizados con la información recabada en los últimos años. Se estudia la evolución y respuesta de las comunidades de peces ante la situación actual del Mar Menor o fenómenos extremos (DANAs, episodios de eutrofia, mortandad, etc.), así como las tendencias en la laguna de aquellos taxones de interés de conservación e interés pesquero.

Los datos referentes al monitoreo de las poblaciones de *Callinectes sapidus* en Las Encañizadas permiten conocer la fase de invasión de la especie en este hábitat crítico, así como registrar parámetros biológicos y ecológicos de la especie en un ambiente intermareal. La información resultante deberá ser considerada en el establecimiento de futuras estrategias de gestión y control de la especie en la laguna o en sus humedales perimetrales.

(T5) Elaboración de informes

- **Informe parcial del proyecto (mayo 2024).** Resultados preliminares e información relativa a las campañas de muestreos realizadas hasta la fecha.
- **Informe final del proyecto (octubre 2024).** Resultados y conclusiones obtenidas tras la ejecución de los seguimientos enmarcados en el proyecto. Se detallará toda la información obtenida relativa a la ictiofauna detectada en las áreas someras del Mar Menor y a la biología y situación actual del cangrejo azul en Las Encañizadas,

2. Equipo de trabajo.

El **equipo responsable** de la ejecución (Laboratorio de *Biología y Conservación de Vertebrados Acuáticos*) está dirigido y conformado por doctores especialistas en biología, gestión y conservación de fauna adscritos al Departamento de Zoología y Antropología Física de la Universidad de Murcia (Personal UMU). Las tareas involucradas en el trabajo de campo en zonas someras requieren de un equipo de trabajo mínimo conformado por 3 miembros del personal.

Los doctores responsables están homologados en la formación con animales utilizados para la experimentación con fines científicos como personal de categorías B y C (Dirección General de Ganadería y Pesca, CARM). Además, la experiencia del equipo de investigación en el análisis y estudio de EEIs y fauna acuática de la laguna del Mar Menor está consolidada desde hace más de 20 años. Esto asegura la optimización en los procedimientos de diseño de muestreos, la manipulación de individuos o la minimización de alteraciones sobre el hábitat, así como la utilización de métodos alternativos para el trabajo con la comunidad objeto de seguimiento.

El Laboratorio de *Biología y Conservación de Vertebrados Acuáticos* del Departamento de Zoología y Antropología Física (UMU) cuenta con las instalaciones y gran parte del material instrumental necesario para la realización de las campañas de muestreo, trabajo de laboratorio y análisis de datos.

3. Selección de red de monitoreo y diseño de seguimiento.

3.1. Marco de seguimiento de comunidades ictiológicas de áreas someras.

En el presente apartado se describe la red de monitoreo establecida para evaluar el estado actual de la comunidad de peces de las áreas someras del Mar Menor.

Con el fin de establecer una correcta red de monitoreo que asegurase cumplir los objetivos marcados en el presente proyecto, se ha mantenido la distribución espacial de las localidades contempladas en proyectos previos, permitiendo de esta forma el análisis temporal y la comparativa de resultados. De esta forma, la red de monitoreo comprendió un total de 18 sectores de muestreo distribuidos a lo largo del perímetro lagunar (Tabla 3.1), establecidos inicialmente en función de variables de macrohábitats integradoras, principalmente la estructura de orilla en base al grado de influencia antrópica. De forma generalizada, y siempre y cuando la superficie del sector lo ha permitido, en cada uno de los sectores establecidos se seleccionaron dos localidades de muestreo, siendo estas prospectadas de forma alterna a lo largo de las estaciones del ciclo anual (Fig. 3.1.). Esta distribución de las zonas de muestreo permite evaluar la respuesta de las comunidades de peces de las áreas someras a escala local y, su respuesta conjunta a nivel lagunar. A continuación, se detalla la sectorización realizada:

Localidades de muestreo

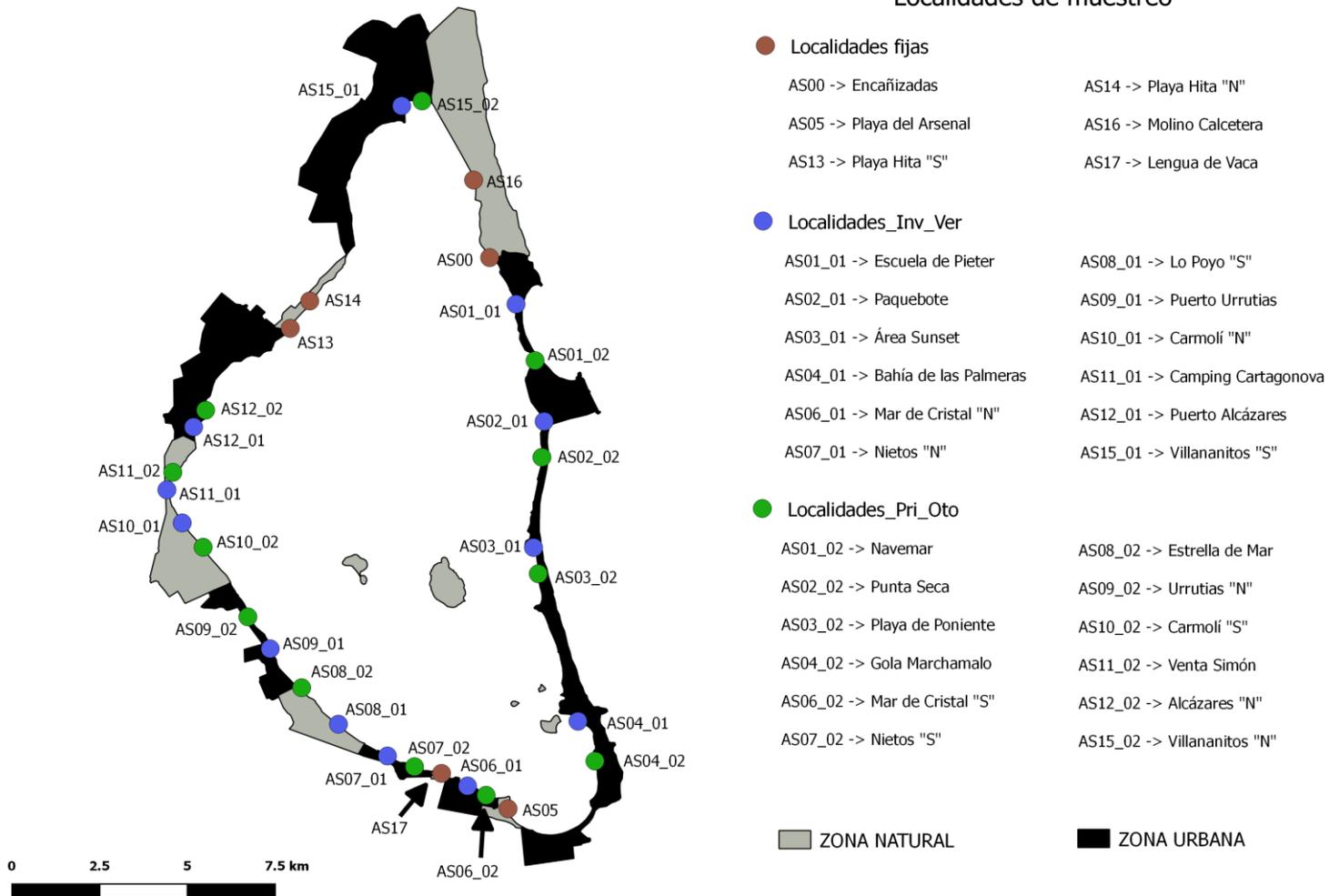


Figura 3.1. Sectorización y periodicidad de muestreo de las áreas someras objeto de seguimiento en el presente proyecto.

Tabla 3.1. Sectorización de muestreo de las áreas someras de la laguna del Mar Menor.

SECTOR	Extensión
<i>Encañizada (AS00)</i>	Encañizada (Orilla Mar Menor)
<i>La Manga (AS01)</i>	Navemar – Escuela de Pieter
<i>La Manga (AS02)</i>	Paquebote – Punta Seca
<i>La Manga (AS03)</i>	Área Sunset – Restaurante el Molino
<i>La Manga (AS04)</i>	Bahía de las Palmeras (Isla del Ciervo) – Gola Marchamalo
<i>Playas Sur (AS05)</i>	Playa del Arsenal
<i>Mar de Cristal (AS06)</i>	Mar de Cristal “N” – Mar de Cristal “S”
<i>Los Nietos (AS07)</i>	Los Nietos “N” - Los Nietos “S”
<i>Lo Poyo (AS08)</i>	Lo Poyo “S” – Estrella de Mar
<i>Los Urrutias (AS09)</i>	Puerto Los Urrutias – Los Urrutias “N”
<i>El Carmolí (AS10)</i>	Carmolí “N” – Carmolí “S”
<i>Albujón-Carrizal Alcázares (AS11)</i>	Camping Cartagonova – Venta Simón
<i>Los Alcázares (AS12)</i>	Puerto Los Alcázares – Los Alcázares “N”
<i>Carrizal de la Hita</i>	Playa de la Hita “S”
<i>Playa de la Hita (AS14)</i>	Playa de la Hita “N”
<i>San Pedro del Pinatar (AS15)</i>	Villananitos “S” – Villananitos “N”
<i>Salinas San Pedro Exterior (AS16)</i>	Molino La Calcetera (Mar Menor)
<i>Punta Lengua de Vaca (AS17)</i>	Punta Lengua de Vaca (Orilla Mar Menor)

3.1.1. Periodicidad de muestreo.

Durante la ejecución del presente proyecto se establecieron muestreos estacionales. Hasta la fecha, **han sido ejecutadas con éxito las campañas de muestreo correspondientes a invierno y primavera de 2024. En el presente informe se encuentran recogidos y analizados los datos correspondientes a dichas campañas** (Ver apartado 4.1). Estos muestreos constituyen dos réplicas estacionales de las 18 localidades que componen la red de monitoreo establecida. Durante los próximos meses en los que el proyecto seguirá su desarrollo (junio-octubre) se realizarán las campañas de muestreo de ictiofauna correspondientes a las estaciones de verano y otoño.

3.1.2. Localidades de muestreo: tareas de campo.

La metodología de muestreo se centra en obtener, de forma sistemática, información referente a las comunidades de peces que habitan en las áreas someras de la laguna, permitiendo su estandarización, análisis y comparativa con la información ya existente recabada en estudios previos.

La unidad de muestreo definida en las áreas someras es la **localidad**, entendiéndose cada una de éstas por la **extensión comprendida por 200 – 300 metros de longitud de orilla y los primeros 15 – 20 metros de zona sumergida**.

Las tareas de campo que se han realizado en cada una de las localidades de muestreo, quedan englobadas en:

- (1) Evaluación (Inventario) de la Comunidad de peces de pequeña talla: Realización de muestreos cuantitativos (estandarizados según esfuerzo por superficie) + muestreo cualitativo.
- (2) Evaluación de Hábitat (Tipificación físico-química y biótica): Tipificación integral de la comunidad en su conjunto + Tipificación específica a nivel de unidades de muestreo.

3.1.3. Evaluación de la comunidad de peces de pequeña talla.

Debemos entender la evaluación o inventario como la totalidad de actividades encaminadas a evaluar la cantidad y distribución geográfica de la comunidad objeto de estudio. Con esta finalidad, la valoración de la comunidad ictiológica en cada una de las localidades de muestreo ha sido obtenida mediante muestreos cuantitativos (estandarizados según esfuerzo por superficie) y cualitativos.

La estandarización en la toma de muestras es un requisito clave para la correcta interpretación y evaluación del estatus de las poblaciones. Los muestreos diseñados, con un esfuerzo preestablecido y estandarizado (Tabla 3.2), han permitido recabar información a nivel de localidad, pudiendo analizar relaciones espaciotemporales.

Tabla 3.2. Diseño y esfuerzo de muestreo por localidad.

ESFUERZO DE MUESTREO POR LOCALIDAD
3 Muestreos cuantitativos + 1 Muestreo cualitativo
<p>Muestreo cuantitativo:</p> <p>Metodología: Red de arrastre manual (10 x 1,5 m; sin copo), 5 mm Luz de malla. (Arrastres paralelos y oblicuos a la orilla).</p> <p>Esfuerzo de Muestreo: Arrastre de 160 m² (20x8 m) x 3 = 480 m² de arrastre / Localidad</p> <p>Resultados: Capturas por Unidad de Esfuerzo (CPUEs) y Biomasa por Unidad de Esfuerzo (BPUEs): CPUEs = n^o individuos / 160 m² (= n^o individuos / Arrastre) BPUEs = g de individuos / 160 m² (= g de individuos / Arrastre)</p>
<p>Muestreo cualitativo:</p> <p>Metodología: Red de arrastre manual (10 x 1,5 m; sin copo), 5 mm Luz de malla. Salabres o Cedazos. Minnow-Traps (Trampas tipo Minnow).</p> <p>Esfuerzo de Muestreo: Variable según la metodología, pero fijo en tiempo total.</p> <p>Resultados: n^o de especies (Riqueza específica, S)</p>

Método de captura: red de arrastre manual.

Esta técnica de muestreo no selectiva permite la captura de especies de pequeño tamaño y juveniles de otras especies de mayor talla. En este sentido, la red de arrastre manual se plantea como una técnica de muestreo óptima para el estudio y conocimiento de las comunidades de peces de las áreas someras (Franco *et al.* 2012). El arrastre manual consiste en el barrido mediante una red de 10m de longitud y 1,5m de altura de una superficie predefinida, cercando la red en la fase final del muestreo contra la línea de orilla. La superficie de muestreo abarcada en cada una de las réplicas es de 160m², correspondiendo ésta a 20m longitudinales y 8 metros de anchura, teniendo en cuenta que la oposición del agua ejercida durante el arrastre ocasiona una curvatura en la red y la pérdida de 2m efectivos, aproximadamente. Además, la base de la red se encuentra ligeramente plomada, permitiendo la captura de especies estrictamente bentónicas y evitando a su vez la alteración del sustrato y cobertura vegetal.

En cada una de las 18 localidades de muestreo establecidas se ha desarrollado un total de tres arrastres cuantitativos, siendo las zonas concretas de arrastre seleccionadas en base al criterio de representatividad (Fig. 3.2). Cabe destacar, que uno de estos arrastres se realiza de forma oblicua a la orilla, con el fin de recabar también posibles especies asociadas a ambientes de mayor profundidad, aunque en cualquier caso ésta siempre será inferior a 1.5m. Además, en aquellas localidades en las que se ha observado de forma puntual microhábitats que aportan cierta heterogeneidad, se ha realizado un arrastre cualitativo con el objetivo de poder detectar otras especies que puedan aparecer asociadas a estos hábitats diferentes.

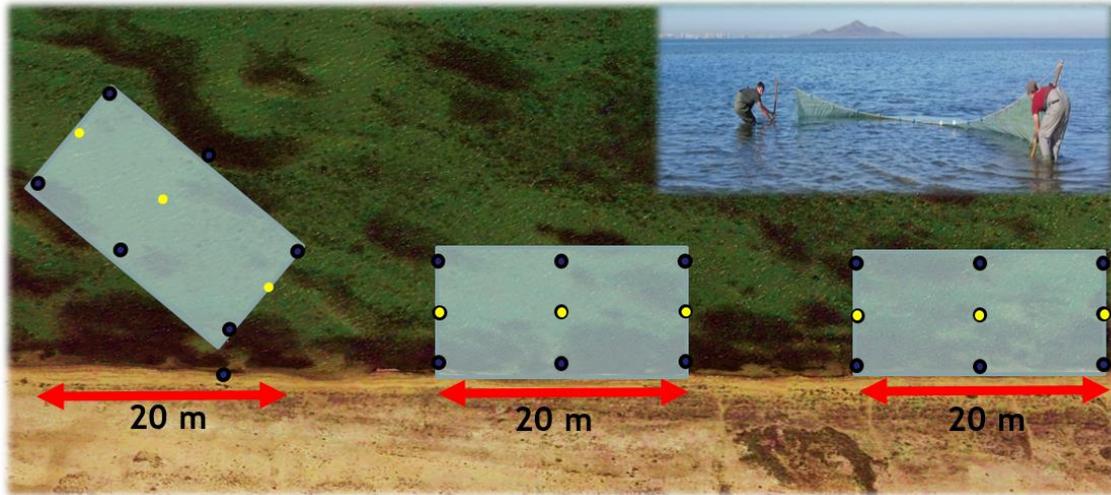


Figura 3.2. Diseño y ubicación de arrastres en una hipotética localidad de muestreo. Los puntos amarillos indican las zonas de medida de parámetros físico-químicos. El conjunto de puntos azules y amarillos reflejan las medidas de profundidad.

3.1.4. Evaluación de variables abióticas y bióticas: Tipificación de hábitat.

La valoración del hábitat en cada una de las localidades de muestreo se ha realizado mediante dos tipificaciones relacionadas entre sí (Tabla 3.3):

- Tipificación conjunta = Valoración conjunta de la localidad.
- Tipificación específica = Valoración del hábitat en cada uno de los muestreos cuantitativos realizados por localidad.

Esta doble tipificación del hábitat en cada localidad nos permite afrontar el análisis de las relaciones, Hábitat-Comunidades Ictiológicas, en varias escalas de muestreo dentro de cada localidad: Nivel Localidad y Nivel Arrastre.

Tabla 3.3. Variables de hábitat evaluadas en los muestreos.

	Unidad de medida	Metodología de medida
Variables fisicoquímicas		
Profundidad (inicio, intermedia, final)	cm	Profundímetro / 9 estimas /Arrastre
Sustrato inorgánico (tipo)	Ø cm	Valoración Ordinal / 1 estima /Arrastre
Oxígeno disuelto	mg/l	Multiparámetros / 3 estimas /Arrastre
Saturación oxígeno	%	Multiparámetros / 3 estimas /Arrastre
Temperatura	°C	Multiparámetros / 9 estimas /Arrastre
Ph		Multiparámetros / 9 estimas /Arrastre
Conductividad	µS-mS/cm ²	Multiparámetros / 9 estimas /Arrastre
Salinidad	‰	Multiparámetros / 9 estimas /Arrastre
Transparencia	Escala ordinal (1-3)	Valoración ordinal / 1 estima /Arrastre
Granulometría Sustrato	Escala ordinal (1-4) 1= Limos 2= Arenas 3= Gravas/Conchas 4= Cantos/Guijarros (Modificado de: Bain, 1999)	Valoración porcentual media / Arrastre
Heterogeneidad Sustrato	Desviación estándar de la Granulometría (Bain y Stevenson, 1999)	Valoración / Punto de muestreo
Variables bióticas		
Vegetación acuática. (Recubrimiento)	% / m ²	Valoración porcentual media /Arrastre
Volumen/densidad	Escala ordinal (1-5)	Valoración ordinal / 1 estima /Arrastre

3.1.5. Metodología de laboratorio y análisis de datos.

Material de estudio

Los ejemplares capturados en cada una de las localidades de muestreo han sido procesados *in situ* bajo protocolos preestablecidos (Oliva-Paterna et al., 2017) para reducir al máximo la mortalidad durante el proceso. Los peces fueron recolectados y depositados en bateas con agua para facilitar su manejo (Fig. 3.3). El total de los individuos que conforman la muestra fueron anestesiados e identificados en el campo utilizando bibliografía específica (Arias & Drake, 1990). No obstante, en el caso de especies cuya identificación en tallas juveniles precisa de un análisis en profundidad, se seleccionó una submuestra aleatoria y se trasladó al laboratorio en formaldehído al 10%. Los ejemplares fueron fotografiados *in situ*, sobre una superficie escalada, calculando las longitudes totales LTs (± 0.1 cm), posteriormente, con la ayuda de un procesador de imagen (Image-J) (Schneider et al., 2012). Los ejemplares de aquellas especies de fácil reconocimiento *in situ* pudieron ser contabilizados y devueltos al medio con bajas tasas de mortalidad (< 1 %). Entre estas últimas especies se encuentran aquellas amenazadas y/o emblemáticas de la laguna.



Figura 3.3. Izq.: Equipo de trabajo durante el desarrollo de uno de los arrastres. Dcha.: Investigadores recogiendo y procesando las capturas realizadas.

El material de análisis para la descripción de la comunidad de peces objeto de seguimiento es el conformado por individuos alevines y juveniles [= *Young-of-the-Year*, individuos capturados en el año de su producción *sensu* Thiel et al. (2003)], junto con adultos de especies de pequeña talla (Longitudes totales (LTs) < 100 mm). No se incorporan estados larvarios, es decir, individuos con la presencia de vitelo.

Los taxones, además, han sido clasificados y tratados según los grupos funcionales, en cuanto al uso de estuarios y zonas de transición, según el modo de alimentación y en base a su estrategia reproductiva (Franco et al. 2008).

De esta manera, en la tabla 3.4 se describen las variables evaluadas para el presente proyecto a distintos niveles.

Tabla 3.4. Descripción de las variables a analizar correspondientes a la comunidad ictiológica.

Nivel de Análisis = Comunidad		
<i>Variables</i>	<i>Metodología</i>	<i>Resultados de Análisis</i>
Determinación de especies	Claves de determinación de especies ícticas	Riqueza específica (<i>S</i>)
Nº total de individuos		Índice de Diversidad (<i>H'</i>)
Peso total de individuos	Extrapolación de pesos a partir de rectas de crecimiento a nivel de especie	Abundancia total
		Biomasa total
		EMFI
Nivel de Análisis = Especie-Individuo		
<i>Variables</i>	<i>Metodología</i>	<i>Resultados de Análisis</i>
Nº de individuos / Especie	Ictiómetro (± 1 mm)	Abundancia especie
Peso de individuos / Especie		Biomasa especie
Longitud Furcal media poblacional	Extrapolación de pesos a partir de rectas de crecimiento a nivel de especie	Parámetros poblacionales
Longitud Estándar media poblacional		EMFI

Claves de identificación ictiológica de mayor frecuencia de uso:

- Whitehead, P.J.P., Bauchot, M.L., Hureau, J.C., J. Nielsen y E. Tortonese. 1984. **Fishes of the North-eastern Atlantic and the Mediterranean. Volume I, II y III. UNESCO, París. 1443 pp.**
- Arias, A.M. y P. Drake. 1990. **Estados juveniles de la Ictiofauna de los caños de las Salinas de la Bahía de Cádiz. Instituto de Ciencias Marinas de Andalucía. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. 163 pp.**
- Bauchot, M.L. y A. Pras. 1993. **Guía de los Peces de Mar de España y de Europa. Ediciones Omega, S.A. Barcelona. 432 pp.**
- Corbera, J., A. Sabatés y A. García Rubies. 1996. **Peces de Mar de la Península Ibérica. Editorial Planeta, S.A. Barcelona. 312 pp.**
- Fernández-Delgado, C., Drake, P. Arias, A.M. y D. García. 2000. **Peces de Doñana y su entorno. Organismo Autónomo Parques Nacionales. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid. 272 pp.**

3.1.6. Metodología de evaluación de cambios en la comunidad de peces.

Parámetros descriptores de la comunidad:

Con la finalidad de establecer la dinámica temporal y espacial de las comunidades objeto de estudio se ha incluido un análisis temporal y espacial descriptivo, basado en la *Diversidad* (Índice de Diversidad de Shannon-Weaver) y la *Riqueza específica* (S).

El **Índice de Diversidad de Shannon-Weaver (H')** se ha ponderado en función de la abundancia relativa (CPUEs) de las especies:

$$H' = - \sum p_i \log_2 p_i$$

p_i es la proporción en abundancia de la especie i (desde $i = 1$ hasta $i = S$ que es el número de especies presentes). Esta expresión de la *Diversidad* es, probablemente, la más usada y la que mejores resultados ofrece al estudiar individuos estructurados en clases que interactúan en un sistema ecológico.

La **Riqueza específica (S)** para cada unidad muestral (básicamente espacial o temporal) es evaluada en función del número de especies descritas en la misma.

La Diversidad y Riqueza específica de alevines, juveniles y pequeñas tallas (LTs < 10 cm) es caracterizada en cada muestreo mediante los valores totales y promedios por ambiente y sector de muestreo.

La **Abundancia y Biomasa relativa** de las especies detectadas, es evaluada en función de estimas de densidad definidas por *Capturas/Biomasa por Unidad de Esfuerzo* (CPUEs y BPUEs, respectivamente):

Áreas someras perimetrales (AS)

- CPUEs = n^0 individuos / 160 m² (= n^0 individuos / Arrastre perimetral)
- BPUEs = peso capturas (g.) / 160 m² (= peso capturas (g.) / Arrastre perimetral)

Indicador del estado de conservación de las áreas someras mediante las comunidades de peces. Adaptación *Estuarine Multi-metrics Fish Index* (EMFI)

Numerosos autores han desarrollado y aplicado índices que permiten integrar las comunidades biológicas en el seguimiento y control de los ecosistemas. En este sentido, el papel bioindicador de las comunidades de peces para el estudio y evaluación de la calidad de los ambientes acuáticos ha sido ampliamente respaldado desde el ámbito científico.

La información recabada en campo, y posteriormente en laboratorio, respecto a las poblaciones de peces de las áreas someras permite la aplicación de índices complejos que integran multitud de métricas poblacionales. Este hecho resulta de vital importancia, puesto que el análisis simplificado centrado en el número o abundancia de especies podría sesgar o dificultar la correcta interpretación de la realidad.

Para evaluar el estado actual de las áreas someras afectadas por las mortandades, se ha estudiado la evolución del estado ecológico de los ambientes en relación a diversas métricas de la comunidad de peces, mediante la adaptación del **“*Estuarine Multi-metric Fish Index*” (EMFI)** (Harrison & Kelly 2013). Las 14 métricas que engloba este índice (Tabla 3.5) fueron seleccionadas de una amplia bibliografía referente al desarrollo y aplicación de índices de la comunidad de peces en ambientes estuáricos (e.j. Miller et al., 1988; Deegan et al., 1997; USEPA, 2000; Hughes et al., 2002; Whitfield and Elliott, 2002; Harrison & Whitfield, 2006; Jordan et al., 2010; Hallett et al., 2012).

Tabla 3.5. Métricas utilizadas para el desarrollo de la adaptación del EMFI a las áreas someras del Mar Menor.

Métrica	Descripción	
<i>Diversidad y composición de especies</i>		
1	Riqueza específica	Proporción del nº de especies detectadas respecto a las esperadas.
2	Estatus de conservación de la comunidad	Nº de especies incluidas en catálogos o listas de conservación (categorías de amenaza a nivel autonómico, nacional, UE/mundial).
3	Composición de especies	% de similitud (presencia/ausencia) respecto a la comunidad de referencia.
<i>Abundancia</i>		
4	Abundancia de especies	% de similitud de la abundancia respecto a la comunidad de referencia.
5	Dominancia	Nº de taxones que conforman el 90 % de la abundancia total.
<i>Uso de las áreas someras</i>		
6	Nº especies diádromas	Nº de especies anádromas o catádromas detectadas.
7	Riqueza de especies residentes	Proporción del nº de especies residentes detectadas respecto a las esperadas.
8	Riqueza de especies migradoras	Proporción del nº de especies migradoras detectadas respecto a las esperadas.
9	Abundancia de especies residentes	Abundancia relativa de especies residentes del área de estudio respecto al total.
10	Abundancia de especies migradoras	Abundancia relativa de especies migradoras respecto al total.
<i>Integridad trófica</i>		
11	Riqueza de especies zoobentívoras	Proporción del nº de especies zoobentívoras detectadas respecto a esperadas.
12	Riqueza de especies piscívoras	Proporción del nº de especies piscívoras detectadas respecto a esperadas.
13	Abundancia de especies zoobentívoras	Abundancia relativa de especies zoobentívoras respecto a la abundancia total.
14	Abundancia de especies piscívoras	Abundancia relativa de especies piscívoras respecto a la abundancia total.

Las métricas que integran la adaptación del EMFI recogen las principales características que definen la correcta estructuración y el grado de complejidad de las comunidades de peces. Las condiciones de referencia utilizadas para la aplicación de este índice se han elaborado a partir de la integración de datos históricos, información sobre biología y ecología de las especies y el conocimiento científico. En este sentido, se elaboró un **listado de referencia** de las especies que habitan en las áreas someras del Mar Menor (Tabla 3.6) (Oliva-Paterna *et al.* 2003 y 2006, Verdiell-Cubedo *et al.* 2007, 2013). Los rasgos funcionales de las especies fueron extraídos de bibliografía específica del Mar Mediterráneo (Whitfield & Elliott 2002, Franco *et al.* 2008) y del área de estudio (Oliva-Paterna *et al.* 2003 y 2006).

Tabla 3.6. Listado de referencia de la comunidad de peces asociada a las áreas someras del Mar Menor: Categoría de abundancia teórica establecida a nivel estacional.

Especies	Categorización de abundancias teóricas			
	Invierno	Primavera	Verano	Otoño
<i>Anguilla anguilla</i>	Muy escaso	Muy escaso	Muy escaso	Muy escaso
<i>Aphanius iberus</i>	Escaso	Escaso	Moderado	Moderado
<i>Atherina boyeri</i>	Abundante	Abundante	Muy abundante	Abundante
<i>Belone belone</i>	Muy escaso	Muy escaso	Muy escaso	Ausente
<i>Callionymus pusillus</i>	Ausente	Ausente	Muy escaso	Muy escaso
<i>Chelon labrossus</i>	Ausente	Muy escaso	Muy escaso	Ausente
<i>Dicentrarchus labrax</i>	Ausente	Escaso	Ausente	Ausente
<i>Diplodus puntazzo</i>	Escaso	Escaso	Ausente	Escaso
<i>Diplodus sargus</i>	Ausente	Escaso	Escaso	Ausente
<i>Diplodus vulgaris</i>	Muy escaso	Muy escaso	Ausente	Ausente
<i>Engraulis encrasicolus</i>	Muy escaso	Muy escaso	Escaso	Escaso
<i>Gobius cobitis</i>	Muy escaso	Muy escaso	Escaso	Escaso
<i>Gobius niger</i>	Muy escaso	Muy escaso	Muy escaso	Escaso
<i>Gobius paganellus</i>	Muy escaso	Muy escaso	Muy escaso	Muy escaso

Especies	Categorización de abundancias teóricas			
	Invierno	Primavera	Verano	Otoño
<i>Hippocampus guttulatus</i>	Ausente	Ausente	Muy escaso	Muy escaso
<i>Lipophrys dalmatinus</i>	Muy escaso	Muy escaso	Muy escaso	Muy escaso
<i>Chelon auratus</i>	Muy abundante	Muy abundante	Moderado	Moderado
<i>Chelon ramada</i>	Abundante	Escaso	Muy escaso	Muy escaso
<i>Chelon saliens</i>	Muy abundante	Abundante	Muy abundante	Muy abundante
<i>Mugil cephalus</i>	Moderado	Escaso	Muy escaso	Abundante
<i>Mullus barbatus</i>	Muy escaso	Muy escaso	Muy escaso	Muy escaso
<i>Pomatomus saltatrix</i>	Ausente	Ausente	Ausente	Muy escaso
<i>Pomatoschistus marmoratus</i>	Muy abundante	Muy abundante	Muy abundante	Muy abundante
<i>Salaria pavo</i>	Muy escaso	Muy escaso	Moderado	Escaso
<i>Sardina pilchardus</i>	Muy escaso	Muy escaso	Ausente	Ausente
<i>Sardinella aurita</i>	Ausente	Ausente	Ausente	Muy escaso
<i>Sarpa salpa</i>	Ausente	Moderado	Muy escaso	Ausente
<i>Solea senegalensis</i>	Ausente	Muy escaso	Muy escaso	Ausente
<i>Solea solea</i>	Ausente	Muy escaso	Muy escaso	Ausente
<i>Sparus aurata</i>	Muy abundante	Abundante	Ausente	Ausente
<i>Symphodus cinereus</i>	Muy escaso	Muy escaso	Muy escaso	Escaso
<i>Syngnathus abaster</i>	Moderado	Abundante	Muy abundante	Muy abundante
<i>Syngnathus acus</i>	Muy escaso	Muy escaso	Muy escaso	Muy escaso
<i>Syngnathus typhle</i>	Muy escaso	Muy escaso	Muy escaso	Muy escaso
<i>Tylosurus acus</i>	Muy escaso	Ausente	Muy escaso	Muy escaso

Las abundancias han sido categorizadas con el objetivo de facilitar su implementación en el índice EMFI (Tabla 3.7). Por su parte, el “*Estatus de conservación de la comunidad de peces*” (métrica 3), fue entendido como el número de especies incluidas en Catálogos de protección y/o Listas Rojas internacionales, nacionales y regionales, que fueron registradas en cada una de las unidades de muestreo (Tabla 3.8).

Tabla 3.7. Categorías y puntuaciones establecidas para los diferentes rangos de abundancias.

Categoría	Rango	Puntuación
<i>Muy abundante</i>	>500	5
<i>Numeroso</i>	150 - 500	4
<i>Moderado</i>	50 – 150	3
<i>Escaso</i>	10 – 50	2
<i>Muy escaso</i>	1 – 10	1
<i>Ausente</i>	0	0

Tabla 3.8. Listado de especies incluidas en catálogos de conservación. **DD:** datos insuficientes; **LC:** preocupación menor; **NT:** casi amenazada; **VU:** Vulnerable; **EN:** en peligro; **CR:** en peligro crítico

Especie	UICN	D. hábitat Anexo II	C. Berna Anexo III	C. Barcelona Anexo II	Libro Rojo Nacional	Libro rojo R. Murcia
<i>Anguilla anguilla</i>	CR				VU	NT
<i>Atherina boyeri</i>	LC				VU	VU
<i>Aphanius iberus</i>	EN	X	X	X	EN	EN
<i>Hippocampus guttulatus</i>	DD		X	X		CR
<i>Pomatoschistus marmoratus</i>	LC					VU
<i>Syngnathus abaster</i>	LC		X		LT	NT
<i>Syngnathus acus</i>	LC					DD
<i>Solea solea</i>	DD					VU
<i>Syngnathus typhle</i>	LC					DD

Para el cálculo de las métricas 1 (riqueza de especies), 7 (riqueza de especies residentes), 8 (riqueza de especies migradoras marinas), 11 (riqueza de especies zoobentívoras) y 12 (riqueza de especies piscívoras) se procedió a la elaboración de **curvas de acumulación** que reflejan el número máximo de especies detectadas (total de especies, residentes, migrantes, zoobentívoras y piscívoras), en relación a la superficie de muestreo. Las ecuaciones resultantes permiten obtener los valores máximos teóricos del número de especies, según sea la métrica, para cada superficie de muestreo.

De esta forma, el cálculo de cada una de las métricas en las diferentes unidades de muestreo se realizó como la proporción de especies, obtenida en cada localidad y periodo, respecto a la riqueza teórica reflejada para una superficie de 480 m². La métrica 5 (dominancia), debido a sus particularidades no alberga relación proporcional con curvas de acumulación y/o diferentes unidades espaciales, por lo que se utilizó el valor más alto obtenido en una localidad durante toda la serie temporal para cada estación de muestreo.

Las diferentes métricas se calcularon de forma individual para cada una de las localidades de estudio en las diferentes réplicas temporales. Los valores obtenidos para cada métrica se han ponderado atendiendo a los criterios y umbrales de puntuación expuestos en la Tabla 3.9.

Tabla 3.9. Adaptación del índice EMFI. Rangos de valores de las métricas y criterios de puntuación.

Métrica	Puntuación					
	1	2	3	4	5	
Diversidad y composición de especies						
1	Riqueza específica	<20%	≥20% - <40%	≥40% - <60%	≥60% - <80%	≥80%
2	Estatus de conservación de la comunidad	0	1-2	3-4	5-6	≥7
3	Composición de especies	<20%	≥20% - <40%	≥40% - <60%	≥60% - <80%	≥80%
Abundancia						
4	Abundancia de especies	<10%	≥10% - <20%	≥20% - <30%	≥30% - <40%	≥40%
5	Dominancia	<20%	≥20% - <40%	≥40% - <60%	≥60% - <80%	≥80%
Uso de las áreas someras						
6	Nº especies diádromas	0	1	2-3	4-5	≥6
7	Riqueza de especies residentes	<20%	≥20% - <40%	≥40% - <60%	≥60% - <80%	≥80%
8	Riqueza de especies migradoras	<20%	≥20% - <40%	≥40% - <60%	≥60% - <80%	≥80%
9	Abundancia de especies residentes	<5% o >95%	≥5% - <15% o >85% - ≤95%	≥15% - <25% o >75% - ≤85%	≥25% - <40% o >60% - ≤75%	≥40% - ≤60%
10	Abundancia de especies migradoras	<5% o >95%	≥5% - <15% o >85% - ≤95%	≥15% - <25% o >75% - ≤85%	≥25% - <40% o >60% - ≤75%	≥40% - ≤60%
Integridad trófica						
11	Riqueza de especies zoobentívoras	<20%	≥20% - <40%	≥40% - <60%	≥60% - <80%	≥80%
12	Riqueza de especies piscívoras	<20%	≥20% - <40%	≥40% - <60%	≥60% - <80%	≥80%
13	Abundancia de especies zoobentívoras	<5% o >95%	≥5% - <10% o >90% - ≤95%	≥10% - <25% o >75% - ≤90%	≥25% - <40% o >60% - ≤75%	≥40% - ≤60%
14	Abundancia de especies piscívoras	0%	0% - <1%	≥1% - <5%	≥5% - <10%	≥10%

3.1.7. Análisis estadístico

Para el análisis e interpretación de los datos se utilizó el software R (R Core Team, 2021). Para la visualización de resultados se generaron gráficos de puntos con *ggplot2* (Wickham, 2016), representando los promedios de cada métrica por campaña de muestreo junto a su correspondiente error estándar.

En relación con los tests estadísticos utilizados, se realizaron análisis de varianza (ANOVA) sobre modelos que incluyen aditivamente el sector y el año en el caso de las métricas estudiadas desde el arrastre como réplica (abundancia de taxones, abundancia y biomasa total), y que incluyen solo el año en el caso de que el sector fuera la réplica analizada (riqueza, diversidad y EMFI). Para los modelos de abundancias de taxones, abundancia y biomasa total se utilizaron familias binomiales inversas de error, mientras que, para la riqueza, diversidad y EMFI, se utilizaron familias gaussianas. Además, sobre estos modelos, se realizaron tests por pares con ajuste de Bonferroni utilizando la librería *emmean* (Lenth, 2024). Estos se realizaron para las estaciones de invierno y primavera, con el fin de ver para cada métrica analizada la situación de estas últimas campañas de muestreo respecto al resto de inviernos y primaveras.

3.2. Marco de seguimiento de *Callinectes sapidus* Rathbun (1896) en Las Encañizas del Mar Menor

En el presente apartado se describen las actuaciones realizadas en el marco de la red de monitoreo predefinida para el estudio de las poblaciones de cangrejo azul en Las Encañizadas del Mar Menor. Siguiendo la sectorización espacial del área de estudio definida en los proyectos previos, se han establecido dos sectores bien diferenciados: el primero de ellos con elevada influencia del Mar Menor, situado en la proximidad de las salinas de San Pedro del Pinatar (Sector Norte), y un sector con influencia mediterránea situado en la zona sur de Las Encañizadas, colindante con el extremo norte de La Manga (Sector Sur) (Fig.3.4). El hábitat intermareal sobre el que se realizan los muestreos se encuentra representado por praderas monoespecíficas de *Cymodocea nodosa* (Ucria) Ascherson (1870) y mixtas junto a *Caulerpa prolifera* (Forsskål) J.V. Lamouroux, (1809), siendo la naturaleza del sustrato principalmente fango-arenosa.

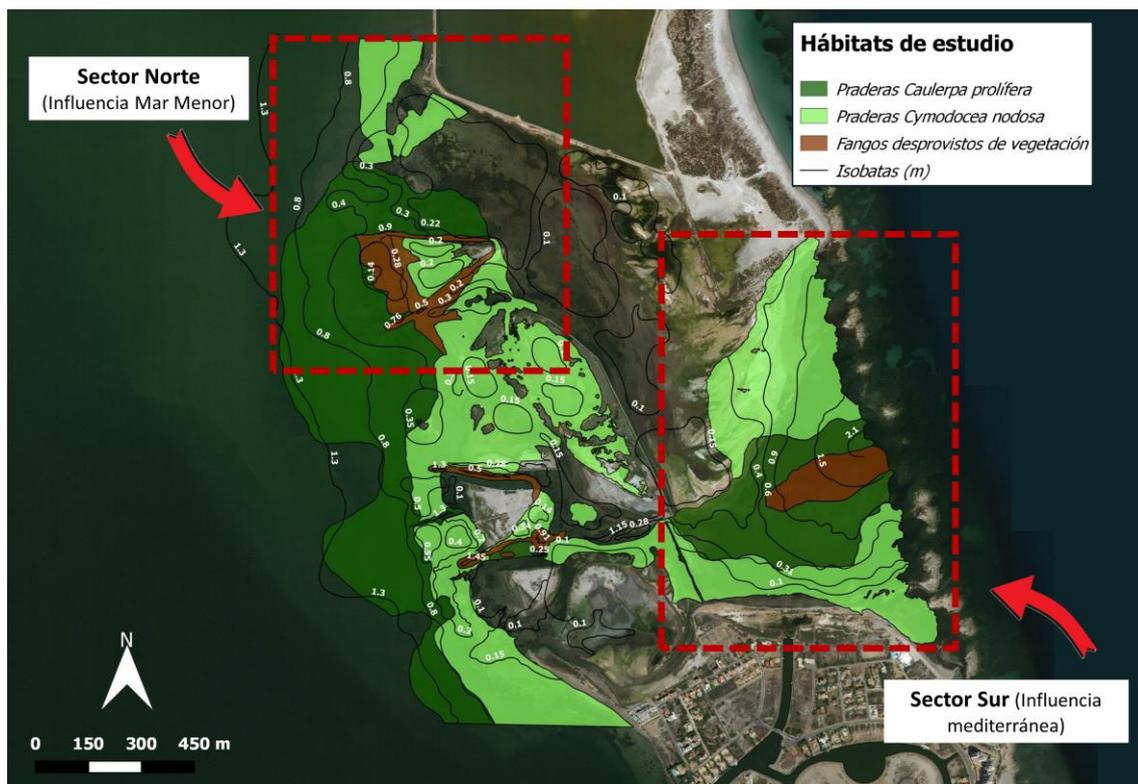


Figura 3.4. Sectorización y distribución de hábitats objetivo de muestreo de *Callinectes sapidus* en la Encañizada del Mar Menor. Fuente: Elaboración propia a partir de revisión y actualización de la cartografía y batimetría de Belando et al. (2014).

3.2.1. Periodicidad de muestreo.

Entre noviembre de 2021 y noviembre de 2023 se realizaron muestreos bimensuales destinados a: (1) conocer como el cangrejo azul utiliza los distintos hábitats de la Encañizada, (2) evaluar la efectividad de distintas tipologías de trampa y (3) hacer una primera aproximación a su ciclo de vida. Una vez obtenidos estos datos, con el fin de mejorar el conocimiento relativo a la estrategia de vida de la especie y su biología poblacional, se plantea para el año 2024 realizar muestreos cada 15 días durante el periodo de máxima actividad de la especie (mayo-octubre).

3.2.2. Localidades de muestreo: Tareas de campo.

Las tareas de campo a desarrollar se centraron en el muestreo de la especie objetivo mediante el uso de las técnicas de captura más eficaces (nasas simples y nasas anguileras para el espectro general de tallas, y *minnow-traps* para los ejemplares de menor tamaño) de acuerdo con los datos obtenidos en los años 2021-23. Para el desarrollo de cada una de las nuevas campañas de muestreo quincenales se considera necesaria la implicación de dos investigadores, durante 2 días, divididos estos en: Día 1) colocación de trampas; Día 2) revisión y retirada de trampas. Para facilitar la logística del muestreo, estas trampas serán colocadas en el hábitat de *Cymodocea nodosa* de cada uno de los sectores, ya que es una de las zonas que alberga mayores densidades de la especie, y se encuentra próxima a la zona de estacionamiento de vehículos.

Las tareas de campo que se realicen en cada una de las localidades de muestreo quedan englobadas en:

- (1) Evaluación de la población de *Callinectes sapidus*: Realización de muestreos cuantitativos (estandarizados según tiempo de actividad de las trampas).
- (2) Evaluación de hábitat (Tipificación físico-química y biótica)

3.2.3. Evaluación de la población de *Callinectes sapidus* en la Encañizada del Mar Menor: Métodos de captura.

Durante la ejecución de la fase inicial del proyecto “*Estudio y seguimiento espaciotemporal de poblaciones faunísticas de gestión prioritaria (ictiofauna y la especie invasora Callinectes sapidus): situación actual en zonas someras e*

intermareales del Mar Menor” (2022-2023), se testó en Las Encañizadas del Mar Menor la eficacia de captura de cuatro tipologías de trampas. Los resultados mostraron una elevada tasa de captura para todas las trampas, a excepción de las denominadas cangrejeras. Por ello, para la fase actual del proyecto esta tipología de trampa es descartada para el estudio y seguimiento de las poblaciones de *Callinectes sapidus* (Fig. 3.5; Tabla 3.10). Asimismo, las tres tipologías de trampas empleadas nos garantizan la captura del espectro total de tallas de la especie, desde ejemplares juveniles hasta individuos adultos reproductores. Cabe resaltar la importancia de capturar individuos juveniles y reproductores de *C. sapidus* con el objetivo de definir correctamente la época reproductora y el reclutamiento de la especie, información de gran utilidad para diseñar medidas de gestión orientadas a su control. Teniendo en cuenta el rasgo trófico de la especie, las trampas fueron cebadas con carne de pollo para aumentar la efectividad de las mismas (Ingram & Marler, 1998).

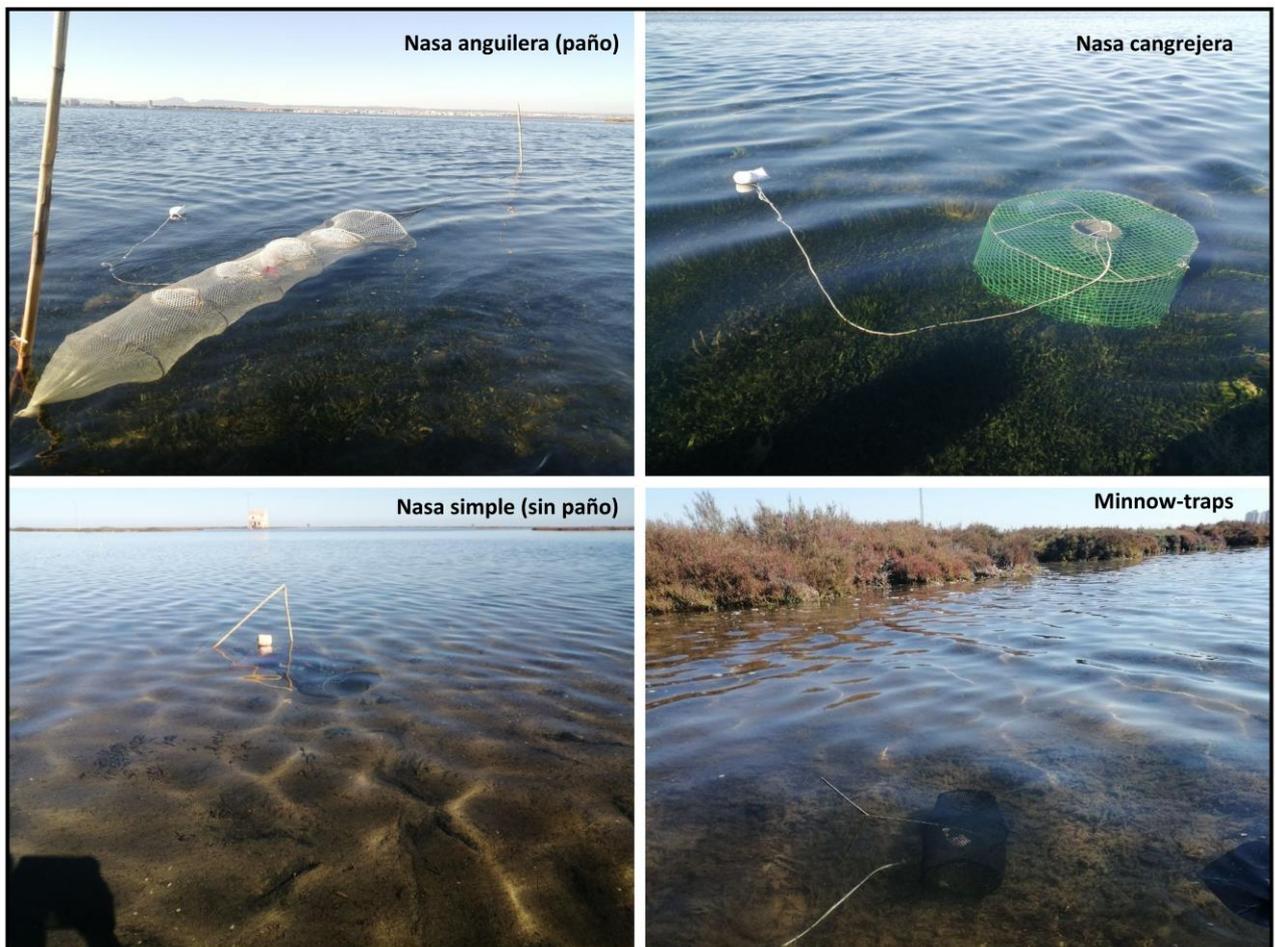


Figura 3.5. Tipologías de trampas utilizadas en el seguimiento de *Callinectes sapidus* en la Encañizada del Mar Menor. Las nasas cangrejeras han sido eliminadas del actual proyecto dadas su baja eficacia de captura demostrada en la primera fase del proyecto.

Tabla 3.10. Diseño y esfuerzo de muestreo por hábitat de sector.

ESFUERZO DE MUESTREO POR SECTOR
<p>Metodología:</p> <p>Nasa simple (sin paño): (80 cm longitud x 35 cm altura), 15 mm Luz de malla.</p> <p>Nasa anguilera (con paño): (120 cm longitud x 40 cm altura // Longitud paño: 200 cm), 20 mm Luz de malla.</p> <p><i>Minnow-traps</i>: (23 cm diámetro x 20 cm altura), 10 mm Luz de malla.</p> <p>Esfuerzo de Muestreo:</p> <p>15 Nasas simples por Sector</p> <p>5 Nasas anguileras por Sector</p> <p>5 <i>Minnow-traps</i> por Sector</p> <p>Resultados:</p> <p>Capturas por Unidad de Esfuerzo (CPUEs = nº individuos / 24h. de actividad)</p>

3.2.4. Evaluación de variables abióticas y bióticas: Tipificación de hábitat.

Se registrarán variables de hábitat en cinco puntos de cada sector, permitiendo obtener información respecto a la selección de mesohábitats que realiza la especie objetivo en el área de estudio. A continuación, se recopilan las variables a registrar en campo:

Tabla 3.11. Variables de hábitat evaluadas en los muestreos.

	Unidad de medida
Variables físico-químicas	
Profundidad	cm
Oxígeno disuelto	mg/l
Saturación oxígeno	%
Temperatura	°C
Ph	-
Conductividad	µS-mS/cm ²
Salinidad	‰
Granulometría Sustrato	Escala ordinal (1-4) 1= Limos 2= Arenas 3= Gravas/Conchas 4= Cantos/Guijarros (Modificado de: Bain, 1999)
Heterogeneidad Sustrato	Desviación estándar de la Granulometría (Bain y Stevenson, 1999)
Variables bióticas	
Vegetación acuática. (Recubrimiento a nivel de especie)	% / m ²
Volumen/densidad	Escala ordinal (1-5)

3.2.5. Procesado de material y obtención de datos.

Material de estudio

Los ejemplares de *Callinectes sapidus* capturados serán trasladados en recipientes individuales y refrigerados para su procesado en laboratorio. En primer lugar, se realizan medidas corporales de los ejemplares con la ayuda de un Pie de rey. También se determinará el sexo de los individuos y el estado de desarrollo (maduro e inmadura) en base a la morfología del Pleón (abdomen), registrando además la presencia o ausencia de puestas de huevos en las hembras. Estos datos permiten obtener información relativa a la estructura de tallas de la población y a la fenología reproductiva de la especie en el área de estudio.

Tabla 3.12. Descripción de las variables a analizar correspondientes a la especie invasora *Callinectes sapidus*.

Nivel de análisis = <i>Callinectes sapidus</i>		
<i>Variables</i>	<i>Metodología</i>	<i>Resultados de Análisis</i>
Nº individuos	Conteo y procesado	Abundancia especie
Longitud	Pie de rey / Ictiómetro (± 1 mm)	Distribución/estructura de tallas
Sexo	Sexado	Fase de desarrollo (Maduro / inmaduro)
		Parámetros poblacionales



Figura 3.6. Procesado y toma de medidas de ejemplares de *Callinectes sapidus* en laboratorio.

4. Resultados del proyecto.

4.1. Ejecución de las campañas de muestreo de ictiofauna en el marco del proyecto.

Invierno 2024

Programa de seguimiento a escala de red de monitoreo:

Localidades prospectadas (enero): 18 Localidades pertenecientes al programa de seguimiento predefinido (Tabla 4.1)

Unidades de muestreo de comunidad de peces: 54 arrastres cuantitativos + 12 arrastres cualitativos.

Evaluaciones de mesohábitat (profundidad, sustrato, temperatura, conductividad, salinidad, transparencia, vegetación acuática): 54 evaluaciones.

Primavera 2024

Programa de seguimiento a escala de red de monitoreo:

Localidades prospectadas (abril-mayo): 18 Localidades pertenecientes al programa de seguimiento predefinido (Tabla 4.1)

Unidades de muestreo de comunidad de peces: 54 arrastres cuantitativos + 12 arrastres cualitativos.

Evaluaciones de mesohábitat (profundidad, sustrato, temperatura, conductividad, salinidad, transparencia, vegetación acuática): 54 evaluaciones.

Tabla 4.1. Muestreos de ictiofauna realizados en el marco del Proyecto.

Sector	Localidad	Coord. XX	Coord. YY	Fecha Invierno	Fecha Primavera
AS00	Las Encañizadas	37°46'44.8"N	0°45'23.1"W	30/01/2024	23/04/2024
AS01	Escuela de Pieter	37°46'05.0"N	0°44'54.6"W	30/01/2024	
AS01	Navemar	37°45'11.4"N	0°44'31.5"W		23/04/2024
AS02	Paquebote	37°44'15.3"N	0°44'21.2"W	30/01/2024	
AS02	Punta Seca	37°43'42.4"N	0°44'23.7"W		19/04/2024
AS03	Área Sunset	37°42'20.7"N	0°44'34.2"W	01/02/2024	
AS03	Rte. El Molino	37°41'57.2"N	0°44'28.4"W		19/04/2024
AS04	Bahía de las Palmeras	37°39'40.3"N	0°43'42.5"W	01/02/2024	
AS04	Gola de Marchamalo Sur	37°39'02.2"N	0°43'21.9"W		19/04/2024
AS05	El Arsenal	37°38'18.9"N	0°45'05.5"W	24/01/2024	12/04/2024
AS06	Mar de Cristal Norte	37°38'40.4"N	0°45'52.8"W	18/01/2024	
AS06	Mar de Cristal Sur	37°38'29.9"N	0°45'26.8"W		12/04/2024
AS07	Los Nietos Sur	37°38'57.4"N	0°46'53.2"W		23/04/2024
AS07	Los Nietos Norte	37°39'05.5"N	0°47'17.6"W	18/01/2024	
AS08	Lo Poyo Sur	37°39'24.8"N	0°48'01.3"W	18/01/2024	
AS08	Estrella de Mar	37°40'13.7"N	0°49'10.7"W		18/04/2024
AS09	Los Urrutias Sur	37°40'46.5"N	0°49'39.4"W	22/01/2024	
AS09	Los Urrutias Norte	37°41'27.1"N	0°50'08.8"W		16/04/2024
AS10	Carmolí 1º Párking	37°42'44.8"N	0°51'23.0"W	22/01/2024	
AS10	Carmolí 2º Párking	37°42'19.4"N	0°50'57.1"W		16/04/2024
AS11	Camping Carthago	37°43'07.3"N	0°51'36.1"W	22/01/2024	
AS11	Venta Simón	37°43'16.7"N	0°51'35.6"W		16/04/2024
AS12	Los Alcázares Sur	37°44'21.1"N	0°50'54.4"W	23/01/2024	
AS12	Los Alcáceres Norte	37°44'31.4"N	0°50'56.3"W		11/04/2024
AS13	La Hita Sur	37°45'42"N	0°49'16.1"O	23/01/2024	18/04/2024
AS14	Camping Hita N	37°46'07.0"N	0°48'52.3"O	23/01/2024	18/04/2024
AS15	Villananitos Sur	37°49'07.9"N	0°47'02.8"W		11/04/2024
AS15	Villananitos Norte	37°49'11.8"N	0°46'38.8"W	24/01/2024	
AS16	Molino Calcetera	37°47'45.9"N	0°45'41.2"W	24/01/2024	11/04/2024
AS17	Punta Lengua de Vaca	37°38'48.7"N	0°46'16.2"W	01/02/2024	12/04/2024

4.2. Evolución temporal de parámetros o métricas descriptoras de la comunidad ictícola de las áreas someras.

Abundancia y biomasa total de capturas

En la campaña de muestreo de invierno de 2024 se obtuvieron valores de abundancia similares a los registrados en 2022 y 2023 (Fig. 4.1), años en los cuales el volumen de capturas disminuyó considerablemente respecto al resto de réplicas anuales de la serie temporal. La comunidad estuvo principalmente dominada por mugílidos migradores y de marcada estacionalidad en la laguna, como *Chelon saliens*, *Chelon auratus* y *Mugil cephalus* (ver tabla 4.2), así como por juveniles de chirrete (*Atherina boyeri*), especie residente y de interés pesquero. Por su lado, los datos de abundancia obtenidos durante la primavera de 2024 suponen un incremento de los valores de esta métrica, siendo estas cifras incluso superiores a las registradas de forma previa a las mortandades de fauna acuática acontecidas en otoño de 2019 y finales de verano de 2021. Casi el 60% de las capturas correspondieron a *A. boyeri*, con una densidad promedio de 158 individuos por arrastre (160m²). Esta especie, pese a estar bien distribuida en la laguna, suele capturarse en grandes bancos y en arrastres concretos, lo que aporta ciertas diferencias entre localidades, tal y como indica la amplitud del intervalo de confianza (Fig. 4.1). No obstante, cabe destacar cómo otras especies residentes y típicas de las comunidades ictícolas de las áreas someras del Mar Menor, tales como *Pomatoschistus marmoratus* o *Syngnathus abaster*, mostraron una alta representatividad, el 12% y el 4% de las capturas, respectivamente. Igualmente, destaca la baja contribución al total de capturas de las especies que buscaron refugio y hábitats alternativos a las zonas profundas en las áreas someras de la laguna durante los eventos de mortandad y tras los mismos, como *Symphodus cinereus* y *Gobius niger*, representando en ambos casos menos del 0,2% de las capturas. El reparto de contribución de los valores de abundancia entre las diferentes especies parece reflejar un proceso de recuperación de la estructura típica de la comunidad de peces de las áreas someras del Mar Menor. No obstante, el seguimiento continuado permitirá corroborar si esta tendencia se mantiene en el tiempo o los resultados obtenidos se deben a respuestas poblacionales puntuales asociadas a factores estocásticos.

Tabla 4.2. Listado de taxones detectados en las áreas someras del Mar Menor. Se incluyen CPUEs (nº ind./160m2) y FA (Frecuencia de Aparición= nº presencias del taxón/nº total arrastres). Q= especie únicamente detectada en muestreos cualitativos. “**”: especie detectada por primera vez en el seguimiento de áreas someras.

Listado de taxones detectados – INVENTARIO

Familia	Nombre científico	Invierno 2024		Primavera 2023	
		CPUEs	FA	CPUEs	FA
Anguillidae	<i>Anguilla anguilla</i> (L., 1758)	0,00	0,00	0,09	0,07
Atherinidae	<i>Atherina boyeri</i> Risso, 1810	26,35	0,70	158,00	0,85
Belonidae	<i>Tylosurus acus</i> (Lacepède, 1803)	0,00	0,00	0,31	0,17
Blennidae	<i>Aidablennius sphyinx</i> (Valenciennes, 1836)*	Q	Q	0,00	0,00
	<i>Microlipophrys dalmatinus</i> (Steindachner & Kolombatovic, 1883)	0,02	0,02	0,13	0,09
	<i>Salaria pavo</i> (Risso, 1810)	0,20	0,13	2,76	0,52
Cyprinodontidae	<i>Apricaphanius iberus</i> (Valenciennes, 1846)	1,5	0,22	0,44	0,09
Gobiidae	<i>Gobius cobitis</i> Pallas, 1814	0,00	0,00	8,28	0,61
	<i>Gobius niger</i> L. 1758	0,04	0,04	0,17	0,13
	<i>Gobius paganellus</i> L. 1758	0,00	0,00	Q	Q
	<i>Pomatoschistus marmoratus</i> (Risso, 1810)	2,93	0,48	31,85	0,93
Labridae	<i>Symphodus cinereus</i> (Bonnaterre, 1788)	0,43	0,22	0,33	0,15
Moronidae	<i>Dicentrarchus labrax</i> (L., 1758)	0,00	0,00	2,37	0,09
Mugilidae	<i>Chelon auratus</i> (Risso, 1810)	73,74	0,85	37,72	0,93
	<i>Chelon labrosus</i> (Risso, 1827)	Q	Q	0,00	0,00
	<i>Chelon saliens</i> (Risso, 1810)	52,98	0,59	8,93	0,74
	<i>Mugil cephalus</i> L., 1758	12,80	0,22	0,00	0,00
Soleidae	<i>Solea senegalensis</i> Kaup, 1858	0,02	0,02	0,09	0,04
Sparidae	<i>Diplodus puntazzo</i> (Walbaum, 1792)	0,17	0,06	0,06	0,06
	<i>Diplodus sargus</i> (L., 1758)	0,00	0,00	6,00	0,22
	<i>Diplodus vulgaris</i> (Geoffroy Saint-Hilaire, 1817)	0,00	0,00	0,80	0,15
	<i>Sparus aurata</i> L., 1758	0,20	0,15	0,67	0,13
Syngnathidae	<i>Syngnathus abaster</i> Risso, 1827	3,15	0,56	10,24	0,76
	<i>Syngnathus typhle</i> L., 1758	0,02	0,02	0,17	0,15

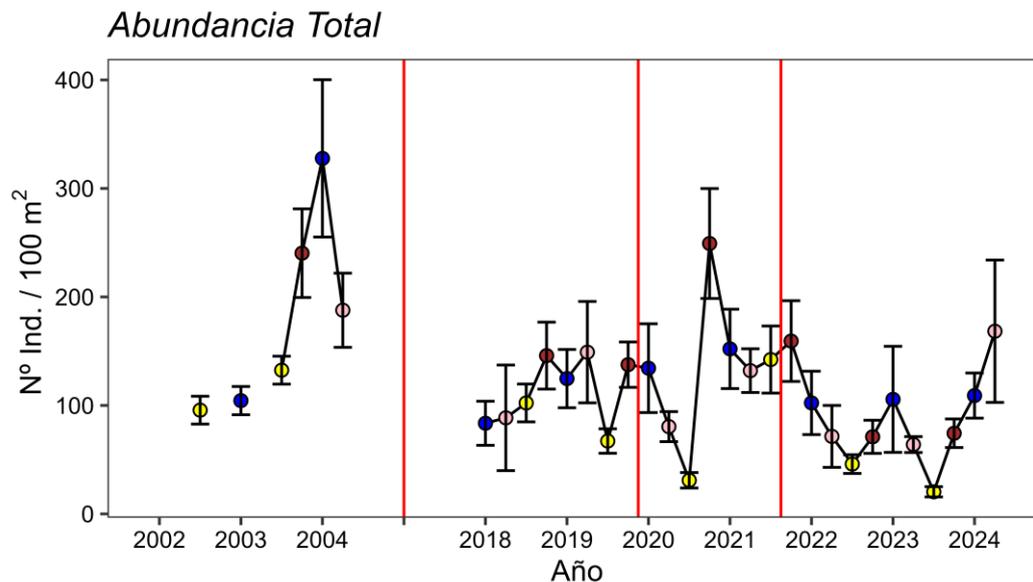


Figura 4.1. Evolución temporal de la abundancia total de peces en las áreas someras del Mar Menor. Las líneas rojas reflejan las distintas crisis eutróficas sucedidas (2015: mortandad de praderas en profundidad; 2019: mortandad masiva de peces en cubeta norte; 2021: mortandad masiva de peces en cubeta este y sur).

Los valores de biomasa mostraron un patrón similar al descrito por la abundancia de capturas (Fig. 4.2), si bien el reducido tamaño de los juveniles de algunas de las especies más abundantes (p. ej. *Atherina boyeri*) amortigua dichos valores. La biomasa de capturas detectada en invierno de 2024 representa la más baja de la serie temporal analizada, aunque no se mostró significativamente inferior a la detectada en los últimos años de seguimiento. De forma opuesta, aunque no significativa estadísticamente, los valores de biomasa detectados durante la campaña de primavera mejoraron respecto a los registrados en 2022 y 2023, situándose en cifras próximas a las obtenidas de forma previa a las mortandades de final de verano de 2021. Independientemente de los valores de abundancia, la diferencia en la respuesta de esta métrica entre ambas estaciones se encuentra en gran medida asociada a cambios estacionales en la composición de especies de la comunidad de peces. En este sentido, durante el invierno la comunidad se encuentra principalmente dominada por mugílidos y doradas (*Sparus aurata*), especies con elevada biomasa en relación a la longitud de sus estadios juveniles. Sin embargo, el escaso número de doradas capturadas, junto con la alta representación de juveniles de *A. boyeri* de escasa biomasa, condicionan en invierno los bajos valores de esta métrica.

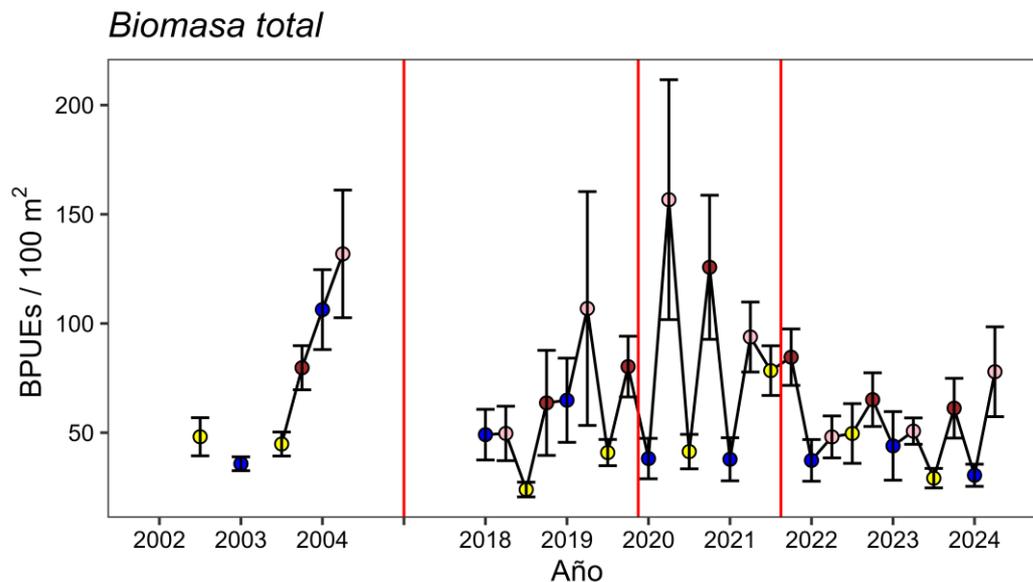


Figura 4.2. Evolución temporal de la biomasa total de peces en las áreas someras del Mar Menor. Las líneas rojas reflejan las distintas crisis eutróficas sucedidas (2015: mortandad de praderas en profundidad; 2019: mortandad masiva de peces en cubeta norte; 2021: mortandad masiva de peces en cubeta este y sur).

Riqueza e índice de Shannon-Wiener

Los valores de riqueza obtenidos en invierno de 2024 se corresponden con los valores más bajos detectados en la serie temporal (Fig. 4.3), si bien estadísticamente solo se mostraron inferiores a los registrados en 2004. En cualquier caso, y pese a que invierno y verano son habitualmente las estaciones con menor registro de especies, estos datos reflejan una comunidad muy simplificada. Por el contrario, los resultados obtenidos en la estación de primavera muestran una riqueza promedio de especies más próxima a la habitual, no existiendo diferencias estadísticas entre las primaveras incluidas en la serie temporal analizada.

La diversidad de la comunidad de peces de las áreas someras del Mar Menor, siendo ésta considerada como el valor obtenido tras la aplicación del índice de Shannon, mostró en invierno de 2024 los peores valores promedio observados dentro de la serie temporal analizada (Fig. 4.4). No obstante, estadísticamente la diversidad solo fue significativamente inferior a la obtenida en los inviernos de 2019 y 2021, en ambos casos precediendo los eventos de mortandad. Sin embargo, al igual que ocurre con la métrica de riqueza de especies, los valores de primavera reflejaron cifras habituales, siendo igual estadísticamente al resto de primaveras recogidas en el seguimiento. En cualquier caso, debe tenerse en

cuenta que la equitatividad o dominancia de especies entre las capturas condiciona en gran medida los valores de esta métrica, por lo que estos datos deben ser interpretados en todo momento considerando la abundancia relativa de las diferentes especies.

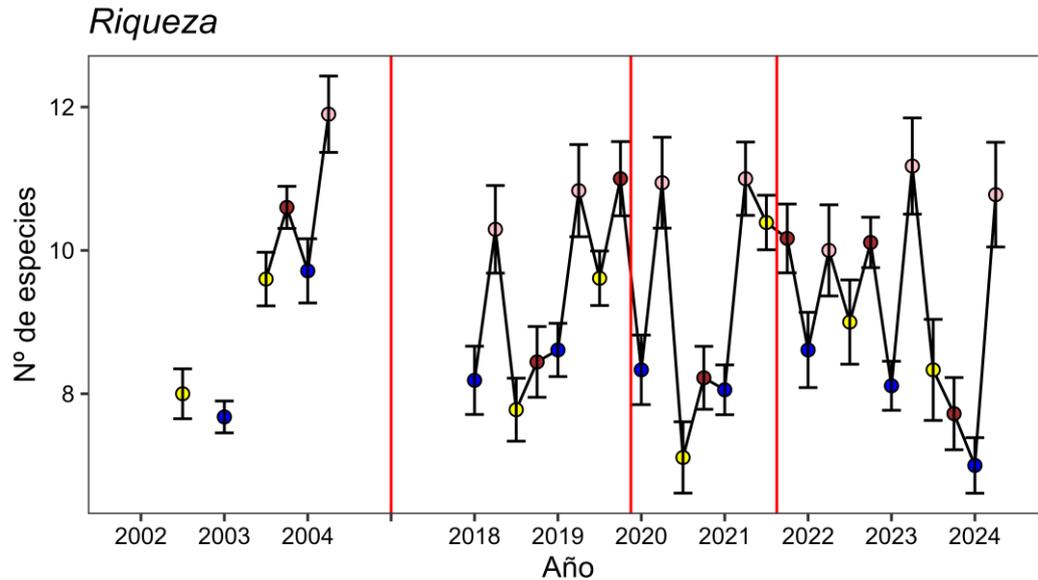


Figura 4.3. Evolución temporal de la riqueza de especies en las áreas someras del Mar Menor. Las líneas rojas reflejan las distintas crisis eutróficas sucedidas (2015: mortandad de praderas en profundidad; 2019: mortandad masiva de peces en cubeta norte; 2021: mortandad masiva de peces en cubeta este y sur).

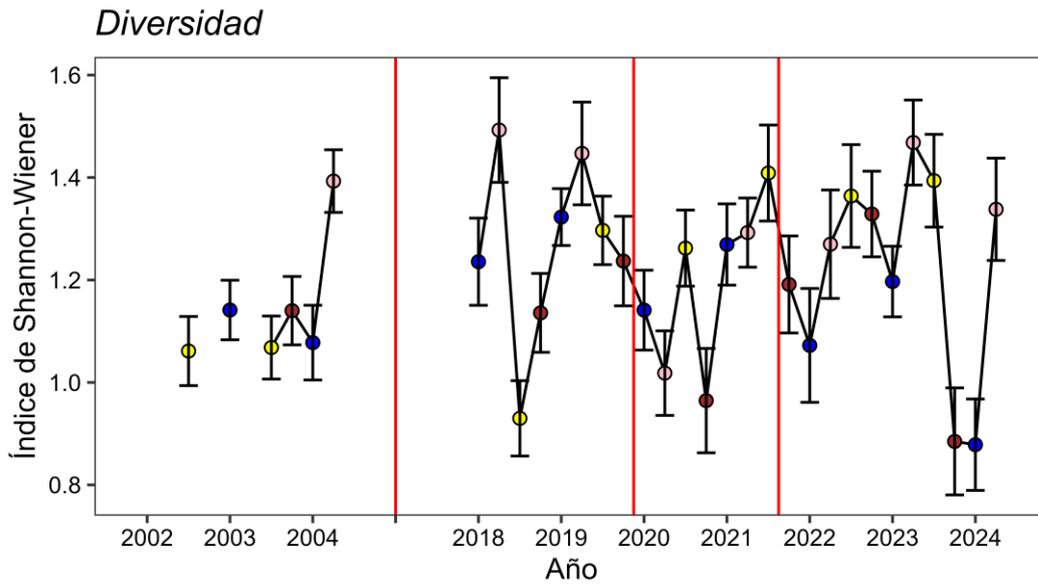


Figura 4.4. Evolución temporal del índice de diversidad de Shannon-Wiener en las áreas someras del Mar Menor. Las líneas rojas reflejan las distintas crisis eutróficas sucedidas (2015: mortandad de praderas en profundidad; 2019: mortandad masiva de peces en cubeta norte; 2021: mortandad masiva de peces en cubeta este y sur).

Estuarine Multimetric Fish Index (EMFI) modificado

La evolución temporal de la calidad ecológica de las áreas someras del Mar Menor, estimada a través del indicador basado en la comunidad de peces *EMFI*, reflejó durante invierno de 2024 los valores promedio más bajos obtenidos para este indicador en las estaciones invernales recogidas en la serie temporal (Fig. 4.5). No obstante, la calidad ecológica de las áreas someras solo se mostró estadísticamente inferior a los valores obtenidos en 2019 y 2021. Tras los episodios de mortandad acontecidos en dichas fechas, la calidad ecológica se vio resentida, alcanzando los valores mínimos entre verano de 2023 e invierno de 2024. Sin embargo, los valores obtenidos en primavera de 2024 reflejan una dinámica opuesta, manteniendo los valores promedio de calidad ecológica de las localidades en consonancia con las estaciones de primavera anteriormente muestreadas. En cualquier caso, esta aparente positiva respuesta de la comunidad de peces debe ser entendida con precaución, ya que la confluencia en primavera de una diversa comunidad de peces que integra especies residentes y migradoras puede dar lugar a importantes cambios en el indicador.

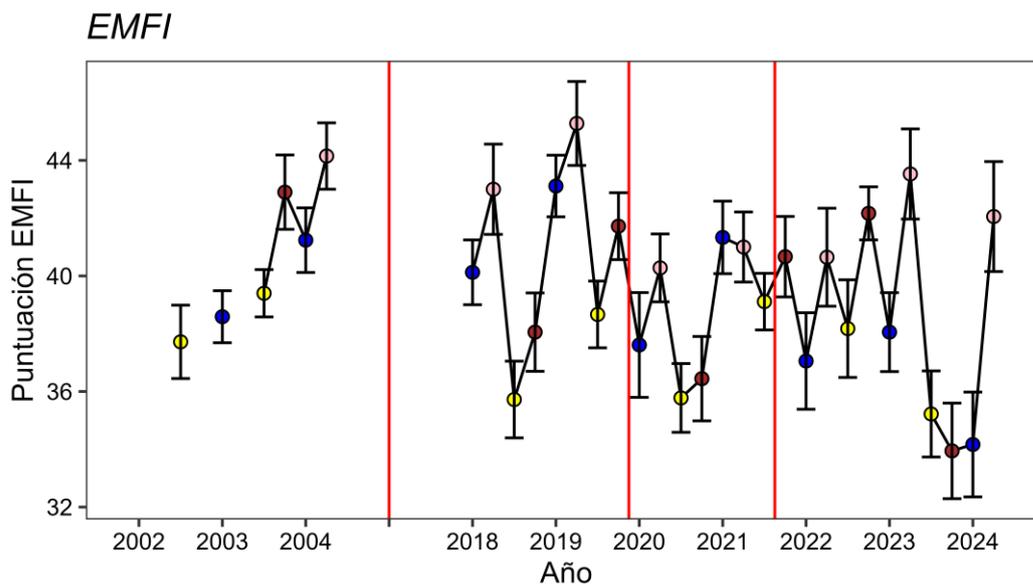


Figura 4.5. Evolución temporal del “Estuarine Multimetric Fish Index” adaptado (EMFI *) en las áreas someras del Mar Menor. Las líneas rojas reflejan las distintas crisis eutróficas sucedidas (2015: mortandad de praderas en profundidad; 2019: mortandad masiva de peces en cubeta norte; 2021: mortandad masiva de peces en cubeta este y sur).

4.3. Evolución temporal de taxones de interés de conservación e interés pesquero con cambios poblacionales relevantes.

En este apartado se describe la evolución temporal de la abundancia de taxones prioritarios, desde el punto de vista de su conservación o por su interés pesquero, que han mostrado cambios relevantes en su dinámica poblacional y que por ello se considera necesaria su inclusión en el informe intermedio del presente proyecto. Cabe recordar, que en el informe final del proyecto el número de especies analizadas y las métricas poblacionales evaluadas serán más extensas.

Aguja de río (*Syngnathus abaster*)

La aguja de río (*Syngnathus abaster*) mostró valores de abundancia muy bajos en invierno de 2024 (Fig. 4.6), siendo significativamente más bajos que los de los inviernos de 2018-19. No obstante, en primavera se alcanzaron los valores más altos para esta estación desde que aconteció la primera mortandad en 2019. De hecho, estos valores fueron significativamente superiores a las abundancias de las primaveras de los años 2020-21, lo que podría significar cierta recuperación de la especie en las áreas someras, facilitada por la mejora de los parámetros de calidad del agua en la laguna. No obstante, invierno y primavera son las estaciones con menores abundancias de la especie, ya que, en verano y otoño, el reclutamiento de juveniles de forma natural es mucho más marcado. Por ello, los resultados que se obtengan en las próximas campañas de muestreo serán necesarios para esclarecer la tendencia real de la especie.

Syngnathus abaster

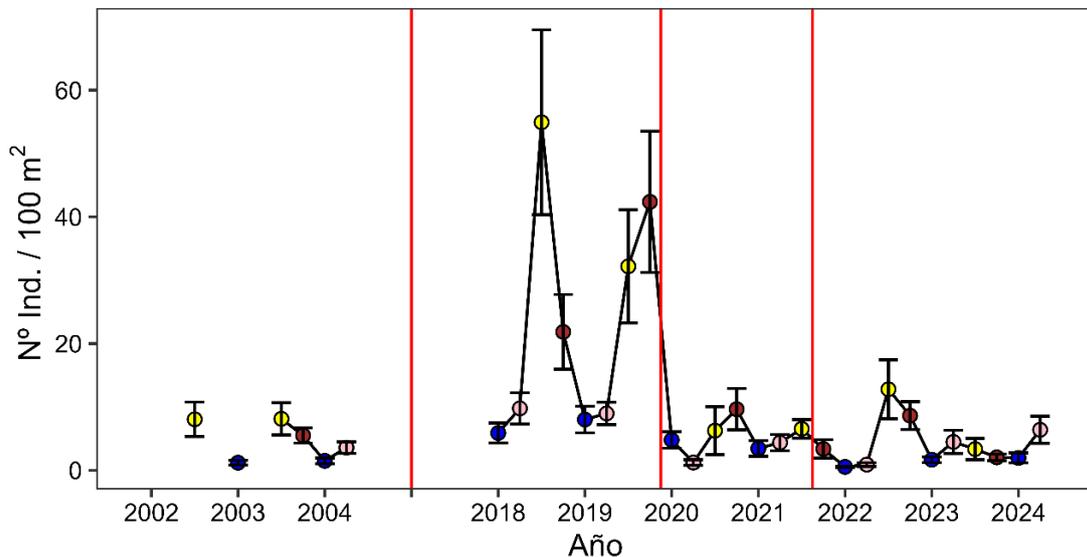


Figura 4.6. Evolución temporal de la abundancia de *Syngnathus abaster* en las áreas someras del Mar Menor. Las líneas rojas reflejan las distintas crisis eutróficas sucedidas (2015: mortandad de praderas en profundidad; 2019: mortandad masiva de peces en cubeta norte; 2021: mortandad masiva de peces en cubeta este y sur).

Zorro de arena (*Pomatoschistus marmoratus*)

Respecto al zorro de arena (*Pomatoschistus marmoratus*), invierno de 2024 también reflejó una situación de abundancias particularmente bajas (Fig. 4.7), siendo significativamente inferiores a la gran mayoría de inviernos muestreados (2003, 2004, 2018, 2019, 2020, 2021, 2023). No obstante, en primavera hubo un notable incremento, alcanzándose valores significativamente superiores a 2018, 2020 y 2022, lo que sugiere que la especie podría estar recuperando sus parámetros poblacionales tras la mejora de la calidad del agua en la laguna. No obstante, estos resultados deben interpretarse con cautela, siendo necesario ver el estatus poblacional de la especie en las futuras campañas de muestreo.

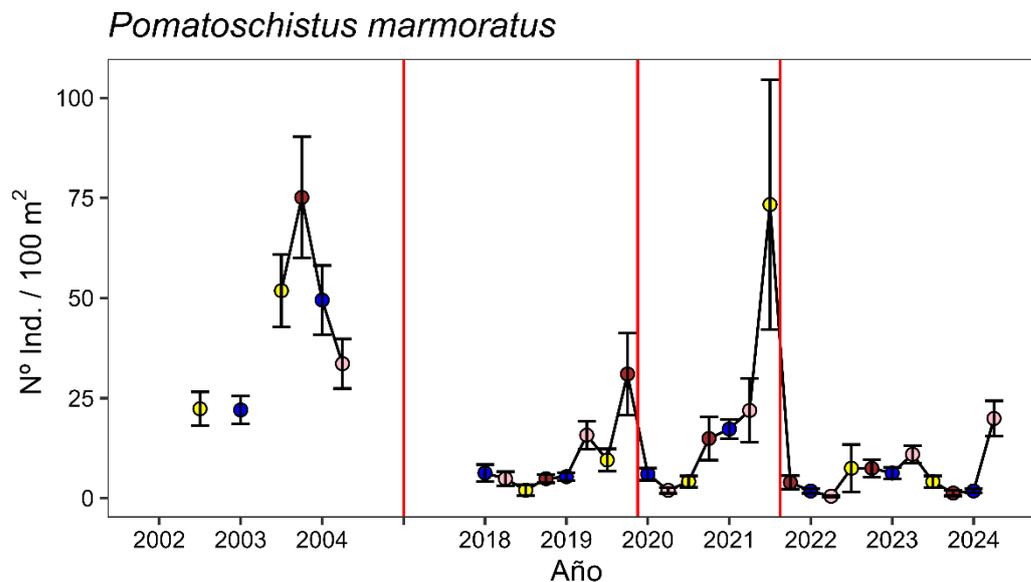


Figura 4.7. Evolución temporal de la abundancia de *Pomatoschistus marmoratus* en las áreas someras del Mar Menor. Las líneas rojas reflejan las distintas crisis eutróficas sucedidas (2015: mortandad de praderas en profundidad; 2019: mortandad masiva de peces en cubeta norte; 2021: mortandad masiva de peces en cubeta este y sur).

Dorada (*Sparus aurata*)

Con relación a la dorada (*Sparus aurata*), la tendencia de decremento en el reclutamiento de juveniles en áreas someras continúa, dándose valores particularmente bajos tanto en invierno como en primavera de 2024 (Fig. 4.8). De hecho, en invierno, estos valores son significativamente más bajos que los de la gran mayoría de inviernos muestreados (2003, 2004, 2018, 2019, 2021, 2022), sucediendo algo similar en primavera (2004, 2019, 2021, 2023). Al tratarse de especies migrantes, cuyos juveniles entran a la laguna en fases muy tempranas, la situación podría deberse a un conjunto de factores, relacionados tanto con la laguna como con el Mediterráneo. De esta manera, el reclutamiento de la especie podría verse afectado por el incremento de las temperaturas marinas, cambios en las corrientes dominantes, y/o con el propio cambio de estatus eutrófico que sufre la laguna desde 2015 y su repercusión sobre la red ecológica.

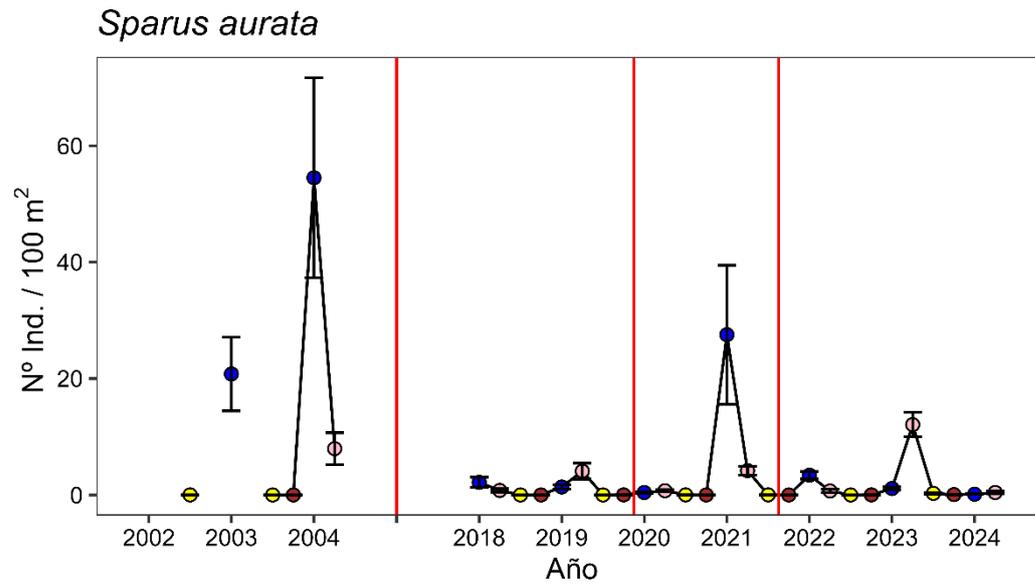


Figura 4.8. Evolución temporal de la abundancia de *Sparus aurata* en las áreas someras del Mar Menor. Las líneas rojas reflejan las distintas crisis eutróficas sucedidas (2015: mortandad de praderas en profundidad; 2019: mortandad masiva de peces en cubeta norte; 2021: mortandad masiva de peces en cubeta este y sur).

5. Conclusiones.

En el presente apartado se incluyen las conclusiones preliminares más relevantes respecto a los datos e información recabada hasta la fecha en el proyecto “*Estudio y seguimiento espaciotemporal de poblaciones faunísticas de gestión prioritaria (ictiofauna y la especie invasora Callinectes sapidus): situación actual en zonas someras e intermareales del Mar Menor*”:

- **Hasta la fecha, en el marco del presente proyecto se han realizado exitosamente las campañas de seguimiento de las comunidades de peces de las áreas someras del Mar Menor correspondientes a las estaciones de invierno y primavera de 2024, quedando pendientes las de verano y otoño, que se llevarán a cabo en los meses de julio y octubre, respectivamente.**
- **El seguimiento de la especie exótica invasora cangrejo azul (*Callinectes sapidus*) será llevado a cabo quincenalmente entre los meses de mayo y octubre, permitiendo mejorar el conocimiento sobre su estrategia de vida en el área de estudio durante su fase de mayor actividad.**
- Los análisis de las **métricas descriptoras de la comunidad** analizados en las dos últimas campañas de muestreo mostraron la continuación de una **comunidad empobrecida en invierno**, con escasas especies residentes (ej: *Syngnathus abaster*, *Pomatoschistus marmoratus*), pero también sin la presencia de las especies procedentes del fondo lagunar (p.ej.: *Gobius niger* y *Symphodus cinereus*). Sin embargo, **en primavera**, las especies residentes mostraron un incremento en abundancia, **aumentando los parámetros de abundancia y biomasa total, riqueza, diversidad y calidad ecológica (EMFI)**. Aunque estos resultados podrían ser fruto de una **recuperación de la comunidad típica de áreas someras gracias a la mejora de los parámetros de calidad de agua, debemos ser cautelosos, siendo preciso evaluar las posteriores campañas** de verano y otoño para tener una **imagen realista de la situación actual**.
- Respecto a los taxones evaluados, cabe destacar el **continuo decremento en las capturas de juveniles de dorada (*Sparus aurata*)**, aspecto que puede estar relacionado con **factores lagunares, y/o mediterráneos, dado su carácter migrador** (ej: cambios en corrientes, calentamiento marino y/o estado trófico de la laguna). Por el contrario,

las especies residentes típicas, como la **aguja de río** (*Syngnathus abaster*) y el **zorro de arena** (*Pomatoschistus marmoratus*), en **primavera de 2024 parecen mostrar un incremento en abundancia**, que podría significar cierta **recuperación de sus poblaciones**, como consecuencia de la **mejora de la calidad del agua**. Además, la detección de numerosos **ejemplares grávidos de aguja de río y juveniles en el caso del zorro de arena avala este hecho**. No obstante, las **prospecciones futuras** que se llevarán a cabo en las campañas de verano y otoño, tras el continuado reclutamiento de juveniles, **son necesarias para confirmar este hecho**.

6. Bibliografía.

- Arias, A.M. & P. Drake.** 1990. Estados juveniles de la Ictiofauna de los caños de las Salinas de la Bahía de Cádiz. Instituto de Ciencias Marinas de Andalucía. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. 163 pp.
- Bauchot, M.-L.,** 1987. Poissons osseux. En W. Fischer, ML Bauchot y M. Schneider (eds.) Fiches FAO d'identification pour les besoins de la pêche. (Rev. 1). Méditerranée et mer Noire. Zone de pêche 37. vol. II. Commission des Communautés Européennes y FAO, Roma. pags. 891-1421.
- Bauchot, M.L. & A. Pras.** 1993. Guía de los Peces de Mar de España y de Europa. *Ediciones Omega, S.A.* Barcelona. 432 pp.
- Corbera, J., A. Sabatés & A. García Rubies.** 1996. Peces de Mar de la Península Ibérica. *Editorial Planeta, S.A.* Barcelona. 312 pp.
- Deegan, L.A., Finn, J.T., Ayvazian, S.G., Ryder-Kiefer, C.A. & Buonaccorsi, J.,** 1997. Development and validation of an estuarine biotic integrity index. *Estuaries* 20: 601–617 1108.
- Fernández-Delgado, C., Drake, P. Arias, A.M. & D. García.** 2000. Peces de Doñana y su entorno. Organismo Autónomo Parques Nacionales. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid. 272 pp.
- Franco, A., Elliott, M., Franzoi, P. & Torricelli, P.** 2008. Life strategies of fishes in European estuaries: The functional guild approach. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 354: 219–228.
- Franco, A., Pérez-Ruzafa, A., Drouineau, H., Franzoi, P., Koutrakis, E.T., Lepage, M., Verdiell-Cubedo, D., Bouchoucha, M., López-Capel, A., Riccato, F., Sapounidis, A., Marcos, C., Oliva-Paterna, F.J., Torralva-Forero, M. & Torricelli, P.** 2012. Assessment of fish assemblages in coastal lagoon habitats: Effect of sampling method. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 112: 115–125.
- Hallett, C.S., Valesini, F.J. & Clarke, K.R.,** 2012. A method for selecting health index metrics in the absence of independent measures of ecological condition. *Ecol. Indic.* 19: 240–252.
- Harrison, T.D. & Kelly, F.L.** 2013. Development of an estuarine multi-metric fish index and its application to Irish transitional waters. *Ecol. Indic.* 34: 494–506.

- Harrison, T.D. & Whitfield, A.K.**, 2006. Application of a multimetric fish index to assess the environmental condition of South African estuaries. *Estuar. Coast.* 29.
- Hughes, J.E., Deegan, L.A., Weaver, M.J. & Costa, J.E.**, 2002. Regional application of an index of estuarine biotic integrity based on fish communities. *Estuaries* 25: 250–263.
- Ingram G. & Marler R.**, 1998. Fishing the Delaware Valley. Fishing Tales from the Delaware Valley. *Temple University Press*. 1: 248 pp.
- Jordan, S.J., Lewis, M.A., Harwell, L.M. & Goodman, L.R.** 2010. Summer fish communities in northern Gulf of Mexico estuaries: indices of ecological condition. *Ecol. Indic.* 10: 504–515.
- Lenth, R.** 2024. *_emmeans*: Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means. R package version 1.10.2, <<https://CRAN.R-project.org/package=emmeans>>.
- Miller, PJ**, 1986. Gobiidae. En PJP Whitehead, M.-L. Bauchot, J.-C. Hureau, J. Nielsen y E. Tortonese (eds.) Peces del Atlántico nororiental y el Mediterráneo. Volumen 3. UNESCO, París. pags. 1019-1085.
- Miller, D.L., Leonard, P.M., Hughes, R.M., Karr, J.R., Moyle, P.B., Schrader, L.H., Thompson, B.A., Daniels, R.A., Fausch, K.D., Fitzhugh, G.A., Gammon, J.R., Haliwell, D.B., Angermeier, P.L., Orth, D.J.**, 1988. Regional applications of an index of biotic integrity for use in water resource management. *Fisheries* 13: 12–20 –1120.
- Oksanen, J; Blanchet, F.G.; Friendly, M.; Kindt, R.; Legendre, P.; McGlinn, D.; Minchin, P.R.; O'Hara, R. B.; Simpson, G.L.; Solymos, P.; Stevens, M.H.H.; Szoecs, E. & Wagner, H.** 2020. *vegan*: Community Ecology Package. R package version 2.5-7. <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>
- Oliva Paterna, F., Andreu Soler, M., Miñano, P., Verdiell Cubedo, D., Caballero, J., Egea Serrano, A., Maya, J., Ruiz Navarro, A. & Torralva Forero, M.** 2003. Ictiofauna de zonas someras del Mar menor (SE Península Ibérica): Especies con presencia de alevines y juveniles. *An. Biol.* 206–208.
- Oliva-Paterna F.J., Ribeiro F., Miranda R., Anastácio P.M., García-Murillo P., Cobo F., Gallardo B., García-Berthou E., Boix D., Medina L., Morcillo F., Oscoz J., Guillén A., Arias A., Cuesta J.A., Aguiar F., Almeida D., Ayres C., Banha F., Barca S., Biurrun I., Cabezas M.P.,**

Calero S., Campos J.A., Capdevila-Argüelles L., Capinha C., Carapeto A., Casals F., Chainho P., Cirujano S., Clavero M., Del Toro V., Encarnação J.P., Fernández-Delgado C., Franco J., García-Meseguer A.J., Guareschi S., Guerrero A., Hermoso V., Machordom A., Martelo J., Mellado-Díaz A., Moreno J.C., Oficialdegui F.J., Olivo del Amo R., Otero J.C., Perdices A., Pou-Rovira Q., Rodríguez-Merino A., Ros M., Sánchez-Gullón E., Sánchez M.I., Sánchez-Fernández D., Sánchez-González J.R., Soriano O., Teodósio M.A., Torralva M., Vieira-Lanero R., Zamora-López, A. & Zamora-Marín J.M. 2021. LISTA DE ESPECIES EXÓTICAS ACUÁTICAS DE LA PENINSULA IBÉRICA. Informe técnico preparado por LIFE INVASAQUA (LIFE17 GIE/ES/000515). 64 pp. (in press)

Oliva-Paterna, F.J., Andreu, A., Miñano, P.A., Verdiell, D., Egea, A., de Maya, J.A., Ruiz-Navarro, A., García-Alonso, J., Fernández-Delgado, C. & Torralva, M. 2006. Y-O-Y fish species richness in the littoral shallows of the meso-saline coastal lagoon (Mar Menor, Mediterranean coast of the Iberian Peninsula). *J. Appl. Ichthyol.* **22**: 235–237.

Oliva-Paterna, F. J. 2006. *Biología y Conservación de Aphanis iberus (Valenciennes, 1846) en la Región de Murcia*. <http://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/11082/TFJO03.pdf?sequence=4>

Oliva-Paterna, F.J., Zamora, A., Guillén, A., Guerrero, A. & Torralva-Forrero, M. 2017. Estudio del estado de la ictiofauna indicadora de zonas someras, mejora de la información y aplicación en la redacción de proyectos en zona sumergida del Mar Menor. Informe 2 – Diseño y metodología de seguimiento. Universidad de Murcia”.

R Core Team. 2021. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

Robledano, F.; Calvo, F. & Hernández, V. (coordinadores). 2006. *Libro Rojo de los Vertebrados de la Región de Murcia*. pp. 104-105. Dirección General del Medio Natural, Consejería de Industria y Medio Ambiente.

Schneider, C. A., Rasband, W. S., & Eliceiri, K. W. 2012. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nature Methods*, 9(7), 671–675. [doi:10.1038/nmeth.2089](https://doi.org/10.1038/nmeth.2089)

Spellerberg, I. F. 2008. Shannon–Wiener Index. *Encyclopedia of Ecology*, 3249–3252.

- Thiel, R., H. Cabral & M.J. Costa.** 2003. Composition, temporal changes and ecological guild classification of the ichthyofaunas of large European estuaries - a comparison between the Tagus (Portugal) and the Elbe (Germany). *J. Appl. Ichthyol.* **19**(5):330-342.
- U.S. Environmental Protection Agency (USEPA)** 2000. Estuarine and Coastal Marine Waters: Bioassessment and Biocriteria Technical Guidance. Office of Water EPA822-B-00-024. U.S. Environmental Protection Agency (USEPA), Washington, DC.
- Verdiell-Cubedo, D., Oliva-Paterna, F. J., Egea-Serrano, A., & Torralva, M.** 2008. Population biology and habitat associations of benthic fish species in the shallow areas of a Mediterranean coastal lagoon (SE Iberian Peninsula). *Scientia Marina*, **72**(2), 319–328.
- Verdiell-Cubedo, D., Oliva-Paterna, F.J. & Torralva-Forero, M.** 2007. Fish assemblages associated with *Cymodocea nodosa* and *Caulerpa prolifera* meadows in the shallow areas of the Mar Menor coastal lagoon. *Limnetica* **26**: 341–350.
- Verdiell-Cubedo, D., Oliva-Paterna, F.J., Ruiz-Navarro, A. & Torralva, M.** 2013. Assessing the nursery role for marine fish species in a hypersaline coastal lagoon (Mar Menor, Mediterranean Sea). *Mar. Biol. Res.* **9**: 739–748.
- Whitehead, P.J.P., Bauchot, M.L., Hureau, J.C., J. Nielsen & E. Tortonese.** 1984. Fishes of the North-eastern Atlantic and the Mediterranean. Volume I, II y III. UNESCO, París. 1443 pp.
- Whitfield, A.K. & Elliott, M.** 2002. Fishes as indicators of environmental and ecological changes within estuaries: A review of progress and some suggestions for the future. *J. Fish Biol.* **61**: 229–250.
- Wickham, H.** 2016 ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. Springer-Verlag New York.