
SEACUMUR

IDENTIFICACIÓN DE LAS ESPECIES DE PEPINOS DE MAR DE INTERÉS COMERCIAL PRESENTES EN LAS COSTAS DE LA REGIÓN DE MURCIA Y EVALUACIÓN PRELIMINAR DE SUS STOCKS



ENTIDADES FINANCIADORAS:



SEACUMUR:

IDENTIFICACIÓN DE LAS ESPECIES DE PEPINOS DE MAR DE INTERÉS COMERCIAL PRESENTES EN LAS COSTAS DE LA REGIÓN DE MURCIA Y EVALUACIÓN PRELIMINAR DE SUS STOCKS

Proyecto financiado por GALPEMUR, Grupo de Acción Local de Pesca y Acuicultura de la Región de Murcia, entidad colaboradora con la Consejería de Agua, Agricultura, Ganadería, Pesca y Medio Ambiente para la gestión de la prioridad 4 del FEMP, en la implantación de su Estrategia de Desarrollo Local Participativa. Porcentajes de financiación del 85% del Fondo Europeo Marítimo y de la Pesca y 15% de la Región de Murcia.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN (pp 7)

2. ANTECEDENTES (pp 7)

3. METODOLOGÍA (pp 9)

3.1 Identificación de las especies (pp 10)

3.2 Distribución de talla y peso, estimas de abundancia y densidad (pp 11)

3.3 Estimaciones de biomasa (pp 13)

3.4 Potencial como recurso pesquero y en acuicultura (pp 13)

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN (pp 13)

4.1 Especies identificadas y hábitats asociados (pp 14)

4.2 Barcoding molecular de las especies (pp 24)

4.3 Distribución de talla y peso, estimas de abundancia, densidad y biomasa de las especies costeras (pp 30)

4.4 Distribución de talla y peso, estimas de abundancia, densidad y biomasa del cohombro real (pp 44)

4.5 Valor de mercado de las especies comerciales (pp 50)

4.6 Potencial del pepino de mar como recurso pesquero en la Región de Murcia (pp 52)

4.7 Potencial del pepino de mar como recurso en acuicultura (pp 56)

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES (pp 61)

6. BIBLIOGRAFÍA (pp 65)

1. INTRODUCCIÓN

Los pepinos de mar presentan un alto valor económico, considerando su alta y creciente demanda desde los países orientales. Por tanto, podrían constituir un nuevo recurso pesquero a explotar en las aguas mediterráneas, aunque es imprescindible hacer una evaluación de sus stocks, ya que se trata de especies que debido a sus características biológicas pueden experimentar, sobrepesca y rápidas extinciones locales.

Este proyecto pretende realizar la identificación de las especies de pepinos de mar de interés comercial presentes en la Región de Murcia (*barcoding* molecular y caracteres taxonómicos tradicionales) y una evaluación preliminar del estatus de sus stocks y biomasa disponible (censos visuales y embarque en arrastreros). Con esta caracterización previa del recurso, se podrá evaluar su potencial y se sentarán las bases para el desarrollo de futuros proyectos, que permitan la obtención de la información necesaria para la evaluación y gestión de sus pesquerías, si realmente constituye un recurso factible de ser explotado y, se llevará a cabo también la valoración preliminar del potencial de dichas especies, para su producción en acuicultura en la Región de Murcia.

2. ANTECEDENTES

Los pepinos de mar son invertebrados marinos con un importante rol en el ecosistema marino y un alto valor económico en los mercados asiáticos, donde los consumen como alimento (altos niveles en proteínas y minerales), y como productos para la salud (bioactividad anticancerígena, antioxidante, protección de UV, etc) (Roggatz et al., 2016; 2018; González-Wangüemert et al., 2018a; 2018b; 2018c; 2018d; 2019). La gestión de sus pesquerías es difícil, considerando las características biológicas del grupo y el riesgo de sobre-explotación, acorde al modelo “*boom-and-bust*” (“prosperidad y quiebra”)(González-Wangüemert et al., 2016; 2018a).

Las pesquerías de pepino de mar han estado centradas hasta hace escasos años en el Indo-Pacífico, incrementándose sus capturas desde 2.300 Tn en 1950 a más de 100.000 Tn en 2010 (FAO 2010). Hoy en día, más de 3 millones de pescadores de 70 países se dedican a la pesca de holoturias (pesquerías artesanales las cuales suelen ser multiespecíficas, e industriales que son mono-

específicas), exportándose la mayoría de ellas a Hong Kong para después ser re-exportadas a China (Anderson et al., 2011; Conand, 2017).

Como consecuencia, más del 70% de las pesquerías de holoturias alrededor del mundo se consideran sobre-explotadas o agotadas (Purcell et al., 2013; González-Wangüemert et al., 2018a), estando 16 especies de holoturias ya incluidas en la Lista Roja de la IUCN con el estatus de “vulnerable” o “en peligro”. En la mayor parte de los casos, esta sobre-explotación se debe a varias razones, destacando entre ellas: 1) la incorrecta identificación de las especies; 2) el desconocimiento total de los stocks existentes y sus tamaños efectivos, antes de comenzar su explotación; 3) la propia biología del grupo (reproducción denso-dependiente, tasas de crecimiento bajas o medias, altas tasas de mortalidad en la fase bentónica del desarrollo larvario, asentamiento, etc); 4) falta de información acerca de la biología de las especies; 5) y en consecuencia, la aplicación de una gestión a sus pesquerías incorrecta o casi inexistente.

El desarrollo de las pesquerías de pepinos de mar suele producirse siguiendo un modelo (poco deseado) denominado “*boom-and-bust*” (“prosperidad y quiebra”), e incluso con extinciones locales en algunas especies. La sobre-explotación de los pepinos de mar no sólo afecta a la especie en si misma, sino también al ecosistema marino, pudiendo favorecer y provocar incremento de materia orgánica en sedimento y eutrofización, los cuales podrían afectar a otras pesquerías especialmente bivalvos y peces, debido al aumento de la turbidez del agua y reducción por tanto, de la cobertura algal y de fanerógamas marinas (Purcell et al., 2016; González-Wangüemert et al., 2018a).

Considerando las repercusiones ecológicas y económicas que puede tener una gestión inadecuada de la pesca de pepino de mar, es imprescindible hacer una valoración del recurso con una correcta identificación de las especies (*barcoding* molecular y caracteres taxonómicos tradicionales), una estimación de las densidades y distribución de talla-peso por especie de interés comercial, así como una estima de la biomasa disponible. Los pepinos de mar podrían ser un recurso pesquero alternativo en aguas de la Región de Murcia, pero es imprescindible hacer en primer lugar una valoración previa del recurso, para conocer si es factible su explotación de modo sostenible, lo que llevará en caso afirmativo, a una valoración secundaria y más exhaustiva de los stocks. Además, ésta información junto a la previamente publicada y a la experiencia de la Dra.

Wangüemert, permitirá también realizar una primera evaluación del potencial de estas especies para su producción en acuicultura.

El objetivo principal de este proyecto es la identificación de las especies de pepinos de mar de interés comercial presentes en las costas de la Región de Murcia, la evaluación preliminar de sus stocks y, la valoración previa del potencial de dichas especies, para su producción en acuicultura. Los objetivos específicos podrían resumirse como:

- 1) Identificar las especies de holoturias con valor económico presentes en las costas de la Región de Murcia; se realizará mediante el estudio de caracteres taxonómicos tradicionales y *barcoding* molecular.
- 2) Distribución de talla y peso, abundancia y densidad de las especies comerciales presentes en el área de estudio. Datos estimados a partir de censos visuales para las especies costeras (San Pedro del Pinatar (El Mojón); Cabo de Palos; Isla del Ciervo (Mar Menor); Águilas (Los Cocedores)) y de arrastres, para las especies de profundidad (Cofradías de Mazarrón, Cartagena y Águilas).
- 3) Estimación de la biomasa disponible de las especies comerciales de pepino de mar en base a los muestreos realizados. A partir de los datos de talla, se estimarán las biomásas en base a las curvas de regresión ya publicadas anteriormente.
- 4) Evaluación preliminar del potencial de pepino de mar como recurso pesquero y en acuicultura.

3. METODOLOGÍA

Para el cumplimiento de dichos objetivos, se realizarán censos visuales de pepinos de mar mediante buceo en las siguientes localidades: San Pedro del Pinatar, Cabo de Palos, Isla del Ciervo y Águilas (Figura 1; Tabla I). Para las especies con mayor rango batimétrico, se llevarán a cabo muestreos mediante embarque en buques arrastreros pertenecientes a las Cofradías de Mazarrón, Cartagena y Águilas.

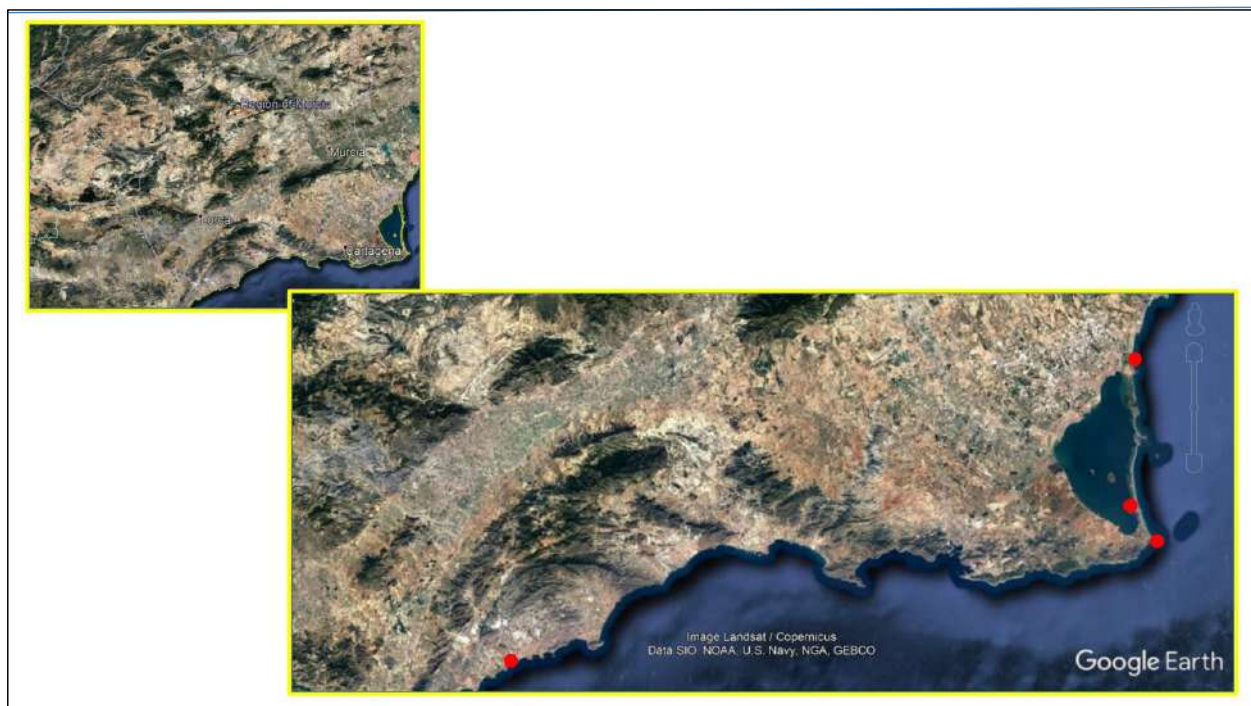


Figura 1. Localización de los puntos de muestreo (círculos rojos) donde se realizarán los censos visuales de pepinos de mar.

Tabla I. Coordenadas geográficas de las áreas de muestreo.

Áreas de muestreo	Latitud	Longitud
San Pedro del Pinatar	37°50'38.38"N	0°45'44.32"W
Cabo de Palos	37°37'56.74"N	0°41'23.75"W
Isla del Ciervo	37°39'39.69"N	0°44'15.68"W
Águilas	37°22'49.78"N	1°37'25.04"W

3.1 Identificación de las especies

Con respecto a la metodología de trabajo, durante los censos visuales se registraron e identificaron *in situ* los individuos pertenecientes al grupo Holothuroidea, limitando al mínimo la interacción con los animales, para asegurar un registro adecuado de su longitud total (evitando de

este modo, la contracción del animal por estrés). Sin embargo, para confirmar dichas identificaciones *in situ*, se realizó un estudio de la morfología externa e interna de 5 ejemplares de cada morfotipo de pepino de mar encontrado en las diferentes localidades de muestreo de la Región de Murcia (San Pedro del Pinatar; Cabo de Palos; Isla del Ciervo; Águilas), poniendo especial interés en los caracteres taxonómicos tradicionales (especialmente número de vesículas de Poli, presencia/ausencia túbulos de Cuvier, etc). Para ello, se extrajeron los individuos del medio natural, se sacrificaron mediante frío y fueron trasladados al laboratorio donde se realizó su disección. Además, se tomaron muestras de la pared corporal (4 uds/individ: dorsal oral y anal, ventral oral y anal), de las papilas orales y base de los pies ambulacrales/papilas, siendo conservadas en etanol al 70%, para posterior estudio de sus espículas. Una muestra de la musculatura interior fue también extraída, así como 10-15 pies ambulacrales; todos los tejidos fueron conservados en etanol al 99% para la extracción de ADN y estudio de genes mitocondriales (COI y 16S) y 1 gen nuclear (18S), para la realización del *barcoding* molecular. Esta metodología fue igualmente seguida para aquéllos casos (individuos), en los que no fue posible la identificación *in situ* a nivel de especie.

3.2 Distribución de talla y peso, estimas de abundancia y densidad

Para las especies con mayor presencia costera (principalmente las especies del género *Holothuria*), se realizó un muestreo mediante censos visuales (4 muestreos/año), siguiendo un transecto de 25x4m con tres réplicas, evitando pseudoreplicación, en cada una de las estaciones de muestreo anteriormente descritas (San Pedro del Pinatar; Cabo de Palos; Isla del Ciervo; Águilas).

Dos buceadores se desplazaron a lo largo del transecto cubriendo cada uno de ellos 2m a cada lado del transecto línea (donde están indicados los metros de recorrido). Durante los censos visuales, se localizaron todos los pepinos de mar encontrados en el área de muestreo cubierto por el transecto y se registraron los siguientes datos: 1) especie (en caso de duda con la identificación, se tomó fotografía dorsal y ventral con referencia de tamaño, y se capturó al menos 1 individuo de cada morfotipo no reconocido); 2) longitud total (se registró con una regla localizada paralelamente al cuerpo del animal, evitando su contracción); 3) metro y localización en el transecto donde el individuo ha sido encontrado; 4) agrupación o no del individuo (nº de indiv/grupo); 5) tipo de fondo (arena, roca, fango, etc). Para cada individuo registrado que superó la talla de madurez sexual

(tomando como referencia las publicaciones de la Dra. Wangüemert), se intentó realizar una pequeña biopsia *in situ* (corte de 1cm de longitud en la parte ventral, lateral izquierdo) para establecer el estado gonadal macroscópico del individuo. Además, a lo largo del mismo transecto otro buceador registró la cobertura (%) algal, fanerógamas marinas, roca, arena (quadrat de 1x1m), cada 5m del transecto. Estos muestreos fueron realizados por la empresa Taxón Estudios Ambientales S.L en colaboración con la Dra. Wangüemert.

Estos datos nos permitieron estimar la abundancia y densidad de individuos para cada una de las especies, así como su distribución de talla, y analizar su variabilidad temporal y espacial. Los valores medios de las variables obtenidas y estimadas fueron comparadas entre sitios de muestreo mediante ANOVAs. Se obtuvo también información adicional sobre las preferencias ecológicas de las diferentes especies con respecto al tipo de fondo y recubrimiento algal y de fanerógamas marinas, mediante análisis de componentes principales, los cuales permitieron examinar las relaciones entre presencia/ausencia de las especies y los parámetros ambientales (coberturas). Todos estos análisis fueron realizados acorde metodología descrita en Cánovas et al. (2019), Domínguez-Godino & González-Wangüemert (2020) y González-Wangüemert et al. (2018a).

Para el caso de especies de interés comercial que presentan un mayor rango batimétrico, como aquéllas perteneciente al género *Parastichopus*, se realizaron muestreos mediante embarque en buques arrastreros de las Cofradías de Mazarrón, Cartagena y Águilas, con temporalidad similar a la de los muestreos de especies costeras (teniendo en cuenta las restricciones por paro biológico y disponibilidad de embarque). En dichos muestreos, se identificaron *in situ*, mediante caracteres de morfología externa, las especies capturadas; en el caso de dudas en su identificación, se ejecutó el protocolo de obtención de ejemplares y tejidos anteriormente expuesto para especies costeras. Se realizó del mismo modo, la cuantificación de individuos capturados de cada especie en cada lance, y se estimó su densidad posteriormente, teniendo en cuenta el área cubierta por el arte en cada lance. En general, los arrastreros durante una jornada de trabajo ejecutan 2 ó 3 lances dependiendo de la duración, recorrido, profundidad, capturas y condiciones de la mar, para cada uno de ellos.

3.3 Estimaciones de biomasa

Acorde a las relaciones biométricas (longitud total (TL) y peso eviscerado total (TW)) previamente establecidas por la Dra. Wangüemert para las diferentes especies de holoturias de interés comercial (González-Wangüemert et al., 2016; Maggi & González-Wangüemert, 2015), se realizó una estimación preliminar de la biomasa disponible de pepinos de mar, en los diferentes lugares de muestreo. En el caso del cohombro real (*Parastichopus regalis*) se registró también *in situ* durante el embarque, el peso y tamaño de cada uno de los ejemplares capturados.

3.4 Potencial como recurso pesquero y en acuicultura

En base a los resultados obtenidos se realizó la caracterización previa del recurso, se evaluó su potencial y se establecieron las bases para el desarrollo de proyectos que permitan la obtención de la información necesaria para la exhaustiva evaluación de sus stocks y el desarrollo de la gestión de sus pesquerías, si realmente constituye un recurso factible de ser explotado.

Del mismo modo, se evaluó y discutió la idoneidad y posibilidad del cultivo de las diferentes especies de pepino de mar encontradas en la Región de Murcia, acorde a los datos obtenidos en este proyecto, a los previamente publicados por la Dra. Wangüemert y atendiendo a los criterios de demanda del mercado oriental.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En principio se realizaron muestreos puntuales (en algunas de las localidades seleccionadas) mediante censos visuales, para una primera validación de la metodología, calibración entre muestreadores de estimaciones de abundancia y densidad de holoturias, así como de estimaciones de cobertura de tipo de fondo, algal y de fanerógamas marinas, e identificación *in situ* mediante caracteres externos de las especies de pepinos de mar de la Región de Murcia. Una vez realizada dicha calibración entre muestreadores y adiestramiento en el reconocimiento de las especies de pepinos de mar mediante caracteres morfológicos externos, preferencias de hábitats y comportamiento, se

iniciaron los muestreos definitivos que proporcionaron los datos aquí analizados (4 muestreos estacionales/localidad).

4.1 Especies identificadas (caracteres morfológicos) y hábitats asociados

Como fue descrito en el apartado de Metodología, la identificación de especies se realizó mediante caracteres morfológicos externos e internos, preparación de espículas y *barcoding* molecular. Las principales especies comerciales presentes en aguas de la Región de Murcia en base a los muestreos de censos visuales y arrastres realizados son:

4.1.1 *Holothuria polii* (Delle Chiaje, 1824)

Forma del cuerpo cilíndrica con sección transversal redonda (Figura 2). La coloración del cuerpo es marrón claro u oscuro, con un elevado número de pies ambulacrales blancos en la parte ventral. Pequeñas papilas laterales. Única vesícula de Poli y un sólo canal calcáreo. Tentáculos orales peltados, entre 20 y 22. Dependiendo del habitat y estación del año, algunos animales presentan el cuerpo cubierto de arena, algas, y conchas. *H. polii* fue la especie más abundante, presentando preferencia por fondos arenosos con parches de vegetación submarina (principalmente fanerógamas marinas como *Cymodocea nodosa* y *Zoostera noltei*, o algas verdes como *Caulerpa prolifera*) (Figura 2).



Figura 2. *Holothuria polii* en el límite de una pradera de *Caulerpa prolifera* en la isla del Ciervo (Mar Menor, Murcia).

Holothuria polii presenta diferentes tipos de espículas, incluyendo botones, torres, placas y bastones (Figura 3). Los botones dorsales y ventrales son lisos o ligeramente rugosos, con 2-6 pares de agujeros; algunos botones pueden mostrar un mayor número de agujeros, los cuales podrían estar obliterados o incompletos (principalmente en la zona ventral). Las torres dorsales son cortas con disco redondeado, “espinoso” y con 4 agujeros centrales, a veces se pueden observar también agujeros periféricos (entre 1 y 4); la corona presenta espinas en cada esquina, teniendo apariencia de cruz de Malta. Las torres ventrales son muy similares a las dorsales, aunque de menor tamaño. Los bastones dorsales y ventrales están perforados, presentando múltiples agujeros; los bastones de los tentáculos son espinosos y tienen pequeños agujeros en las extremidades.

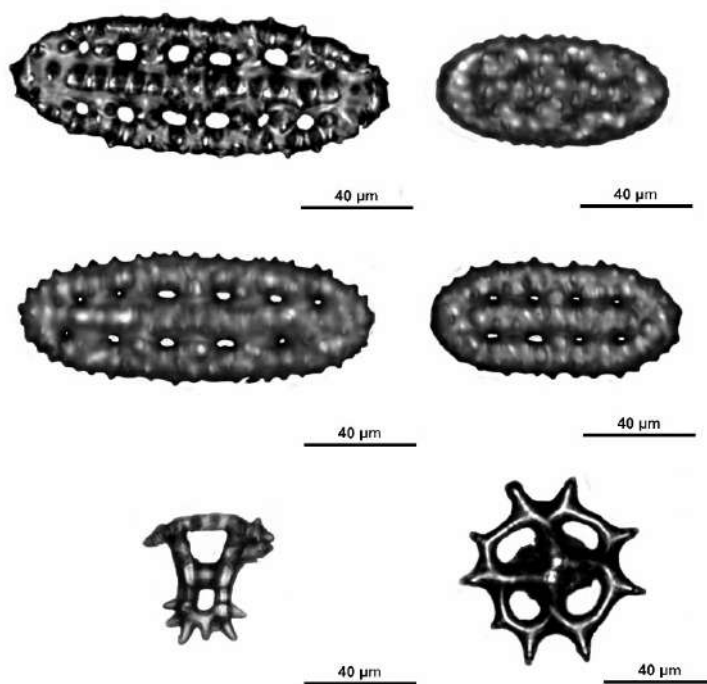


Figura 3. Principales espículas presentes en *Holothuria polii*.

4.1.2 *Holothuria tubulosa* (Gmelin, 1791)

Cuerpo con forma cilíndrica rugosa, el lado dorsal presentando coloración marrón y cubierta con numerosas papilas marrón oscuro, cónicas y con su parte apical en forma de cuerno (Figura 4). El lado ventral es marrón claro o blanquecino, con tres líneas claras de pies ambulacrales muy numerosos y conspicuos. Una de las características morfológicas de esta especie es la diferenciación de color entre su parte dorsal y ventral, siendo la última más clara y a veces presentando manchas irregulares de coloración. Sin embargo es importante destacar, que hay algunos especímenes de *H. tubulosa* que no presentan este patrón de coloración, especialmente en la costa sur de Murcia y las Islas Baleares. Los túbulos de Cuvier están ausentes y el número de canales calcáreos oscila entre 2 y 19, y 0 y 12 en el lado derecho e izquierdo respectivamente. La boca es ventral, rodeada de 20 tentáculos orales (cortos y aplanados); ano ventral con papilas anales bien desarrolladas.

H. tubulosa es también común, pero menos abundante que *H. polii*, presentando preferencias diferentes de hábitat. *H. tubulosa* aparece asociada a fondos de arena, en los límites de las praderas de *Posidonia oceanica*, aunque también aparecen algunos ejemplares asociados a *Cymodocea nodosa* o en zonas de transición, con mayor complejidad del hábitat (arena, roca, algas verdes) (Figura 4).

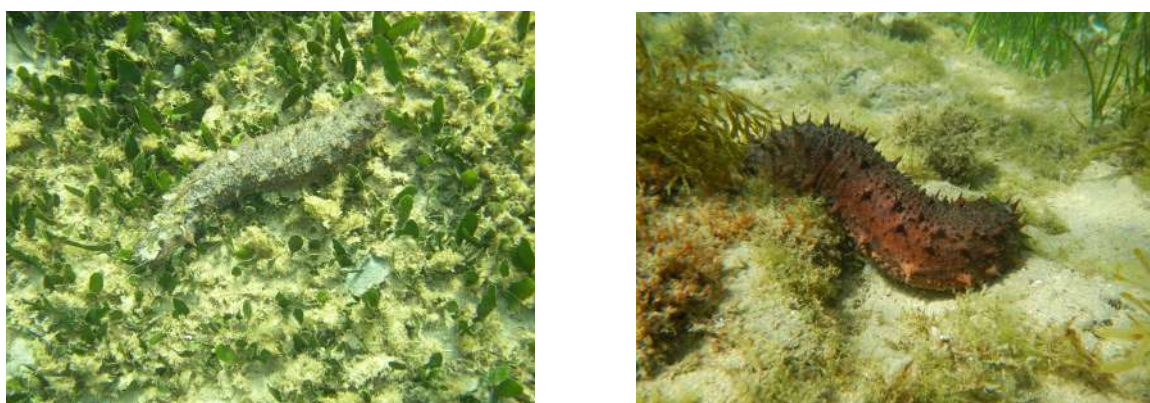


Figura 4. *Holothuria tubulosa* en fondo arenoso.

Holothuria tubulosa muestra alta variabilidad en sus espículas dependiendo de diferentes factores tales como hábitat, origen geográfico y edad, al igual que la mayor parte de las holoturias

(Figura 5). Las espículas más comunes en el lado dorsal y ventral son las torres y botones. Las torres son pequeñas y el disco tiene forma ligeramente arqueada. Algunas torres muestran un disco con borde espinoso, presentando generalmente 4 orificios centrales, aunque algunos discos pueden presentar un número variable de perforaciones periféricas. Los botones son ovales, siendo de mayor tamaño, los de la parte dorsal del animal. Presentan superficie rugosa, borde irregular y espinoso. El número de agujeros es variable, pero normalmente es número par (de 6 a 12 agujeros), aunque podrían estar fragmentados, siendo de menor tamaño o incluso completamente obliterados, presentando el botón una apariencia compacta y rugosa. En las papilas y pedicelos, se pueden encontrar placas perforadas con diferentes morfologías.

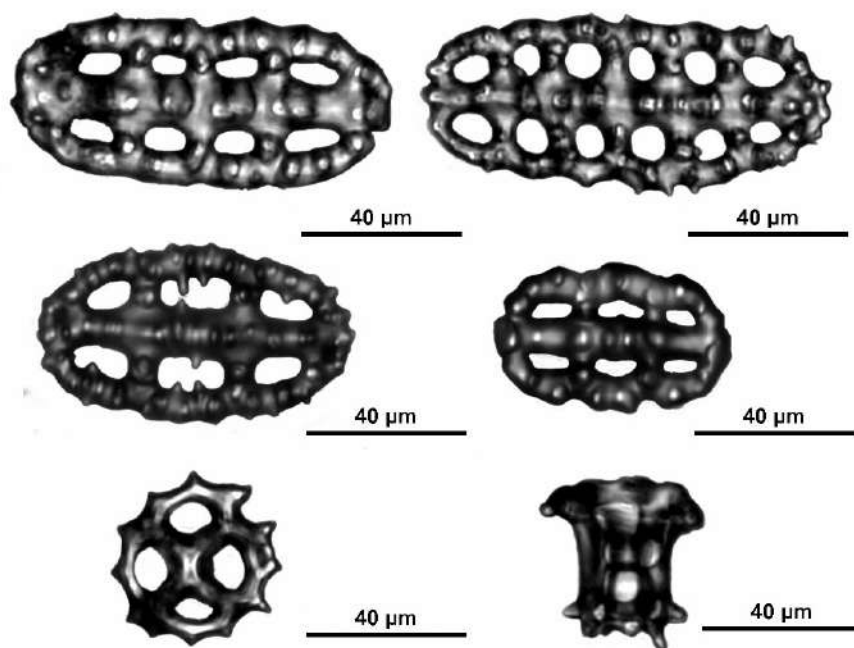


Figura 5. Espículas características de *Holothuria tubulosa*.

4.1.3 *Holothuria mammata* (Grube, 1840)

Cuerpo cilíndrico, boca sub-ventral y ano terminal (Figura 6). Color oscuro uniforme (marrón oscuro o negro) en lado dorsal y ventral. En la superficie dorsal presenta papilas conspicuas

distribuidas en hileras longitudinales irregulares, más abundantes y de mayor tamaño alrededor de la zona oral. La superficie ventral muestra pies ambulacrales ordenados en tres series longitudinales. El número de canales calcáreos oscila entre 1 y 5 (lado derecho) y de 0 a 6 (lado izquierdo). Tiene un carácter diagnóstico, la presencia de túbulos de Cuvier, aunque se presentan en bajo número, son pequeños y nunca son expelidos (como es el caso de *Holothuria forskali* u *Holothuria sanctori*). Los túbulos de Cuvier en *H. mammata* no son elongados, ni pegajosos al contacto con superficies sólidas o líquidas, y presentan resistencia débil (Borrero-Pérez et al., 2009). Su presencia puede ser difícil de confirmar en especímenes colectados antiguamente, o no preservados correctamente, o eviscerados. En cualquier caso, es recomendable el uso de microscopio electrónico para la confirmación de presencia de estos túbulos de Cuvier. *H. mammata* fue encontrada principalmente en hábitats rocosos en la mayor parte de los casos, en el interior de grietas o agujeros, con baja actividad durante el día.



Figura 6. *Holothuria mammata* sobre fondo rocoso en Águilas (Murcia)(Foto: Filipe Henriques).

Las principales espículas presentes en *H. mammata* son botones y torres (Figura 7). Los botones son gruesos y con apariencia rugosa, cubiertos por numerosas y pequeñas protuberancias y con varios pares de agujeros pequeños. Existe una alta frecuencia de aparición de botones sin perforaciones, principalmente en la parte ventral del animal (Figura 7). Las torres muestran discos

perforados por 4 grandes agujeros centrales (algunas veces, 3 agujeros) y cuatro pilares formando la espira (típica estructura tetra basal). El disco es muy variable y puede no presentar orificios externos, mostrar algunos de ellos, o registrar un anillo completo de agujeros; también es posible encontrar discos lisos o espinosos. De hecho, todas estas variaciones pueden presentarse en un mismo individuo. El tamaño de los agujeros y orificio central también es muy variable. Las espiras tienen dos barras cruzadas terminando en una corona de espinas.

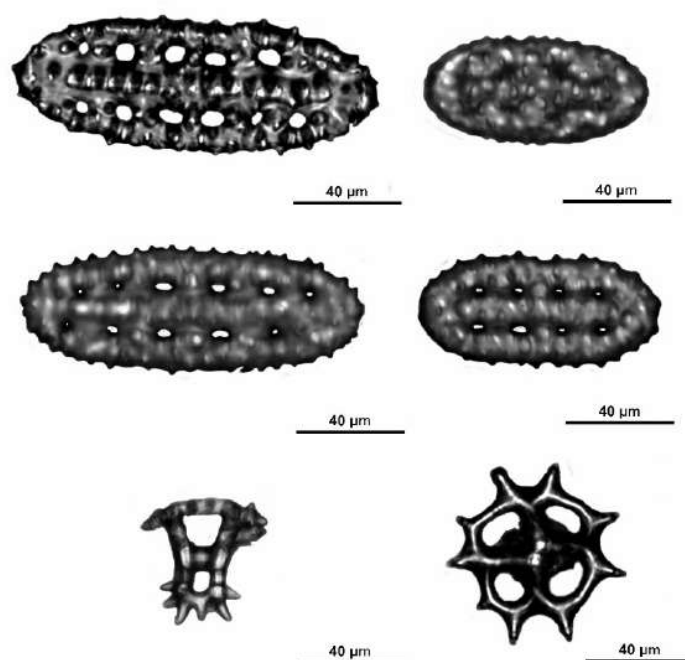


Figura 7. Espículas características de *Holothuria mammata*.

4.1.4 *Holothuria sanctori* (Delle Chiaje, 1823)

Cuerpo tubular, aunque podría ser aplanado en su parte ventral (Figura 8). Pared corporal gruesa. Boca sub-ventral y ano terminal. La superficie dorsal está llena de numerosas y pequeñas papilas cónicas. La superficie ventral está cubierta por una alta densidad de pies ambulacrales, con un modelo uniforme de distribución. La coloración es variable; la superficie dorsal puede presentar

toda una gradación de coloración desde el marrón oscuro a completamente cubierta por anillos amarillos (el extremo de las papilas siempre marrón oscuro). Sin embargo, el morfotipo más común es el que presenta coloración marrón, con las papilas rodeadas de anillos de color más claro. La superficie dorsal es áspera. La superficie ventral y tentáculos generalmente marrones. *H. sanctori* muestra túbulos de Cuvier bien desarrollados los cuales están unidos a la parte basal de los árboles respiratorios, y son expelidos como mecanismo de defensa.



Figura 8. *Holothuria sanctori* en oquedad de roca en los fondos de Águilas (S Murcia).

Las espículas características de *H. sanctori* presentan bordes lisos; los botones son planos con una cresta longitudinal flanqueada por una fila de agujeros a cada lado (Figura 9). Algunos de estos agujeros pueden ser ocasionalmente pequeños. Las torres presentan espiras tetra basales, de moderada altura y coronadas por dientes pequeños aunque abundantes en número. Los discos de las torres son ligeramente ondulados con 4 agujeros centrales y 8 agujeros (a veces 9 ó 10) distales.

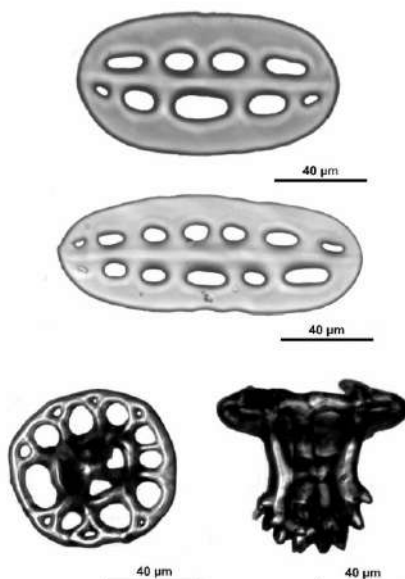


Figura 9. Espículas presentes en *Holothuria sanctori*.

4.1.5 *Holothuria impatiens* (Forsskål, 1775)

Esta especie presenta tamaño medio (7-11 cm de longitud total), con perfil esbelto y delgado, y con una característica forma de botella en la zona oral, seguida de un largo “cuello”; presenta 20 tentáculos orales, pequeño ano y boca, ambos en posición terminal (Figura 10a). Presenta una coloración marronácea, con pequeños y finos puntos oscuros con papilas beige. Los pies ambulacrales son cilíndricos, ligeramente papiliformes en el lado dorsal, distribuidos por el cuerpo sin patrón aparente. Las espículas dorsales (Figura 10 b; c) y ventrales (Figura 10 e; f) encontradas fueron torres con 8 agujeros marginales y una espira con una o dos “vigas” cruzadas, y numerosas espinas cortas en el extremo (Figura 10b; e). Los botones son ovales y lisos con 6 grandes agujeros (Figura 10 c; f). También presentan placas en los pies ambulacrales frecuentemente reducidas y bastones curvos, recios y con pocos agujeros en los extremos apicales o en el centro (Figura 10 d).



Figura 10. *Holothuria impatiens* y espículas características (fotografía tomada de González-Wangüemert et al., 2018c; Figura 3, pp 2181).

4.1.6 *Parastichopus regalis* (Cuvier, 1817)

Cuerpo comprimido a lo largo del eje dorso-ventral; la superficie dorsal presenta numerosas papilas con su extremo apical blanco, conspicuas (Figura 11). En el lado ventral se observan tres líneas de pedicelos formando un trivium bien marcado. Su coloración es marronácea u ocre-amarilla con numerosos lunares blancos, los tentáculos orales son blancos. Especie capturada en los muestreos en arrastreros, con preferencia de hábitats de profundidad, con fondos arenosos-fangosos o de cascajo.

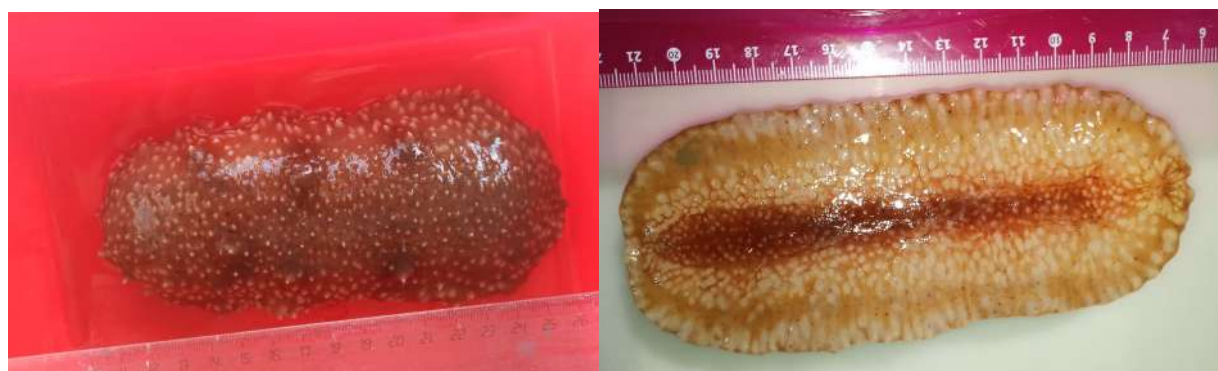


Figura 11. Ejemplar de *Parastichopus regalis* capturado durante los muestreos en arrastrero de la Cofradía de Mazarrón (Murcia) (vista dorsal: izquierda; vista ventral: derecha).

Esta especie presenta sólo torres bien desarrolladas en la pared corporal; algunos bastones y placas terminales pueden ser observadas en las papilas y pedicelos (Figura 12). El disco de las tablas presenta varios anillos de perforaciones (hasta más de 60 agujeros, decreciendo en talla hacia la periferia). La espira está compuesta de 4 pilares y máximo 5 “travesaños”. Los bastones irregularmente perforados.

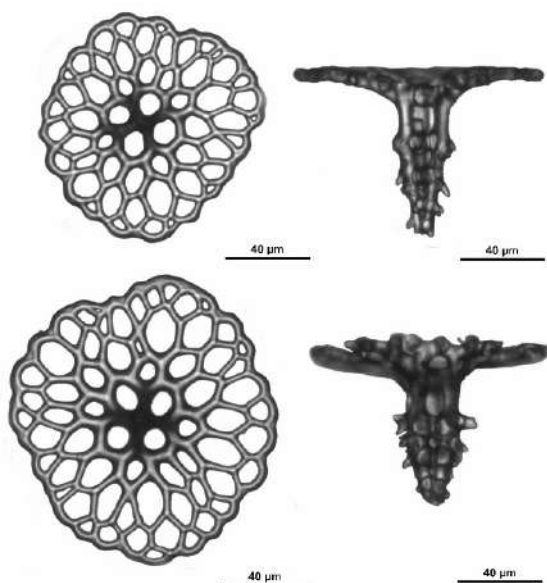


Figura 12. Espículas características de *Parastichopus regalis*.

4.2 Barcoding molecular de las especies

Como fue descrito anteriormente en el apartado de metodología, las especies fueron identificadas en base a caracteres taxonómicos tradicionales (morfología externa e interna y estudio de espículas) y mediante *barcoding* molecular a través de la secuenciación de 3 genes (2 genes del DNA mitocondrial, COI y 16S, y un gen del DNA nuclear, 18S) (Figura 13).

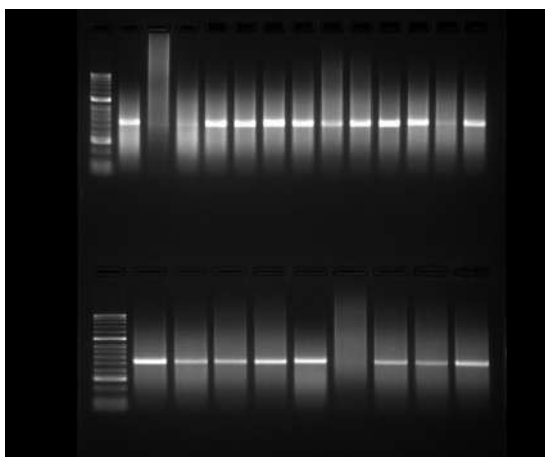


Figura 13. Gel de acrilamida para la verificación de amplificación de genes en los diferentes individuos.

Las secuencias obtenidas para los individuos capturados durante los muestreos, fueron comparadas con secuencias de referencia para las distintas especies de pepinos de mar, disponibles en la base de datos GENBANK ([/www.ncbi.nlm.nih.gov/genbank/](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/genbank/)) (Tabla II), usando la herramienta BLAST (blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi?CMD=Web&PAGE=BLASTHome). Se realizaron también análisis evolutivo de las secuencias mediante diferentes metodologías, lo cual permitió la “asignación” de nuestras especies, capturadas durante los muestreos (y previamente estudiadas a nivel morfológico), a los clados de las especies de referencia (cuyos haplotipos están registrados con un código de acceso público en la web del GENBANK).

Tabla II. Códigos de secuencias de las diferentes especies (obtenidas del GENBANK).

CÓDIGOS GENBANK	COI	16S
<i>Holothuria tubulosa</i>	GQ214748, GQ214749	KJ812180, GU797631
<i>Holothuria mammata</i>	GQ214745, GQ214743	JF697308, GU797595
<i>Holothuria polii</i>	GQ214759, GQ214758	EU750785, EU750767
<i>Holothuria impatiens</i>	GQ214764	MK477995
<i>Parastichopus regalis</i>	KM048361	KM048341, KM048324
<i>Isostichopus fuscus</i>	MK477985	MK477875

La historia evolutiva fue inferida mediante diferentes metodologías. El método de *Maximum Likelihood* y el modelo de *Kimura-2-parameter*, generó el árbol de morfología circular que se muestra en la Figura 14 (árbol que presenta mayor verosimilitud, $\log probability = -1897.15$). Los árboles iniciales para la búsqueda heurística fueron generados mediante la aplicación de algoritmos (*Neighbor-Joining* and *BioNJ*) a la matriz de distancias estimadas mediante el método MCL (*Maximum Composite Likelihood*). Este análisis implicó el estudio de cambios en 26 secuencias, con un total de 419 pb cada una de ellas. Como *outgroup* y para poder enraizar el árbol, se usó la especie *Isostichopus fuscus*, pepino de mar presente en el Océano Pacífico.

En dicho árbol (Figura 14) se observa que la identificación previa de los individuos capturados en los muestreos (código GALPEMUR en los árboles mostrados; Figura 14) mediante caracteres morfológicos y espículas, coincide con el *barcoding* molecular obtenido para el gen de la COI.

Por ejemplo, las muestras capturadas en el Mojón (MJ, San Pedro del Pinatar) y en Los Cocedores (CC, Águilas) e identificadas previamente mediante caracteres morfológicos como individuos de *Holothuria tubulosa* (códigos: TCC01 GALPEMUR, TMJ03 GALPEMUR, TCC02 GALPEMUR y TMJ01 GALPEMUR; Figura 14), aparecen agrupadas en el mismo clado, junto a las secuencias de referencia para *H. tubulosa* del GENBANK (GQ214748, GR214749). Es importante destacar, que el soporte estadístico de los clados que agrupan a los individuos de las diferentes especies es muy alto, dándole solidez a los resultados y a la asignación de los individuos a las especies correspondientes, en base al COI *barcoding*.

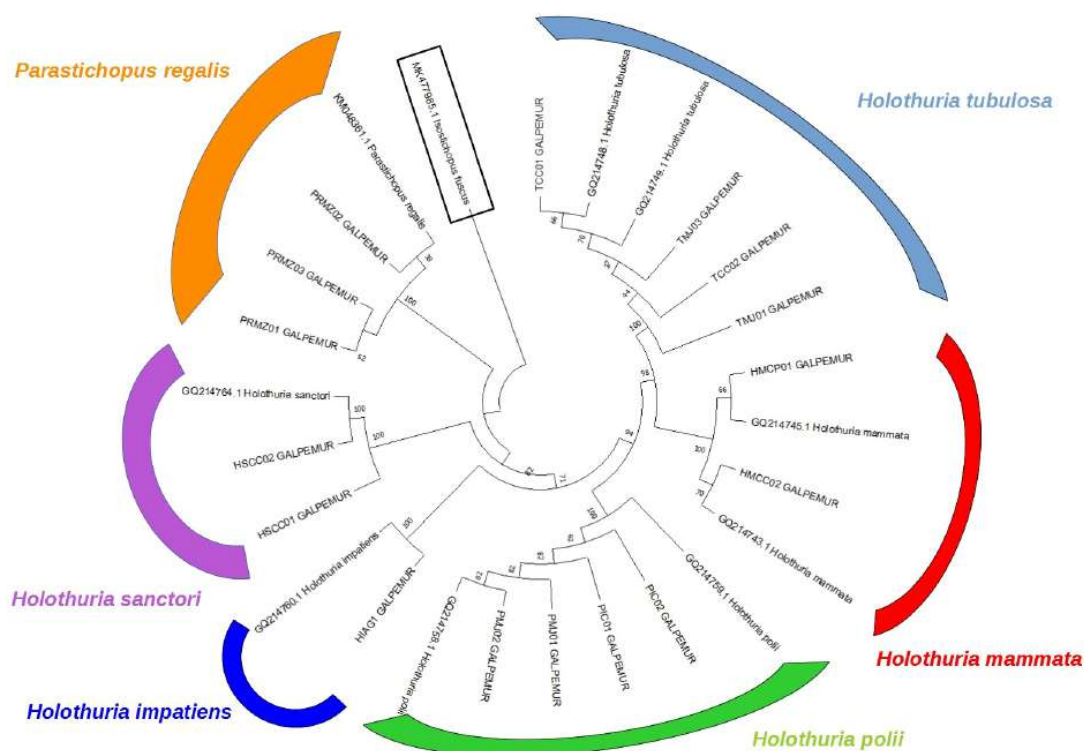


Figura 14. Árbol evolutivo obtenido a partir de las secuencias del COI mediante el método de *Maximum Likelihood*.

Para verificar estas asignaciones, las secuencias de COI fueron también analizadas mediante otra metodología, *Unweighted Pair Group Method with Arithmetic mean* (UPGMA), la cual permitió obtener resultados similares a los anteriores, aunque con mayor robustez estadística y significado evolutivo, agrupando todas las especies pertenecientes al género *Holothuria* en un gran clado y separándolo del género *Parastichopus* e *Isostichopus* (utilizado éste último como *outgroup*).

El árbol UPGMA de morfología tradicional obtenido a partir de las secuencias del COI (Figura 15) y el árbol consenso (*Consensus Tree*, Figura 16), muestran la correcta asignación, de los individuos capturados a su especie de referencia, basada en criterios genéticos (*barcoding*

molecular). Puede observarse por ejemplo, que los individuos capturados en Águilas (Los Cocedores, CC) y Cabo de Palos (CP) (individuos HMCP01 GALPEMUR y HMCC02 GALPEMUR), previamente identificados como *Holothuria mammata* (HM) mediante caracteres taxonómicos externos y estudio de espículas, aparecen junto a los individuos de referencia en el GENBANK para esa especie (GQ214745 y GQ214743), en el mismo clado (color rojo). La asignación correcta también se observa para el resto de individuos capturados en los muestreos (código GALPEMUR en los árboles mostrados, Figura 15 y 16) y pertenecientes a las diferentes especies.

El soporte estadístico de los diferentes clados muestra valores elevados, demostrando la robustez de las agrupaciones obtenidas, especialmente en el árbol consenso de metodología UPGMA, con valores que oscilan entre 71 y 100 para los principales clados que agrupan a las diferentes especies (Figura 16, *Consensus Tree*).

El árbol de UPGMA representado mediante morfología circular (Figura 17) muestra de manera más intuitiva, la agrupación de individuos pertenecientes a la misma especie en clados altamente soportados. El método UPGMA, como fue comentado anteriormente proporciona una visión más rigurosa en cuanto a la agrupación en un mismo clado de los individuos pertenecientes a diferentes especies del mismo género *Holothuria* (incluyendo *Holothuria tubulosa*, *Holothuria mammata*, *Holothuria polii*, *Holothuria impatiens* y *Holothuria polii*). Los clados que agrupan los individuos de cada una de estas especies muestran alto soporte estadístico (100), y clados como aquéllos que unen *H. tubulosa* y *H. mammata*, o éstas dos especies con *H. polii* también aparecen fuertemente soportados (con valores de 98 y 94 respectivamente).

Estos resultados permiten la correcta asignación e identificación de las especies de interés comercial de pepinos de mar presentes en las costas de Murcia, y ponen de manifiesto una vez más, la gran utilidad del uso combinado de caracteres taxonómicos “clásicos” (generalmente asociados a morfología interna y externa de los ejemplares, así como del estudio de espículas en holoturias) y el *barcoding* molecular (principalmente con el gen COI), para la identificación de especies con rigor científico. Los resultados del gen 16S (no mostrados en este informe para evitar información redundante) apoyaron el *barcoding* obtenido con COI, y el gen 18S permitió establecer diferencias

entre las especies capturadas, pero no facilitó el barcoding molecular debido a la falta de registros en el GENBANK de secuencias para este gen de nuestras especies comerciales.

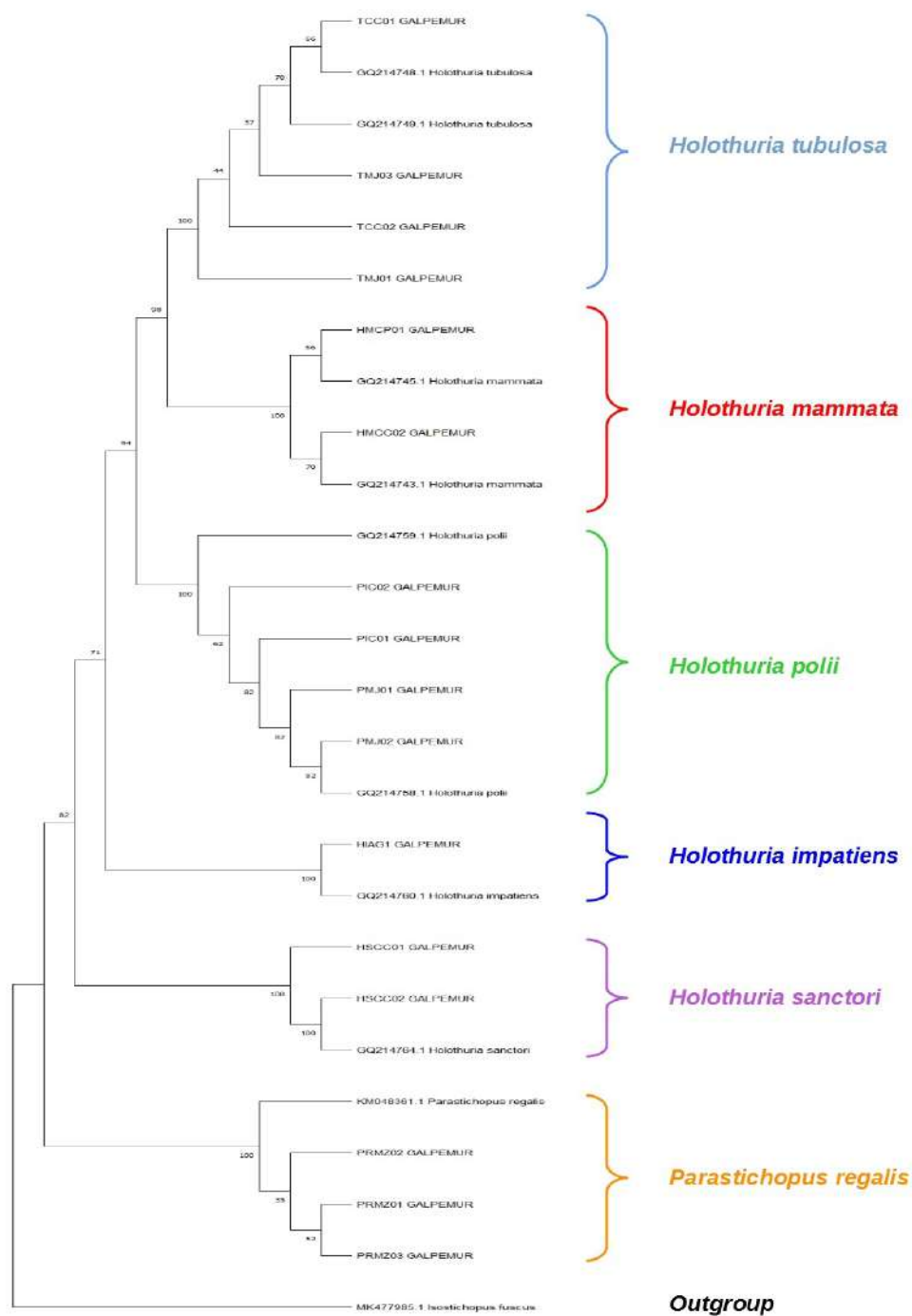


Figura 15. Árbol evolutivo de las especies muestreadas obtenido mediante UPGMA.

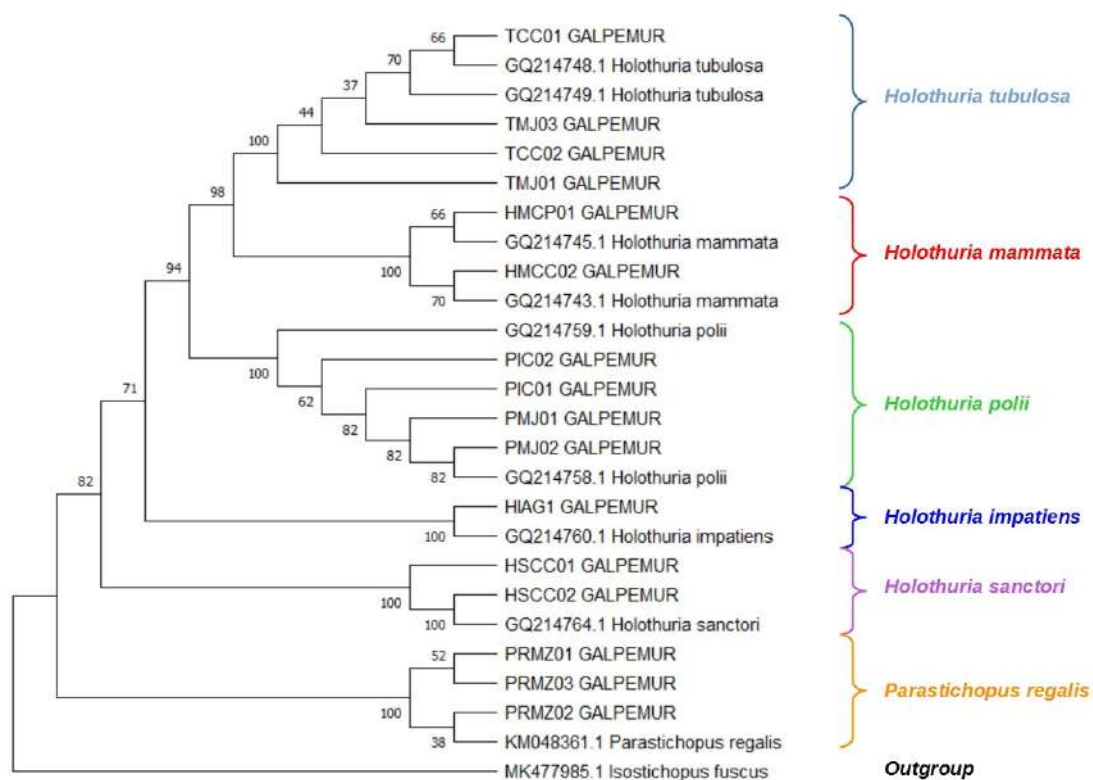


Figura 16. Árbol evolutivo (*Consensus Tree*) de las especies muestreadas obtenido mediante UPGMA.

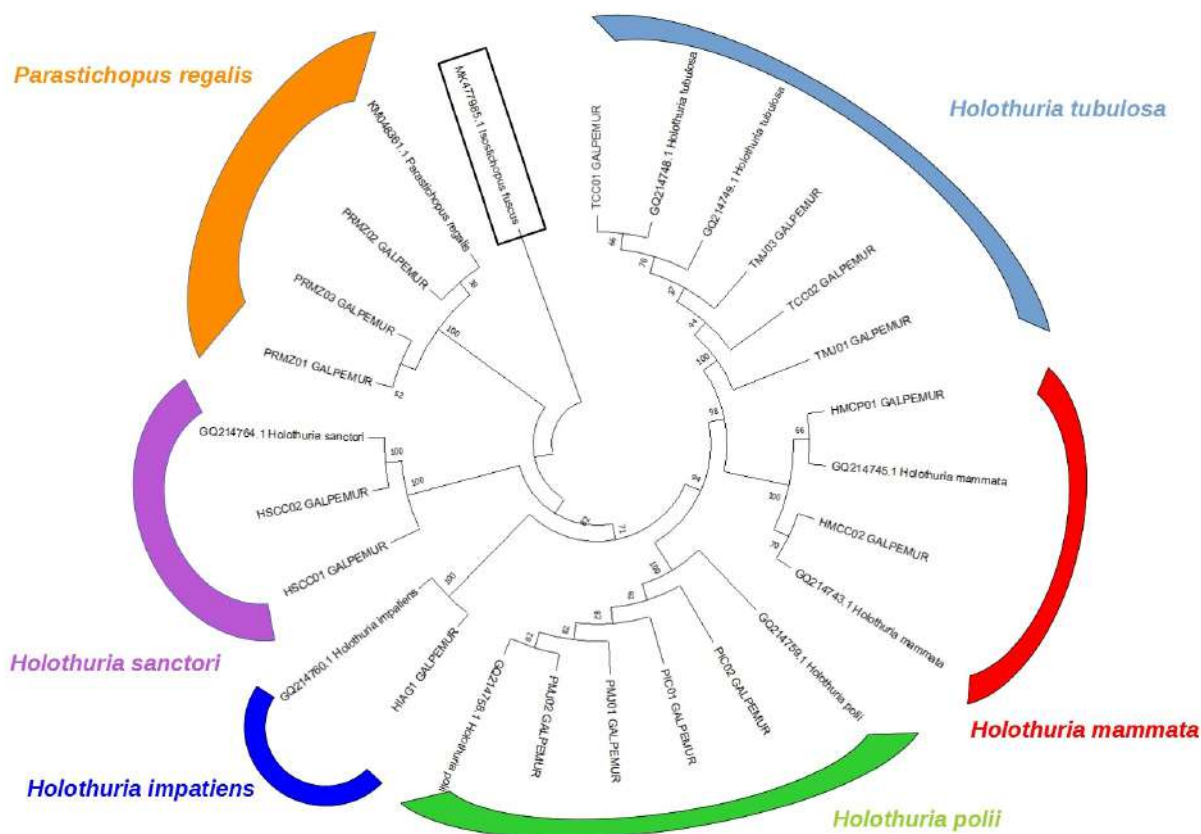


Figura 17. Barcoding molecular (COI): Árbol evolutivo con morfología circular de las especies muestreadas, obtenido mediante UPGMA.

4.3 Distribución de talla y peso, estimas de abundancia, densidad y biomasa de las especies costeras

4.3.1 Recurso “pepino de mar” (considerando el conjunto de las 5 especies identificadas)

Acorde a los resultados expuestos previamente, se han identificado mediante caracteres morfológicos externos e internos, y *barcoding* molecular, un total de 5 especies de interés comercial (*Holothuria polii*, *Holothuria tubulosa*, *Holothuria sanctori*, *Holothuria mammata* y *Holothuria impatiens*) en los muestreos realizados desde costa mediante censos visuales. Otras especies anteriormente registradas en las costas murcianas, como son *Holothuria arguinensis* y *Oestergrenia*

digitata (González-Wangüemert & Borrero-Pérez, 2021; González-Wangüemert et al., 2018c) no han sido detectadas durante los muestreos asociados a este proyecto.

Si consideramos el conjunto de las cinco especies como recurso “pepino de mar”, detectamos que los individuos de clase de talla entre 10 y 15 cm y peso eviscerado entre 40 y 60 g son los predominantes (Figura 18).

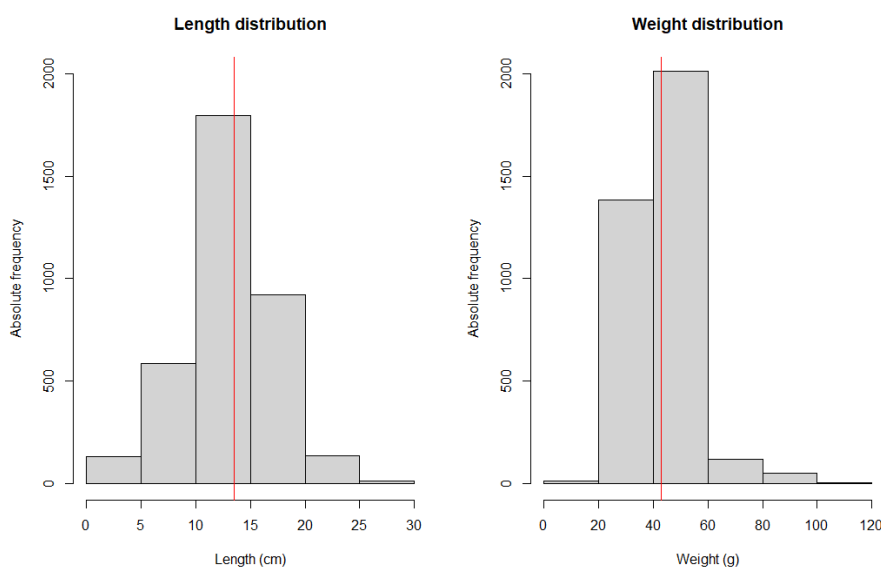


Figura 18. Frecuencia absoluta de las clases de talla (izquierda) y de peso (derecha) para el conjunto de pepinos de mar registrados en los muestreos mediante censos visuales.

Los individuos de mayor tamaño y peso se registraron en las localidades de Los Cocedores (Águilas) y Cabo de Palos (Figura 19; Tabla III), presentando ambas variables diferencias significativas entre localidades (Tabla III); aunque existe una gran dispersión de datos y “outliers” (Figura 19), asociadas probablemente a la existencia de diferentes especies en el conjunto de los datos.

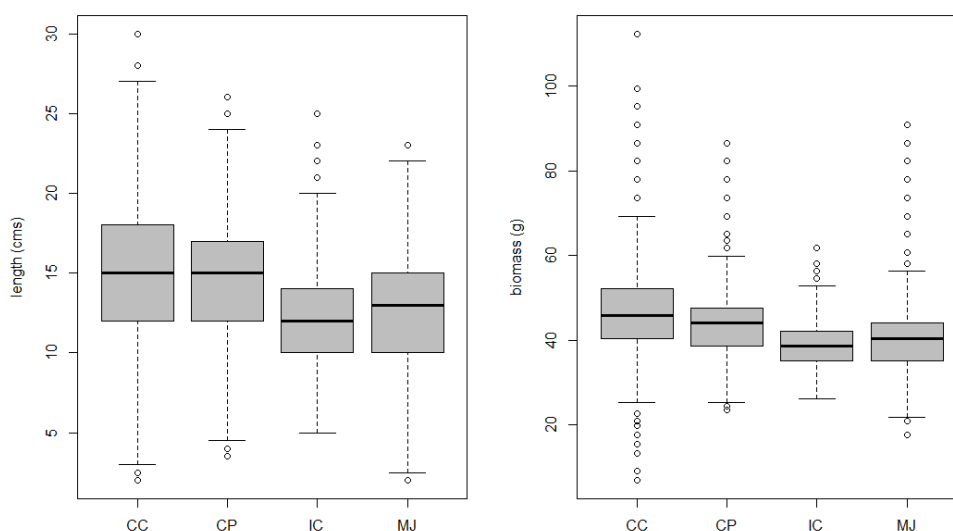


Figura 19. Talla (izquierda) y peso (derecha) medio del recurso “pepino de mar” por localidad de muestreo (CC: Los Cocedores, Águilas; CP: Cabo de Palos; IC: Isla del Ciervo, Mar Menor; MJ: El Mojón, San Pedro del Pinatar).

En cuanto a la densidad de pepinos de mar observados en cada una de las localidades, (considerando 4 especies comerciales, principalmente *Holothuria polii*, *Holothuria tubulosa*, *Holothuria sanctori* y *Holothuria mammata*, dado que para la especie *Holothuria impatiens* sólo se detectó 1 individuo), los valores más elevados se registran en Los Cocedores (Águilas) ($0.88 \text{ indiv}/\text{m}^2 \pm 0.13$) y seguidamente en la Isla del Ciervo ($0.83 \text{ indiv}/\text{m}^2 \pm 0.19$); aunque es importante destacar que en esta localidad ubicada en el SE del Mar Menor, sólo se detectó una especie, *Holothuria polii* (Figura 20; Tabla III). Los valores menores de densidad se registraron en Cabo de Palos ($0.59 \text{ indiv}/\text{m}^2 \pm 0.08$), aunque las diferencias entre localidades no fueron significativas ($p = 0.12$; Tabla III).

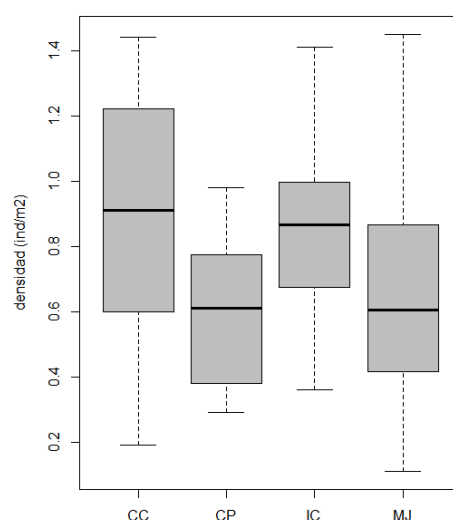


Figura 20. Densidad media (individuos/m²) de pepinos de mar (4 especies) por localidad (CC: Los Cocedores, Águilas; CP: Cabo de Palos; IC: Isla del Ciervo, Mar Menor; MJ: El Mojón, San Pedro del Pinatar).

Los datos de biomasa total considerando el conjunto de las especies (*Holothuria polii*, *Holothuria tubulosa*, *Holothuria sanctori* y *Holothuria mammata*) muestran diferencias significativas entre las localidades muestreadas ($p=0.02$; Tabla III; Figura 21). Los valores de biomasa total oscilaron entre los 425.7 kg/Ha de Los Cocedores (Águilas) a 258.08 kg/Ha en Cabo de Palos. Estos valores son menores que los estimados en Turquía, principal país del Mediterráneo en las capturas de pepinos de mar y su exportación a Hong Kong, donde se registraron 1065 kg/Ha de pepino de mar (*Holothuria tubulosa* 44%, *Holothuria polii* 43% y *Holothuria mammata*, 13%; Aydin, 2019). Aunque también podemos resaltar que las estimas de biomasa de pepinos de mar en la Región de Murcia, son mayores que las registradas para otras especies afines, como *Holothuria arguinensis* en Ria Formosa (Sur de Portugal), con biomásas que oscilaron entre 3.41 Kg/Ha y 115 Kg/ha en 2014 y 2015 (Domínguez-Godino & González-Wangüemert, 2020) o en Praia de Faro (Ria Formosa, Sur Portugal) con biomásas entre 94.32kg/Ha y 119.96kg/Ha en 2013 (Siegenthaler et al., 2015). En el caso de *Holothuria mammata* las biomásas registradas en Ria Formosa (Sur de Portugal) fueron incluso menores, del orden de 5-11kg/Ha. En este último caso destacar, que los hábitats predominantes en la Ria Formosa (principalmente fondo areno-fangosos, con algunas zonas de praderas de *Cymodocea nodosa* y *Zoostera noltei*) no son hábitats de preferencia de *H. mammata*, la cual presenta generalmente patrones de comportamiento de ocultación durante las

horas de luz en grietas de rocas o bajo ellas, y sólo sale a alimentarse durante la noche (Siegenthaler et al., 2017).

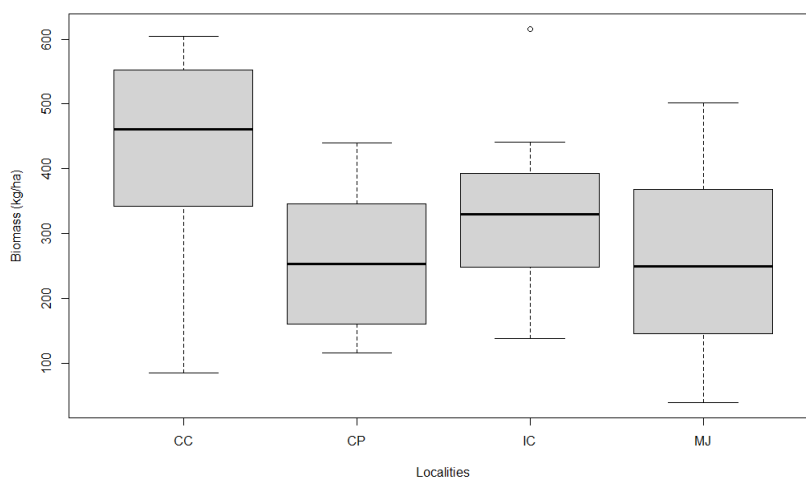


Figura 21. Biomasa media (kg/Ha) de pepinos de mar (incluyendo *Holothuria polii*, *Holothuria sanctori*, *Holothuria tubulosa*, y *Holothuria mammata*) por localidad de muestreo (CC: Los Cocedores, Águilas; CP: Cabo de Palos; IC: Isla del Ciervo, Mar Menor; MJ: EL Mojón, San Pedro del Pinatar).

4.3.2 Recurso “pepino de mar” por especies

Los registros de talla y peso por especie obtenidos durante los muestreos mediante censos visuales, muestran que las especies *Holothuria tubulosa* y *Holothuria sanctori* son las que presentan mayor valor medio de talla (Figura 22; Tabla III), aunque *H. polii* presenta valores inferiores, pero similares. Sólo la especie *H. polii* presenta diferencias significativas de talla y peso entre localidades, con mayor valor medio para ambas variables en Los Cocedores (Águilas) (Tabla III). Los datos de longitud total de *H. tubulosa* fueron menores que aquéllos registrados en la zona de El Mojón en 2013 (González-Wangüemert et al., 2016), donde la especie presentó valores medios de 16.93 ± 3.29 cm y talla máxima de 24 cm; por el contrario, los valores de talla media de *H. polii* fueron menores (El Mojón, 12.42 ± 2.32 cm; González-Wangüemert et al., 2016).

La especie *H. mammata* muestra valores menores de talla y peso (Figura 22), características que podrían estar asociadas a que los individuos registrados sean principalmente juveniles o pre-adultos, considerando que en muestreos realizados en Los Cocedores en 2013, se detectaron individuos adultos de esta especie con una talla media de 18.44 ± 4.55 cm e individuos de hasta 38 cm de longitud total máxima (González-Wangüemert et al., 2016). Además el tamaño muestral asociado a esta especie es muy bajo (N=70 individuos), por lo tanto los valores medios de longitud y peso podrían estar sesgados.

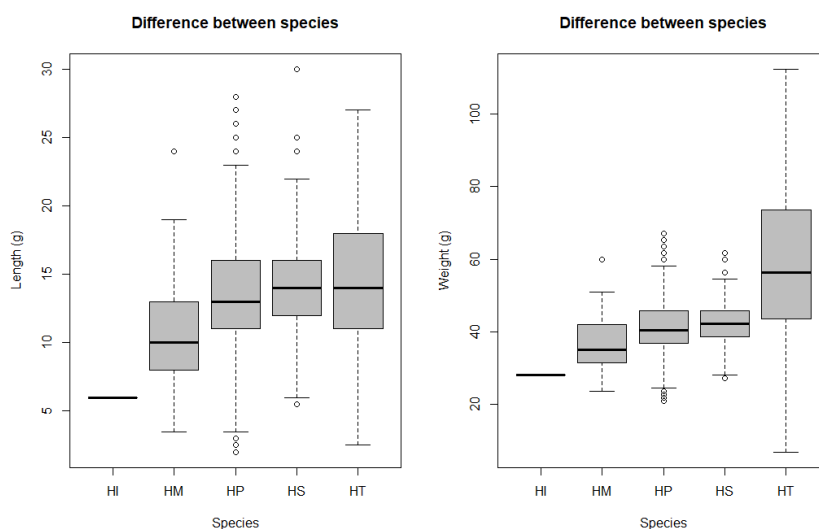


Figura 22. Talla (izquierda) y peso (derecha) medio de las diferentes especies detectadas mediante censos visuales (HI: *Holothuria impatiens*; HM: *Holothuria mammata*; HP: *Holothuria polii*; HS: *Holothuria sanctori*; HT: *Holothuria tubulosa*).

La especie *H. tubulosa* es la que presenta mayor peso medio (Figura 22 derecha), seguida de *H. sanctori* y *H. polii*, a pesar de que el valor medio de longitud total es muy similar en las tres especies; esto puede ser debido al mayor grosor de la pared corporal que presenta *H. tubulosa* comparada con las otras dos especies (González-Wangüemert et al., 2019). Cabe destacar que el valor medio de peso obtenido para *H. tubulosa* es menor que los registrados en El Mojón en 2013 (González-Wangüemert et al., 2016), donde el peso medio fue de 77.50 ± 22.09 g y el valor máximo 149 g; en el caso de *H. polii* los valores se mantuvieron muy similares a los valores obtenidos por la Dra. Mercedes Wangüemert en trabajos previos.

Tabla III. Resultado del análisis de la varianza (ANOVA) para las variables de talla, peso, densidad y biomasa, considerando como factor la “localidad de muestreo” para el conjunto de las especies (“All”), *Holothuria polii* (HP), *Holothuria sanctori* (HS), *Holothuria tubulosa* (HT), y *Holothuria mammata* (HM); (CC: Los Cocedores, Águilas; CP: Cabo de Palos; IC: Isla del Ciervo, Mar Menor; MJ: El Mojón, San Pedro del Pinatar).

Species	Variable		CC	CP	IC	MJ	Pvalue		
All	Length (cm)	N	1061	710	1004	804			
		Min	2	3.5	5	2			
		Max	30	26	25	23			
		Mean ±SD	15.05 ± 4.27	14.56 ± 3.5	12.3 ± 2.83	12.06 ± 4.26	6.97E-93	***	
	Weight (g)	N	1061	710	1004	804			
		Min	6.95	23.645	26.3	17.7			
		Max	112.3	86.5	61.7	90.8			
		Mean ±SD	48.15 ± 13.54	43.62 ± 7.12	39.22 ± 5	39.47 ± 9.06	2.84E-117	***	
	Density (ind/m2)	Mean ±SD	0.88 ± 0.13	0.59 ± 0.08	0.83 ± 0.19	0.67 ± 0.30	0.12		
		Mean ±SD	42.57 ± 16.77	25.80 ± 10.41	32.81 ± 12.80	26.44 ± 14.36	0.02	*	
	HP	Length (cm)	N	417	285	1004	754		
			Min	2	3.5	5	2		
Max			28	26	25	23			
Mean ±SD			16.44 ± 4.27	15.69 ± 3.68	12.3 ± 2.83	12.0 ± 4.25	3.81E-113	***	
Weight (g)		N	417	285	1004	754			
		Min	20.99	23.645	26.3	20.99			
		Max	67.01	63.47	61.7	58.16			
		Mean ±SD	46.55 ± 7.56	45.21 ± 6.52	39.22 ± 5	38.7 ± 7.53	3.66E-115	***	
Density (ind/m2)		Mean ±SD	0.35 ± 0.14	0.27 ± 0.08	0.84 ± 0.2	0.63 ± 0.3	0.00531	**	
		Mean ±SD	16.18 ± 6.91	12.1 ± 3.36	32.81 ± 9.39	24.31 ± 11.08	0.0179	*	
HS		Length (cm)	N	319	382	~	~		
			Min	5.5	6	~	~		
	Max		30	25	~	~			
	Mean ±SD		14.34 ± 3.08	14.05 ± 2.88	~	~	0.209		
	Weight (g)	N	319	382	~	~			
		Min	27.185	28.07	~	~			
		Max	56.39	61.7	~	~			
		Mean ±SD	42.76 ± 5.23	42.33 ± 5.1	~	~	0.271		
	Density (ind/m2)	Mean ±SD	0.27 ± 0.15	0.37 ± 0.19	~	~	0.418		
		Mean ±SD	11.37 ± 6.74	15.84 ± 8.52	~	~	0.442		
	HT	Length (cm)	N	297	14	~	36		
			Min	2.5	12	~	5		
Max			27	21	~	22			
Mean ±SD			14.22 ± 4.71	16.21 ± 2.91	~	14.14 ± 4.09	0.278		
Weight (g)		N	297	14	~	36			
		Min	6.95	47.8	~	17.7			
		Max	112.3	86.5	~	90.8			
		Mean ±SD	57.19 ± 20.31	65.92 ± 12.53	~	57 ± 17.57	0.271		
Density (ind/m2)		Mean ±SD	0.25 ± 0.09	0.02 ± 0	~	0.03 ± 0.01	0.0001	***	
		Mean ±SD	14.16 ± 4.61	1.1 ± 0.29	~	1.87 ± 0.5	0.000163	***	
HM		Length (cm)	N	27	29	~	14		
			Min	5	4	~	3.5		
	Max		24	17	~	15			
	Mean ±SD		11.44 ± 4.64	9.47 ± 3.34	~	9.75 ± 3.38			
	Weight (g)	N	27	29	~	14			
		Min	26.3	24.53	~	23.645			
		Max	59.93	47.54	~	47.8			
		Mean ±SD	37.71 ± 8.20	34.2 ± 5.91	~	35.94 ± 7.3			
	Density (ind/m2)	Mean ±SD	0.05 ± 0.06	0.07 ± 0.04	~	0.03 ± 0.02			
		Mean ±SD	1.84 ± 2.00	2.33 ± 1.35	~	1.17 ± 0.69			

‡Nótese que el número de individuos muestreados para *H. tubulosa* no está balanceado entre las tres localidades; en el caso de *H. mammata* debido al bajo número de registros no se realizó el análisis de la varianza.

En cuanto a la distribución de clases de talla y biomasa por especie y localidad es importante destacar, que cuanto mayor es el tamaño muestral por especie (número de individuos muestreados), mejor y más ajustada distribución se obtiene de dichas variables para las diferentes localidades.

En el caso de *Holothuria polii*, se muestrearon un total de 2460 individuos presentes en las cuatro localidades de muestreo; su distribución de talla y peso nos muestra que la localidad de El Mojón (San Pedro del Pinatar) podría estar funcionando como zona de reclutamiento, ya que es la estación que presenta mayor frecuencia de clases de talla pequeña y menores pesos individuales (Figura 23 y 24). Los datos procedentes de la Isla del Ciervo en el Mar Menor, nos muestran pérdida de las clases de talla y peso mayores; esta característica de la población podría ser debida a las condiciones extremas del Mar Menor, principalmente alta salinidad y temperatura, factores ambos que determinan la supervivencia de equinodermos, los cuales son muy sensibles principalmente a los valores extremos de salinidad. La baja frecuencia de las clases de talla mayores podría ser debido a que *H. polii* en el Mar Menor dedica más energía a sobrevivir a condiciones adversas y reproducirse, en vez de alcanzar tallas mayores. Las localidades de Los Cocedores (Águilas) y Cabo de Palos, presentan las poblaciones más estables, principalmente Los Cocedores, con una amplia representación de todas las clases de talla y peso, que probablemente están incluyendo varias cohortes (Figura 23 y 24).

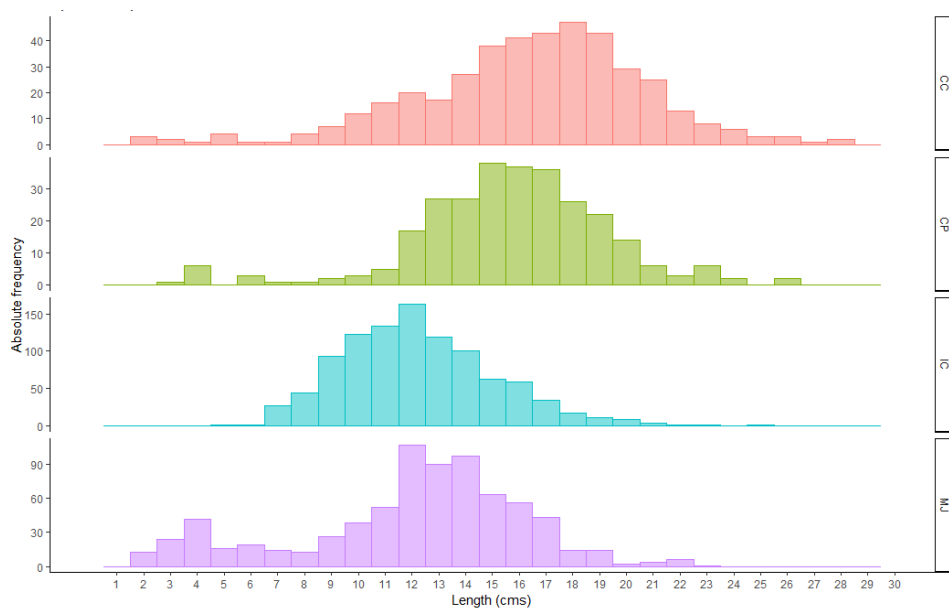


Figura 23. Frecuencia absoluta de clases de talla de *Holothuria polii* en las diferentes localidades muestreadas (CC: Los Cocedores, Águilas; CP: Cabo de Palos; IC: Isla del Ciervo, Mar Menor; MJ: El Mojón, San Pedro del Pinatar).

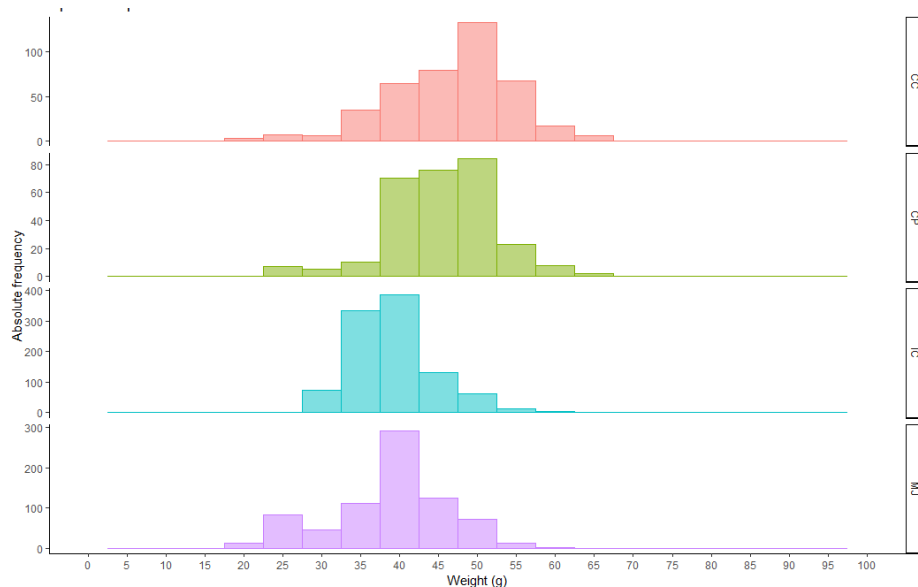


Figura 24. Frecuencia absoluta de clases de peso de *Holothuria polii* en las diferentes localidades muestreadas (CC: Los Cocedores, Águilas; CP: Cabo de Palos; IC: Isla del Ciervo, Mar Menor; MJ: El Mojón, San Pedro del Pinatar).

En el caso de *Holothuria tubulosa* (Figura 25 y 26) el número de individuos muestreados (N= 347) fue mucho menor que el de *H. polii*; además los datos no están balanceados, dado que 297 individuos de esta especie fueron registrados en Los Cocedores (Águilas) y sólo 14 individuos en Cabo de Palos y 36 en El Mojón (San Pedro del Pinatar). Por tanto, esta limitación de datos debe ser considerada en la interpretación de los resultados, lo cual nos permite concluir que la población de *H. tubulosa* en Los Cocedores está bien estructurada con presencia de todas las clases de talla y de peso (incluidos juveniles, lo cual implica también la presencia de zona de reclutamiento en la localidad); sin embargo, no se pueden extraer conclusiones de los datos procedentes de Cabo de Palos o El Mojón debido al bajo número de individuos registrados.

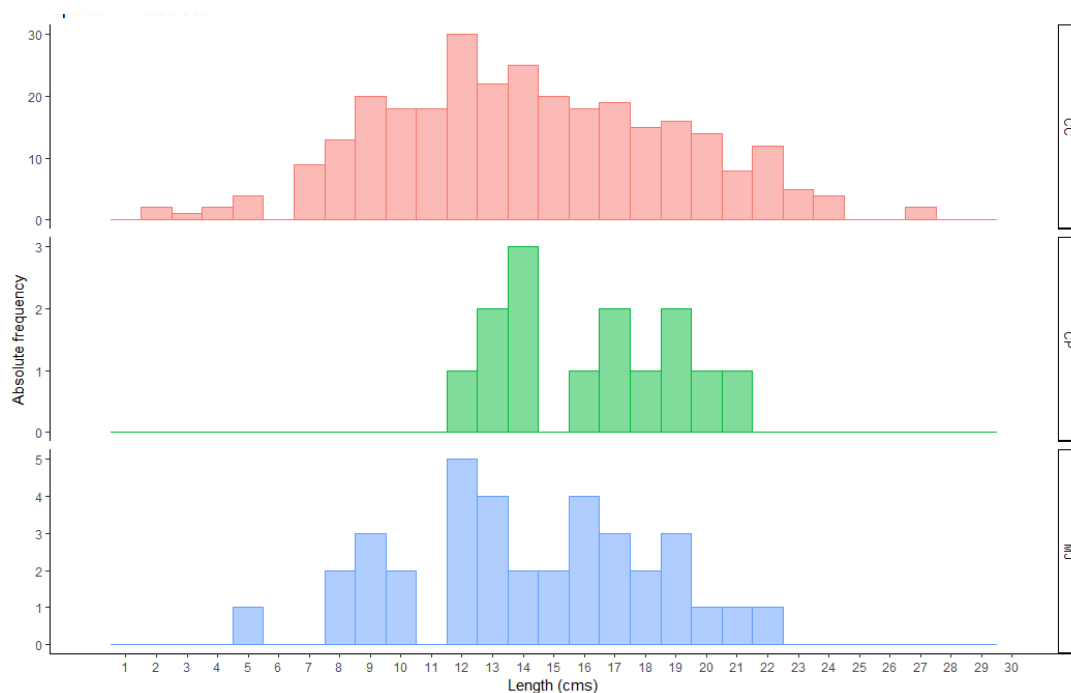


Figura 25. Frecuencia absoluta de clases de talla de *Holothuria tubulosa* en las diferentes localidades muestreadas (CC: Los Cocedores, Águilas; CP: Cabo de Palos; MJ: El Mojón, San Pedro del Pinatar).

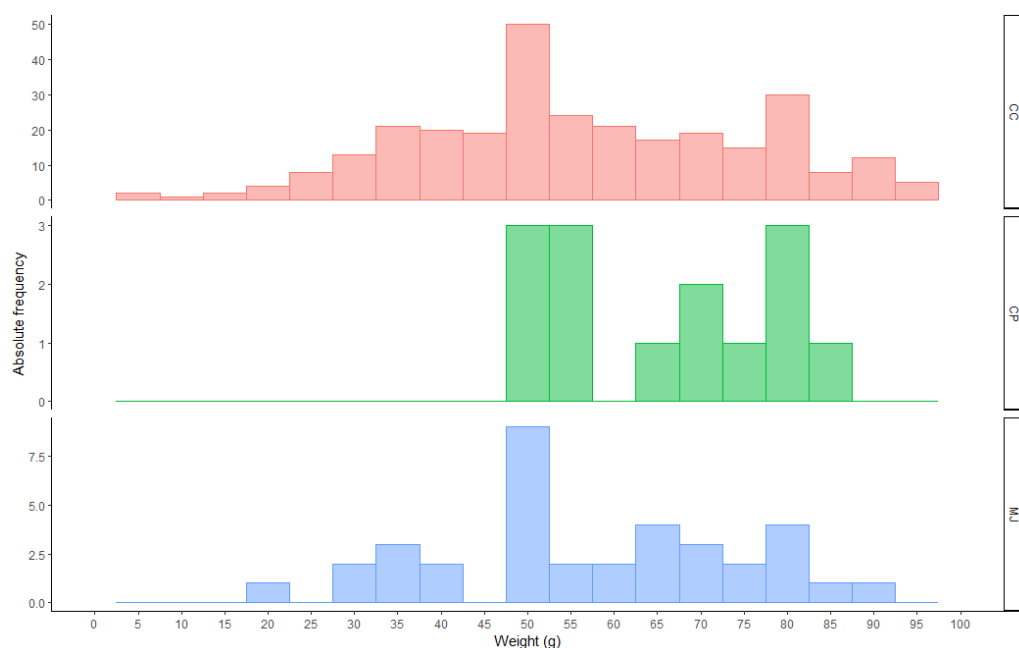


Figura 26. Frecuencia absoluta de clases de peso de *Holothuria tubulosa* en las diferentes localidades muestreadas (CC: Los Cocedores, Águilas; CP: Cabo de Palos; MJ: El Mojón, San Pedro del Pinatar).

Finalmente en el caso de la especie *Holothuria sanctori*, presente sólo en Cabo de Palos y Los Cocedores, se registraron un total de 701 individuos (Figura 27 y 28), aunque en este caso si fueron datos balanceados (319 y 382 respectivamente). Ambas localidades presentan una distribución de tallas similar, aunque en Los Cocedores el peso de los individuos es mayor, presentando por tanto un mejor índice de condición que podría ser explicado por una ganancia de peso para individuos del mismo tamaño, y que probablemente presentan mayor grosor de la pared corporal.

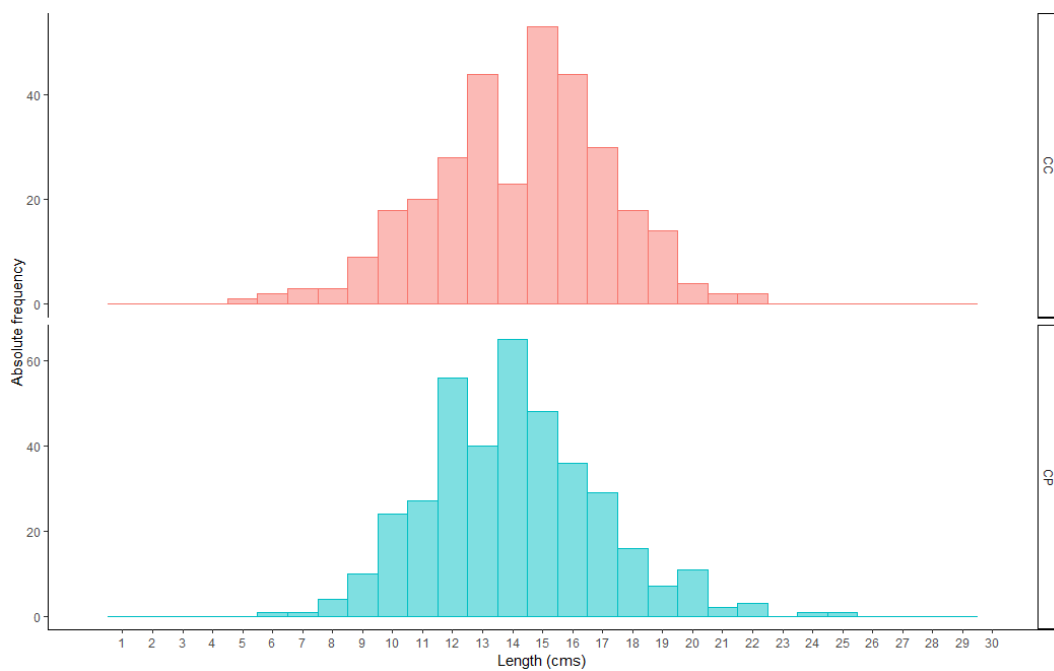


Figura 27. Frecuencia absoluta de clases de talla de *Holothuria sanctori* en las localidades muestreadas (CC: Los Cocedores, Águilas; CP: Cabo de Palos).

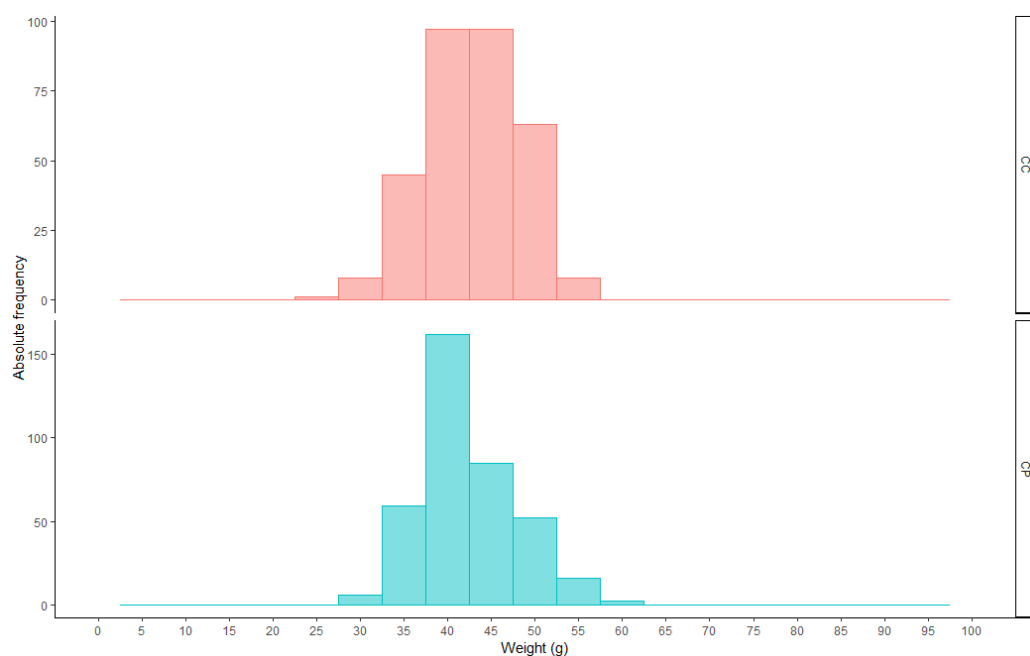


Figura 28. Frecuencia absoluta de clases de peso de *Holothuria sanctori* en las localidades muestreadas (CC: Los Cocedores, Águilas; CP: Cabo de Palos).

Las tendencias estacionales de biomasa y densidad por especie y localidad también fueron analizadas, aunque no se encontraron patrones significativos probablemente debido a la necesidad de un mayor número de censos visuales a lo largo del año y de localidades de muestreo, para poder establecer la dinámica de poblaciones (densidad y biomasa disponible) de las diferentes especies comerciales de forma más precisa y estacional.

Finalmente y dado que durante los muestreos con censos visuales se registraron no sólo la presencia de individuos de pepinos de mar y su longitud a lo largo de los transectos, sino también las coberturas del fondo, se trató de establecer las posibles relaciones entre la presencia o ausencia de las diferentes especies de holoturia y variables del hábitat registradas tales como: % de arena y roca, % de fanerógamas marinas incluyendo *Cymodocea nodosa* y *Posidonia oceanica*, y % de algas correspondientes a distintas especies. En primer lugar se aplicó un test de Pearson para establecer las correlaciones entre las variables del hábitat (coberturas) (Tabla IV), y eliminar aquéllas variables (cobertura de tipo de fondo y/o cobertura algal o de fanerógamas marinas) que presentaran una elevada correlación (ya sea positiva o negativa) para posteriores análisis.

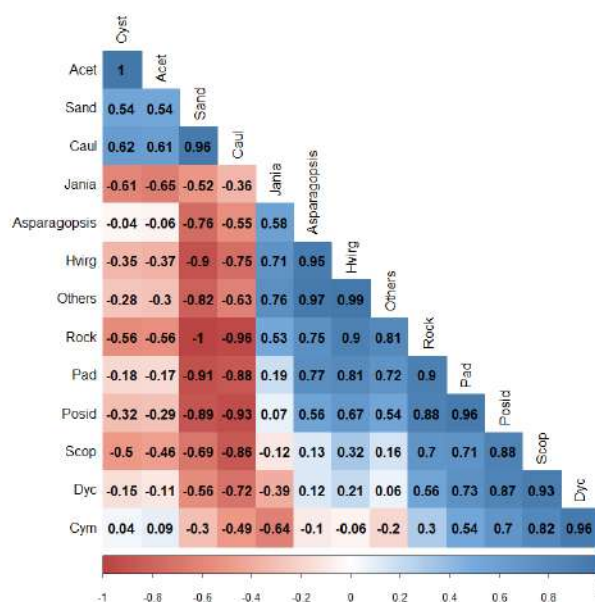


Tabla IV. Correlación de Pearson entre variables del hábitat (Sand: arena; Rock: roca; Acet: *Acetabularia acetabulum*; Caul: *Caulerpa prolifera*; Jania: *Jania rubens*; Asparagopsis: *Asparagopsis* sp; Hvirg: *Halitilton virgatum*; Pad: *Padina pavonica*; Posid: *Posidonia oceanica*; Scop: *Halopteris scoparia*; Dyc: *Dyctiota dichotoma*; Cym: *Cymodocea nodosa*; Others: otras especies de algas no citadas anteriormente).

El PCA muestra como la especie *H. polii* (HP) aparece en el tercer cuadrante, asociada a hábitats con predominancia de arena, *Caulerpa prolifera* y *Acetabularia acetabulum*, siendo cierto que el hábitat prioritario de *H. polii* es el fondo arenoso y cerca de praderas de *C. prolifera* especialmente abundante en las localidades de Isla del Ciervo y el Mojón. En el caso de *H. sanctori* y acorde a los resultados del PCA, aparece en el primer cuadrante y asociada a fondos de roca y con elevada complejidad del hábitat marcada por la presencia de diferentes especies algales; esta especie es característica de fondos de alta complejidad estructural con paredes de roca y alta cobertura de algas verdes y pardas fundamentalmente. Generalmente esta especie se encuentra durante el día asociada a rocas, debajo de ellas o en el interior de grietas o huecos de las mismas, saliendo sólo a alimentarse durante la noche. Por último, el PCA muestra a *H. tubulosa* en el segundo cuadrante asociada a praderas de fanerógamas marinas, principalmente *Cymodocea nodosa* (Cym) y después *Posidonia oceanica* (Posid), así como a especies de algas pardas como *Dyctiota dichotoma* (Dyct) y *Halopteris scoparia* (Scop). De hecho *H. tubulosa* es abundante en los límites de las praderas de fanerógamas marinas del Mediterráneo, y también en hábitats de transición de roca, arena y fanerógamas. En el caso de *H. mammata* y considerando el bajo número de individuos registrados durante los muestreos, no podemos discutir los resultados obtenidos mediante PCA; si bien es verdad que esta especie generalmente está asociada a fondos rocosos.

El análisis PCA se repitió eliminando las variables que presentaban mayor correlación o influían poco en el análisis, excluyendo % arena (sand), % *Acetabularia acetabulum* (Acet) y % *Haliptilon virgatum* (Hvirg). Los resultados fueron similares y las dos primeras componentes explicaron el 87.92% de la varianza.

4.4 Distribución de talla y peso, estimas de abundancia, densidad y biomasa del cohombro real

Como se ha comentado anteriormente, una de las especies de pepino de mar con interés comercial presente en la Región de Murcia es el cohombro real (*Parastichopus regalis*); dicha especie es capturada en arrastre al menos por las cofradías de Mazarrón, Cartagena y Águilas (Figura 30).



Figura 30. Arrastreros de la Cofradía de Mazarrón (izquierda) y Cartagena (derecha) faenando.

En la mayor parte de los casos la captura de pepino de mar es “*by catch*”, aunque los ejemplares son separados, para su posterior procesado (extracción de los 5 pares de bandas musculares internas, “*espardenyés*”) y venta (Figura 31). Las “*espardenyés*” son un producto de consumo nacional, principalmente focalizado en Cataluña, Castellón y las Islas Baleares, con un mercado muy diferente al que demanda el *bêche-de-mer* (producto seco obtenido de la totalidad del cuerpo del animal) de las otras especies comerciales registradas en Murcia.



Figura 31. Captura de arrastrero de la Región de Murcia (izquierda) y ejemplares de cohombro real (*Parastichopus regalis*) capturados “*by catch*”.

Debido al proceso de extracción mediante la pesca de arrastre, la mayor parte de los individuos llegan a cubierta eviscerados (en torno al 95% según Ramón et al., 2010 y acorde a observaciones personales durante los muestreos asociados a este proyecto), por lo tanto el animal sólo retiene en su interior agua, el bulbo tentacular, las bandas musculares internas, y en algunos casos ejemplares de *Carapus acus*, una especie de pez comensalista que vive en su interior (González-Wangüemert et al., 2014b) (Figura 32).



Figura 32. Capturas de cohombro real en arrastrero faenando en frente del Cabo del Agua (izquierda) y *Carapus acus* (derecha) especie comensal del cohombro real.

De este modo, el peso registrado aunque generalmente se denomina “peso total” (TW= total weight) por homogeneidad en la denominación de variables, se correspondería realmente con el peso eviscerado del individuo, considerando la ausencia de órganos internos y agua en el momento del registro de peso. También es importante resaltar, que el producto vendido a partir de esta especie es sólo aquél constituido por sus bandas musculares internas, cuyo peso es bastante reducido (aproximadamente representa el 9.81% del peso eviscerado del individuo), considerándose una captura “rentable” con un mínimo de 0.5 kg de bandas musculares internas que corresponden aproximadamente a 20 individuos capturados (Ramón et al., 2010).

Los muestreos en arrastreros asociados al estudio preliminar de las especies de pepinos de mar de interés comercial en la Región de Murcia, son insuficientes para la evaluación de los stocks de cohombro real y la determinación del tamaño de sus poblaciones, o determinación de cuotas de pesca; muestreos mucho más exhaustivos y con mayor frecuencia en los arrastreros que operan en las diferentes cofradías de la Región de Murcia a lo largo del año (a excepción de la época de paro biológico) e incluso muestreos experimentales, son necesarios para la obtención de suficientes datos que permitan evaluar la idoneidad de la captura de dicha especie y gestionar su pesquería. No obstante, los datos obtenidos durante el transcurso de este proyecto (Tabla V), a pesar de ser muy preliminares y presentar una alta variabilidad (especialmente en la abundancia y biomasa incluso entre lances en una misma área de estudio y época del año), permiten detectar algunos patrones interesantes de distribución y captura de la especie objetivo.

Tabla V. Datos de capturas de cohombro real (*Parastichopus regalis*) durante los muestreos en arrastreros de la cofradía de Mazarrón (MZ), Cartagena (CT) y Águilas (AG).

	Área (Km ²)	Abundancia (nº indiv)	Biomasa (g/Km ²)	Profundidad (m)	Tiempo (h arrastre)
MZLANCE1 (16042021)	1.51	10	1925.83	50-70	6:22am-11:07am
MZLANCE2	1.38	16	2659.42	70-85	11:34am-15:46pm
MZLANCE 1 (06072021)	1.79	38	3557.54	65-95	6:15am-10:46am
MZLANCE2	0.58	32	14107.08	65-95	11:15am-15:50pm
MZLANCE 1 (07102021)	1.01	9	1656.44	55	6:10am-9:11am
MZLANCE2	0.96	27	3530.21	75-85	9:36am-12:37pm
MZLANCE3	0.98	25	4765.31	65-75	12:53pm-15:37pm
CTLANCE1 (30092021)	1.32	72	5668.94	86	5:33am-9:00am
CTLANCE2	1.12	88	9454.14	86	9:25am-12:20pm
CTLANCE3	0.55	88	19712.20	86	13:00pm-15:20pm
AGLANCE1 (07102021)	1.42	10	635.91	80	6:10am-10:30am
AGLANCE2	1.51	11	1176.16	65	11:30am-13:42pm

Los datos preliminares (Tabla V) muestran que las áreas que presentan mayor abundancia de individuos de *P. regalis* son aquéllas frecuentadas por los arrastreros de Cartagena, frente al Cabo del Agua (durante Septiembre 2021), aunque los mayores individuos en peso son registrados en las zonas de arrastre de los barcos de la Cofradía de Mazarrón (durante Julio 2021). Ese patrón de abundancia podría estar influido por la estacionalidad de los muestreos, dado que los pepinos de mar presentan agrupamientos de individuos para la reproducción ya que se trata de una especie denso-dependiente: a mayor número de reproductores, mayor probabilidad de éxito reproductivo.

La profundidad de arrastre también parece ser una variable que condiciona las capturas de esta especie, tanto en abundancia como en biomasa, al menos en las zonas de arrastre de las embarcaciones de las Cofradías de Cartagena y Mazarrón. Las capturas son menores por debajo de los 65m de profundidad, y aumentan entre los 65-90m. Estudios realizados en las Islas Baleares concluyeron que el 80% de los arrastres donde se detectaron individuos de *P. regalis* estuvieron comprendidos entre 100 y 299 m de profundidad (Ramón et al., 2010). Sin embargo es importante destacar, que nuestros datos no permiten la realización de tests estadísticos para la validación de estas hipótesis, ya que como se comentó anteriormente un proyecto específico orientado a la evaluación de los stocks de este recurso, sería necesario para la realización de un muestreo exhaustivo en el tiempo y el espacio, que permitiera la correcta evaluación de los *stocks* del cohombro real en la Región de Murcia.

En cuanto a la distribución de tallas y pesos de los ejemplares capturados no parecen observarse patrones específicos de las áreas muestreadas (Figura 33 y 34). Los tamaños y biomásas registradas son similares a las obtenidas anteriormente por otros estudios en áreas de distribución similar (Maggi & González-Wangüemert et al., 2015) o zonas del Mediterráneo Occidental (Ramón et al., 2010). En la zona de arrastre de embarcaciones de la Cofradía de Mazarrón, predominan los individuos de clases de talla 12-15 cm y 16-19 cm (Figura 33), mientras que en Águilas y Cartagena, predomina principalmente la clase de talla 12-15 cm (Figura 34). Los mayores porcentajes de abundancia de individuos para la clase de talla mayor (20-23 cm) fueron registrados en Mazarrón durante el mes de Abril, sin embargo este resultado podría estar influido por la falta de datos procedentes de Cartagena y Águilas en esa época del año; si bien es cierto, que los datos

disponibles para las tres cofradías en el mes de Octubre, corroboran ese patrón de mayor frecuencia de individuos mayores en Mazarrón. No obstante, se reitera la necesidad de un nuevo proyecto centrado en la evaluación de stocks de esta especie objetivo, para la realización de muestreos exhaustivos que permitan testar estas hipótesis y corroborar estos resultados preliminares.

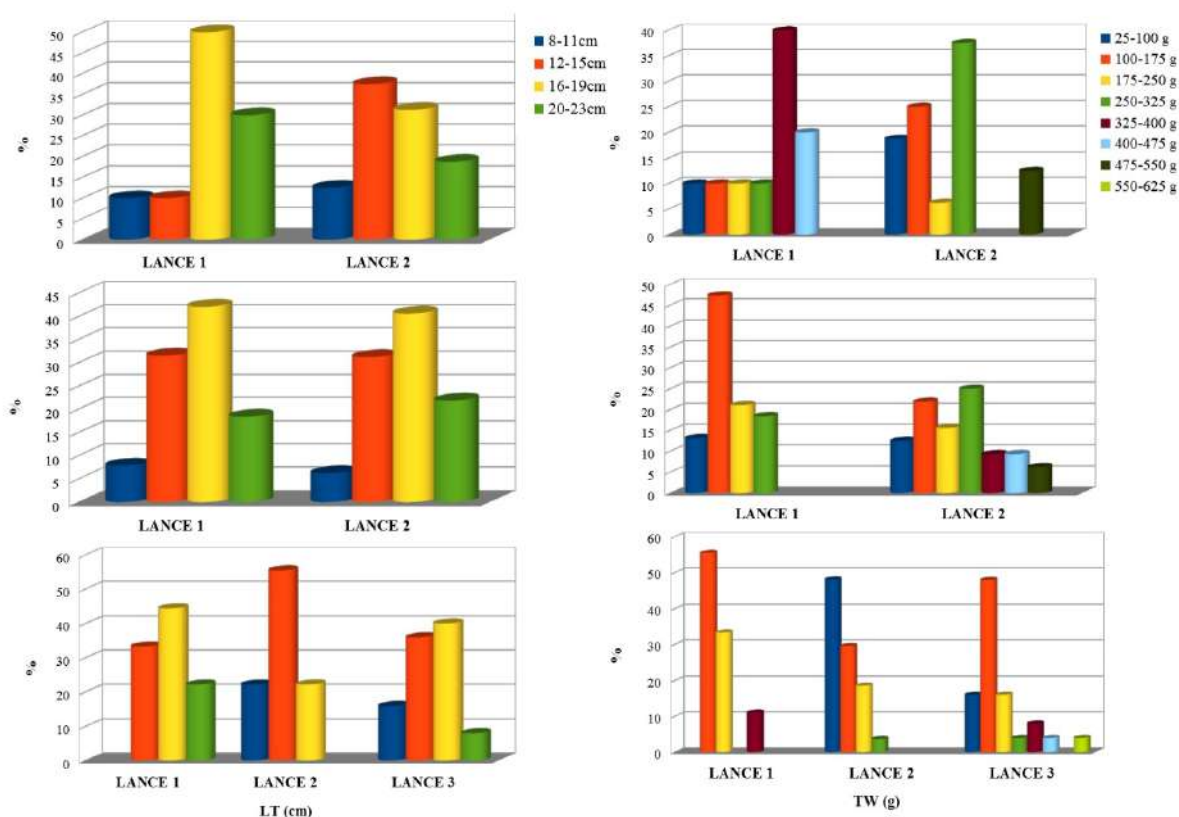


Figura 33. Clases de talla y de peso de los individuos de cohombro real (*Parastichopus regalis*) capturados durante los muestreos en arrastreros de la Cofradía de Mazarrón (gráfico superior a inferior: 16/04/2021, 06/07/2021 y 07/10/2021).

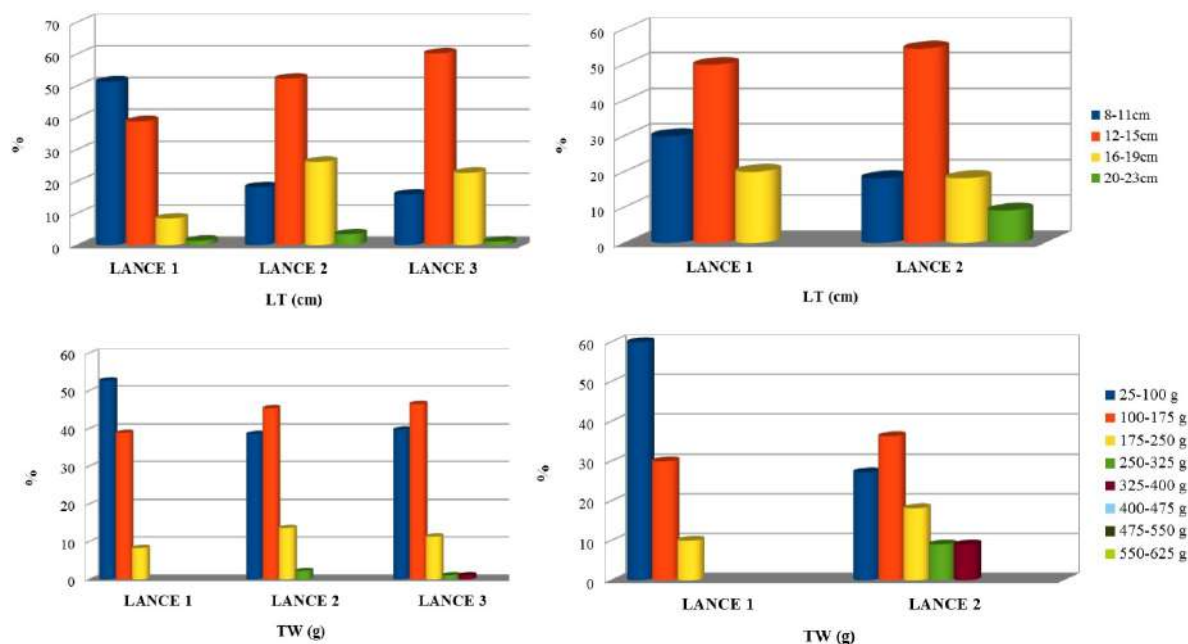


Figura 34. Clases de talla y de peso de los individuos de cohombro real (*Parastichopus regalis*) capturados durante los muestreos en arrastreros de la Cofradía de Cartagena (izquierda) y Águilas (derecha) (30/09/2021 y 07/10/2021 respectivamente).

4.5 Valor de mercado de las especies comerciales

Del pepino de mar se obtienen diferentes productos comerciales (*bêche-de-mer*, konowata, konoko, liofilizado de intestinos, etc), los cuales son consumidos principalmente en países asiáticos (China, Japón, Indonesia, Corea, etc). Entre ellos el más importante en el mercado chino es el *bêche-de-mer*, que consiste básicamente en el cuerpo del pepino de mar eviscerado, cocido y posteriormente secado al sol o en estufa. El precio del *bêche-de-mer* derivado de las especies comerciales de pepino de mar, depende mucho del tipo de procesado y calidad nutricional. También los precios oscilan, dependiendo de la disponibilidad de cada especie en el mercado (oferta) y las biomásas capturadas vs comercializadas, así como de su origen.

Entre las especies registradas en los muestreos realizados en el ámbito de este proyecto, *H. mammata* presenta los valores más altos oscilando entre 160-220 €/kg seco. *H. tubulosa* tiene un menor valor económico, y una mayor oscilación de precios asociados a la calidad del procesado y origen geográfico, con valores de 20-80 €/ kg seco (entre 50-100kg) para el producto de calidad medio-baja, y alcanzando hasta 115-170 €/kg seco (100kg) el *bêche-de-mer* de alta calidad, de origen turco. Los precios de *H. polii* también se han incrementado en los últimos años, al igual que el del resto de especies anteriormente citadas, debido al aumento de la demanda y a la disminución de la oferta de origen turco, dada la sobre-explotación de sus stocks principalmente en la costa norte del país. Los precios de esta especie procedente de las costas griegas puede oscilar entre 70-80€/kg seco (100kg), pero el producto *high quality* procedente de Turquía, puede alcanzar los 50-170€/kg seco.

También en los dos último años y para disminuir costes en la separación de especies durante el procesado, se está ofreciendo desde Turquía al mercado asiático, una mezcla de las tres especies anteriores (*H. mammata*, *H. tubulosa*, *H. polii*) alcanzando los 75-150 €/kg seco. El precio de *H. sanctori* también oscila dependiendo del origen geográfico: la obtenida del Mediterráneo Oriental, alcanza valores similares a los de *H. polii* de calidad medio-baja (20-50 €/ kg seco), aunque la procedente de Turquía (85€/kg seco) o Madeira presenta valores más altos.

Holothuria impatiens puede ser considerada una especie cosmopolita con una amplia distribución geográfica, aunque en los últimos años es foco de investigación puesto que se considera que la denominación *Holothuria impatiens*, es un complejo de especies. El precio de *H. impatiens* es bajo, unos 1.72 €/kg seco en el caso de Filipinas, siendo su principal mercado China.

En el caso de *Parastichopus regalis*, el producto comercializado no es el *bêche-de-mer* (cuerpo del animal cocido y seco) como en todas las demás especies aquí descritas; además el mercado es nacional, principalmente en Cataluña, Islas Baleares y Castellón, donde se come habitualmente lo que se denomina “*espardenyès*”, que son las 5 pares de bandas musculares internas de esta especie. El precio ha ido incrementando en los últimos años, considerando casi el 90% de la biomasa del animal se desperdicia, la dificultad en su captura y la elaboración del producto final. Actualmente se paga unos 250-260 euros/kg fresco de bandas musculares.

4.6 Potencial del pepino de mar como recurso pesquero en la Región de Murcia

Como se ha comentado repetidas veces anteriormente, este estudio ha proporcionado datos preliminares sobre algunas de las poblaciones de especies comerciales de pepinos de mar en la Región de Murcia, que permiten en primer lugar la identificación con rigor científico de las especies y en segundo lugar, hacer una primera aproximación básica sobre los stocks existentes y su distribución, aunque teniendo en cuenta las limitaciones de estos muestreos tanto a escala espacial como temporal.

4.6.1. Especies comerciales costeras: *Holothuria polii*, *Holothuria tubulosa*, y *Holothuria sanctori*

Como se muestra en el apartado de resultados y en la Tabla III, los datos nos han permitido la estima preliminar de las biomasa disponible de pepino de mar con interés comercial en las localidades muestreadas.

Si consideramos las 5 especies de pepinos de mar con interés comercial detectadas en los muestreos en conjunto como “recurso pepino de mar”, observamos que la biomasa disponible oscila entre los 425.7 kg/Ha en Los Cocedores (Águilas) y 259.08 kg/Ha en Cabo de Palos. Estos valores de biomasa se corresponden principalmente a tres especies, *Holothuria polii*, *Holothuria tubulosa* y *Holothuria sanctori*, dado que la especie *Holothuria mammata* presentó una densidad muy baja comparada con las anteriores especies, y en el caso de *Holothuria impatiens* sólo se detectó un pequeño individuo en Los Cocedores (Águilas). Estos resultados de biomasa disponible de pepino de mar en las localidades de muestreo, y como ya se comentó anteriormente, son superiores a los detectados para algunas especies afines y también con interés comercial como *Holothuria arguinensis* en la Ria Formosa (Sur de Portugal) con valores que oscilan entre 3.41 kg/Ha y 119.96 kg/Ha, dependiendo de la localidad y estación del año (Siegenthaler et al., 2015; Domínguez-Godino & González-Wangüemert, 2020); aunque hay que destacar, que esos muestreos tuvieron una duración de 3 años y que no se realizaba la extracción legal del recurso, aunque si se registraron muchas pescas ilegales.

La comparación de estas estimas preliminares en la Región de Murcia con datos disponibles para Turquía, principal país del Mediterráneo en capturas de pepinos de mar y mayor tasa de exportación a Hong Kong, ponen de manifiesto importantes diferencias. En la zona Norte de Turquía se registran unos 1065 kg/Ha de pepino de mar siendo las especies capturadas *Holothuria tubulosa* 44%, *Holothuria polii* 43% y *Holothuria mammata*, 13% (Aydin, 2019). Como se ha mostrado anteriormente, la especie *H. mammata* presenta muy bajas densidades en nuestras localidades de muestreo, aportando muy poco a la biomasa total disponible del recurso. En el caso de *H. tubulosa* y acorde a datos presentados en la Tabla III, la biomasa máxima disponible se registró en Los Cocedores (Águilas) con 141.16 kg/Ha, si bien es cierto que dicha especie fue mucho menos abundante en otras localidades como el Mojón o Cabo de Palos (11-13 kg/Ha). En el caso de *H. polii*, especie presente en todas las localidades muestreadas, la biomasa osciló entre 121 kg/Ha y el valor medio máximo registrado en Isla del Ciervo con 328.1 kg/Ha, aunque también mostró estimas elevadas de biomasa en El Mojón en torno a 243.1 kg/Ha. Finalmente *H. sanctori*, especie sólo presente en Los Cocedores y Cabo de Palos, presentó biomاسas entre 113.7kg/Ha y 158.4 kg/Ha respectivamente.

En base a estos datos, puede decirse que la biomasa estimada del recurso pepino de mar en la Región de Murcia es inferior a la registrada en áreas bajo explotación pesquera del Mediterráneo, como Turquía donde se realiza la pesca comercial de dicho recurso mediante *hookah* (buceo con regulador a partir de un compresor en barco). Sin embargo, hay que destacar que los datos aquí analizados forman parte de un estudio de evaluación preliminar del recurso donde sólo 4 localidades fueron muestreadas, a profundidades muy someras y con una perioricidad baja. Un estudio más exhaustivo incluyendo más localidades a lo largo de la costa murciana, diferentes rangos batimétricos (al menos hasta los 15 metros, profundidad máxima recomendada para captura de pepinos de mar con sistema *hookah*) y mayor frecuencia temporal de muestreos (al menos con cadencia mensual o bimensual por localidad) durante al menos 2 años de duración, sería necesario para la descripción de los stocks existentes de pepino de mar en la Región de Murcia y su evaluación como recurso pesquero disponible para explotación sostenible.

Bajo esta perspectiva es importante destacar que cuando se consideró la totalidad del recurso (conjunto de las cinco especies, densidades oscilando entre 59-88 indiv/100m²) y las especies por

separado, todas las “poblaciones” de pepinos de mar estudiadas en este estudio preliminar (Tabla III) presentaron densidades mayores a las establecidas para otras especies como “densidad para el rendimiento máximo sostenible” (*density for the maximum sustainable yield*, D_{MSY}) en varias pesquerías de pepinos de mar, incluyendo *Isostichopus fuscus* en Ecuador ($D_{MSY}= 0.57$ indiv/100m²= 57 indiv/Ha; Ramírez-González et al., 2020), *Isostichops badionotus* en Cuba ($D_{MSY}= 0.45$ indiv/100m²= 45 indiv/Ha; Hernández-Betancourt et al., 2018) o aquellas definidas por Purcell et al (2009) para 18 especies de Nueva Caledonia como densidades de stocks en estado “crítico” de explotación (densidades <0.3 indiv/100m²= 30 indiv/Ha). Estos datos de algún modo soportan el estado de “buena salud” de las poblaciones de pepinos de mar en la Región de Murcia, aunque es importante destacar que los valores de D_{MSY} son característicos de cada especie, y no existen datos de esta variable para nuestras especies, a pesar de que en algunos países como Turquía se está explotando este recurso desde el 1996.

Por otro lado las distribuciones de clases de talla y peso de las diferentes especies en las distintas localidades de muestreo, también ponen de manifiesto la existencia de poblaciones estables y bien estructuradas, principalmente en el caso de *H. sanctori* y *H. polii* en Los Cocedores (Águilas) y Cabo de Palos, y *H. tubulosa* en Los Cocedores (Águilas).

Por lo tanto, y en base a los datos preliminares obtenidos se puede afirmar que podría existir un recurso pesquero de pepino de mar potencialmente explotable en la Región de Murcia, pero es necesario profundizar en el conocimiento de sus stocks, dinámica de poblaciones, distribución geográfica y batimétrica, época reproductiva, tamaño efectivo de sus poblaciones, etc, mediante el desarrollo de un proyecto específico de al menos 2 años de duración y focalizado en *Holothuria polii* y/o *Holothuria tubulosa*.

4.6.2 Especies de profundidad: *Parastichopus regalis*

Los datos obtenidos a partir de los muestreos realizados en arrastreros de las cofradías de Mazarrón, Cartagena y Águilas, nos permiten calcular unas estimas preliminares de biomasa (kg/Km² o g/Km²) del cohombro real en las distintas áreas y profundidades. Los resultados muestran que las mayores capturas se realizaron en Cartagena (específicamente en el lance 3 del día

30 de Septiembre de 2021) con una biomasa capturada de 19.712g/Km^2 (19.7 kg/Km^2), y en Mazarrón (lance 2 del día 6 de Julio e 2021) con una biomasa de 14.107g/Km^2 (14.1 kg/Km^2). Sin embargo, los valores medios de capturas en las diferentes áreas y épocas del año fueron bastante menores y presentaron una alta desviación estándar (lo que implica una gran variabilidad en los valores de biomasa capturados en los diferentes lances, áreas y épocas del año), oscilando entre $906\text{g/km}^2 \pm 382.01\text{g/km}^2$ (valor medio \pm SD, lances Águilas) y $11.611\text{g/km}^2 \pm 7266.01\text{g/km}^2$ (valor medio \pm SD, lances Cartagena). La media total de biomasa capturada de cohombro real en base a los muestreos realizados es de 5737.43g/km^2 (5.74kg/km^2) \pm 5856.01g/km^2 (5.86kg/km^2), donde se observa un valor de desviación estándar incluso superior a la propia media, indicando nuevamente la alta variabilidad y dispersión de los datos de biomasa capturada en las diferentes localidades, lances, profundidades y estaciones del año. Estos resultados nos están indicando la necesidad de un muestreo más exhaustivo que permita la obtención de un mayor volumen de datos procedentes de diferentes localidades, rangos batimétricos y meses/estaciones del año, permitiendo una homogeneidad del esfuerzo de muestreo para cada una de esas variables.

Atendiendo a los resultados disponibles (aunque siendo conscientes de sus importantes limitaciones) y acorde a los resultados publicados por Ramón et al (2010), el peso de capturas de cohombro real en la Región de Murcia podría considerarse alto si se compara con los datos procedentes de Cataluña, donde en el 75% de los casos, las capturas de cohombro de mar están por debajo de los 2 kg (por embarcación/día) y con un valor medio todavía más bajo para el período 2000-2007, con 1.78 kg por embarcación y día faenado (destacar que las pesquerías de esta especie en Cataluña se llevan realizando desde los años 90). De los 19 puertos catalanes con lonja, 13 registran capturas y ventas de cohombro real, aunque dos puertos Roses, con un 50% y Sant Carles de la Ràpita con un 25%, acumulan la mayor parte de las capturas. Sin embargo estos mismos autores (Ramón et al., 2010) realizaron también arrastres experimentales durante dos campañas de muestreo en 2008 y 2009 en el entorno de Mallorca y Menorca a diferentes profundidades y crearon mapas de distribución del cohombro de mar (interpolación espacial y ajuste con distribución Neyman Type A), donde quedaron reflejadas biomazas de hasta 210 kg/km^2 (Ramón et al., 2010; Figura 3), valores muy por encima a los registrados en nuestros muestreos a lo largo de la costa murciana. Sin embargo, algunos registros obtenidos de la flota de arrastre comercial faenando en el

Seco de los Olivos (Mar de Alborán) detectaron $4.99 \text{ kg} \pm 1.19 \text{ kg/Ha}$ (Abad et al., 2007), valores estos, más ajustados a los obtenidos durante nuestros muestreos.

En el caso de Galicia no existen estimas de biomasa por unidad de superficie o abundancia del recurso, pero existen registros públicos anuales de las capturas del cohombro real por arrastreros en las 6 lonjas donde es descargada y vendida esta especie, incluyendo A Coruña, Burela, Celeiro, Marín, Ribeira y Vigo (www.pescadegalicia.gal/estadisticas) (Tabla VI). Los precios se corresponden a la venta del animal entero y fresco, no a las bandas musculares internas (“*espardenyees*”).

Tabla VI. Capturas y precio del cohombro real (*Parastichopus regalis*) en Galicia durante los últimos cinco años.

AÑO	Capturas (kg)	Importe (€)	Precio máximo (€/kg)
2021	106.485	190.092	9.22
2020	105.298	135.153	6.11
2019	135.071	259.116	8.80
2018	148.300	232.136	8.92
2017	145.079	206.079	5.90

4.7 Potencial del pepino de mar como recurso en acuicultura

4.7.1 Beneficios y consideraciones del cultivo de pepino de mar

La acuicultura de pepino de mar proporciona múltiples beneficios económicos y ecológicos, siendo uno de los sistemas de producción más sostenible y amigable con el medio ambiente en el mundo. Los pepinos de mar mejoran la calidad del agua y del sedimento, su alimentación está basada en dietas formuladas a partir de algas secas nativas del área geográfica donde se desarrolla el cultivo, el área de engorde de juveniles y pre-adultos es compatible y amigable con aves (característica muy importante cuando la ubicación de zonas de engorde se localizan en salinas o

parques naturales con protección de avifauna), es posible su co-cultura con otras especies (algas verdes y rojas, erizos) y potencialmente útiles en sistemas IMTA incluyendo su engorde bajo jaulas de peces, el tratamiento de sus enfermedades está basado en extractos naturales de bioactivos a partir de algas y plantas terrestres (se excluye el uso de antibióticos y anti-virales y/o la ozonificación del agua).

Entre las ventajas económicas del cultivo de pepino de mar, cabe destacar que se trata de un producto que presenta una creciente demanda desde el mercado asiático, que no ha parado de aumentar durante décadas. Por otra parte, la selección de la ubicación óptima de la *hatchery* y zona de engorde, un correcto diseño de sus instalaciones, alta calidad del agua, la existencia de un personal especializado y un buen soporte de expertos en la acuicultura de pepinos de mar, pueden permitir una producción sostenible y rentable, con considerables beneficios económicos.

Sin embargo, es importante destacar también que la acuicultura de pepinos de mar requiere amplias áreas de engorde de juveniles y adultos, así como el establecimiento de sistemas de renovación de aguas adecuados (si no puede ser realizado mediante mareas), para asegurar altas tasas de crecimiento de los animales y baja *ratio* de mortalidad. Por otro lado, hay un número bajo de expertos en acuicultura de pepinos de mar, siendo este número aún más reducido cuando nos centramos en las especies de pepino de mar del Mediterráneo y NE del Atlántico.

La acuicultura de pepinos de mar presenta por tanto sus “pros” y “contras”, tratándose de una inversión de medio/ alto riesgo, como todas aquéllas asociadas a producción en acuicultura, debido a que se trabaja con producción animal y en el medio marino. El inicio del proyecto requiere una fuerte inversión inicial para la creación de la *hatchery* y la adquisición/alquiler de áreas de engorde y su adecuación para dicho uso. Sin embargo, la demanda creciente del producto, la escasez de pepinos de mar procedentes de la pesca debido a la sobre-explotación de los stocks, el incremento de los precios de las especies comerciales procedentes del Mediterráneo y NE del Atlántico, su consolidación en el mercado asiático, los tiempos de producción de talla comercial, las características biológicas del grupo que reducen gastos en la elaboración y adquisición de dietas, y la posibilidad de la instauración de sistemas de acuicultura multitrófica integrada que permitan la

remediación de impactos generados por otras modalidades de acuicultura, justifican la inversión inicial, la cual permitirá elevado retorno económico a medio plazo.

4.7.2 Antecedentes acuicultura pepino de mar

Como es sabido, la acuicultura de pepino de mar se inició en China y Japón (Domínguez-Godino et al., 2015) como método para para la producción de *bêche-de-mer* (cuerpo del animal seco, principal producto comercial obtenido de los pepinos de mar) y para utilizar los juveniles, en repoblación de los stocks salvajes. A mediados de los 80, se inició un programa de producción industrial de la especie *Apostichopus japonicus* en China; durante las siguientes décadas se desarrollaron mejoras que permitieron producir unas 10.000 toneladas (peso seco) de esta especie en 2010 (Hu et al., 2010; Domínguez-Godino & González-Wangüemert, 2018) y más de 9 billones de juveniles en 2012, siendo la acuicultura más rentable en China (Zhou et al., 2017). La segunda especie más producida en acuicultura es *Holothuria scabra*, con alrededor de 130 toneladas/año (Robinson & Lovatelli, 2015). En la última década, también se ha desarrollado la biotecnología para el cultivo de múltiples especies, la mayor parte de ellas tropicales, incluyendo: *Holothuria lessoni* (Australia), *Parastichopus californicus* (Canadá y Alaska), *Isostichopus fuscus* (Ecuador y México), *Actinopyga* sp. (Estado Federal de Micronesia), *Holothuria spinifera* (India), *Holothuria fuscogilva* y *Holothuria scabra* (Madagascar), *Australostichopus mollis* (Nueva Zelanda), *Actinopyga miliaris* y *Actinopyga mauritiana* (Palau), *Stichopus horrens* (Filipinas) e *Isostichopus badionotus* (México) (Purcell, et al., 2012; Zacarias-Soto et al., 2013).

4.7.3 Potencial de cultivo de las especies de pepinos de mar presentes en las costas murcianas

En el NE Atlántico, se comenzó ya en 2010 la investigación y desarrollo de la biotecnología asociada al cultivo en acuicultura de *Holothuria arguinensis*, una especie presente en las costas portuguesas, españolas y del NW de África, obteniéndose la supervivencia de juveniles para engorde ya en 2014 (Domínguez-Godino et al., 2015; Domínguez-Godino & González-Wangüemert, 2018a; 2018b; 2018c; 2019; 2020), y optimizando sus condiciones de cultivo, dietas y tratamiento de enfermedades psoteriormente (Domínguez-Godino & Gonzalez-Wanguemert, 2017; 2020). De hecho, la primera empresa europea que produce *H. arguinensis* está localizada en Cádiz

(España) desde 2019 (www.guatizamar.com); esta empresa fue dirigida en el ámbito de la producción acuícola por la Dra. Mercedes Wangüemert durante los dos primeros años. En ese período de tiempo, la Dra. Wangüemert diseñó las instalaciones, coordinó las obras y lideró su puesta en marcha, así como la producción de unos 900.000 juveniles a partir de un sólo evento de inducción a la reproducción llevado a cabo durante el 2020, durante la situación de emergencia de la pandemia por covid-19 (Ortega et al., 2020).

La especie *Holothuria arguinensis* aunque está siguiendo un proceso de colonización del Mediterráneo (González-Wangüemert & Borrero-Pérez, 2012), con poblaciones estables en Granada y Almería, y registros de aparición en las costas murcianas y alicantinas, todavía no es una especie adaptada a las condiciones de salinidad y temperatura del Mediterráneo, y el número de especímenes encontrados en las costas murcianas es todavía bajo (tanto es así, que ningún individuo fue detectado durante los muestreos realizados en este proyecto); por lo tanto, no se perfila como una especie con potencial para su producción en acuicultura por ahora, en la Región de Murcia.

Sin embargo, otras especies presentes en abundancia en las costas murcianas como son *Holothuria tubulosa* y *Holothuria polii*, o en menor densidad, como es el caso de *Holothuria mammata*, si presentan un fuerte potencial acuícola.

El caso de *H. mammata* es especialmente interesante considerando su alto valor económico, su alto “aprovechamiento” para la producción del *bêche-de-mer*, su entrada en el mercado asiático hace años a través de las exportaciones de Turquía a Hong Kong y China, su óptimo perfil nutricional, su elevada concentración de bioactivos y los avances hechos en el desarrollo de su acuicultura en los últimos años (Domínguez-Godino & González-Wangüemert, 2018a; 2018b; 2018c; González-Wangüemert et al., 2018b; 2019). Han sido ya establecidos los protocolos para su inducción a la reproducción, así como la fecundidad de las hembras, y número medio de huevos fecundados por evento reproductivo; además ya se conocen los estadios larvarios, así como su duración, mortalidad y se han desarrollado todas las metodologías asociadas a la estabulación y alimentación de sus larvas pelágicas y bentónicas, así como de los juveniles tempranos, asentados en estructuras de asentamiento (Domínguez-Godino & González-Wangüemert, 2018a). También han sido establecidas la densidad y biomasa por/m² óptima para el crecimiento y engorde de los

juveniles tardíos (75gr) en arena, formulándose también sus dietas secas y tratamientos naturales de sus enfermedades a partir de extractos naturales de algas y plantas terrestres (Domínguez-Godino & González-Wangüemert, 2018b, Cánovas et al., 2019). Por otro lado, el comportamiento de adultos tempranos y las condiciones óptimas de su estabulación, engorde y alimentación también han sido definidas (Domínguez-Godino & González-Wangüemert, 2018c).

Holothuria tubulosa, surge también como otra especie con potencial en acuicultura, considerando su valor comercial medio/alto, su entrada en los mercados asiáticos a través de los canales turcos de comercialización (captura de ejemplares en Turquía mediante pesca con *hookah*), su aprovechamiento, su pared corporal de elevado grosor y gran tamaño-peso, así como la actividad antimicrobiana y antioxidante detectada en algunos de sus bioactivos (González-Wangüemert et al., 2018a; 2018b; 2019; Künili & Çolakoğlu, 2018). Sin embargo, es importante resaltar que el desarrollo de la biotecnología asociada a la acuicultura de esta especie, está más retrasado que el existente actualmente para *H. mammata*, aunque se podrían conseguir rápidos avances, mediante proyectos de investigación primero y de ejecución empresarial posteriormente, considerando la biotecnología y conocimientos ya existentes para especies afines y evolutivamente cercanas como son *H. arguinensis* y *H. mammata*. No obstante, ya han sido publicados algunos resultados experimentales realizados bajo el marco de proyectos de investigación, donde se evaluó el efecto de la densidad de huevos fecundados de *H. tubulosa*, en su tasa de mortalidad y en el posterior desarrollo de sus larvas (Günay et al., 2018), así como el efecto de la temperatura del agua, en la tasa de crecimiento de juveniles (20 gr) (Günay et al., 2015). Rakaj et al (2017) también describieron la metodología para inducir la reproducción de esta especie, así como su desarrollo larvario y la tasa de crecimiento de los juveniles tempranos bajo condiciones de estabulación. La utilidad de *H. tubulosa* en sistemas IMTA bajo jaulas de peces fue también evaluada en Turquía, aunque los resultados son discutibles considerando la localización de las estaciones de muestreo y duración demasiado corta del experimento (Tolga-Tolon et al., 2017).

Finalmente, la especie *H. polii* podría también ser considerada candidata para el desarrollo de su producción en acuicultura, considerando que constituía el 80% de las exportaciones de Turquía a

China hasta 2015; después su tasa de exportación disminuyó, aumentando la captura y exportación de otras especies como *H. tubulosa* y *H. mammata*, probablemente debido a la disminución de abundancia y densidad de *H. polii*, y de sus capturas a mayor profundidad, derivado todo ello de la fuerte presión pesquera realizada sobre esta especie durante décadas (González-Wangüemert et al., 2014a; 2015). Además se trata de una especie de amplia distribución por todo el Mediterráneo, alto aprovechamiento, reconocida y apreciada en el mercado asiático, con compuestos bioactivos de aplicación en el campo de la salud y nutracéutica. La biotecnología desarrollada hasta la fecha asociada a la producción en acuicultura de esta especie es bastante más reducida que la generada para *H. tubulosa*. Sólo recientemente se han validado los protocolos de inducción a la reproducción de esta especie, así como se ha descrito su desarrollo larvario y establecido dietas de alimentación para larvas pelágicas y en asentamiento (Rakaj et al., 2019). Sin embargo y de igual manera que en el caso de *H. tubulosa*, la aplicación de los avances generados para la producción en acuicultura de especies afines y la posibilidad de mantener altas densidades de cultivo de *H. polii* (considerando los datos de muestreo de poblaciones naturales), la hacen ser también una buena candidata para el desarrollo de su acuicultura.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Considerando todo lo anteriormente expuesto (tanto resultados como discusión) y en base a este estudio preliminar del recurso pepino de mar en la Región de Murcia, podríamos **concluir** que:

- 1) Existen como mínimo 6 especies comerciales de pepinos de mar en la Región de Murcia, incluyendo cinco especies costeras (*Holothuria polii*, *Holothuria tubulosa*, *Holothuria sanctori*, *Holothuria mammata* y *Holothuria impatiens*) y una especie de profundidad (*Parastichopus regalis*).
- 2) Todas las especies comerciales costeras tienen un nicho ya creado de venta en el mercado oriental, siendo el principal producto comercializado el cuerpo del animal eviscerado y seco (*bêche-de-mer*) y el producto congelado, presentando precios medio-alto para la mayoría de ellas, excepto para *H. impatiens* que es una especie de bajo valor comercial.

- 3) El cohombro real (*Parastichopus regalis*) es altamente apreciado en el mercado nacional, principalmente en Cataluña, Islas Baleares y Castellón, siendo las “*espardenyas*” (bandas musculares internas) el principal producto comercializado, que alcanza alto valor económico.
- 4) Las especies *Holothuria polii* y *Holothuria tubulosa* principalmente y de forma secundaria *H. sanctori*, podrían constituir un potencial recurso pesquero para ser explotado en la Región de Murcia, aunque más información es necesaria para la correcta evaluación de sus stocks, desarrollo de un plan de gestión de sus pesquerías (si procediese) y la valoración de su rentabilidad económica mediante una explotación sostenible.
- 5) El cohombro de mar (*Parastichopus regalis*) podría considerarse como una especie a ser explotada en Murcia, aunque más datos acerca de la distribución espacial y temporal de sus poblaciones es imprescindible para regular su captura; además deberían valorarse usos alternativos (creación de piensos animales, nutraceútica, nuevos productos alimentarios, etc) para el resto del animal no procesado como “*espardenyas*”, para optimizar y hacer más sostenible su captura.
- 6) La localidad de Los Cocedores (Águilas) presenta las poblaciones mejor estructuradas y estables de *H. polii*, *H. tubulosa* y *H. sanctori*; Cabo de Palos también mostró un buen estado de las poblaciones de *H. polii* y *H. sanctori*.
- 7) Las áreas de arrastre de los barcos de las Cofradías de Mazarrón y Águilas son las que presentan mayores capturas del cohombro real, aunque los mayores ejemplares se concentran en Mazarrón.
- 8) El desarrollo de la producción en acuicultura de pepinos de mar en la Región de Murcia debería focalizarse en las especies *H. polii*, *H. tubulosa*, y *H. mammata*.

En base a estas conclusiones y teniendo en cuenta los antecedentes de explotación y producción en acuicultura del pepino de mar en el Mediterráneo y otros lugares del mundo se **recomienda**:

- 1) El desarrollo de un proyecto de duración al menos bi-anual, que implique el estudio más exhaustivo del recurso pepino de mar en la Región de Murcia, focalizado en dos especies objetivo: *Holothuria polii* y *Holothuria tubulosa*. Dicho estudio debería incrementar el número de localidades de muestreo a lo largo de la costa murciana, considerando diferentes rangos batimétricos (al menos hasta los 15 metros; profundidad máxima recomendada para captura de pepinos de mar con sistema *hookah*) y con mayor frecuencia temporal de muestreos (al menos con cadencia mensual o bimensual por localidad). Además estudios relativos al desarrollo gonadal de las especies y época reproductiva, así como la delimitación de los stocks existentes en las costas murcianas, el establecimiento de la dinámica de dichas poblaciones y la estimación de tamaño efectivo de sus stocks, deberían ser también considerados.

- 2) Con los resultados de la realización de dicho proyecto se podría evaluar la validez real de ambas especies como nuevo recurso pesquero en la Región de Murcia, desarrollar una gestión preliminar de sus pesquerías, las cuales (si son desarrolladas) deberían iniciarse en modo experimental y con un seguimiento anual de los stocks explotados.

- 3) Desarrollo de un proyecto que monitorizara el seguimiento de las capturas de cohombro real como especie “*by catch*” por los arrastreros, para obtener registros de la cantidad y biomasa que se está capturando, talla y peso de los ejemplares, lugar de procedencia y rango batimétrico, época del año, grado de comensalismo por *Carapus acus*, desarrollo gonadal (cuando fuera posible), etc. Estos datos permitirían tener una visión más ajustada del potencial recurso pesquero “cohombro real” en la Región de Murcia, y valorar su potencial como especie objetivo y/o “*by catch*” (tal y como se ha realizado con otras especies de pepinos de mar, por ejemplo *Parastichopus californicus* en Canadá o EEUU).

- 4) Realización de estudios y proyectos que permitan desarrollar la biotecnología necesaria para la producción en acuicultura de *Holothuria tubulosa* y *H. polii*, mediante la adaptación de conocimientos y metodologías desarrolladas para especies afines tales como *H. arguinensis* y *H. mammata*. Simultáneamente, podría ser valorado también el rol de estas especies en la remediación de impactos generados por las jaulas de producción de dorada y lubina o de engorde de atún.

5) Proyecto para el diseño y creación de estaciones piloto para la producción en acuicultura a pequeña escala de la especie *H. mammata* en la Región de Murcia, considerando que la biotecnología asociada a su producción ya ha sido desarrollada anteriormente, su alto valor comercial, su potencial en el campo de la nutracéutica y cosmética dada la presencia de bioactivos ya descubiertos en esta especie, y la posibilidad alternativa para la producción de juveniles para el *restocking* de sus poblaciones (si fuera necesario y recomendable) considerando que es la especie que presenta menor densidad en el medio natural.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Abad, E., Preciado, I., Serrano, A., Baro, J., 2007. Demersal and epibenthic assemblages of trawlable grounds in the northern Alboran Sea (western Mediterranean). *Scientia Marina* 71 (3): 513-524.
- Anderson, S.C., Flemming, J.M., Watson, R., Lotze, H.K. 2011. Serial exploitation of global sea cucumber fisheries. *Fisheries Research*, 12(3): 317-33.
- Aydin, M. 2019. Biometry, density and biomass of the commercial sea cucumber population of the Aegean Sea. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 19(6): 463-474.
- Borrero-Pérez, G., Pérez-Ruzafa, Á., Marcos, C., González-Wangüemert, M. 2009. The taxonomic status of some Atlanto-Mediterranean species in the subgenus *Holothuria* (Echinodermata: Holothuroidea: Holothuriidae) based on molecular evidence. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 157: 51-69.
- Cánovas, F., Domínguez-Godino, J., González-Wangüemert, M. 2019. Epidemiology of skin ulceration disease in wild sea cucumber *Holothuria arguinensis*, a new aquaculture target species. *Diseases of Aquatic Organisms Journal*, 135: 77-88.
- Conand, C. 2017. Expansion of global sea cucumber fisheries buoys exports. *Revista de Biología Tropical*, 65 (Suppl.1): 1-10.
- Domínguez-Godino, J., González-Wangüemert, M. 2020a. Habitat associations and seasonal abundance patterns of the sea cucumber *Holothuria arguinensis* at Ria Formosa coastal lagoon (South Portugal). *Aquatic Ecology*, doi.org/10.1007/s10452-020-09746-0.
- Domínguez-Godino, J., González-Wangüemert, M. 2020b. Seagrass debris as potential food source to enhance *Holothuria arguinensis*' growth in aquaculture. *Aquaculture Research*, doi 10.1111/are.14495.
- Domínguez-Godino, J., González-Wangüemert, M. 2019. Improving the fitness of *Holothuria arguinensis* larvae through different microalgae diets. *Aquaculture Research*, doi 10.1111/are.14267.
- Domínguez-Godino, J., González-Wangüemert, M. 2018 a. Does space matter? Optimizing stocking density of *Holothuria arguinensis* and *Holothuria mammata*. *Aquaculture Research*, 49: 3107-3115.
- Domínguez-Godino, J., González-Wangüemert, M. 2018 b. Assessment of *Holothuria arguinensis* feeding rate, growth and absorption efficiency under aquaculture conditions. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 53: 60-76.
- Domínguez-Godino, J., González-Wangüemert, M. 2018c. Breeding and larval development of *Holothuria mammata*, a new target species for aquaculture. *Aquaculture Research*, 49: 1430-1440.
- Domínguez-Godino, J. A., Cruz, J. M., González-Wangüemert, M. 2018 d. *Holothuria mammata*: a new emergent species for sea cucumber aquaculture in North-Eastern Atlantic and Mediterranean Sea. Oral communication, 16th International Echinoderm Conference, Nagoya, Japan.
- Domínguez-Godino, J., Slater, M., Colin, H., González-Wangüemert, M. 2015. A new species for sea cucumber ranching and aquaculture: breeding and rearing of *Holothuria arguinensis*. *Aquaculture*, 438: 122-128.
- FAO, 2010. Putting into practice an ecosystem approach to managing sea cucumber fisheries. Food and Agricultural Organization, Rome.

- González-Wangüemert, M., Domínguez-Godino, J., Aydin, M. 2019. Profitability of the new target sea cucumber species from Mediterranean and NE Atlantic: some repercussions for their fisheries management. *Indian Journal of Geo Marine Sciences*, 48 (11): 1715-1719.
- González-Wangüemert, M., Domínguez-Godino, J., Cánovas, F. 2018a. The fast development of sea cucumber fisheries in the Mediterranean and NE Atlantic waters: from a new marine resource to its over-exploitation. *Ocean Coastal Management Journal*, 151: 165-177.
- González-Wangüemert, M., Roggatz, C., Pereira, H., Rodrigues, M., da Silva, M., Barreira, L., Varela, J., Custódio, L. 2018b. A new insight into the influence of habitat on the biochemical properties of three commerciaalsea cucumber species. *International Aquatic Research*, 10: 361- 373.
- González-Wangüemert, M., Domínguez-Godino, J., Cánovas, F. 2018c. New records of sea cucumbers inhabiting Mar Menor coastal lagoon (SE Spain). *Marine Biodiversity*, 48(4): 2177-2182.
- González-Wangüemert, M., Cánovas, F., Withouck, I., Domínguez-Godino, J. A., Moreira da Silva, M. 2018d. Ecotoxicology of heavy metals in Mar Menor coastal lagoon (SE Spain) and its effects on *Holothuria polii*. Oral communication. MARCUBA, La Habana, Cuba.
- González-Wangüemert, M., Valente, S., Henriques, F., Domínguez-Godino, J., Serrão, E. 2016. Setting preliminary biometric baselines for new target sea cucumbers species of the NE Atlantic and Mediterranean fisheries. *Fisheries Research*, 179: 57-66.
- González-Wangüemert, M., Valente, S., Aydin, M. 2015. Effects of fishery protection on growth and genetic structure of three target sea cucumber species. *Hydrobiologia*, 743: 65-74.
- González-Wangüemert, M., Aydin, M., Chantal, C. 2014a. Assessment of target sea cucumber populations from Aegean Sea (Turkey): first insights for a right management of their fisheries. *Ocean & Coastal Management*, 92: 87-94.
- González-Wangüemert, M., Maggi, M., Valente, S., Martínez-Garrido, J., Vasco-Rodrigues, N. 2014b. *Parastichopus regalis*, the best host to shelter *Carapus acus* in temperate waters from Mediterranean Sea and Northeastern Atlantic Ocean. *Beche- de- Mer Bulletin*, 34: 38-42.
- González-Wangüemert, M., Borrero-Pérez, G. 2012. A new record of *Holothuria arguinensis* colonizing the Mediterranean Sea. *Marine Biodiversity Records*, 5: e105.
- Günay, D., Tolga-Tolon, M., Emiroğlu, D. 2018. Effects of various stocking densities on hatching and survival rates of sea cucumber *Holothuria tubulosa* eggs (Gmelin, 1788). *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 35(4): 381-386.
- Günay D., Emiroglu, D., Tolon, T., Ozden, O., Saygi, H. 2015. Growth and survival rate of juvenile sea cucumbers (*Holothuria tubulosa*, Gmelin, 1788) at various temperatures. *Turkish Journal of Fisheries Aquatic Sciences*, 15: 533-541.
- Hu, C. Q., Xu, Y. H., Wen, J., Zhang, L. P., Fan, S. G., Su, T. 2010. Larval development and juvenile growth of the sea cucumber *Stichopus* sp (Curry fish). *Aquaculture*, 300: 73-79.
- Künili, I.E., Çolakoğlu, F. A. 2019. Chemical and nutritional characteristics of *Holothuria tubulosa* (Gmelin, 1788): A seasonally comparative study. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, doi: 10.1080/10498850.2019.1637383

- Maggi, C., González-Wangüemert, M. 2015. Genetic differentiation among *Parastichopus regalis* populations from Western Mediterranean Sea: potential effects of its fishery and current connectivity". *Mediterranean Marine Sciences*, 16/3: 489-501.
- Ortega, A., Cano-Pérez, J., Nhala, H., Id Halla, M., Kara, M.H., de la Gándara, F., Cerezo-Valverde, J., Cañavate, J.P., Fernández-Pasquier, V., GonzálezWangüemert, M., Blanco, E. 2021. Aquaculture in the Alboran Sea (659- 706pp). In: Báez J.C., Vázquez JT., Camiñas J.A., Malouli Idrissi M. (eds) Alboran Sea-Ecosystems and Marine Resources. Springer, https://doi.org/10.1007/978-3-030-65516-7_20
- Purcell, S.W., Conand, C., Uthicke, S., Byrne, M. 2016. Ecological roles of exploited sea cucumbers. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 54: 367-386.
- Purcell, S.W., Mercier, A., Conand, C., Hamel, J.F., Toral-Granda, M.V., Lovatelli, A., Uthicke, S. 2013. Sea cucumber fisheries: global analysis of stocks, management measures and drivers of overfishing. *Fisheries Research*, 14(1): 34-59.
- Purcell, S.W., Samyn, Y., Conand, C. 2012. Commercially important sea cucumbers of the world. FAO Species Catalogue for Fishery Purposes. Nº 6. Rome, FAO. 2012. 150pp. 30 colour plates.
- Rakaj, A., Fianchini, A., Boncagni, P., Lovatelli, A., Scardi, M., Cataudella, S. 2018. Spawning and rearing of *Holothuria tubulosa*: A new candidate for aquaculture in the Mediterranean region. *Aquaculture Research*, 49:557-568.
- Ramon, M., Lleonart, J., Massutí, E. 2010. Royal cucumber (*Stichopus regalis*) in the northwestern Mediterranean: distribution pattern and fishery. *Fisheries Research*, 105: 21-27.
- Robinson, G., Lovatelli, A. 2015. Global sea cucumber fisheries and aquaculture FAO's inputs over the past few years. *FAO Aquaculture Newsletter*, 53: 55-57.
- Roggatz, C., González-Wangüemert, M., Pereira, H., Vizzeto-Duarte, C., Rodrigues, M., Barreira, L., da Silva, M., Varela, J., Custódio, L. 2018. A first glance into the nutritional properties of the sea cucumber *Parastichopus regalis* from the Mediterranean Sea (SE Spain). *Natural Product Research Journal*, 32: 116-120.
- Roggatz, C., González-Wangüemert, M., Pereira, H., Rodrigues, M., da Silva, Barreira, L., M., Varela, J., Custodio, L. 2016. First report of the nutritional profile and antioxidant potential of *Holothuria arguinensis*, a new resource for aquaculture in Europe. *Natural Product Research Journal*, 30: 2034-2040.
- Siegenthaler, A., Cánovas, F., González-Wangüemert, M. 2015. Spatial distribution patterns of *Holothuria arguinensis* in the Ria Formosa (Portugal). *Journal of Sea Research*, 102: 33-40.
- Tolon, M.T., Engin, S. 2019. Gonadal development of the holothurian *Holothuria polii* (Delle Chiaje, 1823) in spawning period at the Aegean Sea (Mediterranean Sea). *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 36(4): 379-385.
- Zacarias-Soto, M., Olvera-Novoa, M. A., Pensamiento-Villarauz, S., Sanchez-Tapia, I. 2013. Spawning and larval development of the four-sided sea cucumber *Isostichopus badionotus* (Selenka 1867) under controlled conditions. *Journal of the World Aquaculture Society*, 44: 694-705.
- Zhou, S., Ren, Y., Pearce, C. M., Dong, S., Tian, X., Gao, Q., Wang, F. 2017. Ecological effects of co-culturing the sea cucumber *Apostichopus japonicus* with the Chinese white shrimp *Fennero penaeus chinensis* in an earthen pond. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 35(1): 122- 131.

Wangüemert Fisheries Management and Aquaculture SLU
CIF: B02672343
Maisonnave 41, 3rd floor, B
03003 Alicante (Spain)



+34-696409979
wangumemar@gmail.com
mercedes@wangumar.com
www.wangumar.com
