

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCOLA POLITECNICA SUPERIOR DE GANDIA

Master en Eval. Amb. Ecosistemas marinos y Cost.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCOLA POLITÈCNICA
SUPERIOR DE GANDIA

“Análisis de la dieta de *Callinectes sapidus* (Rathbun, 1896) en ambientes recientemente invadidos del Golfo de Valencia”

TRABAJO FINAL DE MASTER

Autor/a:

Alberto Gil Fernández

Tutor/a:

Miguel Rodilla Alamá

Silvia Laura Falco Giaccaglia

GANDIA, 2018

Resumen

C. sapidus es un voraz y agresivo crustáceo decápodo que se ha asentado en distintos lugares alrededor del mundo como especie invasora. Debido a que puede alcanzar altas densidades de población resulta primordial identificar los impactos que provoca sobre el ecosistema autóctono. En este trabajo se realiza un análisis de contenidos estomacales para determinar la dieta de *C. sapidus* en dos puntos de la costa mediterránea española, el Delta del Ebro y Gandía. Otros puntos de muestreo fueron explorados y descartados por diversos motivos. Para determinar la importancia de las distintas categorías de contenidos estomacales se empleó un índice compuesto. Los resultados revelan una diferencia importante entre puntos de muestreo y tallas, sin embargo, no fue posible establecer si existían diferencias entre sexos debido a que se capturaron mayoritariamente machos. Existe una diferencia muy clara entre la dieta de los ambientes invadidos y la dieta de su entorno nativo, sin embargo, los cangrejos parecen crecer de modo muy similar al determinado por otros autores. Se determinaron los puntos fuertes y débiles de distintas técnicas de captura, y se exploran una serie de futuras líneas de actuación para determinar el impacto que causan en el ecosistema con mayor precisión.

Palabras clave: especies invasoras, cangrejo azul, contenido estomacal, índice de preponderancia, métodos de captura de fauna.

Abstract

C. sapidus is a voracious and aggressive decapod crustacean that has settled in different places around the world as an invasive species. Because it can reach high population densities, it is essential to identify the impacts it causes on the native ecosystem. In this study an analysis of stomach contents is carried out to determine the diet of *C. sapidus* in two points of the spanish mediterranean coast, the Ebro Delta and Gandía. Other sampling points were explored and discarded for various reasons. To determine the importance of the different categories of stomach contents, a compound index was used. The results reveal an important difference between sampling points and sizes, however, it was not possible to establish if there were differences between sexes because most captures were males. There is a very clear difference between the diet of the invaded environments and the diet of their native environment, however, the crabs seem to grow in a very similar way to that determined by other authors. The strengths and weaknesses of different capture techniques were determined, and a series of future lines of action are explored to determine the impact they cause on the ecosystem with greater precision.

Keywords: invasive species, blue crab, stomach contents, index of preponderancy, wildlife capture methods.

Agradecimientos

A mis tutores, Miguel y Silvia, por venir conmigo al segundo muestreo del Ebro y hacer la jornada mucho más llevadera. A Blanca Feliu Tena por acompañarnos (aunque me perdiera un muslo de pollo), y por ayudarme a tamizar el pestilente sedimento del barranco de San Nicolás. ¡Gracias a los tres por ayudarme a capturar unos cuantos cangrejos!

A Carmen Zamora Muñoz, profesora de la universidad de Granada y entomóloga por ayudarme a identificar algunos restos, y a Francisco Martínez Capel por mostrarme el libro adecuado y prestarme un vadeador para meterme en el Ebro.

A Ismael Sanz Bayón por ofrecerme información de primera mano sobre la situación en Tortosa, y a Ferrán Llarío Sempere, por acordarse de mí pasarme su contacto.

A Sebastià Hernádis Caballero por enseñarme a utilizar el EndNote y facilitarme la vida un huevo.

A Víctor Sánchez Morcillo, cuyos experimentos de oceanografía física con colorantes fueron la inspiración necesaria para mejorar mi técnica de pesca artesanal.

Y finalmente, a todos los profesores y compañeros de clase que han tenido que aguantar que en todos mis trabajos académicos durante el máster acabara hablando de este bicho de una u forma otra. ¡Sois unos cracks!

Contenidos

1. Introducción	1
2. Objetivos.....	5
3. Material y métodos.....	6
4. Resultados.....	13
5. Discusión	15
6. Conclusiones	22
7. Futuras líneas de actuación	23
8. Referencias.....	25
9. Anexos.....	28

Figuras

Figura 1.1: área de distribución natural de <i>C. sapidus</i> . Los tonos más cálidos indican una mayor densidad (Aquamaps, 2016-2017).	1
Figura 1.2: vista dorsal (izquierda) y ventral (derecha) de dos ejemplares capturados, un macho (superior) y una hembra (inferior) (elaboración propia).	2
Figura 3.1: zona de captura en el barranco de San Nicolás, en Gandía (Google Earth).	6
Figura 3.2: zona de captura en el Riu de Migjorn, en el Delta del Ebro (Google Earth).....	6
Figura 3.3: detalle de una de las nasas empleadas para capturar los ejemplares. Pueden verse en el interior dos de ellos, así como una piedra utilizada a modo de lastre para reducir el desplazamiento de la trampa por la corriente y de este modo evitar enredos (elaboración propia).	7
Figura 3.4: ejemplares capturados mediante pesca artesanal con cebo, en concreto empleando un muslo de pollo atado a una cuerda. Una vez se aferran al cebo se tira despacio de la cuerda y con la ayuda de un salabre se capturan. En la foto se puede apreciar que se capturaron dos ejemplares a la vez, debido a la alta densidad de ejemplares presente en la zona del Delta del Ebro (elaboración propia).	8
Figura 3.5: detalle de los botes perforados en los que se introducía el cebo para evitar que los ejemplares tuvieran acceso a él. De izquierda a derecha vista superior, lateral e inferior (elaboración propia).....	8
Figura 3.6: las distintas medidas tomadas sobre el caparazón de los ejemplares, siendo 1 la longitud, 2 la anchura del caparazón descartando el último par de espinas y 3 la anchura del caparazón (Key Jr, Winston, Volpe, Jeffries, & Voris, 1999).....	9
Figura 3.7: el estómago de dos de los ejemplares capturados. El de la izquierda se aprecia vacío, mientras que en el de la derecha puede verse algo de contenido (elaboración propia).	9
Figura 3.8: contenido estomacal de uno de los ejemplares capturados clasificado en tubos Eppendorf, de izquierda a derecha son sedimento, restos de moluscos y material vegetal (elaboración propia).	10
Figura 3.9: organismos obtenidos en la zona 1 mediante recogida directa. De izquierda a derecha alga filamentosa, tapices de microalgas sobre sedimento, otro tipo de alga filamentosa y una lisa (<i>Mugil cephalus</i>)(elaboración propia).....	11
Figura 3.10: de izquierda a derecha, draga empleada para la obtención del sedimento, proceso de tamizado y detalle de uno de los crustáceos obtenidos, presentes en altas densidades. Se trata de alguna clase de crustáceo del orden tanaidacea, anteriormente conocidos como anisópodos (elaboración propia).	12
Figura 4.1: representación de la relación lineal entre el logaritmo del tamaño y el del peso para la zona de Gandía, agrupando por sexos (elaboración propia).	14
Figura 4.2: representación de la relación lineal entre el logaritmo del tamaño y el del peso para la zona del Delta del Ebro, agrupando por sexos (elaboración propia).	14
Figura 5.1: algunos de los ejemplares capturados presentaban características singulares; el cefalotorax abierto de una hembra madura, la masa naranja son huevos (superior izquierda), la vista ventral de una hembra inmadura, delatada por el abdomen triangular (superior derecha), un ejemplar con una evidente descompensación de tamaño entre las dos quelas (inferior izquierda) y un ejemplar que presenta crecimiento algal en las patas traseras (inferior derecha) (elaboración propia).	17
Figura 5.2: mandíbulas, probablemente de larvas de <i>Sialis lutaria</i> , encontradas en el estómago de los ejemplares del Delta del Ebro (elaboración propia).	18
Figura 5.3: restos de valvas encontradas en los estómagos (izquierda), valvas obtenidas filtrando el sedimento de la zona (centro) y una referencia bibliográfica de <i>C.edule</i> (derecha) (elaboración propia salvo derecha que corresponde a (Gofas, Moreno, & Salas)).	18
Figura 5.4: algunos de los restos encontrados en los estómagos y su posible procedencia, de izquierda a derecha y de arriba abajo; restos de piel, renacuajo de <i>Pelobates cultripes</i> , tubos calcáreos de poliqueto, <i>Branchiomma luctuosum</i> , restos de corona de poliqueto y restos de envase plástico (elaboración propia , salvo <i>Pelobates cultripes</i> y <i>Branchiomma luctuosum</i> , de David Herrero González y Andrea Jardí Pons respectivamente).	19
Figura 5.5: muslo de pollo empleado como cebo coloreado de azul. Es claramente visible la zona devorada por uno de los ejemplares capturados durante su pesca (elaboración propia).	20
Figura 5.6: el contenido estomacal de uno de los cangrejos capturados empleando como cebo el muslo de pollo coloreado. El colorante permanece perfectamente retenido dentro de las fibras del pollo, sin teñir ninguno de los otros contenidos estomacales, en este caso restos de un pequeño crustáceo (elaboración propia).....	20
Figura 7.1: el tejido muscular de las quelas de uno de los ejemplares capturados (izquierda) y varias muestras etiquetadas y secas para su conservación (derecha) (elaboración propia).....	23
Figura 7.2: cangrejo equipado con un emisor ultrasónico para su seguimiento. Este modelo contiene un sistema auxiliar que se activa durante la ecdisis y proporciona un indicador fiable de dónde y cuándo ha tenido lugar (Wolcott & Hines, 1990).	24

Ecuaciones

Ecuación 3.1: forma de cálculo del IIR (Mar Silva et al., 2014).....	10
Ecuación 3.2: forma de cálculo del IP (Natarajan & Jhingran, 1961).....	11

Tablas

Tabla 4.1: IP para las distintas categorías de contenido estomacal en la zona 1: barranco de San Nicolás en Gandía, el guion (-) indica ausencia de datos.....	13
Tabla 4.2: IP para las distintas categorías de contenido estomacal en la zona 2: Riu de Migjorn en el Delta del Ebro, el guion (-) indica ausencia de datos.	13
Tabla 4.3: tabla resumen con las características de la relación lineal entre el logaritmo del tamaño y el del peso, agrupando por zonas y sexos (elaboración propia).	14
Tabla 5.1: comparación de la importancia de la materia vegetal en distintos estudios, sin agrupar los datos.	15
Tabla 5.2: comparación entre los valores R^2 relacionando peso con anchura total y peso con anchura sin espinas, agrupando por zonas y sexos (elaboración propia).....	16
Tabla 9.1: detalle de los ejemplares capturados en Gandía (zona 1),40 ejemplares en total.	28
Tabla 9.2: detalle de los ejemplares capturados en el Delta del Ebro (zona 2), 46 ejemplares en total.	29

1. Introducción

En un mundo cada vez más globalizado la problemática de las especies invasoras no deja de aumentar, pues cada vez son más las vías mediante las que una especie puede trasladarse de un lugar a otro de manera accidental. En concreto en el Mediterráneo, donde el número de especies invasoras se ha multiplicado exponencialmente desde 1900 (Davenport *et al.*, 2009), hay documentadas 745 especies invasoras. La mayoría de estas especies son moluscos o crustáceos, siendo una de las especies categorizadas como establecida *Callinectes sapidus* (Galil, 2009).

C. sapidus, también denominado cangrejo azul, cangrejo azul atlántico o jaiba azul, es un crustáceo decápodo de la familia de los portúnidos (Millikin & Williams, 1984). Como todos los portúnidos es un cangrejo nadador que puede alcanzar gran tamaño, hasta 21 cm de anchura de caparazón (Millikin & Williams, 1984). Se trata de una especie nativa de la costa este de América, desde Nueva Escocia en el norte hasta algo más al sur de Río de la Plata (Figura 1.1), pero ya es habitual en aguas de África, Asia y Europa (Nehring, 2011). Al contrario que muchas otras especies invasoras que han entrado en el Mediterráneo por el Canal de Suez, se especula que la forma en la que han colonizado este entorno es mediante el transporte de las larvas en aguas de lastre de buques de carga (Nehring, 2011). Se trata de un sistema que llena o vacía tanques con agua del entorno del buque en relación con la carga que transporta para mantener la flotabilidad óptima, por tanto, es muy fácil que se transporten las larvas de una especie cuya presencia es abundante cerca de rutas comerciales marítimas importantes. En España se tienen registros de su presencia desde el año 2002, en el Guadalquivir (Nehring, 2011), mientras que en la costa mediterránea ha empezado a aparecer en distintas zonas desde hace entre 4 y 6 años (Castejón & Guerao, 2013; Gonzalez-Wanguemert & Pujol, 2016).



Figura 1.1: área de distribución natural de *C. sapidus*. Los tonos más cálidos indican una mayor densidad (Aquamaps, 2016-2017).

La especie presenta un dimorfismo sexual muy marcado en el que los machos tienen los extremos terminales de las quelas de color azul, mientras que en las hembras es de un rojo intenso (Figura 1.2). El abdomen, que está plegado debajo del cefalotorax, es también muy distinto, siendo estrecho en los machos y ancho en las hembras para transportar bajo él la masa de huevos (Figura 1.2).



Figura 1.2: vista dorsal (izquierda) y ventral (derecha) de dos ejemplares capturados, un macho (superior) y una hembra (inferior) (elaboración propia).

A pesar de que se conoce la presencia de ejemplares en el Mediterráneo desde 1949 se trataba de núcleos de población dispersos con densidades de población baja en el Mediterráneo oriental, y muchas veces en receso (Rield, 1986). Esa tendencia se ha revertido en los últimos años, pudiendo ser varios los factores que en ello han intervenido; por una parte *C. sapidus* se beneficia del calentamiento global dado que no tolera bien aguas excesivamente frías (Nehring, 2011), y por otra, al tratarse de una especie con alto valor comercial y que ya es explotada en el Mediterráneo (Zibrowius, 2002), existe la posibilidad de introducciones voluntarias de ejemplares para que puedan ser aprovechadas en un futuro como recurso pesquero (Nehring, 2011). En ocasiones se ha especulado sobre si la existencia de maricultura de esta especie en el Mediterráneo Oriental podría ser otro de los motivos que han impulsado su explosiva expansión, no obstante, no se han encontrado referencias que apoyen esta afirmación y, según la FAO, nunca ha existido ningún tipo de maricultura del cangrejo azul en aguas mediterráneas.

Se trata de una especie que combina las características del perfecto invasor, y que aparece por derecho propio como una de las 100 especies invasoras más dañinas del Mediterráneo (Streftaris & Zenetos, 2006). Posee un ratio de reproducción muy alto, en el que cada hembra produce de media entre 2 y 4 millones de huevos (Prager, McConaugha, Jones, & Geer, 1990), y se trata de un animal voraz, capaz de tolerar un amplio rango de salinidades y temperaturas (Zibrowius, 2002). A pesar de que puede vivir en sistemas dulceacuícolas gracias a unos mecanismos específicos de regulación de la salinidad (Cameron, 1978) necesita de aguas salobres o saladas para su reproducción (Cameron, 1978), para lo que pueden llegar a migrar largas distancias (Carr, Tankersley, Hensch, Forward, & Luettich, 2004). Hay casos documentados de migraciones de hasta unos 500 km (Tagatz, 1968), para lo cual los cangrejos se ayudan del desplazamiento del agua con las subidas y bajadas de marea, que son de gran magnitud en su hábitat natural (Carr *et al.*, 2004). La voracidad propia de la especie puede verse incrementada en sistemas de agua dulce, pues el coste metabólico de los sistemas de bombeo de sales son altos (Cameron, 1978). Típicamente *C. sapidus* vive en sistemas estuarinos, los cuales son abandonados por las hembras maduras una vez han sido fecundadas para liberar las larvas en aguas más saladas, cuya supervivencia es directamente proporcional a la salinidad y la temperatura dentro de límites naturales (Costlow, 1967). De esta forma las larvas consiguen evitar estrés osmótico en aguas de baja salinidad (Sandoz & Rogers, 1944) y a los depredadores planctívoros estuarinos (Morgan, 1990). Generalmente las hembras liberan los huevos en eventos de retirada de marea, para facilitar así su dispersión (Provenzano Jr, McConaugha, Philips, Johnson, & Clark, 1983), siendo éstas posteriormente traídas de nuevo a la costa por acción del viento (Epifanio & Garvine, 2001).

Otro factor que juega a su favor es su capacidad para aprovechar todas las fuentes de energía disponibles en el ecosistema, pues es capaz de alimentarse de virtualmente todo, incluyendo materia vegetal, bivalvos, gasterópodos, peces, crustáceos, o detritus de cualquier tipo (Rosas, Lazaro-Chavez, & Bückle-Ramirez, 1994). Por último, al tratarse de cangrejos de gran tamaño que viven en aguas someras, tan distintos a los del ecosistema local, carece de depredadores naturales que puedan contribuir a controlar la población en cuanto supera un tamaño mínimo. Las posibles excepciones son los pulpos (Guerra, 1978; Rosas *et al.*, 2007) o ellos mismos pues son conocidos los hábitos caníbales de esta especie (Laughlin, 1982), que pueden llegar a tener un importante papel en el control de su población mediante la depredación de juveniles o la transmisión de enfermedades como la provocada por el dinoflagelado parasítico *Hematodinium* sp. (Walker, Lee, & Frischer, 2009).

Al combinar todos los factores expuestos se obtiene una especie con un enorme potencial invasor. A modo de ejemplo, en sitios como el delta del río Neretva, en Croacia, sólo han sido necesarios 6 años desde el primer avistamiento hasta tener una población permanentemente asentada (Dulčić, Tutman, Matić-Skoko, & Glamuzina, 2011).

En su entorno nativo es un producto apreciado que se comercializa habitualmente y que llega a tener una muy alta importancia económica en ciertas zonas como Chesapeake Bay (Virginia) o en Carolina del Norte, donde llega a representar más de un 30% del valor comercial de toda la industria pesquera (Chen, 2015). El producto ya se comercializa en nuestro entorno, llegando a alcanzar precios considerables. En el mercado de abastos de Barcelona se ha registrado a 26€/kg durante este verano, sin embargo, las oscilaciones en el precio son muy importantes pues ahora es posible verlo en las pescaderías del levante español a precios que rondan los 10€. Un hecho sorprendente es que esta especie aparece en el Listado de 2018 de denominaciones

comerciales de especies pesqueras y acuicultura admitidas en España, pero no en el Catálogo Español de Especies Exóticas Invasoras, lo cual demuestra una vez más que los intereses comerciales se anteponen a los naturales.

En el tramo final del río Ebro, se ha observado una disminución de hasta un 80% del gasterópodo *Pomacea canaliculata* (caracol manzana) desde que es habitual la presencia del cangrejo azul en la zona de Tortosa (aproximadamente desde julio 2018, comunicación personal Ismael Sanz Bayón, técnico de la Confederación Hidrográfica del Ebro). Este hecho implica un riesgo para el comercio del cangrejo azul, pues el caracol manzana puede ser portador del nemátodo *Angiostrongylus cantonensis* que causa en el hombre la meningitis eosinofílica (Lv *et al.*, 2009), y por tanto existe un riesgo para la salud humana si el cangrejo no está bien cocinado o congelado. Además, al tratarse de un voraz depredador de organismos filtradores, tiene a acumular en sus tejidos una gran cantidad de metales pesados (Türkmen, Türkmen, Tepe, Mazlum, & Oymael, 2006). Ismael Sanz confirmó también la presencia de ejemplares en el azud de Xerta, a unos 60 km de recorrido fluvial desde la desembocadura del Ebro. Por último, y basándose en observación directa confirmó la reducción en la presencia de otros organismos de vida acuática, pues a lo largo de sus jornadas de trabajo ha encontrado los cuerpos de ranas, galápagos e incluso una serpiente depredada.

Por todo lo expuesto anteriormente se propone un análisis de contenidos estomacales de *C. sapidus* para definir con la mayor precisión posible su alimentación y de esta forma determinar los impactos que se pueden producir en el ecosistema que han invadido.

2. Objetivos

- Localizar puntos adecuados para la obtención de ejemplares en futuras campañas de muestreo.
- Probar distintas técnicas de captura de ejemplares, determinando los puntos fuertes y débiles de cada una.
- Determinar la composición de la alimentación de *C. sapidus* en ambientes recientemente invadidos.
- Identificar posibles diferencias en la dieta en función de variables como la zona de captura, talla o sexo.

3. Material y métodos

Para obtener los datos del presente estudio se han capturado ejemplares de cangrejo azul atlántico en 2 localizaciones distintas, en el periodo comprendido entre el 21 de junio y el 30 de agosto de 2018 (información detallada disponible en el apartado anexos). En concreto las localizaciones son el barranco de San Nicolás en Gandía (Figura 3.1), el Riu de Migjorn en el Delta del Ebro (Figura 3.2).

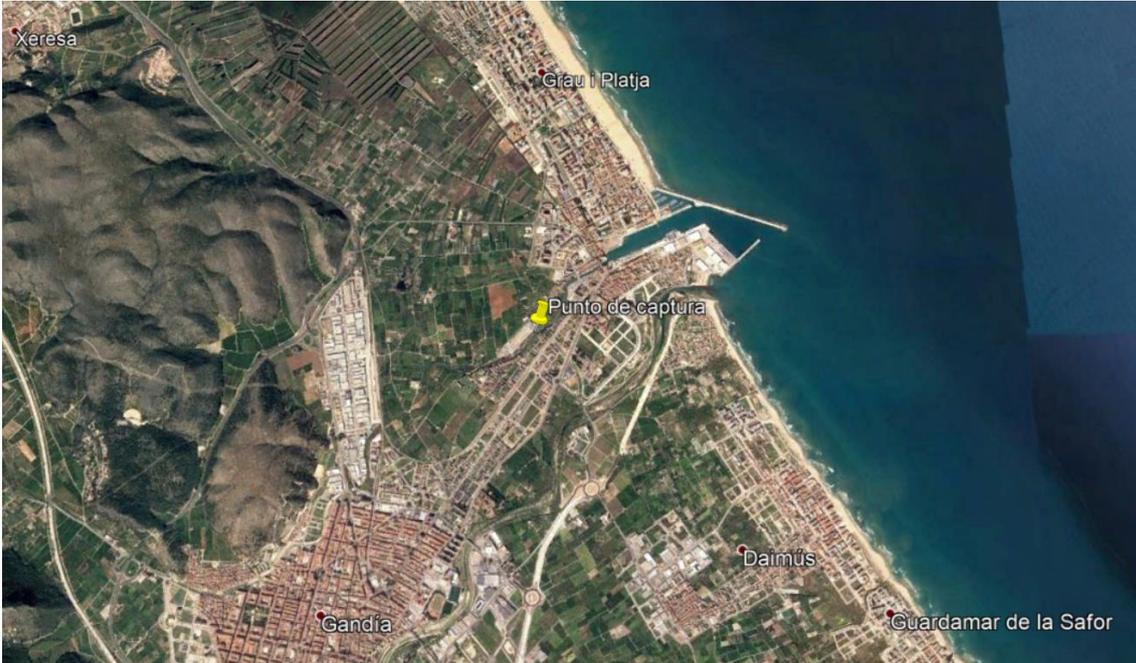


Figura 3.1: zona de captura en el barranco de San Nicolás, en Gandía (Google Earth).

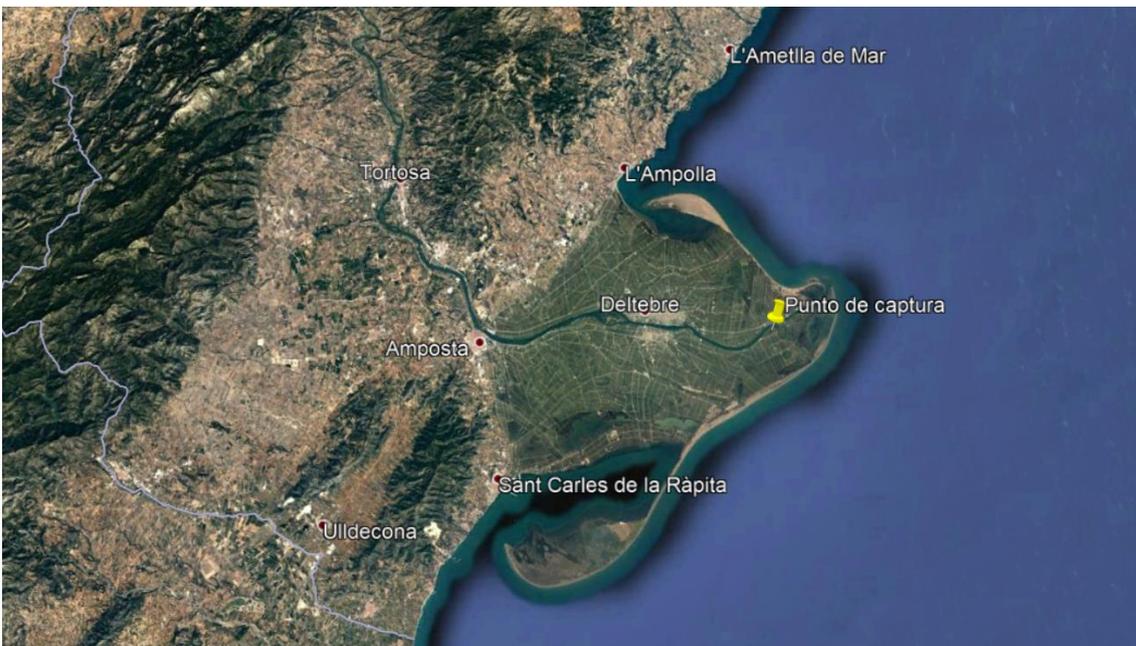


Figura 3.2: zona de captura en el Riu de Migjorn, en el Delta del Ebro (Google Earth).

Otras posibles localizaciones que han sido exploradas y finalmente descartadas como puntos de muestreo han sido: la Albufera de Valencia, tanto la zona del Palmar como las golas del Perelló y el Perellonet, en Cullera la desembocadura del Júcar y el Estany Gran, en Xeraco tanto la desembocadura natural del Riu Vaca como el canal del Riu Vaca, en Gandía la desembocadura del Riu Serpis, y en Oliva tanto el puerto como la Marjal de Pego Oliva. Los motivos para descartar estos puntos de muestreo han sido tres, siendo el más habitual la dificultad de acceso a la zona de muestreo, únicamente sorteable mediante el uso de material especializado no disponible en el momento de realización de este trabajo. Los otros dos motivos, minoritarios en comparación con el anterior, son que no se capturaban suficientes ejemplares o que existía conflicto entre los usos habituales de la zona y la instalación de trampas para muestrear.

Los principales métodos de captura de los ejemplares han sido dos, las nasas (Figura 3.3) y la pesca artesanal con cebo (Figura 3.4). Las trampas de tipo nasa consisten en un cilindro de tela que tiene en su extremo dos embudos que apuntan al interior y un bolsillo superior en el que se introduce un cebo. Atraídos por el olor de la carnada los ejemplares son conducidos por los embudos al interior del cilindro, del cual luego tienen dificultades para salir. Al tratarse de trampas construidas con red fina fue necesario introducir la carnada en botes perforados que permiten que fluya el olor del reclamo (Figura 3.5), pues en caso contrario los cangrejos tienen suficiente fuerza para romper la malla y comerse el cebo, dificultando por tanto el posterior análisis de contenidos estomacales. Debido a su fuerte olor y a su fácil manejo el cebo empleado en las trampas fueron sardinas en lata.



Figura 3.3: detalle de una de las nasas empleadas para capturar los ejemplares. Pueden verse en el interior dos de ellos, así como una piedra utilizada a modo de lastre para reducir el desplazamiento de la trampa por la corriente y de este modo evitar enredos (elaboración propia).



Figura 3.4: ejemplares capturados mediante pesca artesanal con cebo, en concreto empleando un muslo de pollo atado a una cuerda. Una vez se aferran al cebo se tira despacio de la cuerda y con la ayuda de un salabre se capturan. En la foto se puede apreciar que se capturaron dos ejemplares a la vez, debido a la alta densidad de ejemplares presente en la zona del Delta del Ebro (elaboración propia).

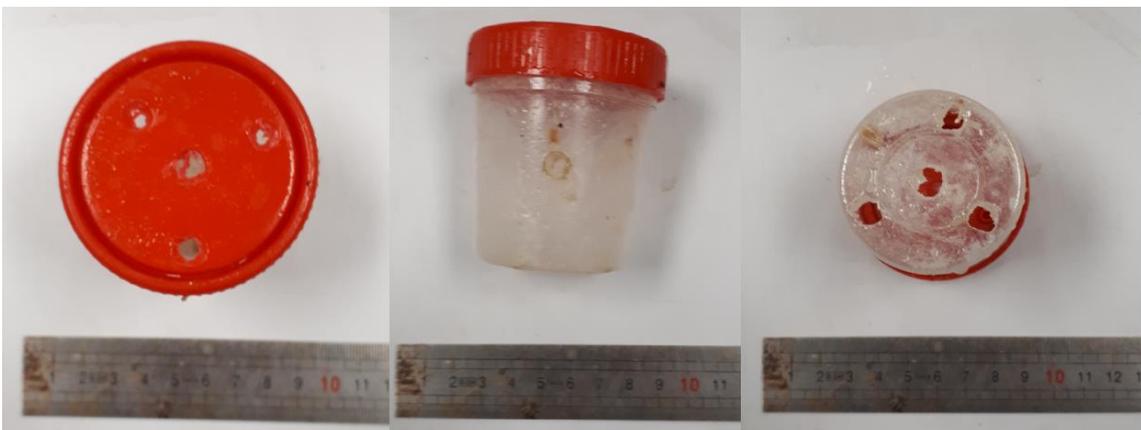


Figura 3.5: detalle de los botes perforados en los que se introducía el cebo para evitar que los ejemplares tuvieran acceso a él. De izquierda a derecha vista superior, lateral e inferior (elaboración propia).

Todos los ejemplares capturados fueron sacrificados con la mayor celeridad posible mediante congelación, método que sirve a su vez para conservar intactos los contenidos estomacales.

El procesamiento posterior de cada uno de los ejemplares incluye la determinación del sexo, peso húmedo y 3 medidas distintas del caparazón (Figura 3.6). Una vez determinadas esas características se procede a la extracción del estómago (Figura 3.7) y la obtención y clasificación de contenidos estomacales según su naturaleza (Figura 3.8). El peso se determinó empleando un granatario ($\pm 1g$) y las medidas del caparazón empleando un calibre o pie de rey ($\pm 1mm$). Las categorías para la clasificación del contenido estomacal son materia vegetal, crustáceos, moluscos, restos de canibalismo, otras presas y sedimento, modificado de Josileen (2011).

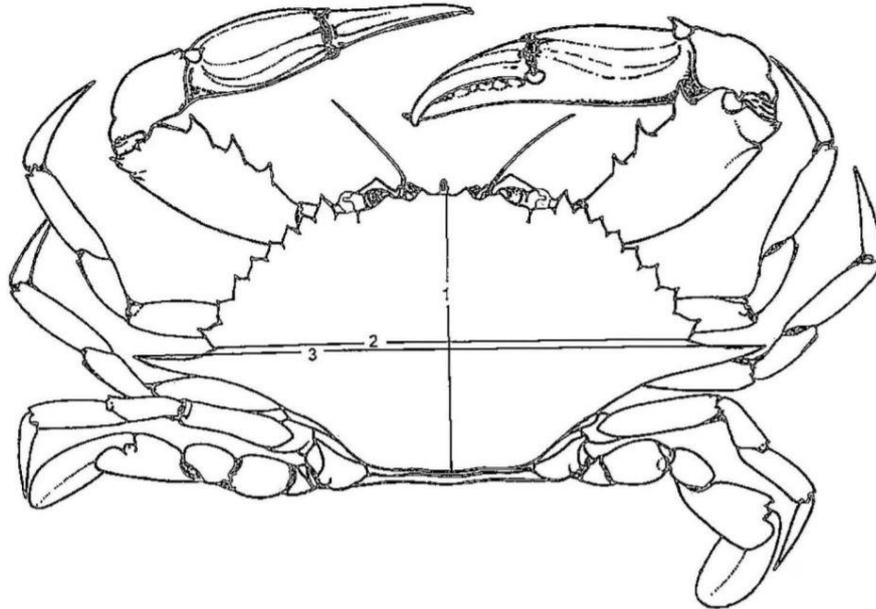


Figura 3.6: las distintas medidas tomadas sobre el caparazón de los ejemplares, siendo 1 la longitud, 2 la anchura del caparazón descartando el último par de espinas y 3 la anchura del caparazón (Key Jr, Winston, Volpe, Jeffries, & Voris, 1999).

La medida más usada en la bibliografía como descriptor del tamaño de *C. sapidus* y otros portúnidos es la anchura del caparazón (medida 3 en la figura 3.6) y por tanto será esa misma la que se emplee en el presente trabajo.



Figura 3.7: el estómago de dos de los ejemplares capturados. El de la izquierda se aprecia vacío, mientras que en el de la derecha puede verse algo de contenido (elaboración propia).

Una vez se han separado los distintos contenidos estomacales cada tipo se almacena en tubos de micro centrífuga, popularmente conocidos como tubos Eppendorf, de manera que el contenido en volumen de cada tipo de resto es fácilmente determinable sobre el total del volumen ocupado del estómago.



Figura 3.8: contenido estomacal de uno de los ejemplares capturados clasificado en tubos Eppendorf, de izquierda a derecha son sedimento, restos de moluscos y material vegetal (elaboración propia).

Para determinar la importancia de cada tipo de resto en la dieta del animal se han valorado distintos métodos de clasificación de la importancia de estos contenidos, como el volumétrico, el gravimétrico o el de conteo numérico. Debe tenerse en cuenta que debido a las características físicas del animal el alimento llega al estómago muy alterado, lo cual limita las posibilidades de análisis (Josileen, 2011). Estas posibilidades se reducen aún más al tratarse de un animal omnívoro, pues no es posible determinar el número de apariciones de restos vegetales. De entre todas las opciones que se han barajado una de las más apropiadas teniendo en cuenta las restricciones antes descritas es el IIR, o índice de importancia relativa (Mar Silva, Hernández Morales, & Medina Nava, 2014).

$$IIR = (FO * \%A)/100$$

Ecuación 3.1: forma de cálculo del IIR (Mar Silva et al., 2014).

Donde la frecuencia de ocurrencia (FO) se define como el número de estómagos que contienen una categoría de contenido estomacal, dividido por el total de estómagos de ese grupo y multiplicado por 100, y el porcentaje en área (%A) de una categoría en concreto se define como la el área ocupada por dicha categoría de contenido estomacal, dividido por el área total y multiplicado por cien.

Otro índice similar al índice de importancia relativa es el índice de preponderancia o IP (Natarajan & Jhingran, 1961), que se calcula de la siguiente manera.

$$IP_i = \left(\frac{\%V_i * FO_i}{\sum \%V * FO} \right) * 100$$

Ecuación 3.2: forma de cálculo del IP (Natarajan & Jhingran, 1961).

Donde %V_i es el tanto por ciento en volumen de una categoría de contenido estomacal, FO_i es la frecuencia de ocurrencia de esa misma categoría de contenido y $\sum \%V * FO$ es el sumatorio para todas las categorías de contenidos de su porcentaje en volumen por su frecuencia de ocurrencia.

Tanto el IIR como el IP son opciones válidas para representar la importancia de los distintos grupos alimenticios en la dieta de decápodos, pero el segundo es el más utilizado por la comunidad científica y es por tanto el elegido para presentar los resultados del presente documento. Otra ventaja de trabajar con el índice de preponderancia es que se evita la asunción de que el área y el volumen son siempre proporcionales, además de que los resultados son más fácilmente interpretables al tratarse de un porcentaje.

También se llevó a cabo un estudio de biota acompañante, es decir, la recogida de organismos de todo tipo que comparten entorno con *C. sapidus*. Una vez formada la colección de muestras, mediante comparación con dicha colección, la identificación de los contenidos estomacales es más sencilla y precisa, permitiendo de este modo la identificación de organismos concretos (Figura 3.9). Las técnicas de captura incluyen recogida directa, con o sin la ayuda de salabres, y el uso de una draga para la recogida de sedimento y su posterior tamizado (Figura 3.10).



Figura 3.9: organismos obtenidos en la zona 1 mediante recogida directa. De izquierda a derecha alga filamentosa, tapices de microalgas sobre sedimento, otro tipo de alga filamentosa y una lisa (*Mugil cephalus*)(elaboración propia).



Figura 3. 10: de izquierda a derecha, draga empleada para la obtención del sedimento, proceso de tamizado y detalle de uno de los crustáceos obtenidos, presentes en altas densidades. Se trata de alguna clase de crustáceo del orden tanaidacea, anteriormente conocidos como anisópodos (elaboración propia).

4. Resultados

El número total de ejemplares capturados fue de 86, 40 en la zona de Gandía (Tabla 9.1) y 46 en la zona del Delta del Ebro (Tabla 9.2). La anchura total del caparazón de los ejemplares varió entre 77 y 188 mm en la zona 1, y entre 82 y 184 en la zona 2, con un promedio de 136 en la zona 1 y de 147 en la zona 2.

Los ejemplares se clasifican según su tamaño en las siguientes categorías; pequeño de menos de 70 mm, mediano entre 70 y 125 mm y grande mayor de 125 mm (Arnold, 1984). Se presentan los índices de preponderancia (IP) de cada categoría de contenido estomacal para cada categoría de tamaño, separando los resultados para la zona de Gandía (Tabla 4.1) y la zona del Delta del Ebro (Tabla 4.2).

Tabla 4.1: IP para las distintas categorías de contenido estomacal en la zona 1: barranco de San Nicolás en Gandía, el guion (-) indica ausencia de datos.

Presa	Pequeños (0)	Medianos (13)	Grandes (27)
Moluscos	-	1.1	11.3
Crustáceos	-	0.2	2.3
<i>C. sapidus</i>	-	-	-
Material vegetal	-	97.5	75.4
Sedimento	-	1.2	8.7
Otras presas	-	-	2.3

Tabla 4.2: IP para las distintas categorías de contenido estomacal en la zona 2: Riu de Migjorn en el Delta del Ebro, el guion (-) indica ausencia de datos.

Presa	Pequeños (0)	Medianos (10)	Grandes (36)
Moluscos	-	9.4	2.9
Crustáceos	-	-	1.3
<i>C. sapidus</i>	-	-	0.3
Material vegetal	-	88	83.7
Sedimento	-	-	0
Otras presas	-	2.6	11.8

Con el objetivo de saber si los ejemplares capturados en las zonas de estudio se desarrollan igual que los presentes en otros ambientes se estudió su relación tamaño-peso. Para conseguir que la relación sea del tipo lineal se establece entre los logaritmos del peso y el tamaño (Olmi III & Bishop, 1983). Los individuos que presentaban mutilaciones que pudieran alterar significativamente su peso original no se tuvieron en cuenta. Se presentan los resultados de forma gráfica para la zona 1 (Figura 4.1), para la zona 2 (Figura 4.2), y una tabla resumen con las características de la relación lineal (Tabla 4.3).

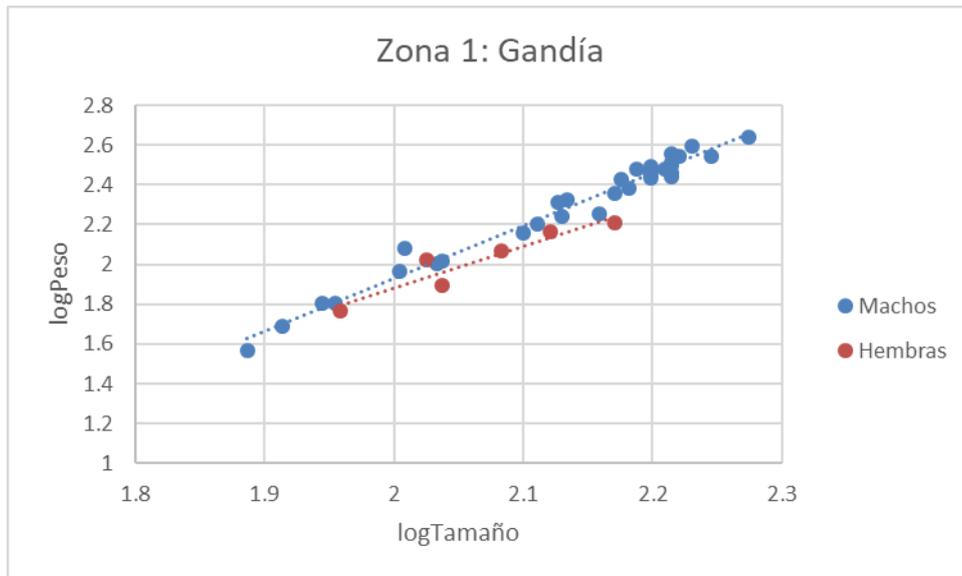


Figura 4.1: representación de la relación lineal entre el logaritmo del tamaño y el del peso para la zona de Gandía, agrupando por sexos (elaboración propia).

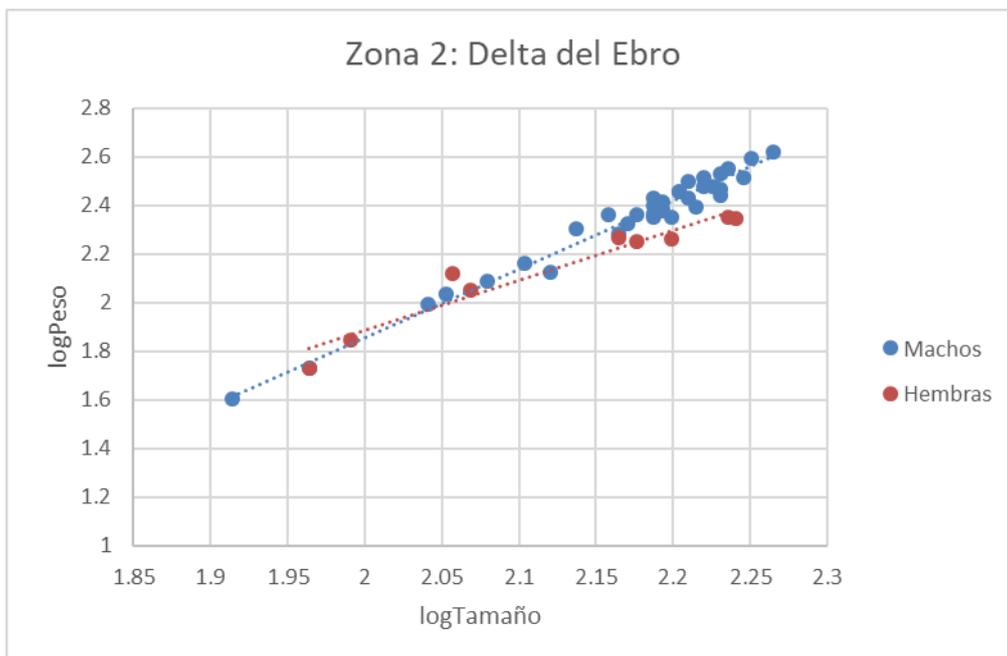


Figura 4.2: representación de la relación lineal entre el logaritmo del tamaño y el del peso para la zona del Delta del Ebro, agrupando por sexos (elaboración propia).

Tabla 4.3: tabla resumen con las características de la relación lineal entre el logaritmo del tamaño y el del peso, agrupando por zonas y sexos (elaboración propia).

Zona y sexo	Pendiente	Ordenada en el origen	R ²
Zona 1, machos	2.6449	- 3.3588	0.9770
Zona 1, hembras	2.1056	- 2.3299	0.8863
Zona 2, machos	2.8144	- 3.7724	0.9736
Zona 2, hembras	2.0570	- 2.2278	0.9342

5. Discusión

Comparando los resultados con estudios de alimentación de *C. sapidus* (Laughlin, 1982) y de otros portúnidos similares, en concreto *Portunus pelagicus* (Josileen, 2011) la importancia de la materia vegetal es muy superior (Tabla 5.1). Esta diferencia no se debe a diferencias en el método de análisis, pues los estudios con los que se comparan los resultados también están basados en el peso o volumen de los contenidos estomacales, y por tanto las diferencias entre resultados son mínimas. Los motivos para la gran importancia del material vegetal tienen que ver con dos motivos fundamentales. En primer lugar, es un material muy habitual en los puntos de muestreo y es por tanto una fuente nutricional importante para los cangrejos presentes en ese entorno concreto, siendo lógico que se alimenten de ello. En segundo lugar, y debido a la gran densidad de organismos que se alcanza, es probable que la competencia entre ellos les obligue a alimentarse de fuentes menos deseables. Estos altos niveles de densidad y competencia sólo son posibles debido al carácter invasor de la especie, pues en este entorno y como se ha dicho previamente carece prácticamente de depredadores y tampoco se han documentado enfermedades o parásitos que controlen la población. Por último, es probable que el material vegetal sea poco digerible, es decir, su tiempo de permanencia en el estómago es alto en comparación con otros alimentos, a pesar de que se sabe que *C. sapidus* puede digerir el almidón (McClintock, Klinger, Marion, & Hsueh, 1991) y la celulosa (Allman, Williams, & Place, 2017). Esto no afecta excesivamente a los resultados en estudios en los que la cantidad del material vegetal es reducida, pero puede alterarlos en casos como en el del presente documento.

Tabla 5.1: comparación de la importancia de la materia vegetal en distintos estudios, sin agrupar los datos.

Fuente	Especie	Zona de estudio y clasificación	Importancia aproximada de la materia vegetal (%)
Laughlin (1982)	<i>C. sapidus</i>	Florida, EEUU (nativo)	4
Josileen (2011)	<i>P. pelagicus</i>	Mandapam, India (nativo)	15-20
Este estudio	<i>C. sapidus</i>	Golfo de Valencia, España (invasor)	85

La ausencia de ejemplares de pequeño tamaño puede ser debida a que existe una selección por técnicas de captura, los ejemplares de pequeño tamaño podrán tener más facilidades en escapar de las trampas. También puede influir punto de muestreo pues los ejemplares juveniles tienen a refugiarse en zonas de alta densidad de vegetación (McClintock *et al.*, 1991). Otros estudios han determinado un patrón temporal de peso medio de captura y abundancia en el Mediterráneo (Carrozzo *et al.*, 2014). Según esos datos desde primavera hasta otoño va aumentando el peso medio de los ejemplares capturados, por lo tanto, la mejor época para capturar pequeños es final de invierno y principios de primavera. Si se analiza la tendencia de los ejemplares capturados en Gandía se ve que el peso promedio tiende a aumentar y también el número de capturas, hechos ambos coherentes con los datos proporcionados por Carrozzo *et al.* (2014).

La relación entre la anchura del caparazón y el peso de los ejemplares capturados en ambas zonas, agrupados por sexos, es similar a la determinada por otros estudios (Olmi III & Bishop, 1983), por lo que no se aprecian diferencias importantes en el desarrollo de los organismos. La máxima diferencia se dio al comparar con los machos del Ebro, que eran más grandes que los del estudio de Olmi III and Bishop (1983). Comparando con los machos de Gandía los del Ebro también resultan ser mayores, hecho que se explica en parte debido a la menor salinidad del agua. Los cangrejos absorben agua inmediatamente después de mudar el caparazón, para crecer antes de que su nuevo caparazón se endurezca, y resulta más fácil hacerlo en entornos de agua dulce donde la presión osmótica es menor (Hines, Lipcius, & Haddon, 1987), si bien también pueden influir las diferencias detectadas en la alimentación (Tabla 4.1 y tabla 4.2). Comparando entre la zona 1 y la zona 2, los individuos del mismo sexo mostraron una relación similar, notablemente distinta de los individuos del sexo contrario, dado que para un mismo tamaño los machos suelen ser más pesados. Ahora bien, si se repite el análisis anterior relacionando el peso con la anchura del caparazón sin tener en cuenta las espinas laterales en lugar de la anchura total (Figura 3.6) se obtienen relaciones más intensas en todos los casos (Tabla 5.2), e incluso se trata de una medida más fácil de tomar, por tanto el único motivo de trabajar con la anchura total es que así se tiene la posibilidad de comparar datos y resultados con una bibliografía mucho más extensa.

Tabla 5.2: comparación entre los valores R^2 relacionando peso con anchura total y peso con anchura sin espinas, agrupando por zonas y sexos (elaboración propia).

Zona y sexo	R^2 (anchura total)	R^2 (anchura sin espinas)
Zona 1, machos	0.9770	0.9801
Zona 1, hembras	0.8863	0.9909
Zona 2, machos	0.9736	0.9854
Zona 2, hembras	0.9342	0.9744

Para ambas localizaciones (Tabla 4.1 y tabla 4.2) se observa que la importancia de la materia vegetal es mayor en los cangrejos de talla mediana que en los de talla grande. Este hecho no resulta sorprendente, pues los cangrejos pequeños utilizan la vegetación como refugio y la eficacia con la que los cangrejos pueden digerir el material vegetal es inversamente proporcional a su tamaño, dado que los de menor talla tienen más dificultades para capturar y devorar otros animales (McClintock *et al.*, 1991). De igual manera al aumentar la talla se observa un incremento de los crustáceos, hecho que también resulta coherente con otros estudios sobre hábitos alimenticios de portúnidos (Josileen, 2011).

Finalmente se descartó la comparación de la dieta por sexos debido al bajo número de hembras capturadas, únicamente 15 de los 86 ejemplares capturados. Para complicar aún más el análisis dentro de este reducido grupo de hembras existía una diferencia fundamental, pues algunas eran adultas (7) y otras inmaduras (8). Esto entra dentro del comportamiento natural de la especie, pues se sabe que durante los meses de verano las hembras abandonan los estuarios para liberar las larvas en aguas más saladas.



Figura 5.1: algunos de los ejemplares capturados presentaban características singulares; el cefalotorax abierto de una hembra madura, la masa naranja son huevos (superior izquierda), la vista ventral de una hembra inmadura, delatada por el abdomen triangular (superior derecha), un ejemplar con una evidente descompensación de tamaño entre las dos quelas (inferior izquierda) y un ejemplar que presenta crecimiento algal en las patas traseras (inferior derecha) (elaboración propia).

Para una especie en la que el canibalismo es frecuente se encontraron muy pocos restos de esta categoría, tan sólo en 2 de los ejemplares capturados. Una posibilidad es que los restos estuvieran presentes pero no se identificaran como *C. sapidus* si no como otros crustáceos, siendo otra posibilidad que el canibalismo sea de menor importancia en los puntos de muestreo que en otras áreas donde se ha estudiado este fenómeno. Merece la pena destacar que el cangrejo azul tiene al menos una limitada habilidad para digerir la quitina, habilidad que se acentúa durante el proceso de muda para aprovechar al máximo su propio caparazón mudado que muchas veces consumen (Allman *et al.*, 2017). Esto quiere decir los restos de caparazón de sus congéneres se degradan en el estómago, siendo probable que pierdan su distintiva tonalidad azul y dificultando su identificación.

El apartado de otras presas es mucho más importante en la zona 2 que en la zona 1 (Tabla 4.1 y tabla 4.2), debido a que se trata de un entorno mucho más natural y diverso. En concreto un resto cuya presencia era abundante en algunos de los estómagos es el mostrado en la figura 5.2. Estas piezas quitinosas en forma de garfio parecen algún tipo de parte de una larva acuática de insecto, especulación reforzada por la alta estacionalidad de la presencia de estos restos en el estómago, pues con una diferencia temporal de tan solo 14 días se pasó de encontrar 37 a únicamente una. El equipo redactor especulaba con mandíbulas de larvas de odonatos o ganchos anales de larvas de tricópteros, pero la entomóloga Carmen Zamora Muñoz de la universidad de Granada proporcionó una alternativa mucho más factible, pues las piezas mostradas en la figura 5.2 son mucho más parecidas a las mandíbulas de larvas de megalópteros, en concreto del género *Sialis*. Según el libro “Els macroinvertebrats dels rius catalans” (Puig, 1999) sólo una especie del género *Sialis* vive en aguas de los ríos catalanes, *Sialis lutaria*, y con gran probabilidad son las larvas de esta especie las que están siendo depredadas por *C. sapidus*, quedando evidenciada una vez más la capacidad del cangrejo azul para alimentarse de una enorme variedad de organismos.



Figura 5.2: mandíbulas, probablemente de larvas de *Sialis lutaria*, encontradas en el estómago de los ejemplares del Delta del Ebro (elaboración propia).

En la zona 1 un resto particularmente interesante por lo frecuente son pedazos de las valvas de berberechos (Figura 5.3 izquierda). Dichos pedazos pueden compararse con las valvas recogidas durante el dragado de la zona (Figura 5.3 centro), para así determinar que corresponden con el género *Cerastoderma*, muy posiblemente *C. edule* (Figura 5.3 derecha). En cambio, no queda claro si los restos de crustáceos presentes en los estómagos de la zona 1 corresponden con los crustáceos encontrados en el sedimento (Figura 3.10).



Figura 5.3: restos de valvas encontradas en los estómagos (izquierda), valvas obtenidas filtrando el sedimento de la zona (centro) y una referencia bibliográfica de *C.edule* (derecha) (elaboración propia salvo derecha que corresponde a (Gofas, Moreno, & Salas)).

En la zona 2 hasta 6 individuos tenían en su estómago restos de piel, muy posiblemente de algún anfibio. Uno de los restos estaba particularmente bien conservado seguramente debido a que la ingestión era muy reciente (Figura 5.4 superior izquierda), lo cual permite intentar identificar a la especie a la que pertenece. Muestra una tonalidad marrón con puntos blancos, lo cual corresponde con la de los renacuajos de *Pelobates cultripes*, conocido como sapo de espuelas (Figura 5.4 superior derecha). Según datos de la IUCN (2009) esta especie es habitual en la zona del Delta del Ebro, estando catalogada como “Casi amenazada”, lo cual incrementa la preocupación por su

supervivencia ahora que se enfrenta a esta nueva amenaza. Otro de ellos contenía restos del tubo calcáreo (Figura 5.4 medio izquierda) y los restos de la corona de diversos poliquetos (Figura 5.4 inferior izquierda). Una posibilidad factible es que pudiera tratarse de individuos de pequeño tamaño de *Branchiomma luctuosum* (Figura 5.4 medio derecha), si bien en ese caso no existiría motivo de preocupación pues se trata de otra especie invasora. Por último, en 2 de los ejemplares de la zona 2 se localizaron restos plásticos o metálicos de envases como parte del contenido estomacal (Figura 5.4 inferior derecha). Al tratarse restos abundantes no parece que los envases se hayan ingerido de forma accidental, siendo más probables que hayan sido ingeridos complementaria a algo que tuvieran adherido, ya sea materia vegetal que se haya podido generar sobre ese sustrato o restos de materia orgánica que hubieran contenido previamente.



Figura 5.4: algunos de los restos encontrados en los estómagos y su posible procedencia, de izquierda a derecha y de arriba abajo; restos de piel, renacuajo de *Pelobates cultripes*, tubos calcáreos de poliqueto, *Branchiomma luctuosum*, restos de corona de poliqueto y restos de envase plástico (elaboración propia, salvo *Pelobates cultripes* y *Branchiomma luctuosum*, de David Herrero González y Andrea Jardí Pons respectivamente).

En los ejemplares capturados mediante pesca artesanal se encontró pollo en los estómagos, pues empiezan a comer tan pronto se aferran al cebo, incluso mientras son remolcados. La presencia de pollo en los estómagos dificulta la ya de por sí difícil tarea de clasificación de los contenidos estomacales, pues existe la posibilidad de considerar como pollo algo que no lo sea y viceversa. Para facilitar la identificación de los pedazos ingeridos durante la pesca se realizó una prueba en la que el muslo de pollo se coloreó de un color intenso antes de pescar, en este caso de azul (Figura 5.5).



Figura 5.5: muslo de pollo empleado como cebo coloreado de azul. Es claramente visible la zona devorada por uno de los ejemplares capturados durante su pesca (elaboración propia).

El colorante empleado es colorante alimenticio, un producto que no entraña ningún riesgo para la salud humana ni del ecosistema. No se detectó ninguna diferencia en la capacidad atrayente del cebo, ni difusión del colorante durante la pesca o hacia otros contenidos dentro de la cavidad estomacal (Figura 5.6).

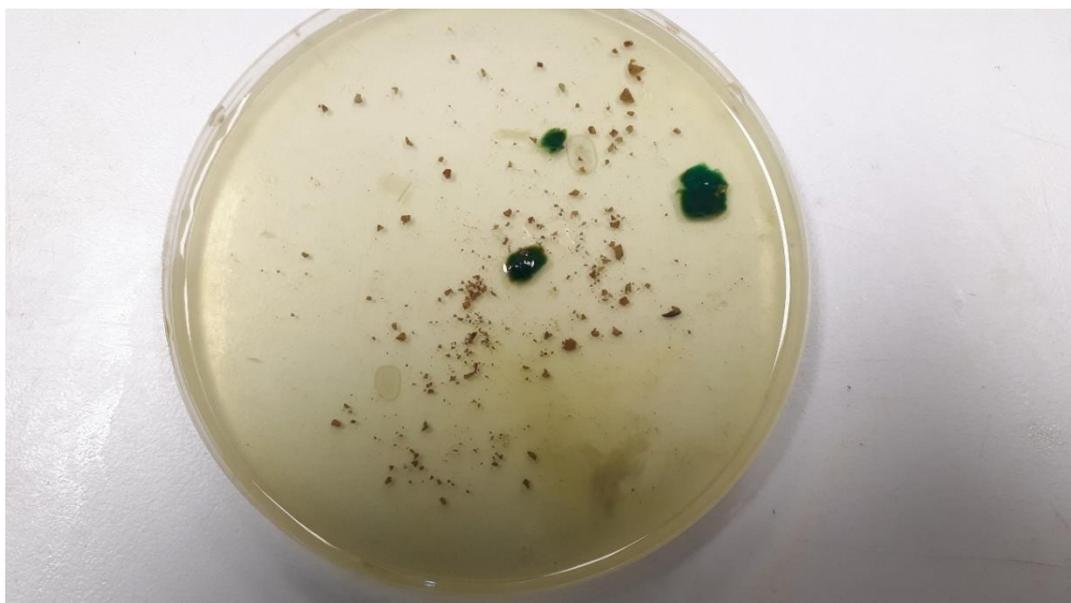


Figura 5.6: el contenido estomacal de uno de los cangrejos capturados empleando como cebo el muslo de pollo coloreado. El colorante permanece perfectamente retenido dentro de las fibras del pollo, sin teñir ninguno de los otros contenidos estomacales, en este caso restos de un pequeño crustáceo (elaboración propia).

Respecto de la pesca con nasas el principal problema consiste en su baja eficacia, pues necesario un gran número de trampas y horas para capturar ejemplares. Además es conocida la habilidad del cangrejo azul para escapar de trampas, algunos estudios indican porcentajes de captura tan bajos como que únicamente el 3% de los ejemplares que se acercaron a inspeccionar la trampa y entraron fueron finalmente capturados (Sturdivant & Clark, 2011). A pesar de todo siguen teniendo su utilidad, puesto que la pesca artesanal sólo capturará ejemplares presentes en la zona en ese momento, mientras que las nasas, al ser trampas de captura pasiva, tienen oportunidad de atrapar cangrejos que se desplacen por esa área durante todo el periodo en el que están fondeadas.

6. Conclusiones

- Se demostró que la dieta básica de *C. sapidus* en los ambientes invadidos del Golfo de Valencia es muy distinta de otros casos documentados, siendo en los estudiados en este documento la materia vegetal mucho más importante.
- Se determinaron diferencias notables de función del punto de muestreo y de la talla de los cangrejos. No fue posible determinar si existían diferencias en base al sexo debido al bajo número de hembras capturadas, lo cual puede solventarse muestreando en agua salada o durante meses más fríos.
- Se encontraron dos puntos de muestreo con suficiente cantidad de ejemplares y buen acceso, y se identificaron las dificultades presentes en otros para poder solventarlas en un futuro.
- Ambas técnicas de captura de ejemplares tienen sus pros y contras. Algunos de los contras pueden solventarse con los ajustes previamente descritos, pero el mejor resultado se obtiene combinando ambas.

7. Futuras líneas de actuación

En otros trabajos de contenido estomacal de portúnidos, en concreto sobre *P. pelagicus* (De Lestang, Platell, & Potter, 2000) se ha determinado que, por encima de sexo o talla, el factor determinante en la elección de la dieta es el estado de muda. Es, por tanto, importante saber si este factor afecta a la elección de la dieta de *C. sapidus*. Otra herramienta que también es muy interesante para cuan omnívora es la alimentación del cangrejo azul son los estudios sobre la biodiversidad de los contenidos estomacales, y su variación a lo largo del tiempo o en distintas localizaciones. Esto se ha determinado en ocasiones utilizando el índice de biodiversidad de Shannon-Wiener (Laughlin, 1982) pero su cálculo requiere de cierta información no disponible en el momento de redacción de este documento.

Sin embargo, el análisis de contenidos estomacales presenta ciertas limitaciones, pues la alimentación puede estar condicionada por múltiples factores como el descrito en el párrafo anterior, además de tratarse únicamente de un análisis sobre lo ingerido en las últimas horas (Magnone, Bessonart, Gadea, & Salhi, 2015). Como complemento a esta técnica se pueden emplear los análisis de isótopos estables, mediante los cuales es posible conocer la posición trófica de una especie basándose la abundancia relativa de estos isótopos, en concreto ^{15}N . El nitrógeno es uno de los componentes principales de las proteínas, por tanto, el análisis se ejecuta sobre tejido muscular, y se realiza tanto en el cangrejo azul como en el de sus posibles presas, para establecer un marco comparativo.



Figura 7.1: el tejido muscular de las quelas de uno de los ejemplares capturados (izquierda) y varias muestras etiquetadas y secas para su conservación (derecha) (elaboración propia).

El seguimiento de ejemplares mediante emisores ultrasónicos puede proporcionar información acerca de sus desplazamientos. Esta información es especialmente importante en entornos como el de la Albufera de Valencia, cuya comunicación con el mar está regulada mediante unas compuertas conocidas como golas. Al tratarse de una especie que necesita de aguas saladas para reproducirse la regulación de las compuertas puede tener mucha repercusión sobre su gestión, que en esa zona tiene el doble estatus de invasora y de recurso pesquero. Otra posibilidad de marcado consiste en sistemas de etiquetado, de un precio muy inferior al seguimiento con emisores ultrasónicos a costa de proporcionar menos información. Algunos estudios han explorado ya esta posibilidad, obteniendo información muy valiosa sobre el microhábitat usado por esta especie para mudar el caparazón, proceso conocido como ecdisis (Wolcott & Hines, 1990).

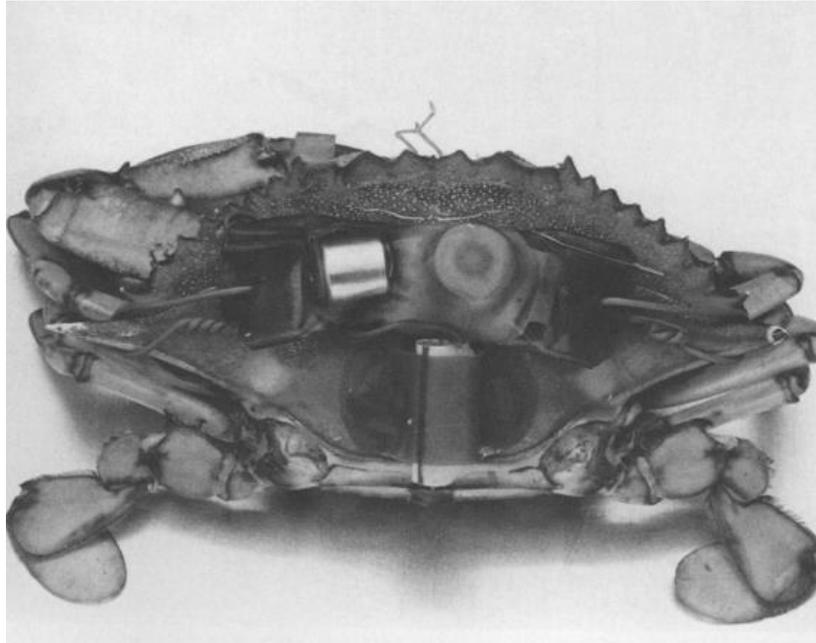


Figura 7.2: cangrejo equipado con un emisor ultrasónico para su seguimiento. Este modelo contiene un sistema auxiliar que se activa durante la ecdisis y proporciona un indicador fiable de dónde y cuándo ha tenido lugar (Wolcott & Hines, 1990).

Otro de los indicadores que puede proporcionar información sobre la intensidad de los impactos producidos por esta especie es su densidad poblacional. Típicamente dicha densidad se ha determinado mediante métodos de captura recaptura, pero en los últimos tiempos están ganando popularidad las técnicas basadas en vídeo. Se sitúa una cámara en una posición fija con un reclamo, y evaluando indicadores como el tiempo hasta la primera aparición, el número máximo de individuos presentes al mismo tiempo o el total de apariciones se puede estimar el número de individuos presentes en cierta área (Stobart *et al.*, 2015).

Por último, y como se ha descrito anteriormente, ambos sistemas de captura detallados en este estudio presentan una serie de dificultades para la captura de individuos de los que se pretende analizar el contenido estomacal. Una alternativa es la pesca eléctrica, cuya respuesta en esta especie aún no se ha estudiado aunque sí en otros crustáceos e incluso en bivalvos (Lart, 2015). El fundamento de la pesca eléctrica consiste en producir un campo eléctrico con la suficiente potencia para provocar en los organismos cercanos contracciones musculares involuntarias, lo cual permite luego capturarlos con facilidad. Este método permitiría obtener ejemplares intactos y con el contenido estomacal totalmente inalterado, lo cual facilitaría su posterior análisis. Otra alternativa es la utilización de grandes redes, método que tiene la ventaja de capturar también toda la fauna acompañante para luego facilitar la identificación de los contenidos estomacales.

Este trabajo, lejos de ser un punto final, supone un punto de partida en el que pueden basarse las múltiples actuaciones que quedan pendientes para determinar, y en la medida de lo posible prever y corregir, los impactos provocados por la especie invasora *C. sapidus* sobre el ecosistema del ambiente invadido.

8. Referencias

- Allman, A. L., Williams, E. P., & Place, A. R. (2017). Growth and enzyme production in blue crabs (*Callinectes sapidus*) fed cellulose and chitin supplemented diets. *Journal of Shellfish Research*, 36(1), 283-291.
- Aquamaps. (2016-2017). Available map(s) for *Callinectes sapidus*: . 2018, from <https://www.aquamaps.org/preMap2.php?cache=1&SpecID=W-Bch-107379>
- Arnold, W. S. (1984). The effects of prey size, predator size, and sediment composition on the rate of predation of the blue crab, *Callinectes Sapidus* Rathbun, on the hard clam, *Mercenaria Mercenaria* (Linné). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 80(3), 207-219.
- Cameron, J. N. (1978). NaCl balance in blue crabs, *Callinectes sapidus*, in fresh water. *Journal of Comparative Physiology B: Biochemical, Systemic, and Environmental Physiology*, 123(2), 127-135.
- Carr, S. D., Tankersley, R. A., Hench, J. L., Forward, R. B., & Luettich, R. A. (2004). Movement patterns and trajectories of ovigerous blue crabs *Callinectes sapidus* during the spawning migration. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 60(4), 567-579. doi: 10.1016/j.ecss.2004.02.012
- Carrozzo, L., Potenza, L., Carlino, P., Costantini, M. L., Rossi, L., & Mancinelli, G. (2014). Seasonal abundance and trophic position of the Atlantic blue crab *Callinectes sapidus* Rathbun 1896 in a Mediterranean coastal habitat. *Rendiconti Lincei*, 25(2), 201-208. doi: 10.1007/s12210-014-0297-x
- Castejón, D., & Guerao, G. (2013). A new record of the American blue crab, *Callinectes sapidus* Rathbun, 1896 (Decapoda: Brachyura: Portunidae), from the Mediterranean coast of the Iberian Peninsula.
- Costlow, J. D. (1967). The effect of salinity and temperature on survival and metamorphosis of megalops of the blue crab *Callinectes sapidus*. *Helgoländer wissenschaftliche Meeresuntersuchungen*, 15(1), 84.
- Chen, J. (2015). Decision rules of blue crab (*Callinectes sapidus*) movement in wind-driven systems.
- Davenport, J., Burnell, G. M., Cross, T., Emmerson, M., McAllen, R., Ramsay, R., & Rogan, E. (2009). *Challenges to marine ecosystems: proceedings of the 41st European Marine Biology Symposium* (Vol. 202): Springer Science & Business Media.
- De Lestang, S., Platell, M., & Potter, I. (2000). Dietary composition of the blue swimmer crab *Portunus pelagicus* L.: Does it vary with body size and shell state and between estuaries? *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 246(2), 241-257.
- Dulčić, J., Tutman, P., Matić-Skoko, S., & Glamuzina, B. (2011). Six years from first record to population establishment: the case of the blue crab, *Callinectes sapidus* Rathbun, 1896 (Brachyura, Portunidae) in the Neretva River delta (South-eastern Adriatic Sea, Croatia). *Crustaceana (Leiden)*, 84(10), 1211.
- elaboración propia, a.
- Epifanio, C., & Garvine, R. (2001). Larval transport on the Atlantic continental shelf of North America: a review. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 52(1), 51-77.
- Galil, B. (2009). Taking stock: inventory of alien species in the Mediterranean Sea. *Biological Invasions*, 11(2), 359-372.
- Gofas, S., Moreno, D., & Salas, C. Moluscos marinos de Andalucía.
- Gonzalez-Wanguemert, M., & Pujol, J. A. (2016). First record of the Atlantic blue crab *Callinectes sapidus* (Crustacea: Brachyura: Portunidae) in the Segura River mouth (Spain, southwestern Mediterranean Sea). *Turkish Journal of Zoology*, 40(4), 615-619.
- Guerra, Á. (1978). Sobre la alimentación y el comportamiento alimentario de *Octopus vulgaris*.

- Hines, A. H., Lipcius, R. N., & Haddon, A. M. (1987). Population dynamics and habitat partitioning by size, sex, and molt stage of blue crabs *Callinectes sapidus* in a sub-estuary of central Chesapeake Bay. *Marine Ecology Progress Series*, 36, 55-64. doi: 10.3354/meps036055
- IUCN. (2009). The IUCN Red List of Threatened Species. from <http://www.iucnredlist.org/details/58052/0>
- Josileen, J. (2011). Food and feeding of the blue swimmer crab, *Portunus pelagicus* (Linnaeus, 1758)(Decapoda, Brachyura) along the coast of Mandapam, Tamil Nadu, India. *Crustaceana*, 84(10), 1169-1180.
- Key Jr, M. M., Winston, J. E., Volpe, J. W., Jeffries, W. B., & Voris, H. K. (1999). Bryozoan fouling of the blue crab *Callinectes sapidus* at Beaufort, North Carolina. *Bulletin of Marine Science*, 64(3), 513-533.
- Lart, W. B. (2015). Marine Electrofishing Information sheet www.seafish.org.
- Laughlin, R. A. (1982). Feeding habits of the blue crab, *Callinectes sapidus* Rathbun, in the Apalachicola estuary, Florida. *Bulletin of Marine Science*, 32(4), 807-822.
- Lv, S., Zhang, Y., Liu, H.-X., Zhang, C.-W., Steinmann, P., Zhou, X.-N., & Utzinger, J. (2009). *Angiostrongylus cantonensis*: morphological and behavioral investigation within the freshwater snail *Pomacea canaliculata*. *Parasitology research*, 104(6), 1351-1359.
- Magnone, L., Bessonart, M., Gadea, J., & Salhi, M. (2015). Trophic relationships in an estuarine environment: A quantitative fatty acid analysis signature approach. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 166, 24-33.
- Mar Silva, V., Hernández Morales, R., & Medina Nava, M. (2014). Métodos clásicos para el análisis del contenido estomacal en peces. *Biológicas*(16), 13–16.
- McClintock, J. B., Klinger, T. S., Marion, K., & Hsueh, P. (1991). Digestive carbohydrases of the blue crab *Callinectes sapidus* (Rathbun): implications in utilization of plant-derived detritus as a trophic resource. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 148(2), 233-239.
- Millikin, M. R., & Williams, A. B. (1984). Synopsis of biological data on the blue crab, *Callinectes sapidus* Rathbun. *NOAA technical report NMFS*.
- Morgan, S. G. (1990). Impact of planktivorous fishes on dispersal, hatching, and morphology of estuarine crab larvae. *Ecology*, 71(5), 1639-1652.
- Natarajan, A., & Jhingran, A. (1961). Index of preponderance—a method of grading the food elements in the stomach analysis of fishes. *Indian Journal of Fisheries*, 8(1), 54-59.
- Nehring, S. (2011). Invasion history and success of the American blue crab *Callinectes sapidus* in European and adjacent waters *In the wrong place-alien marine crustaceans: distribution, biology and impacts* (pp. 607-624): Springer.
- Olmi III, E. J., & Bishop, J. M. (1983). Variations in total width-weight relationships of blue crabs, *Callinectes sapidus*, in relation to sex, maturity, molt stage, and carapace form. *Journal of Crustacean Biology*, 3(4), 575-581.
- Prager, M. H., McConaughy, J. R., Jones, C. M., & Geer, P. J. (1990). Fecundity of blue crab, *Callinectes sapidus*, in Chesapeake Bay: biological, statistical and management considerations. *Bulletin of Marine Science*, 46(1), 170-179.
- Provenzano Jr, A. J., McConaughy, J. R., Philips, K. B., Johnson, D. F., & Clark, J. (1983). Vertical distribution of first stage larvae of the blue crab, *Callinectes sapidus*, at the mouth of Chesapeake Bay. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 16(5), 489-499.
- Puig, M. (1999). *Els macroinvertebrats dels rius catalans. Guia il·lustrada: Catalunya*. Generalitat.
- Rield, R. (1986). Fauna y flora del Mar Mediterráneo. *Omega. Barcelona*, 858.
- Rosas, C., Cuzon, G., Pascual, C., Gaxiola, G., Chay, D., López, N., . . . Domingues, P. M. (2007). Energy balance of Octopus maya fed crab or an artificial diet. *Marine Biology*, 152(2), 371-381.

- Rosas, C., Lazaro-Chavez, E., & Bückle-Ramirez, F. (1994). Feeding habits and food niche segregation of *Callinectes sapidus*, *C. rathbunae*, and *C. similis* in a subtropical coastal lagoon of the Gulf of Mexico. *Journal of Crustacean Biology*, 14(2), 371-382.
- Sandoz, M., & Rogers, R. (1944). The effect of environmental factors on hatching, moulting, and survival of zoea larvae of the blue crab *Callinectes sapidus* Rathbun. *Ecology*, 25(2), 216-228.
- Stobart, B., Díaz, D., Álvarez, F., Alonso, C., Mallol, S., & Goñi, R. (2015). Performance of baited underwater video: does it underestimate abundance at high population densities? *PLoS One*, 10(5), e0127559.
- Streftaris, N., & Zenetos, A. (2006). Alien marine species in the Mediterranean-the 100 'Worst Invasives' and their impact. *Mediterranean Marine Science*, 7(1), 87-118.
- Sturdivant, S. K., & Clark, K. L. (2011). An evaluation of the effects of blue crab (*Callinectes sapidus*) behavior on the efficacy of crab pots as a tool for estimating population abundance. *Fishery Bulletin*, 109(1), 48-55.
- Tagatz, M. E. (1968). Biology of the blue crab, *Callinectes sapidus* rathbun,. In The St. Johns River, Florida. *Fish B-Noaa*, 67.
- Türkmen, A., Türkmen, M., Tepe, Y., Mazlum, Y., & Oymael, S. (2006). Metal concentrations in blue crab (*Callinectes sapidus*) and mullet (*Mugil cephalus*) in Iskenderun Bay, Northern East Mediterranean, Turkey. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 77(2), 186-193.
- Walker, A. N., Lee, R. F., & Frischer, M. E. (2009). Transmission of the parasitic dinoflagellate *Hematodinium* sp. infection in blue crabs *Callinectes sapidus* by cannibalism. *Diseases of aquatic organisms*, 85(3), 193-197.
- Wolcott, T. G., & Hines, A. H. (1990). Ultrasonic telemetry of small-scale movements and microhabitat selection by molting blue crabs (*Callinectes sapidus*). *Bulletin of Marine Science*, 46(1), 83-94.
- Zibrowius, H. (2002, 2002). *Assessing scale and impact of ship-transported alien fauna in the Mediterranean?*

9. Anexos

El detalle de todos los ejemplares capturados, así como el lugar y fecha de captura se encuentran en las Tabla 9.1 y Tabla 9.2 por orden cronológico.

Tabla 9.1: detalle de los ejemplares capturados en Gandía (zona 1), 40 ejemplares en total.

Peso húmedo (g)	Sexo (M o H)	Longitud caparazón (mm)	Anchura caparazón total (mm)	Anchura caparazón sin espinas (mm)
21/06/2018 (1 ejemplar)				
161	H	61	148	113
26/06/2018 (3 ejemplares)				
49	M	41	82	70
104	M	53	109	93
78	H	48	109	88
29/06/2018 (3 ejemplares)				
64	M	44	90	79
174	M	60	135	109
268	M	68	150	133
02/07/2018 (2 ejemplares)				
37	M	38	77	68
58	H	44	91	77
06/07/2018 (2 ejemplares)				
160	M	60	129	104
210	M	62	136	113
07/07/2018 (2 ejemplares)				
143	M	56	126	103
299	M	69	154	134
21/07/2018 (1 ejemplar)				
120	M	55	102	96
26/07/2018 (7 ejemplares)				
92	M	48	101	87
101	M	51	108	93
106	H	52	106	95
205	M	62	134	116
283	M	71	158	129
286	M	70	164	129
292	M	70	158	129
09/08/2018 (6 ejemplares)				
300	M	71	162	128
292	M	72	158	129
276	M	70	164	130
229	M	65	148	127
241	M	67	152	123
117	H (i)	53	121	99
13/08/2018 (10 ejemplares)				
349	M	74	166	132
273	M	69	158	125
309	M	71	158	127
315	M	73	164	128
392	M	75	170	135

0	H (i)	53	115	96
351	M	77	176	148
180	M	63	144	111
146	H (i)	58	132	107
64	M	43	88	77
30/08/2018 (3 ejemplares)				
361	M	73	164	133
325	M	74	164	133
435	M	80	188	152

Tabla 9.2: detalle de los ejemplares capturados en el Delta del Ebro (zona 2), 46 ejemplares en total.

Peso húmedo (g)	Sexo (M o H)	Longitud caparazón (mm)	Anchura caparazón total (mm)	Anchura caparazón sin espinas (mm)
03/08/2018 (27 ejemplares)				
418	M	78	184	146
270	M	69	162	127
250	M	67	154	120
224	M	65	154	118
182	H	62	158	114
146	M	56	127	103
186	H	64	146	116
191	M	62	146	112
240	M	66	156	119
285	M	71	160	126
179	H	62	150	115
358	M	77	172	135
0	M	65	152	118
300	M	71	168	127
230	M	66	144	116
226	M	64	158	118
40	M	38	82	68
247	M	67	164	125
201	M	65	137	112
241	M	67	156	118
108	M	53	113	95
134	M	57	132	99
301	M	71	166	128
0	M	53	122	94
212	M	63	148	115
224	H	65	172	124
340	M	74	170	123
17/08/2018 (19 ejemplares)				
275	M	70	170	128
231	M	66	154	120
329	M	73	166	130
259	M	68	156	122
295	M	70	170	129
314	M	73	162	131

112	H (i)	53	117	96
98	M	50	110	90
229	M	65	150	117
394	M	76	178	137
123	M	55	120	99
70	H (i)	45	98	80
132	H (i)	52	114	94
287	M	70	160	125
223	H	68	174	126
269	M	68	154	123
54	H (i)	42	92	75
54	M	43	92	76
326	M	73	176	132