

Valoración de la fauna piscícola de áreas someras del Mar Menor. Revisión de antecedentes de la especie invasora *Callinectes sapidus*.

INFORME - Inicial

Marzo 2021

UNIVERSIDAD DE MURCIA (UMU)



**Departamento de Zoología y
Antropología Física**

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

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 DEL MAR MENOR DE LA REGIÓN DE MURCIA**. Tal y como establece el pliego de prescripciones técnicas, este Informe recoge un resumen de las actividades ejecutadas hasta el momento en el marco del Proyecto.

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

Antonio Guillén Beltrán

José Manuel Zamora

Ana Sánchez Pérez

Recomendación para citar el documento:

Torralva M., Zamora-López A, Guerrero-Gómez A, Guillén-Beltrán A, Zamora-Marín JM, Sánchez A & Oliva-Paterna FJ. 2021. *Valoración de la fauna piscícola de áreas someras del Mar Menor. Revisión de antecedentes de la especie invasora Callinectes sapidus*. Informe – Inicial. Marzo 2021. Universidad de Murcia.

Valoración de la fauna piscícola de áreas someras del Mar Menor. Revisión de antecedentes de la especie invasora *Callinectes sapidus*.

INFORME – Inicial Marzo 2021

1. Resumen de antecedentes y objetivos.....	4
1.1. Antecedentes y justificación específica del proyecto.....	4
1.2. Descripción del objeto del proyecto: tareas a realizar.....	13
2. Equipo de trabajo.....	18
3. Selección de red de monitoreo y diseño de seguimiento.....	19
3.1. Periodicidad de muestreo.....	21
3.2. Metodología de muestreo.....	22
3.2.1. Localidades de muestreo: tareas de campo.....	22
3.2.2. Evaluación de la comunidad de peces de pequeña talla y de <i>Callinectes sapidus</i> : Métodos de captura.....	25
3.2.3. Evaluación de variables abióticas y bióticas: Tipificación de hábitat.	27
3.3. Metodología de laboratorio y análisis de datos.....	29
3.3.1. Procesado de material y obtención de datos.....	29
3.3.2. Metodología de evaluación de cambios en la comunidad de peces.....	32
4. Actualización de bases de datos bibliográficos.....	46
5. Ejecución de la campaña de invierno de 2021.....	49
6. Bibliografía.....	50

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 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 éstas se encuentran entre las especies objetivo de las pesquerías o son especies legalmente protegidas. Las zonas someras tienen un importante papel 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 amenazadas.
- Esto refleja la importancia máxima de estas áreas someras 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).
- En el marco del convenio de colaboración que mantiene 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 durante el periodo 2015-17. Estos trabajos se centraron en la utilización de un indicador específico basado en una fracción de la comunidad de peces (únicamente se trabaja con 6 taxones prioritarios), resultando escaso 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, hacen indispensable el seguimiento continuado de estudios con estos fines u objetivos paralelos.

- El proyecto **EVALUACIÓN DEL ESTADO DE LA COMUNIDAD DE PECES EN ZONAS SOMERAS TRAS EL FENÓMENO METEOROLÓGICO DANA**, desarrollado entre noviembre de 2019 y abril de 2020 por el Dpto. de Zoología y Antropología Física de la Universidad de Murcia, 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 MORTANDADES 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 recalca 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.
- De forma paralela, y durante la ejecución de los comentados proyectos desarrollados entre los años 2015 y 2020, se ha constatado la presencia del crustáceo invasor *Callinectes sapidus* en estos hábitats críticos, así como un notable incremento de su densidad a partir de 2018. Derivado de ello, desde este departamento en abril de 2019 se presentó al grupo de trabajo “Ecología lagunar” del Comité de Asesoramiento Científico del Mar Menor el asunto **ANÁLISIS PARA LA ERRADICACIÓN DEL CANGREJO AZUL AMERICANO (*Callinectes sapidus*)**.

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 momentos 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 de 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.

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 un factor principal promotor de cambios ecosistémicos que están sufriendo sistemas de transición en la zona mediterránea. Las principales vías de introducción de las EEI a 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 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 Mediterránea 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 es una causa posible de 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 equilibrio inestable 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 las EEI.

Ictiofauna en zonas someras: situación actual y necesidad de actualización/seguimiento continuado

La información previa recabada en los diversos proyectos y estudios de ictiología desarrollados en el Mar Menor, han constatado la presencia en las áreas someras de un total de 53 especies, representado éstas el 74% de las especies de interés comercial y el 87% de interés para la conservación de las presentes en el conjunto lagunar. Estas zonas tienen un importante papel como lugares de reproducción y reclutamiento, mostrando una relación significativa en el mantenimiento de sus poblaciones. Además, cabe destacar el papel como zonas de refugio que las áreas someras han adquirido en los últimos años ante la patente degradación del sistema y la pérdida de la cobertura vegetal en el interior de la laguna. Esto también se traduce en la ausencia, durante este periodo, de cambios significativos en la calidad ecológica de las áreas someras evaluada con las comunidades de peces (valores de EMFI: Estuarine

Multimetric Fish Index). Sin embargo, en comparación con periodos de referencia, se observó una tendencia a la disminución de abundancia y biomasa de la comunidad de peces. Además, se observaron cambios cualitativos en la composición y estructura de la comunidad marcados por cambios significativos en taxones de interés conservacionista y/o comercial (ej. Signátidos, Chirrete (*Atherina boyeri*), *Pomatoschistus marmoratus*, Espáridos, etc.).

Las campañas de muestreo desarrolladas durante 2020 reflejaron, en base a los datos ictiológicos, una calidad ecológica menor en las áreas someras afectadas por la mortandad, si bien a finales del mismo se apreció una puntual equiparación respecto a lo observado en las zonas control. No obstante, el conjunto de las áreas someras de la laguna mostró en términos generales valores inferiores a los obtenidos en 2019. Esto se traduce en un decremento de la calidad ecológica de las localidades no sometidas a la mortandad masiva, reflejando una extensión de la delicada situación de la comunidad de peces en el conjunto perimetral.

Una de las herramientas útiles para definir el estado de calidad de la laguna es conocer cuál es el estado ecológico de la comunidad de peces de las zonas someras. En el caso que nos ocupa, saber si se está produciendo una recuperación de la ictiofauna no solo refleja recobrar el papel funcional y ecológico que cumplen dichas áreas, sino que también nos informa sobre lo que puede estar ocurriendo en zonas más profundas de la laguna.

Además, el análisis actualizado del estado ecológico de la comunidad de peces de áreas someras es útil para definir el estatus de calidad de la laguna y esencial para determinar procesos ecológicos claves en el Mar Menor que generan y mantienen su biodiversidad, tales como la conectividad entre los diferentes estratos de hábitat y componentes bióticos (áreas someras litorales, ictioplancton, comunidades bentónicas de zonas profundas). A su vez, el establecimiento de directrices para la gestión sostenible de las pesquerías en el Mar Menor y la evaluación específica del estatus de conservación de especies prioritarias (ej. *Aphanius iberus*) precisan de un conocimiento continuo del reclutamiento y alevinaje en sus zonas someras como hábitats críticos.

La Dirección General del Mar Menor, junto con la Dirección General de Medio Natural, disponen de información reciente previa y posterior al efecto de las DANAs obtenida a través de otros proyectos de investigación, ya terminados,

como son el “*Estudio del estado de ictiofauna indicadora en zonas someras, mejoras de la información y aplicación en la redacción de proyectos en el Mar Menor*”, “*Evaluación del estado de la comunidad de peces en zonas someras tras el fenómeno meteorológico DANA*” y “*Evaluación de la recolonización de la ictiofauna de las zonas someras sometidas a mortandades por fenómenos de anoxia*”. No obstante, es necesario monitorear las comunidades de peces de áreas someras para seguir evaluando el estado del ecosistema lagunar, así como la extensión temporal de los cambios detectados este último año 2020. Por ello, el análisis actualizado del estado ecológico de la comunidad de peces de áreas someras es útil para definir el estatus de calidad de la laguna y esencial para determinar procesos ecológicos claves en el Mar Menor.

Fauna exótica invasora (*Callinectes sapidus*): situación actual en zonas someras del mar menor.

Las invasiones biológicas, ocasionadas por especies exóticas invasoras (EEIs), son uno de los principales desencadenantes del denominado cambio global, que pueden impactar negativamente sobre los servicios ecosistémicos y la salud humana (Richardson and Pyšek, 2008). En las últimas décadas, estos procesos de invasión están incrementando notablemente (Essl et al. 2015, Roques et al. 2016), siendo el sudoeste de Europa un ejemplo paradigmático de ello (Oliva-Paterna et al. 2021). Esta situación ha llevado a considerar recientemente esta amenaza como la segunda causa de pérdida de biodiversidad a nivel mundial, por delante del calentamiento global, si bien existen interrelaciones entre los diferentes procesos que desencadenan las extinciones (Bellard et al. 2016).

Concretamente, los ecosistemas de transición son especialmente sensibles a estos procesos de invasión (Occhipinti-Ambrogi, 2007). Por ello, dada la delicada situación del Mar Menor, es clave realizar un seguimiento de las mismas, ya que pueden incrementar las presiones a las que sus comunidades biológicas están sometidas, así como ocasionar impactos socioeconómicos (Pysék et al. 2020).

El cangrejo azul o jaiba [*Callinectes sapidus* (Ratbhun, 1826)] es un crustáceo decápodo originario del Atlántico occidental que presenta sus primeros registros en aguas europeas en el siglo pasado. En los últimos años, esta especie ha colonizado gran parte del Mediterráneo (Taybi & Maubouki, 2020) llegando a elevadas densidades en entornos como el delta del Ebro, donde ha

comenzado a dominar las capturas, ejerciendo un notable impacto en la actividad pesquera relacionada con moluscos (Prado et al. 2020). A su vez, recientes estudios relativos a su posición trófica confirman como puede ejercer presión por competencia y depredación en ecosistemas similares al Mar Menor, incluyendo la comunidad ictiológica (Mancinelli et al. 2016; 2017). De esta manera, conocer la dinámica de la especie en zonas críticas del Mar Menor, como son sus áreas someras, es necesario para establecer posibles relaciones con la biota del entorno. Estos ambientes, que han mostrado resiliencia ante las crisis distróficas lagunares de los últimos años, preservando una diversa y abundante comunidad ictiológica podrían verse comprometidos con la expansión de esta especie.

La reciente colonización del cangrejo azul en el Mar Menor supone un grave impacto, ejerciendo procesos de depredación y competencia con las especies nativas, así como generando pérdidas económicas directas fruto de las roturas en artes de pesca y los daños ocasionados en el resto de capturas (Nehring, 2011). Actualmente existe un elevado desconocimiento del comportamiento del cangrejo azul en la laguna. Los datos apuntan a una rápida expansión en la laguna a partir de 2018, llegando a superar los 3500 kg en lonja en los primeros 8 meses de 2019. Si bien los datos de pesca no cumplen una estandarización precisa e impiden inferir correctamente su distribución y abundancia, los picos de capturas se dan en verano. Respecto a su dieta, su principal presa son los crustáceos, mayoritariamente langostinos (*Panaeus sp.*), una especie con alto interés comercial. Cabe destacar también la depredación sobre caballito de mar (*Hippocampus guttulatus*), que podría suponer una presión añadida sobre especies bentónicas amenazadas (Múñoz et al. 2019). Esto hace patente la necesidad de continuar indagando en aspectos de su biología, como son sus patrones estacionales, su distribución o su densidad, sobre todo en lugares sensibles, como son las áreas someras mencionadas anteriormente.

En investigaciones relativas a la especie en estuarios donde es nativa, la red de arrastre manual ha sido empleada como método de captura (Clarkson et al. 2020). Experiencias de campo previas del Departamento de Zoología de la Universidad de Murcia han constatado su eficacia en áreas someras del Mar Menor, llegando a capturar más de 10 ejemplares/100 m² en determinadas localidades. De esta manera, esta metodología es útil para inferir densidades, permitiendo también obtener información relativa a tallas y sex-ratio con el procesado de los ejemplares, así como establecer relaciones precisas con variables del hábitat cuantificadas en la superficie prospectada.

En consonancia con lo expuesto, uno de los objetivos de este proyecto es generar información base de la distribución, abundancia, tallas y sex-ratio de esta especie en las áreas someras de la laguna del Mar Menor, actualizando la información bibliográfica existente relativa a invasiones biológicas de la especie en ecosistemas de transición similares. Esta información servirá como pilar de futuras propuestas y estrategias de gestión destinadas a controlar la especie y minimizar sus impactos.

El grupo de investigación de Zoología Básica y Aplicada a la Gestión y la Conservación del Departamento de Zoología y Antropología Física de la Universidad de Murcia lleva trabajando en la evaluación de las comunidades de peces en zonas someras del Mar Menor, análisis del efecto del estado eutrófico actual y de problemáticas previsibles asociadas a la gestión en el Mar Menor desde 1990. A su vez, la temática de especies invasoras ha sido una línea recurrente en las investigaciones del grupo desde el año 2000, trabajando en proyectos relacionados con EEIs de la cuenca del río Segura (p. ej. LIFE Ripisilvanatura), siendo en determinadas ocasiones especies objetivo algunos crustáceos invasores como el cangrejo rojo americano y el cangrejo señal (Zamora-Marín et al. 2016). Actualmente, dicho departamento se encuentra inmerso en la coordinación del proyecto LIFE INVASAQUA, el cuál trata de generar conocimiento relativo a EEIs acuáticas de ecosistemas continentales y de aguas de transición, incluyendo entre sus áreas de estudio la laguna del Mar Menor. Además, actualmente el departamento está tutelando Trabajos Fin de Máster (TFMs) relativos a la biota invasora del Mar Menor y su entorno, con el objetivo de inventariar de la forma más precisa posible las EEIs presentes y definir sus principales vías de entrada, de cara a proponer medidas de gestión para reducir el impacto y la llegada de nuevas especies con carácter invasor. Por todo ello, consideramos difícil encontrar otros departamentos o expertos más experimentados en la materia y problemática existente en el Mar Menor en lo relativo a su ictiofauna y la amenaza de EEIs.

1.2. Descripción del objeto del proyecto: tareas a realizar.

Según lo descrito en el pliego de cláusulas administrativas, técnicas y económicas, la Dirección General del Mar Menor de la Región de Murcia, propuso el presente estudio ante los resultados y conclusiones del proyecto “*Evaluación de la recolonización de la ictiofauna de las zonas someras sometidas a mortandades por fenómenos de anoxia*”, así como atendiendo a la necesidad de evaluar el estado actual de las comunidades de peces de sus áreas someras y la patente expansión de la EEI *Callinectes sapidus*.

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 permitirá **evaluar la extensión temporal de la delicada situación de la comunidad ictiológica del Mar Menor, determinar su estatus actual, e indagar en los antecedentes e información relativa a la EEI *C. sapidus* en los hábitats críticos de las áreas someras del Mar Menor.**

Definición de tareas y cronograma

Según lo descrito en el pliego de cláusulas administrativas, técnicas y económicas, las tareas necesarias para llevar a cabo la *Valoración de la fauna piscícola de áreas someras del Mar Menor. Revisión de antecedentes de la especie invasora Callinectes sapidus*, quedan descritas en la Tabla 1.1. No obstante, el proyecto se fundamenta en el desarrollo por parte de personal especializado de aquellos 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 a alcanzar del proyecto se encuentran las siguientes:

- Identificar y evaluar, a diferentes escalas, la situación de la comunidad de 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 durante invierno y primavera de 2021 el estatus de la ictiofauna tras los sucesivos episodios de estrés ambiental previos en áreas críticas de afección.
- Recabar información bibliográfica, relativa a la biología y características como especie exótica invasora exitosa, del cangrejo azul (*Callinectes sapidus*), necesaria para sentar la base de futuros trabajos y actuaciones de gestión de la misma en la laguna del Mar Menor.

A continuación, se establece un listado (Tabla 1.1) y cronograma (Tabla 1.2) de las tareas principales a desarrollar en el presente proyecto, afrontadas en función de las prioridades evaluadas por el Comité Científico (Grupo de trabajo de Ecología Lagunar), o bien desde la Dirección General del Mar Menor y otros grupos de trabajo.

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

Tareas a desarrollar en el proyecto	
T1	Búsqueda y actualización de bases de datos y documentos bibliográficos
T2	Establecimiento de puntos de muestreo para la red de monitoreo.
T3	Muestreo de campo a escala de red de monitoreo.
T4	Evaluación y análisis de datos.
T5	Elaboración de informes

Tabla. 1.2. Cronograma de las tareas desarrolladas en el proyecto.

Tareas	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO
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 *C. 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 los muestreos de invierno y primavera e inicio inmediato de la toma de muestras.

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

El muestreo a escala de red de monitoreo va a incorporar, al menos, las siguientes actividades:

- Se realizarán dos campañas de muestreo (invierno y primavera) en la totalidad de localidades de la red de monitoreo establecida, orientadas al seguimiento de las comunidades ictícolas y a la determinación preliminar del estatus poblacional de *C. sapidus* en las áreas someras.
- Se procesará y analizarán los datos obtenidos (campo y laboratorio).

La metodología utilizada para la obtención de muestras de la ictiofauna y de la EEI *C. sapidus* en las áreas someras del Mar Menor será, principalmente, la utilización de una red de arrastre manual. Esta técnica no selectiva es considerada como el método de muestreo idóneo para la captura de alevines en zonas de escasa corriente y profundidad, siendo a su vez testada su eficacia para la captura estandarizada de *C. sapidus* en otras regiones geográficas y en el Mar Menor (Clarkson et al. 2020). Además, la red de arrastre no implica la muerte de los ejemplares capturados ni una grave alteración de los hábitats.

(T4) Evaluación y análisis de datos para determinar el estatus poblacional de los taxones que componen la comunidad de peces de las áreas someras.

Se realizará el análisis y la evaluación comparativa de parámetros indicadores, con el objeto de determinar en qué estado se encuentran las comunidades de peces de las áreas someras del Mar Menor respecto a los datos obtenidos en estudios previos. Además, se prevé realizar análisis espaciotemporales para testar la resiliencia, o por el contrario persistencia del impacto, en las comunidades ictiológicas afectadas por eventos de mortandad.

Los datos serán analizados a nivel de localidad en base a su riqueza, abundancia, biomasa y diversidad, para poder detectar diferencias en la diversidad y complejidad de la comunidad ictícola presente en las áreas someras. A su vez, se aplicará la adaptación del índice EMFI desarrollada para su implementación en las áreas someras del Mar Menor, permitiendo así estudiar la evolución de la calidad ecológica del medio.

Respecto a *Callinectes sapidus* la información recabada será de gran valía para el diseño futuro de un seguimiento de las poblaciones de dicha especie en la laguna del Mar Menor de cara al planteamiento y desarrollo de estrategias de gestión y control de la especie en la laguna. Las capturas de esta especie serán incorporadas en una base de datos específica.

(T5) Elaboración de informes

- Se presentará un informe con el diseño específico del trabajo y los resultados de la ejecución de las tareas T1 y T2.

- Se presentará un informe intermedio con la información relativa a la campaña de invierno de 2021.
- Se presentará un informe final con la información completa de la actuación, resultados y conclusiones obtenidas.

2. Equipo de trabajo.

El **equipo responsable** de la ejecución (Laboratorio de *Conservación y Biología de Vertebrados Acuáticos*) ha estado 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, manipulación de individuos, alteraciones sobre el hábitat, así como la utilización de métodos alternativos para el trabajo con la comunidad objeto de seguimiento.

El laboratorio de *Conservación y Biología 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.

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. Del mismo modo, la diversidad de tipologías de hábitats muestreados y la distribución de las localidades de muestreo a lo largo de todo el perímetro lagunar permitirá aportar información relativa a la presencia y distribución de *C. sapidus* en las áreas someras del Mar Menor.

Durante el mes de febrero, se han realizado **2 jornadas de campo** destinadas a evaluar de forma visual el estado de la orilla litoral del Mar Menor, de cara a asegurar la viabilidad logística del muestreo y diseñar así una correcta red de monitoreo que permita cumplir con los objetivos del presente proyecto.

Por otro lado, cabe recordar que en la última temporada la cubeta norte de la laguna se ha visto afectada por episodios de mortandades masivas. Por ello, y con el objetivo complementario de estudiar la resiliencia de las comunidades de peces de sus áreas someras, se han establecido dentro de la Red de Monitoreo del presente proyecto tres sectores: Villananitos (AS15), Molino de la Calcetera (AS16) y Encañizadas (AS00). A su vez, se han seleccionado 15 localidades de referencia, permitiendo así evaluar el paralelismo entre las tendencias de las localidades que componen dicha Red de Monitoreo. (Figura 3.4). **Estas localidades permitirán completar el área de seguimiento estacional que se ha realizado de forma ininterrumpida desde invierno de 2018 en el marco de proyectos previos, permitiendo evaluar la evolución temporal del conjunto perimetral en términos de medio-largo plazo.**

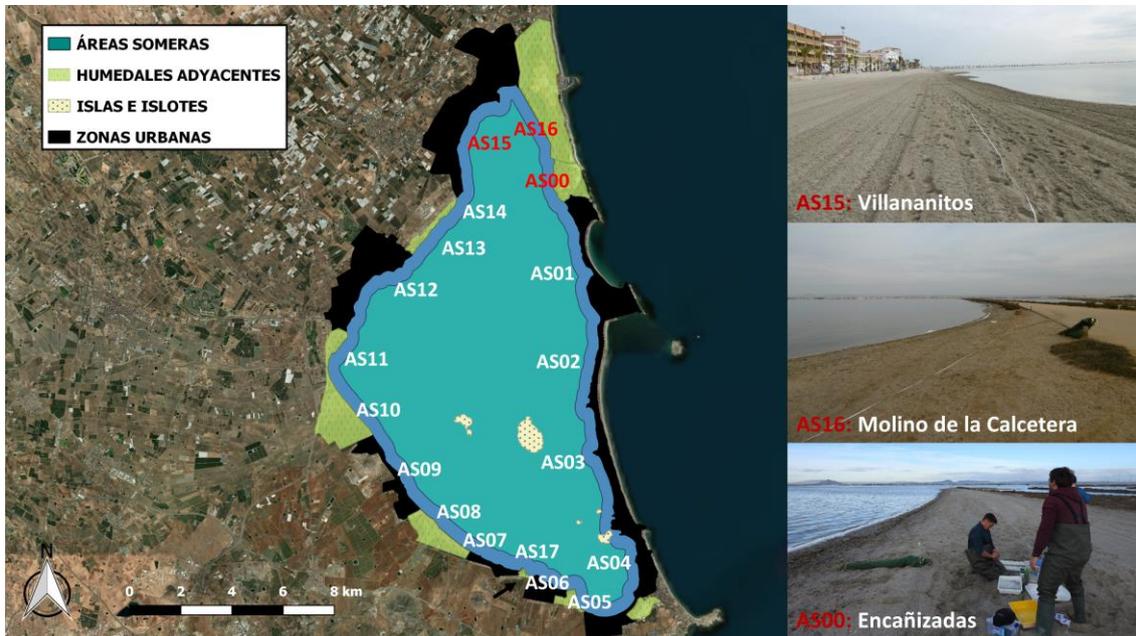


Figura 3.4. Localidades que componen la red de monitoreo establecida.

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

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

3.1. Periodicidad de muestreo.

Durante el mes de **febrero e inicios de marzo de 2021 se ha realizado la campaña de muestreo correspondiente a la estación de invierno** (ver apartado 5.1). Durante el mes de **abril se realizará la campaña de muestreo correspondiente a la estación de primavera**. Estos muestreos abarcarán en su conjunto dos réplicas temporales de las 18 localidades que componen la red de monitoreo establecida.

Por otro lado, ante la delicada situación de la laguna, el personal del Dpto. de Zoología y Antropología Física de la Universidad de Murcia involucrado en el proyecto queda disponible durante la ejecución del mismo para realizar aquellas evaluaciones que se consideren oportunas.

El periodo de muestreo queda sujeto a factores meteorológicos o complicaciones logísticas durante el desarrollo de los muestreos, pudiendo este ser modificado para asegurar el correcto desarrollo del proyecto.

3.2. Metodología de muestreo.

3.2.1. Localidades de muestreo: tareas de campo.

La metodología de muestreo a desarrollar 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 y análisis y comparación 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 m de longitud de orilla y los primeros 15 – 20 metros de zona sumergida**.

Las tareas de campo que serán realizadas en cada una de las localidades de muestreo quedan recogidas, en:

- (1) Evaluación (Inventario) de la Comunidad de peces de pequeña talla: Realización de muestreos cuantitativos (estandarizados según esfuerzo superficial) + muestreo cualitativo.
- (2) Evaluación de Hábitat (Tipificación físico-química y biótica): Se realizará una tipificación integral de la comunidad en su conjunto + tipificación específica a nivel de unidades de muestreo.
- (3) Evaluación de la EEI *C. sapidus*: Realización de muestreos cuantitativos (estandarizados según esfuerzo superficial) + muestreo cualitativo.

El equipo de investigación de la Línea de Conservación de Vertebrados Acuáticos de la Universidad de Murcia cuenta con un oxímetro (Hach HQ30d) con el objetivo de evaluar a reducida escala espacial el papel que pueda tener la disponibilidad de oxígeno disuelto en agua en el mantenimiento de las comunidades de peces, pudiendo éste marcar un papel clave en la distribución de algunos taxones.

Toda la información recabada *in situ* en cada una de las localidades será reflejada en fichas de campo similares a la presente en la Figura 3.5.

ESTUDIO: GESTIÓN MAR MENOR				Fecha:		Punto:			
Sector:				Hora:		GPS:		X	
Denominación:								Y	
Nombre Investigadores:						Fotografías:			
Condiciones		Actuales		24h anteriores		Laboratorio: VERTEBRADOS ACUÁTICOS Tlf: 968-364961			
Climáticas						Lluvia/Tormenta		¿Tormentas en la última semana?	
						Nublado/Llovizna		Sí <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>	
						Nublado parcial		Temperatura ambiental:	
						Soleado		MCalor Calor Interm Frío MFrío	

Orilla 1												
Profund.	Inicio	cm				Intermedia	cm				Final	cm
Croquis:						Sustrato Inorgánico						
						Tipo		Tamaño		% / m ²		
						Roca madre						
						Guijarros		> 30 cm Ø				
						Cantos		5-30 cm Ø				
Vegetación Acuática						Grava		0.3-5 cm Ø				
Recubrimiento:						Arenas		< 3 mm Ø				
Volumen/densidad		1	2	3	4	5	Arcillas/limos					
Parámetros Físico-Químicos:												
Punto	Temperatura (°C)		pH		Conduct. (µS-mS/cm2)		Sal. ‰	Oxígeno (mg/l)	Oxígeno (%)	Transparencia		
Inicio										Incolora		
Medio										Intermedia		
Final										Marrón		
Especies presentes:						Abundancia			Biomasa			
Sp1												
Sp2												
Sp3												
Orilla 2												
Profund.	Inicio	cm				Intermedia	cm				Final	cm
Croquis:						Sustrato Inorgánico						
						Tipo		Tamaño		% / m ²		
						Roca madre						
						Guijarros		> 30 cm Ø				
						Cantos		5-30 cm Ø				
Vegetación Acuática						Grava		0.3-5 cm Ø				
Recubrimiento:						Arenas		< 3 mm Ø				
Volumen/densidad		1	2	3	4	5	Arcillas/limos					
Parámetros Físico-Químicos:												
Punto	Temperatura (°C)		pH		Conduct. (µS-mS/cm2)		Sal. ‰	Oxígeno (mg/l)	Oxígeno (%)	Transparencia		
Inicio										Incolora		
Medio										Intermedia		
Final										Marrón		
Especies presentes:						Abundancia			Biomasa			
Sp1												
Sp2												
Sp3												

Orilla 3 (Interior)										
Profund.	Inicio	cm			Intermedia	cm			Final	cm
Croquis:					Sustrato Inorgánico					
					Tipo		Tamaño		% / m ²	
					Roca madre					
					Guijarros		> 30 cm Ø			
Cantos		5-30 cm Ø								
Vegetación Acuática					Grava		0.3-5 cm Ø			
Recubrimiento: % / m ²					Arenas		< 3 mm Ø			
Volumen/densidad		1	2	3	4	5	Arcillas/limos			
Parámetros Físico-Químicos:										
Punto	Temperatura (°C)	pH	Conduct. (µS-mS/cm2)		Sal. ‰	Oxígeno (mg/l)	Oxígeno (%)	Transparencia		
Inicio								Incolora		
Medio								Intermedia		
Final								Marrón		
Especies presentes:					Abundancia			Biomasa		
Sp1										
Sp2										
Sp3										

Análisis Mesohábitat / Sector:

Sustrato Inorgánico							Vegetación Acuática Recubrimiento				
Tipo	Tamaño	% / m ²					% / m ²				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Roca madre											
Guijarros	> 30 cm Ø						Otros:				
Cantos	5-30 cm Ø										
Grava	0.3-5 cm Ø										
Arenas	< 3 mm Ø										
Arcillas/limos											
Otras Especies					Abundancia			Sala bre	Red	Minnow	
Sp1					Alta		Interm		Baja		
Sp2											

Figura 3.5. Modelo de ficha de campo para la toma de información.

3.2.2. Evaluación de la comunidad de peces de pequeña talla y de *Callinectes sapidus*: Métodos de captura.

Debemos entender la evaluación o inventario como la totalidad de actividades encaminadas a evaluar la cantidad, calidad y distribución geográfica de la comunidad. Con esta finalidad, la valoración de la comunidad ictiológica, así como de las poblaciones de *Callinectes sapidus*, en cada una de las localidades de muestreo será obtenida mediante muestreos cuantitativos 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, permitirán recabar información a nivel de localidad, pudiendo analizar relaciones espaciotemporales.

ESFUERZO DE MUESTREO POR LOCALIDAD
3 Muestreos semicuantitativos + 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. A su vez, su reducida luz de malla ($\leq 5\text{mm}$) permite la captura de individuos juveniles de *Callinectes sapidus*, especie exótica invasora y también objetivo del presente proyecto, cuya captura con otras técnicas como nasas cangrejas se vería altamente dificultada. Cabe resaltar la importancia de capturar individuos juveniles y reproductores de *C. sapidus* de cara a definir correctamente la época reproductora y de reclutamiento juvenil de la especie, información de gran utilidad a la hora de orientar o mejorar la eficacia de las posibles medidas de control y gestión que puedan plantearse.

El arrastre manual consiste en el barrido mediante una red de 10m de longitud y 1.5m de altura de una superficie predefinida, cercando con 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 160m^2 , 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, por tanto, la pérdida de 2m efectivos. 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 desarrollará un total de tres arrastres cuantitativos, siendo las zonas concretas de arrastre seleccionadas en base al criterio de representatividad (Figura 3.6). Cabe destacar, que uno de estos arrastres se realizará 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 que muestren de forma puntual microhábitats que aporten cierta heterogeneidad, éstos serán muestreados mediante un arrastre cualitativo con el objetivo de poder detectar otras especies que puedan aparecer asociadas a ellos.

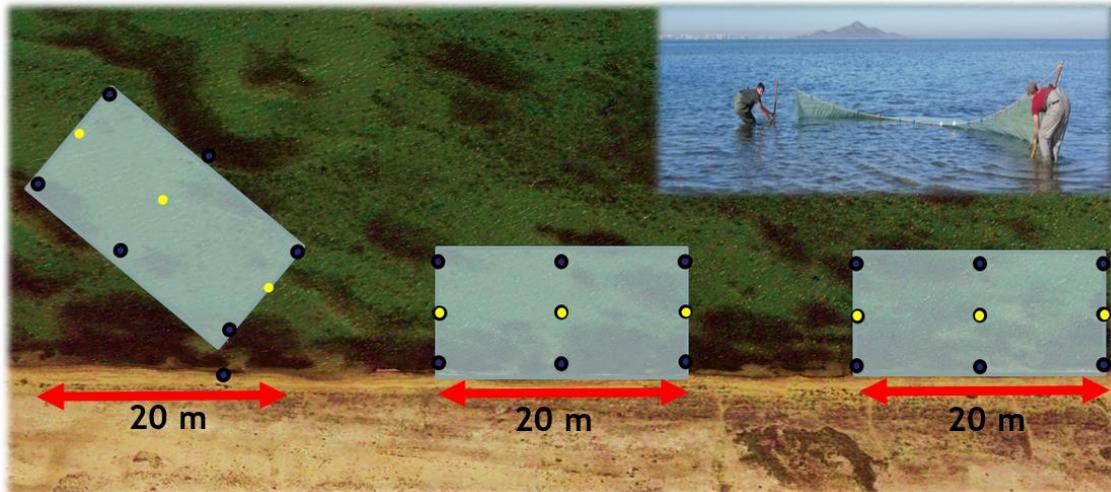


Figura 3.6. Diseño y ubicación de arrastres en una hipotética localidad de muestreo.

3.2.3. 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:

- 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 3.2. Variables de hábitat que serán 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

3.3. Metodología de laboratorio y análisis de datos.

3.3.1. Procesado de material y obtención de datos.

Los ejemplares capturados en cada una de las localidades de muestreo serán procesados *in situ* con protocolos para reducir al máximo la mortalidad durante el mismo. Una vez procesados la totalidad de las muestras serán liberadas en el medio. Únicamente se trasladará una muestra al laboratorio del total de ejemplares que no sean reconocidos *in situ* para su posterior identificación. En cuanto a los ejemplares de *Callinectes sapidus* que sean capturados, estos serán retirados del medio y trasladados al laboratorio para su posterior análisis, de acuerdo a la legislación vigente en cuanto al manejo de EEIs.

Material de estudio

Los peces capturados serán recolectados y depositados en bateas con agua para facilitar su manejo. El total de la muestra será anestesiada y determinada en campo en base a bibliografía específica (Arias & Drake, 1990). No obstante, en el caso de especies cuya identificación en tallas juveniles precisa de un análisis en profundidad, se seleccionará una submuestra aleatoria y se trasladará al laboratorio en formaldehído al 10%. Los ejemplares serán fotografiados *in situ* sobre una superficie escalada, calculando las LTs (± 0.1 cm) posteriormente con la ayuda de un procesador de imagen (Image-J). Entre las especies de fácil reconocimiento *in situ*, que serán contabilizados y devueltos al medio con bajas tasas de mortalidad (< 5 %), se encuentran las especies amenazadas y/o emblemáticas de la laguna.



Figura 3.7. IZQ.: batea con las capturas de un arrastre. **Dcha.:** investigadores recogiendo y depositando en bateas las capturas realizadas.

El material de análisis para la descripción de la comunidad de peces objeto de seguimiento será 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 van a incorporar estados larvarios, es decir, individuos con la presencia de vitelo (*sensu* Kendall et al. 1984).

Claves 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.**

Colección Ictiológica: Departamento de Zoología y Antropología Física.

Los ejemplares de todas las especies identificadas en laboratorio y citadas en el presente proyecto se incorporarán a la colección ictiológica del Departamento de Zoología y Antropología de la Universidad de Murcia.

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 (S)
Nº total de individuos		Índice de Diversidad (H')
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>
<i>Nº de individuos / Especie</i>	Ictiómetro (± 1 mm) Extrapolación de pesos a partir de rectas de crecimiento a nivel de especie	Abundancia especie
<i>Peso de individuos / Especie</i>		Biomasa especie
<i>Longitud Furcal media poblacional</i>		Parámetros poblacionales
<i>Longitud Standard media poblacional</i>		EMFI
Nivel de análisis = Callinectes sapidus		
<i>Variables</i>	<i>Metodología</i>	<i>Resultados de Análisis</i>
Nº/individuos	Ictiómetro (± 1 mm)	Distribución
<i>Peso</i>	Sexado	Abundancia especie
<i>Longitud</i>		Biomasa Especie
<i>Sexo</i>		Parámetros poblacionales



Figura 3.8. Izq.: material de la colección ictiológica del Dpto. de Zoología **Dcha.:** investigador procesando muestras en laboratorio.

Los taxones serán clasificados y tratados según los grupos funcionales en cuanto al uso de estuarios y zonas de transición, según el modo de alimentación y según el modo de reproducción (Franco et al. 2008).

3.3.2. 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 presente), H' ofrece una valoración en bits. 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 (Margalef 1980, Pineda et al. 2002).

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

La Diversidad y Riqueza específica de alevines, juveniles y pequeñas tallas (LTs < 10 cm) será 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, serán evaluadas en función de estimas de densidad definidas por *Capturas/Biomasa por Unidad de Esfuerzo* (CPUEs y BPUEs, respectivamente):

Áreas someras perimetrales (AS)

- CPUEs = n° individuos / 160 m² (= n° individuos / Arrastre perimetral)
- BPUEs = n° individuos / 160 m² (= peso capturas / Arrastre perimetral)

Indicador del estado de conservación de las áreas someras mediante las comunidades de peces. *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 permitirá 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 la recolonización en las áreas someras afectadas por las mortandades, se estudiará 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 3.3.) 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 3.3. Métricas utilizadas para el desarrollo de la adaptación del EMFI a las áreas someras del Mar Menor.

Métrica	Descripción	
Diversidad y composición de especies		
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.
Abundancia		
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.
Uso de las áreas someras		
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 esperadas.
8	Riqueza de especies migradoras	Proporción del nº de especies migradoras detectadas respecto a 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.
Integridad trófica		
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 3.4.) (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 3.4. 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
<i>Hippocampus guttulatus</i>	Ausente	Ausente	Muy escaso	Muy escaso
<i>Lipophrys dalmatinus</i>	Muy escaso	Muy escaso	Muy escaso	Muy escaso
<i>Liza aurata</i>	Muy	Muy	Moderado	Moderado

Especies	Categorización de abundancias teóricas			
	Invierno	Primavera	Verano	Otoño
	abundante	abundante		
<i>Liza ramada</i>	Abundante	Escaso	Muy escaso	Muy escaso
<i>Liza 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 serán categorizadas con el objetivo de facilitar su implementación en el índice EMFI (Tabla 3.5.). 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 uno de las unidades de muestreo (Tabla 3.6.).

Tabla 3.5. 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 3.6. 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 en relación a la superficie de muestreo (Figuras 3.9 - 3.13). Las ecuaciones resultantes permiten obtener los valores máximos

teóricos para cada superficie de muestreo. De esta forma, el cálculo de cada una de las métricas en las diferentes unidades de muestreo se calculó 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.

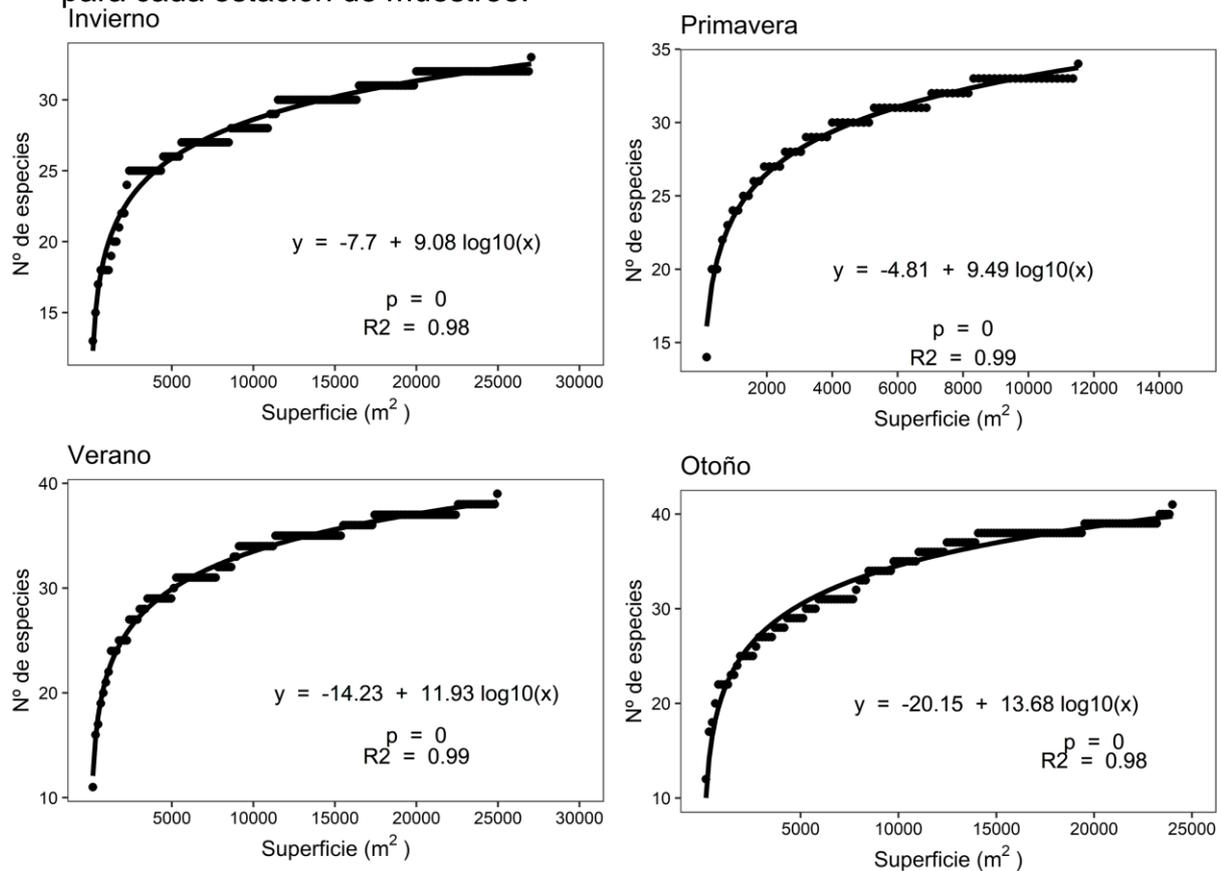


Figura. 3.9. Regresiones establecidas entre la riqueza total de especies y la superficie de la unidad de muestreo para las 4 estaciones de muestreo.

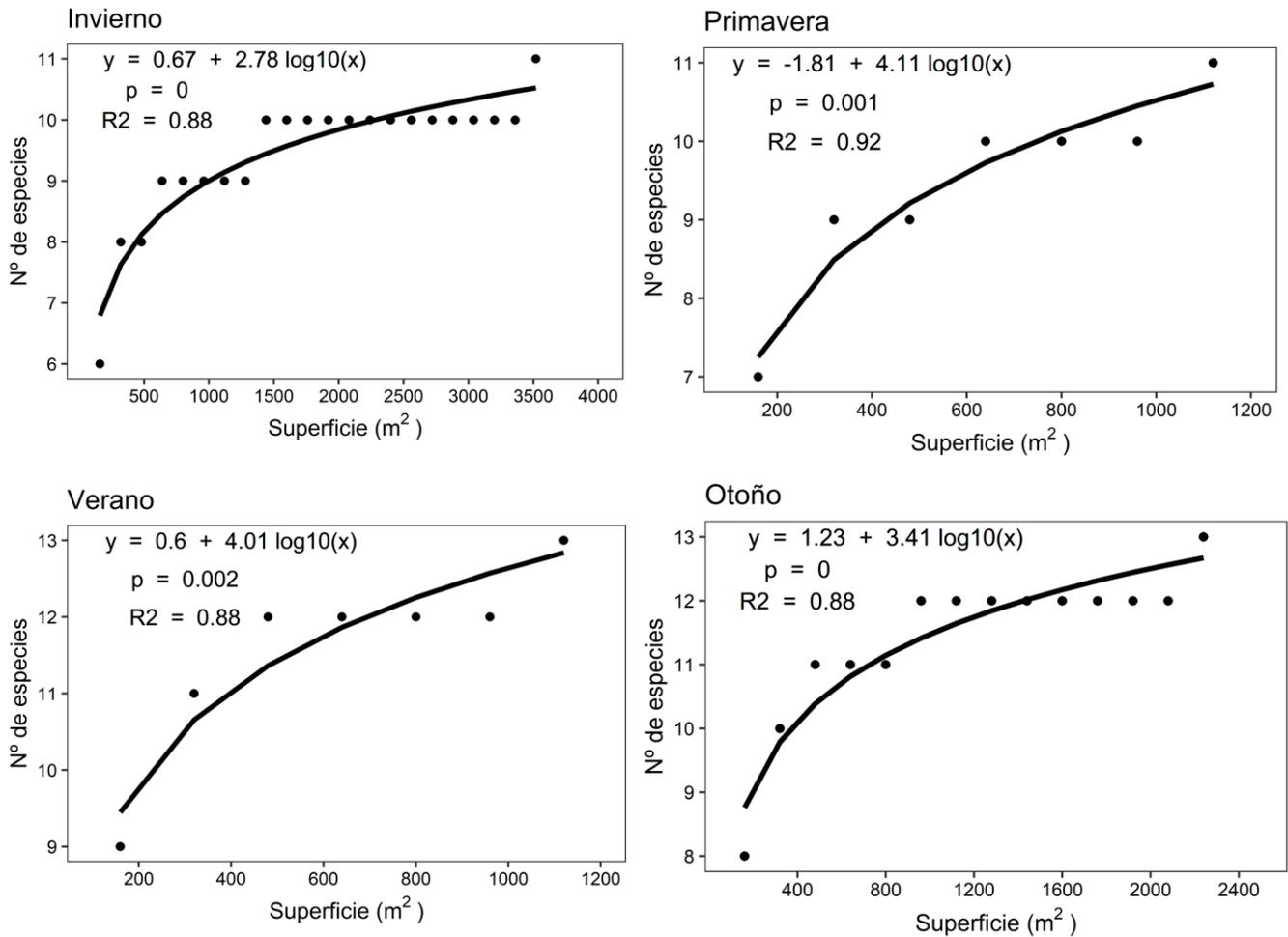


Figura. 3.10. Regresiones establecidas entre la riqueza de especies residentes y la superficie de la unidad de muestreo para las 4 estaciones de muestreo

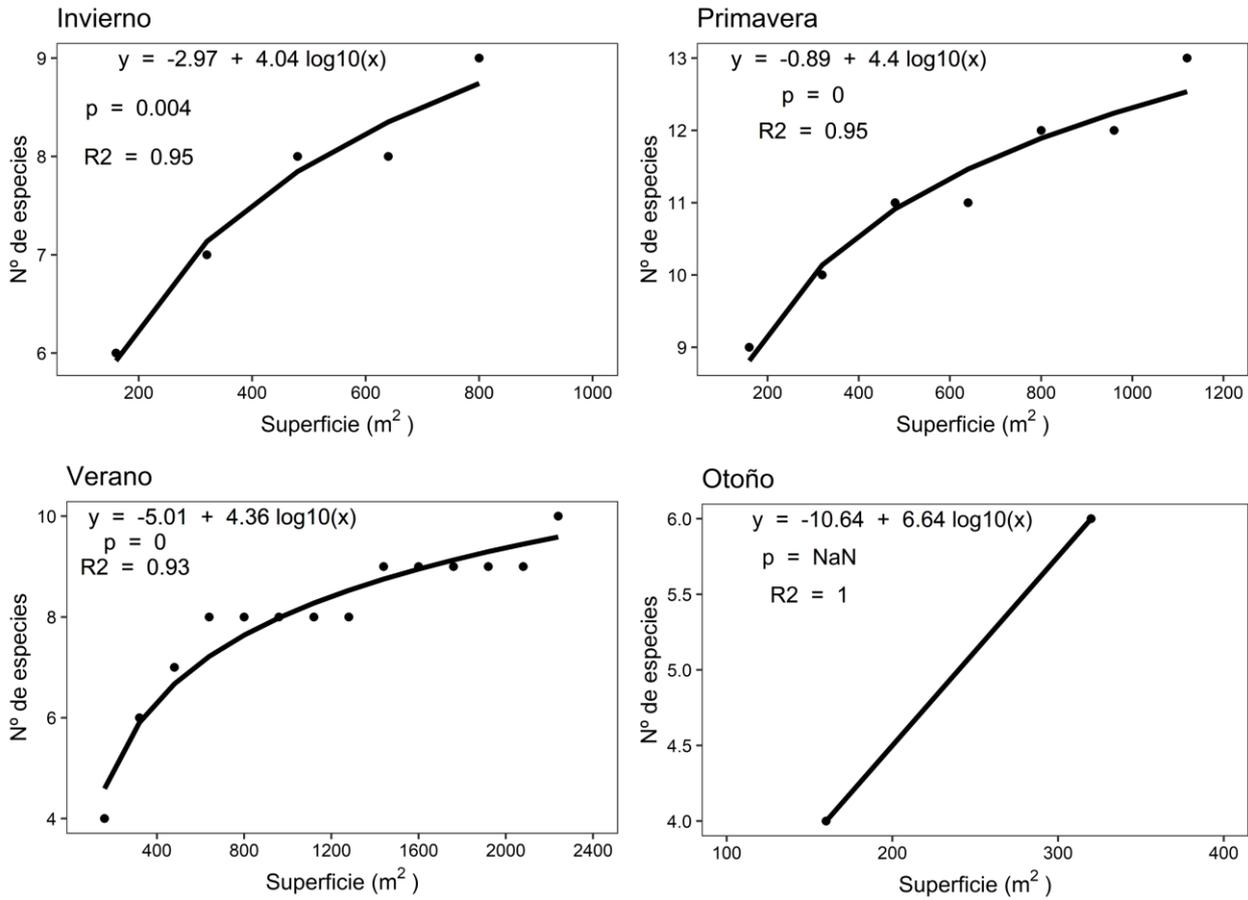


Figura. 3.11. Regresiones establecidas entre la riqueza de especies migrantes y la superficie de la unidad de muestreo para las 4 estaciones de muestreo

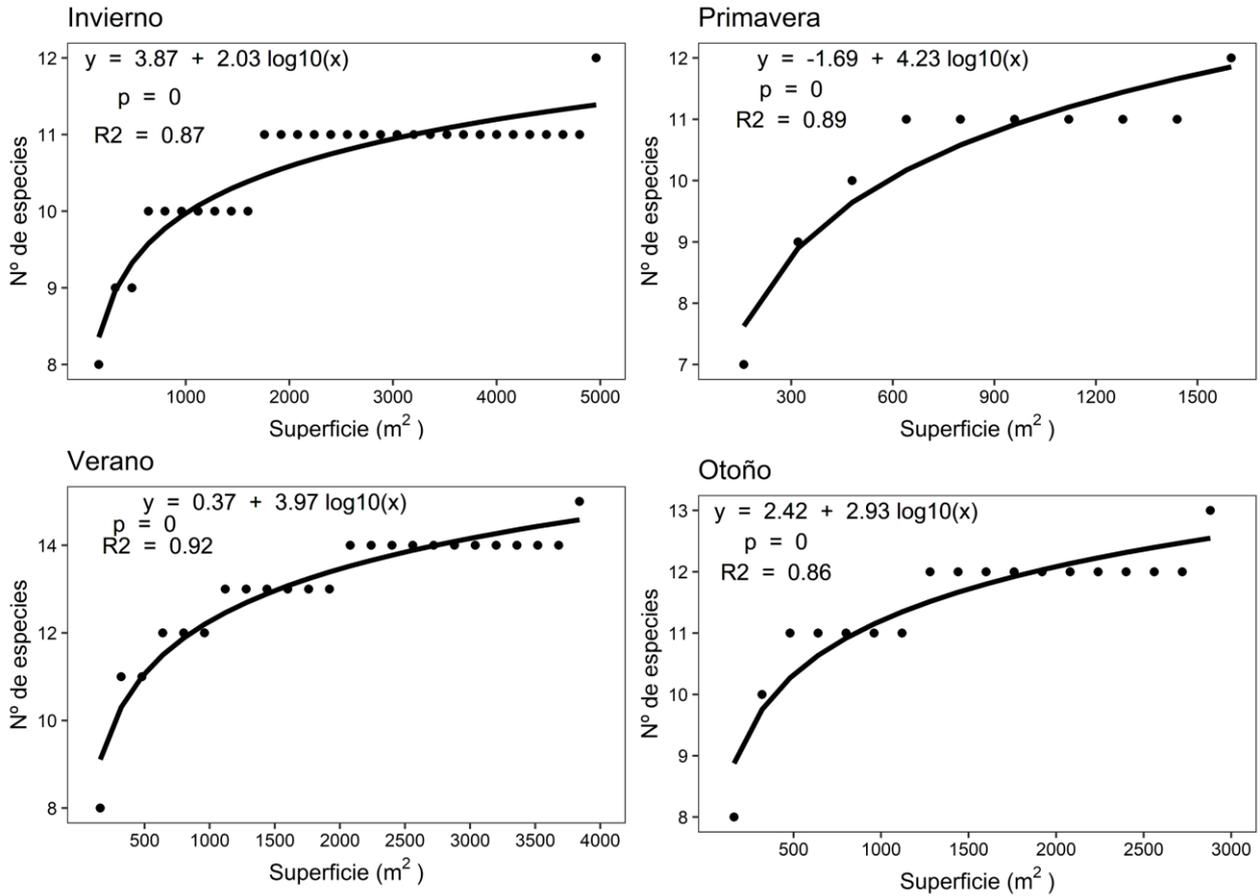


Figura. 3.12. Regresiones establecidas entre la riqueza de especies zoobentívoras y la superficie de la unidad de muestreo para las 4 estaciones de muestreo

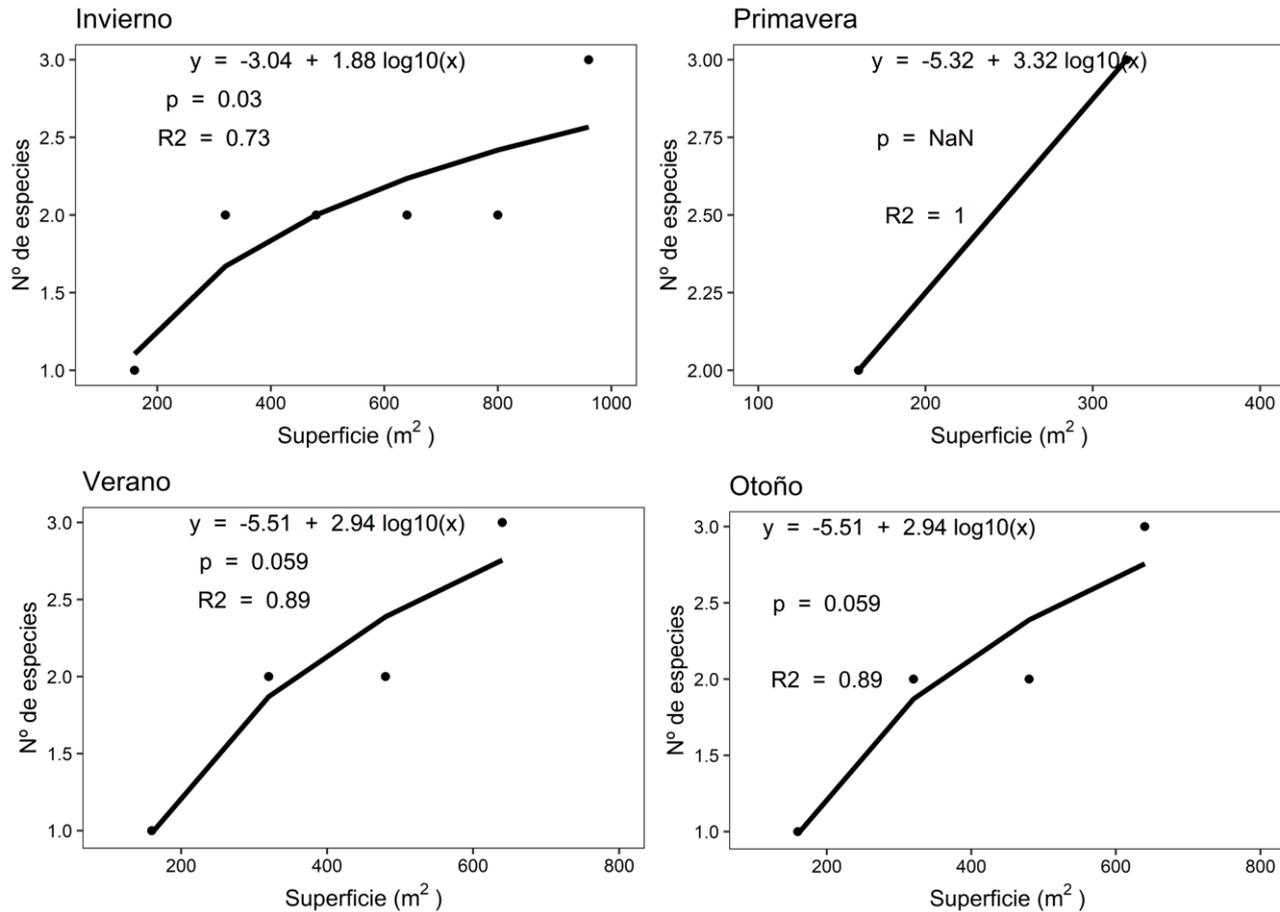


Figura. 3.13. Regresiones establecidas entre la riqueza de especies piscívoras y la superficie de la unidad de muestreo para las 4 estaciones de muestreo

Las métricas serán aplicadas para cada una de las unidades de estudio en las diferentes réplicas temporales. Los valores obtenidos serán ponderados atendiendo a los umbrales de puntuación de cada métrica y a los criterios preestablecidos (Tabla 3.7).

Tabla 3.7. 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%

4. Actualización de bases de datos bibliográficos.

Con el objetivo de elaborar un diseño de estudio orientado a evaluar la situación actual de la comunidad de peces, así como la de la especie invasora *Callinectes sapidus*, se ha realizado una búsqueda y selección bibliográfica de estudios y artículos de referencia en esta temática. Esta labor de búsqueda se mantendrá durante el periodo de vigencia del proyecto, garantizando la existencia de una base de datos bibliográfica actualizada.

Esta actualización ha sido clave para la selección del área de estudio y el establecimiento de una apropiada red de monitoreo. A su vez, la información aportada por la bibliografía registrada permite esclarecer y diseñar un plan de trabajo correctamente definido, recogiendo en éste algunos aspectos claves como la periodicidad, superficie de muestreo o variables ambientales a determinar, factores esenciales para la consecución de los objetivos del presente proyecto.

La búsqueda bibliográfica se ha orientado en invasiones biológicas de *C. sapidus* en ecosistemas de transición.

La bibliografía de referencia citada a continuación se encuentra recogida en documentos independientes en el directorio adjunto a la memoria ***Bibliografía_Callinectes_sapidus***:

Cabal, J., Millán, J. A. P., & Arronte, J. C. (2006). A New Record of *Callinectes Sapidus* Rathbun, 1896 (Crustacea: Decapoda: Brachyura) from the Cantabrian Sea, Bay of Biscay, Spain. *Aquatic Invasions*, 1, 186–187.

Castejón, D., & Guerao, G. (2013). A New Record of the American Blue Crab, *Callinectes Sapidus* Rathbun, 1896 (Decapoda: Brachyura: Portunidae), from the Mediterranean Coast of the Iberian Peninsula. *BioInvasions Records*, 2, 141–143.

Cerri, J., Chiesa, S., Bolognini, L., Mancinelli, G., Grati, F., Dragičević, B., ... Azzurro, E. (2020). Using Online Questionnaires to Assess Marine Bio-Invasions: A Demonstration with Recreational Fishers and the Atlantic Blue Crab *Callinectes Sapidus* (Rathbun, 1986) along Three Mediterranean Countries. *Marine Pollution Bulletin*, 156.

Clarkson, E., & Beseres Pollack, J. (2020). Characterizing Fish–Habitat Associations through Paired Fisheries-Independent and In Situ Habitat Assessments. *North American Journal of Fisheries Management*, 41(1): 49-63.

Farré, M., Lombarte, A., Tuset, V. M., & Abelló, P. (2021). Shape Matters: Relevance of Carapace for Brachyuran Crab Invaders. *Biological Invasions*, 23, 461–475.

Galil, B. S. (2000). A Sea under Siege - Alien Species in the Mediterranean. *Biological Invasions*, 2, 177–186.

Giovos, I., Kleitou, P., Poursanidis, D., Batjakas, I., Bernardi, G., Crocetta, F., ... Katsanevakis, S. (2019). Citizen-Science for Monitoring Marine Invasions and Stimulating Public Engagement: A Case Project from the Eastern Mediterranean. *Biological Invasions*, 21, 3707–3721.

Glamuzina, B., Tutman, P., Glamuzina, L., Vidović, Z., Simonović, P., & Vilizzi, L. (2020). Quantifying Current and Future Risks of Invasiveness of Non-Native Aquatic Species in Highly Urbanised Estuarine Ecosystems—A Case Study of the River Neretva Estuary (Eastern Adriatic Sea: Croatia and Bosnia–Herzegovina). *Fisheries Management and Ecology*.

González-Ortegón, E., Jenkins, S., Galil, B. S., Drake, P., & Cuesta, J. A. (2020). Accelerated Invasion of Decapod Crustaceans in the Southernmost Point of the Atlantic Coast of Europe: A Non-Natives' Hot Spot? *Biological Invasions*, 22, 3487–3492.

Mancinelli, G., Glamuzina, B., Petric, M., Carrozzo, L., Glamuzina, L., Zotti, M., Vizzini, S. (2016). The Trophic Position of the Atlantic Blue Crab *Callinectes Sapidus* Rathbun 1896 in the Food Web of Parila Lagoon (South Eastern Adriatic, Croatia): A First Assessment Using Stable Isotopes. *Mediterranean Marine Science*, 17, 634–643.

Mancinelli, G., Guerra, M. T., Alujević, K., Raho, D., Zotti, M., & Vizzini, S. (2017). Trophic Flexibility of the Atlantic Blue Crab *Callinectes Sapidus* in Invaded Coastal Systems of the Apulia Region (SE Italy): A Stable Isotope Analysis. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*.

Nehring, S. (2011). Invasion History and Success of the American Blue Crab *Callinectes Sapidus* in European and Adjacent Waters. In *In the Wrong Place - Alien Marine Crustaceans: Distribution, Biology and Impacts* (Galil, B. S., ed), pp. 607–624 Dordrecht: Springer Netherlands.

Ogburn, M. B., & Habegger, L. C. (2015). Reproductive Status of *Callinectes Sapidus* as an Indicator of Spawning Habitat in the South Atlantic Bight, USA. *Estuaries and Coasts*, 38, 2059–2069.

Prado, P., Peñas, A., Ibáñez, C., Cabanes, P., Jornet, L., Álvarez, N., & Caiola, N. (2020). Prey Size and Species Preferences in the Invasive Blue Crab, *Callinectes Sapidus*: Potential Effects in Marine and Freshwater Ecosystems. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 245.

Taybi, A. F., & Mabrouki, Y. (2020). The American Blue Crab *Callinectes Sapidus* Rathbun, 1896 (Crustacea: Decapoda: Portunidae) Is Rapidly Expanding Through the Mediterranean Coast of Morocco. *Thalassas*, 36, 267–271.

Vasconcelos, P., Carvalho, A. N., Piló, D., Pereira, F., Encarnação, J., Gaspar, M. B., & Teodósio, M. A. (2019). Recent and Consecutive Records of the Atlantic Blue Crab (*Callinectes Sapidus* Rathbun, 1896): Rapid Westward Expansion and Confirmed Establishment along the Southern Coast of Portugal. *Thalassas*, 35, 485–494.

Weatherall, T. F., Scheef, L. P., & Buskey, E. J. (2018). Spatial and Temporal Settlement Patterns of Blue Crab (*Callinectes Sapidus* and *Callinectes Similis*) Megalopae in a Drought-Prone Texas Estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 214, 89–97.

5. Ejecución de la campaña de invierno de 2021.

Programas de seguimiento a escala de red de monitoreo: Primavera 2020.

Días de trabajo en campo (Febrero + Marzo): 10 días totales [2 (prospección) + 8 (muestreo)]

Localidades prospectadas (Febrero + Marzo): 18 localidades del programa de seguimiento (Tabla).

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

Febrero-Marzo 2020

Unidades de muestreo de comunidad de peces y *Callinectes sapidus* (febrero y marzo 2021): 54 arrastres cuantitativos + 12 arrastres cualitativos.

Sector	Localidad	Coord. XX	Coord. YY	Fecha
AS06	Mar de Cristal	37°38'57.23"N	0°46'51.98"O	22/02/2021
AS07	Los Nietos "S"	37°38'58.00"N	0°46'54.37"O	22/02/2021
AS08	Lo Poyo Norte	37°40'08.90"N	0°49'03.93"W	23/02/2021
AS00	Las Encañizadas	37°46'44.51"N	0°45'22.81"O	23/02/2021
AS02	Punta Seca	37°43'42.62"N	0°44'23.66"W	24/02/2021
AS05	El Arsenal	37°38'20.64"N	0°45'05.83"O	24/02/2021
AS09	Los Urrutias Norte	37°41'15.79"N	0°50'05.21"W	25/02/2021
AS15	Villananitos	37°49'10.87"N	0°46'39.91"W	25/02/2021
AS16	Molino Calcetera	37°47'45.86"N	0°45'41.19"W	26/02/2021
AS10	Carmolí 2º Párking	37°42'20.44"N	0°50'58.28"O	26/02/2021
AS11	Camping Simón	37°43'16.96"N	0°51'35.65"O	26/02/2021
AS17	Punta Lengua de Vaca	37°38'49.51"N	0°46'18.44"O	01/03/2021
AS01	Navemar	37°45'12.56"N	0°44'32.12"O	01/03/2021
AS03	Rte. El Molino	37°41'53.3"N	0°44'29.2"W	01/03/2021
AS04	Gola de Marchamalo Sur	37°39'02.21"N	0°43'22.01"W	02/03/2021
AS12	Los Alcázares	37°44'21.15"N	0°50'53.83"O	02/03/2021
AS13	La Hita	37°45'41.99"N	0°49'16.13"O	03/03/2021
AS14	Camping Hita N	37°46'07.04"N	0°48'52.28"O	03/03/2021

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. & A. Pras.** 1993. Guía de los Peces de Mar de España y de Europa. *Ediciones Omega, S.A.* Barcelona. 432 pp.
- Bellard, C., Cassey, P., Blackburn, T.M.,** 2016. Alien species as a driver of recent extinctions. *Biol. Lett.* 12 (2).
- Clarkson, E., & Beseres Pollack, J. (2020).** Characterizing Fish–Habitat Associations through Paired Fisheries-Independent and In Situ Habitat Assessments. *North American Journal of Fisheries Management*, 41(1): 49-63.
- 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.
- Essl F., Bacher S., Blackburn T., Booy O., Brundu G., Brunel S., Cardoso A.C., Eschen R., Gallardo B., Galil B., García-Berthou E., Genovesi P., Groom Q., Harrower C., Hulme P.E., Katsanevakis S., Kenis M., Kühn I., Kumschick S., Martinou A.F., Nentwig W., O’Flynn C., Pagad S., Pergl J., Pyšek P., Rabitsch W., Richardson D.M., Roques A., Roy H.E., Scalera R., Schindler S., Seebens H., Vanderhoeven S., Vilà M., Wilson J.R.U., Zenetos A., Jeschke J.M.** 2015. Crossing frontiers in tackling pathways of biological invasions. *BioScience*, 65: 769–782.
- 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.
- 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.
- Mancinelli, G., Glamuzina, B., Petric, M., Carrozzo, L., Glamuzina, L., Zotti, M., ... Vizzini, S.** 2016. The Trophic Position of the Atlantic Blue Crab *Callinectes Sapidus* Rathbun 1896 in the Food Web of Parila Lagoon (South Eastern Adriatic, Croatia): A First Assessment Using Stable Isotopes. *Mediterranean Marine Science*, 17, 634–643.
- Mancinelli, G., Guerra, M. T., Alujević, K., Raho, D., Zotti, M., & Vizzini, S.** 2017. Trophic Flexibility of the Atlantic Blue Crab *Callinectes Sapidus* in Invaded Coastal Systems of the Apulia Region (SE Italy): A Stable Isotope Analysis. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*.
- 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.

- Múñoz A, Vivas M, García E, Guijarro E.** 2019. El cangrejo azul (*Callinectes sapidus*) en el Mar Menor (Murcia)
- Nehring, S.** 2011. Invasion History and Success of the American Blue Crab *Callinectes Sapidus* in European and Adjacent Waters. In *In the Wrong Place - Alien Marine Crustaceans: Distribution, Biology and Impacts* (Galil, B. S., ed), pp. 607–624 Dordrecht: Springer Netherlands.
- Occhipinti-Ambrogi A.** 2007. Global change and marine communities: Alien species and climate change. *Mar Pollut Bull* 55: 342–352.
- 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., 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”.

Prado, P., Peñas, A., Ibáñez, C., Cabanes, P., Jornet, L., Álvarez, N., & Caiola, N. 2020. Prey Size and Species Preferences in the Invasive Blue Crab, *Callinectes Sapidus*: Potential Effects in Marine and Freshwater Ecosystems. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 245.

Pyšek P., Hulme P.E., Simberloff D., Bacher S., Blackburn T.M., Carlton J.T., Dawson W., Essl F., Foxcroft L.C., Genovesi P., Jeschke J.M., Kühn I., Liebhold A.M., Mandrak N.E., Meyerson L.A., Pauchard A., Pergl J., Roy H.E., Seebens H., Kleunen M., Vilà M., Wingfield M.J., Richardson D.M. 2020. Scientists' warning on invasive alien species. *Biological Reviews*, 95: 1511-1534.

Richardson DM, Pyšek P. 2008. Fifty years of invasion ecology-the legacy of Charles Elton. *Divers Distrib* 14:161–168.

Roques A., Auger-Rozenberg M.A., Blackburn T.M., Garnas J.R., Pyšek P., Rabitsch W., Richardson D.M., Wingfield M.J., Liebhold A.M., Duncan R.P. 2016. Temporal and interspecific variation in rates of spread for insect species invading Europe during the last 200 years. *Biological Invasions*, 18: 907-920.

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

Taybi, A. F., & Mabrouki, Y. (2020). The American Blue Crab *Callinectes Sapidus* Rathbun, 1896 (Crustacea: Decapoda: Portunidae) Is Rapidly Expanding Through the Mediterranean Coast of Morocco. *Thalassas*, 36, 267–271.

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. & 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.
- Zamora-Marín J.M., Zamora-López A., Torralva-Forero M. & Oliva-Paterna F.J.** 2016. Presencia de la especie invasora *Pacifastacus leniusculus* (Dana, 1852) (Decapoda, Astacidae) en la Cuenca del Río Segura (SE, España). *Anales de Biología*, 38.