

**POSADA AL DIA DELS ESTUDIS GENÈTICS DE LA GAMBA  
VERMELLA, *Aristaeomorpha foliacea*.**

---

Estudiant: Carla Rios Astorch

Grau en Biologia

Correu electrònic: rioscarla02@gmail.com

Tutor: Sandra Heras Mena

Empresa / institució: Facultat de Ciències, Universitat de Girona

Nom del tutor: Sandra Heras Mena

Empresa / institució: Facultat de Ciències, Universitat de Girona

Correu electrònic: sandra.heras@udg.edu

## **ÍNDEX**

<b>Resum .....</b>	<b>3</b>
<b>Resumen .....</b>	<b>4</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>5</b>
<b>1. Introducció .....</b>	<b>6</b>
<b>1.1 Descripció de l'espècie i filogènia .....</b>	<b>6</b>
<b>1.2 Distribució geogràfica i hàbitat.....</b>	<b>7</b>
<b>1.3 Pesqueries.....</b>	<b>8</b>
<b>1.4 Genètica.....</b>	<b>8</b>
<b>2. Objectives.....</b>	<b>9</b>
<b>3. Metodologia .....</b>	<b>10</b>
<b>4. Ètica i sostenibilitat.....</b>	<b>13</b>
<b>5. Resultats i discussió .....</b>	<b>14</b>
<b>5.1 Classificacions filogenètiques .....</b>	<b>14</b>
<b>5.2 Anàlisis poblacionals .....</b>	<b>17</b>
<b>5.3 Desenvolupament d'eines genètiques .....</b>	<b>24</b>
<b>6. Conclusions.....</b>	<b>26</b>
<b>7. Agraïments .....</b>	<b>26</b>
<b>8. Bibliografia .....</b>	<b>27</b>

## RESUM

*Aristaeomorpha foliacea* (Risso, 1827), també coneguda com a gamba vermella, és un crustaci que pertany a la família Aristeidae. Es tracta d'una espècie de distribució geogràfica global que habita en el fons marí en un rang de profunditat entre els 123 i els 1.100m i que, a nivell comercial, constitueix la base de la pesca d'arrossegament en el sector pesquer de molts països (en especial, a la costa del Mar Mediterrani).

Per assegurar la conservació d'una espècie que habita a grans profunditats i la continuïtat d'aquesta com a recurs, la genètica en facilita l'estudi i permet adreçar-lo de la manera més diligent: a través de les tècniques moleculars es poden delimitar amb exactitud els estocs genètics, identificar espècies i aportar profunditat en el coneixement sobre el comportament de l'espècie, la seva història natural i els factors demogràfics actuals i passats. Essent així, en aquest treball s'avalua l'estat actual del coneixement genètic d'*A. foliacea* i s'especifiquen les àrees genètiques en què s'han de centrar més esforços d'investigació per fer front a les llacunes existents.

La cerca del material bibliogràfic es va fer a través de les bases de dades científiques SCOPUS i WOS. Com a paraula clau es va utilitzar el nom propi de l'espècie i després es van filtrar els articles seleccionant les categories de contingut genètic, molecular i bioquímic. Una vegada obtinguts els articles, el primer pas va consistir en analitzar-los i valorar quins eren pertinents per incloure en aquest estudi i així, es van obtenir 7 articles que es van categoritzar en els blocs temàtics de "Classificacions filogenètiques", "Anàlisis poblacionals" i "Desenvolupament d'eines genètiques"

Els resultats d'aquest treball indiquen l'escàs esforç que s'ha invertit en la investigació genètica d'aquest decàpode marí i assenyalen les àrees que queden pendents, com ara: proporcionar una filogènia Penaeoidea i Aristeidae consensuada; descobrir possibles estocs genètics nous al llarg de tot el rang de distribució d'*A. foliacea*; establir la microestructura global dins les poblacions genètiques de l'espècie i testar les eines genètiques existents.

## RESUMEN

*Aristaeomorpha foliacea* (Risso, 1827), también conocida como gamba roja, es un crustáceo que pertenece a la familia Aristeidae. Se trata de una especie de distribución geográfica global que habita en el fondo marino en un rango de profundidad entre los 123 y los 1.100m y que, a nivel comercial, constituye la base de la pesca de arrastre en el sector pesquero de muchos países (en especial, en la costa del Mar Mediterráneo).

Con el fin de asegurar la conservación de una especie que habita a grandes profundidades y la continuidad de ésta como recurso, la genética facilita el estudio y permite dirigirlo de la manera más diligente: a través de las técnicas moleculares se consiguen delimitar con exactitud los stocks genéticos, identificar especies y aportar profundidad en el conocimiento sobre el comportamiento de la especie, su historia natural y los factores demográficos actuales y pasados. Siendo así, en este trabajo se evalúa el estado actual del conocimiento genético de *A. foliacea* y se especifican las áreas genéticas en las que deben centrarse más esfuerzos de investigación para hacer frente a las lagunas existentes.

La búsqueda del material bibliográfico se hizo a través de las bases de datos científicos SCOPUS y WOS. Como palabra clave se usó el nombre propio de la especie y después se filtraron los artículos, seleccionando las categorías de contenido genético, molecular y bioquímico. Una vez obtenidos los artículos, se analizaron y se valoró cuáles eran pertinentes para incluir en este estudio. Así, se obtuvieron 7 artículos que se categorizaron en los bloques temáticos de "Clasificaciones filogenéticas", "Análisis poblacionales" y "Desarrollo de herramientas genéticas".

Los resultados de este trabajo indican el escaso esfuerzo invertido en la investigación genética de este decápodo marino y señalan las áreas que quedan pendientes, tales como: proporcionar una filogenia Penaeoidea y Aristeidae consensuada; descubrir posibles stocks genéticos nuevos a lo largo de toda la distribución de *A. foliacea*; establecer la microestructura global dentro de las poblaciones genéticas de la especie y testar las herramientas genéticas existentes.

**ABSTRACT**

*Aristaeomorpha foliacea* (Risso, 1827), also known as red shrimp, is a crustacean belonging to the Aristeidae family. It is a deep-water species with a global geographical distribution that inhabits in the seabed at a depth between 80 and 3.300m. Commercially, *A. foliacea* constitutes the basis of the trawling fisheries sector in many countries, especially on the Mediterranean coast.

In order to ensure the conservation of a species that inhabits at great depths and the continuity of it as a resource, genetics facilitates the study and allows it to be directed in the most diligent way: through molecular techniques, the genetic stocks can be precisely delimited, species can be identified and knowledge about the behaviour of the species, its natural history and current and past demographic factors can be provided in-depth. Thus, this study assesses the current state of genetic knowledge of *A. foliacea* and specifies the genetic areas on which further research efforts are needed in order to address the existing gaps.

The search of the bibliographic material was done through the scientific databases SCOPUS and WOS. First, the proper name of the species was used as a keyword and then, the articles were filtered selecting the categories with genetic, molecular and biochemical content. Once the articles were obtained, we analysed and assessed which ones were relevant for inclusion in this study. Thus, 7 articles were obtained and categorized in the thematic blocks of "Phylogenetic classifications", "Population analysis" and "Development of genetic tools".

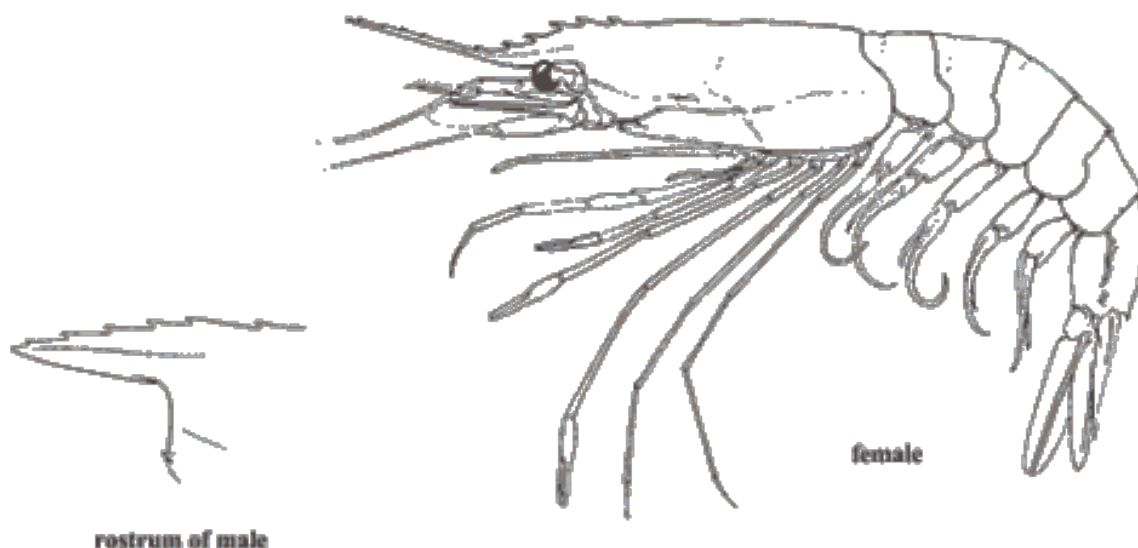
The results of this work indicate the scarce effort that has been invested in the genetic research of this marine decapod and point out the areas that are still unknown, such as: providing a consensuated Penaeoidea and Aristeidae phylogeny; providing a consensuated Penaeoidea and Aristeidae phylogeny; discovering possible new genetic stocks throughout the entire distributional range of *A. foliacea*; establishing the global microstructure within genetic populations of the species and testing the existing genetic tools.

## 1. INTRODUCCIÓ

### 1.1 Descripció de l'espècie i filogènia

L'espècie de gamba *Aristaeomorpha foliacea* (Risso, 1827), també coneguda com a “giant red shrimp” o gamba espanyola és un crustaci decàpode descrit per primera vegada l'any 1827 pel naturalista francès Giuseppe Antonio Risso (1777-1845) al Mar de Ligúria (Mar Mediterrani) (Fernández, 2012).

Es tracta d'un crustaci decàpode de cos allargat amb una longitud entre 10-22 cm, de color vermell escarlata cobert per un exosquelet lleuger, flexible i espinós (a nivell antenal, hepàtic, branquiòsteg i tèlson). Presenta flagels antenals curts, 5 parell de pleopodis llargs per la natació i a l'últim segment abdominal una cua que acaba en forma de ventall. Exhibeix dimorfisme sexual secundari a nivell de la mida del cos i la longitud del rostre; les femelles adultes com a estructura sexual tenen un telicum obert, són més grans i tenen un rostre que s'allarga per davant les antenes mentre que el dels mascles no supera el peduncle antenal. El seu rostre té de 6 a 12 dents superiors i dos d'aquestes estan situades damunt la closca (Figura 1) (Carpenter & Niem, 1998; Fisher et al., 1987; Cau et al., 2002 ).



**Figura 1.** *Aristaeomorpha foliacea*.

Font: Fischer et al., 1987 (consultat Maig 2018)

La seva classificació taxonòmica actual segons la FAO (Holthuis, 1980) és la següent:

**Fílum: Arthropoda**

**Subfílum: Crustacea**

**Classe: Malacostraca**

**Subclasse: Eumalacostraca**

**Superordre: Eucarida**

**Ordre: Decapoda**

**Subordre: Dendrobranchiata**

**Superfamília: Penaeoidea**

**Família: Aristeidae**

**Gènere: Aristaeomorpha**

**Espècie: *A. foliacea***

## 1.2 Distribució geogràfica i hàbitat

*A. foliacea* és una espècie de distribució geogràfica global; present a tot el Mar Mediterrani amb un gradient longitudinal d'abundància d'oest a est, a l'est i oest de l'Oceà Atlàntic, a l'Oceà Índic i l'oest de l'Oceà Pacífic des de Japó fins a Austràlia, Nova Zelanda i les Illes Fiji (Fernández et al., 2011; Politou et al., 2004). Habita en el fons marí en un rang de profunditat entre els 123 i els 1.100m (Fernández, 2012) i la literatura publicada fins a l'actualitat, sobretot en referència al Mediterrani central on *A. foliacea* és relativament abundant i explotada per la pesqueria comercial, situa els màxims d'abundància aquest crustaci entre els 400 i 800 metres de profunditat (Politou et al., 2004). És un crustaci bentopelàgic que habita en fons fangosos i s'agrega en trinxeres submarines i canons al llarg del vessant continental (Ragonese et al., 1994) de manera que la seva distribució s'ha classificat com a irregular (Fernández, 2012).



**Figura 2.** Distribució geogràfica d'*Aristaeomorpha foliacea* (en vermell): Mar Mediterrani, Oceà Atlàntic i l'oest de l'Oceà Pacífic. Font: Fernández, 2012 (recuperat Juny 2018).

### 1.3 Pesqueries

Juntament amb *Aristeus antennatus* (Risso, 1816), *A. foliacea* (Risso, 1827) va ser descrita en el Mar de Ligúria a principis del segle XIX i són les principals espècies d'interès de la pesca d'arrossegament (Bensch et al., 2008). En actualitzacions sistemàtiques recents s'ha vist que són les dues úniques espècies representatives de la família Aristeidae en el Mar Mediterrani, on ocupen un lloc important en les seves pesqueries des de 1959 (Cau et al., 2002; Fernández et al., 2011). A nivell comercial és especialment important en el Canal de Sicília (Mar Mediterrani) i s'estén a l'Oceà Índic en el Canal de Moçambic i el Nord-oest d'Austràlia (Fernández, 2012).

### 1.4 Genètica

Per assegurar la conservació d'una espècie i la continuïtat d'aquesta com a recurs, és imprescindible la comprensió de la seva biologia, ecologia i història evolutiva així com la implementació d'estratègies per la seva gestió (Bensch et al., 2008). *A. foliacea* és un recurs gastronòmic que constitueix la base de la pesca d'arrossegament i, per tant, la seva conservació és important pel sector pesquer de molts països (Fernández, 2012). En aquests casos en què l'espècie habita a grans profunditats i per tant, és de difícil accés, la genètica facilita l'estudi de l'ambient marí i permet adreçar-lo des d'un angle totalment diferent (Bensch et al., 2008).



A través de les tècniques moleculars es poden delimitar amb exactitud les poblacions o estocs genètics, identificar espècies i aportar profunditat en el coneixement sobre el comportament de l'espècie, la seva història natural i els factors demogràfics actuals i passats que, en última instància, són molt rellevants pels esforços de conservació (Avisé, 1998; Roldán et al., 2013).

## 2. OBJECTIVES

As stated before, when studying a deep-water species, genetic studies are key to ensure a successful management strategy: they provide demographic, historical and animal behaviour information that is ultimately necessary to manage the fisheries and ensure a good preservation of the species.

Hence, the main goals of the present study are:

1. To achieve a global vision of the current genetic knowledge about *Aristaeomorpha foliacea*
2. To specify the genetic areas in which more scientific effort and research should be focused in order to address potential gaps

### 3. METODOLOGIA

La cerca del material bibliogràfic es va realitzar durant el mes de maig de 2018 a través de les dues bases de dades científiques de la plataforma FECYT (*Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología*): WOS i SCOPUS.

D'entrada, per aconseguir filtrar els articles estrictament genètics, es va fer una cerca específica utilitzant els termes "*Aristaeomorpha foliacea*" AND "genetics". Tanmateix, només hi va haver 2 articles que van respondre a aquest filtre: "Analysis of genetic variability in *Aristaeomorpha foliacea* (Crustacea, Aristeidae) using DNA-ISSR markers", (Fernández et al., 2011) i "Deep genetic divergence in giant red Shrimp *Aristaeomorpha foliacea*" (Fernández et al., 2013a), ambdós dins la base de dades SCOPUS. Per aquesta raó, a fi de recuperar més articles relacionats amb la genètica d'*A. foliacea*, es va fer una cerca menys restrictiva utilitzant com a únic paràmetre el nom complet de l'espècie: "*Aristaeomorpha foliacea*" i així, es va aconseguir una visió global de tota la literatura científica referent a aquesta espècie. Per aquesta cerca, la base SCOPUS constava de 87 articles i WOS de 119. A partir d'aquí, en cadascuna de les bases es van aplicar diferents filtres per acotar els resultats: dins de SCOPUS, es va seleccionar la categoria d'articles referents a "Bioquímica, Genètica i Biologia molecular" on la xifra es va reduir a 9; per altra banda, pels articles de WOS es va fer una classificació en base a les àrees de recerca a les que corresponien utilitzant el comandament "Analyze results" i, d'entre totes les categories, es van seleccionar "Genètica hereditaria" i "Bioquímica molecular" amb 9 i 15 articles, respectivament.

Així doncs, el proper pas va consistir en analitzar la literatura dins les categories de "Bioquímica, Genètica i Biologia molecular"(SCOPUS), "Genètica hereditaria" i "Bioquímica molecular" (WOS) i valorar quins eren els articles pertinents per incloure en aquest estudi. En primer lloc, es van agrupar les publicacions que tenien en comú ambdues bases de dades i després, es va fer una anàlisi del total d'articles. A continuació s'adjunta una taula amb tots els articles que es van trobar i la seva citació (autor i any), categoritzats segons la base de dades científica on estaven disponibles (Taula 1):

**Taula 1.** Total d'articles relacionats amb la genètica i la biologia molecular d'*Aristaeomorpha foliacea* de les bases de dades SCOPUS i WOS, categoritzats i amb la referència corresponent. Marcats en negreta els articles d'*A. foliacea* que són estrictament genètics.

	Article	Referència
Publicacions comunes <b>SCOPUS</b>  i <b>WOS</b>	Ultrastructure of the spermatozoa of <i>Aristaeomorpha edwardsiniana</i> and <i>Aristeus varidens</i> (Crustacea, Dendobranchiata, Aristeidae)	Medina et al., 2006
	<b>Analysis of genetic variability in <i>Aristaeomorpha foliacea</i> (Crustacea, Aristeidae) using DNA-ISSR (Inter Simple Sequence Repeats) markers</b>	Fernández et al., 2011
	<b>First isolation and characterization of genomic SSR markers for the giant shrimp <i>Aristaeomorpha foliacea</i> (Risso,1827)</b>	Cannas et al., 2012
	<b>Multilocus comparative phylogeography of two aristeid shrimps of high commercial interest (<i>Aristeus antennatus</i> and <i>Aristaeomorpha foliacea</i>) reveals different responses to past environmental changes</b>	Fernández et al., 2013b
	Comparative-study of the lipid composition of flesh and carapace in <i>Aristaeomorpha foliacea</i> and <i>Heterocarpus dorsalis</i>	Burgos & Fernández, 1981
<b>SCOPUS</b>	Carotenoid pigments in the flesh and carapace of <i>A. foliacea</i> and <i>H.dorsalis</i> (Crustacea : Decapoda)	Fernández & Burgos, 1981
	Comparative fecundity and oocyte size of <i>A. foliacea</i> and <i>A. antennatus</i> in the Greek Ionian sea (E.Mediterranean) (Decapoda: Aristeidae)	Kapiris & Thessalou, 2006
	A Histological study of ovarian development in the giant red shrimp <i>A. foliacea</i> (Crustacea: Decapoda: Aristeidae) from de Southern Tyrrhenian Sea (Western Mediterranean)	Perdichizzi et al., 2012
	The seascape of demersal fish nursery areas in the north Mediterranean sea, a first step towards the implementation of spatial planning for trawl fisheries	Colloca et al., 2015
<b>WOS</b> "Genetica Hereditaria"	<b>Phylogeny of penaeoid shrimps (Decapoda: Penaeoidea) inferred from nuclear protein-coding genes</b>	Ma et al., 2009

	Identification of species in commercial frozen shrimp meat in Taiwan	Men et al., 2012
	Further investigations of populations of the deep water blue and red shrimps <i>A. antennatus</i> as inferred from amplified fragment length polymorphism (AFLP) and mtDNA analyses	Brutto et al., 2012
	<b>Deep genetic divergence in giant red shrimp <i>Aristaeomorpha foliacea</i> (Risso,1827) across a wide distributional range</b>	Fernández et al., 2013a
	Contributions of allochthonous inputs of food to the diets of benthopelagic fish over the northwest Mediterranean slope (to 2300 m)	Cartes et al., 2016
<b>WOS</b> <b>“Bioquímica Molecular”</b>	Comparison of fatty acid profiles of male and female giant red shrimps ( <i>Aristaeomorpha foliacea</i> Risso, 1827) obtained from Mediterranean Sea	Olgunoglu & Gocer, 2015
	Biological condition and trophic ecology of the deep water shrimp <i>Aristaeomorpha foliacea</i> in the Levantine Sea (SW Turkey)	Bayhan & Fanelli, 2014
	The bathyal benthopelagic fauna in the north-western Ionian Sea: structure, patterns and interactions	Capezzuto et al., 2010
	The demersal faunal assemblage of the north-western Ionian Sea (central Mediterranean): current knowledge and perspectives	Maiorano et al., 2010
	Evidence of lipofuscin accumulation in the deep-water red shrimp <i>Aristaeomorpha foliacea</i> (Risso, 1827)	Mezzasalma et al., 2008

Atès que els articles d'*A. foliacea* obtinguts amb contingut científic estrictament genètic era molt escàs (senyalats en negreta a la Taula 1), es va emprar un criteri de selecció dels articles disponibles per a la seva posterior revisió més flexible: es tindrien en compte tots els articles que integressin eines genètiques, classificacions filogenètiques i també aquells articles que podien propiciar la realització de nous estudis genètics ja sigués per la necessitat de reafirmar un resultat o perquè plantejaven preguntes que podien resoldre's per mitjà d'estudis genètics.

Així, després del procés de selecció, el nombre d'articles per revisar va quedar en 7 (Taula 2).

**Taula 2.** Articles seleccionats per analitzar i classificar, també amb la referència corresponent.

Article	Referència (autors, any)
Ultrastructure of the spermatozoa of <i>Aristaeomorpha edwardsiniana</i> and <i>Aristeus varidens</i> (Crustacea, Dendobranchiata, Aristeidae)	Medina et al., 2006
Phylogeny of penaeoid shrimps (Decapoda: Penaeoidea) inferred from nuclear protein-coding genes	Ma et al., 2009
Analysis of genetic variability in <i>Aristaeomorpha foliacea</i> (Crustacea, Aristeidae) using DNA-ISSR (Inter Simple Sequence Repeats) markers	Fernández et al., 2011
Identification of species in commercial frozen shrimp meat in Taiwan	Huang et al., 2012
First isolation and characterization of genomic SSR markers for the giant shrimp <i>Aristaeomorpha foliacea</i> (Risso, 1827)	Cannas et al., 2012
Deep genetic divergence in giant red shrimp <i>Aristaeomorpha foliacea</i> (Risso, 1827) across wide distributional range	Fernández et al., 2013a
Multilocus comparative phylogeography of two aristeid shrimps of High Commercial Interest ( <i>Aristeus antennatus</i> and <i>Aristaeomorpha foliacea</i> ) reveals different responses to past environmental Changes	Fernández et al., 2013b

#### 4. ÈTICA I SOSTENIBILITAT

Al tractar-se d'un treball bibliogràfic, no s'han hagut d'utilitzar organismes vius als que poder perjudicar o malmetre. Els únics recursos que s'han utilitzat han estat de tipus informàtic i en paper. A més, els articles s'han imprès de la manera més sostenible possible i mirant d'optimitzar les despeses: només s'han imprès els articles que s'havien d'analitzar (7) i s'ha fet en blanc i negre, a doble cara i incloent dues pàgines per cara (en format horitzontal).

## 5. RESULTATS I DISCUSSIÓ

Una vegada escollits els articles a analitzar en aquest treball, es van agrupar segons la seva temàtica en: “Classificacions filogenètiques”, “Anàlisis poblacionals” i “Desenvolupament d’eines genètiques” amb 2, 3 i 2 articles, respectivament. Per cada conjunt temàtic, s’esmenten les aportacions més rellevants de cada article, fent èmfasi en aquells referents a la genètica d’ *A. foliacea*.

### 5.1 Classificacions filogenètiques

La categoria de “Classificacions Filogenètiques” engloba dos articles: en primer lloc, un estudi de l’estructura espermàtica que intenta resoldre la classificació d’Aristeidae dins la superfamília Penaeoidea (Medina et al., 2006) i, en segon lloc, un article que, per primera vegada i a través d’eines genètiques (gens nuclears codificants per proteïnes), proposa una classificació global de la superfamília Penaeoidea (Ma et al., 2009). Tenint en compte que cap dels dos articles adreça estrictament la genètica d’ *A. foliacea*, únicament es comenten els resultats més rellevants entorn a l’espècie i com aquesta se situa filogenèticament dins d’Aristeidae.

La superfamília Penaeoidea constitueix un grup de decàpodes marins amb més de 400 espècies distribuïdes globalment i que habiten tant en aigües poc profundes com en zones abissals per sota de 5.000 m, ocupant així, diferents nivells tròfics de la cadena alimentària en les diverses profunditats (Ma et al., 2009). Aquest grup inclou la majoria de gambes d’alt valor econòmic i gran importància comercial (incloent *A. foliacea*) subdividides en les famílies Aristeidae, Solenoceridae, Penaeidae i Sicyoniidae i Benthescymidae (Ma et al., 2009). Ara bé, actualment, encara existeixen múltiples dubtes referents a la taxonomia d’aquesta superfamília i no hi ha establerta una filogènia consensuada (Ma et al., 2009).

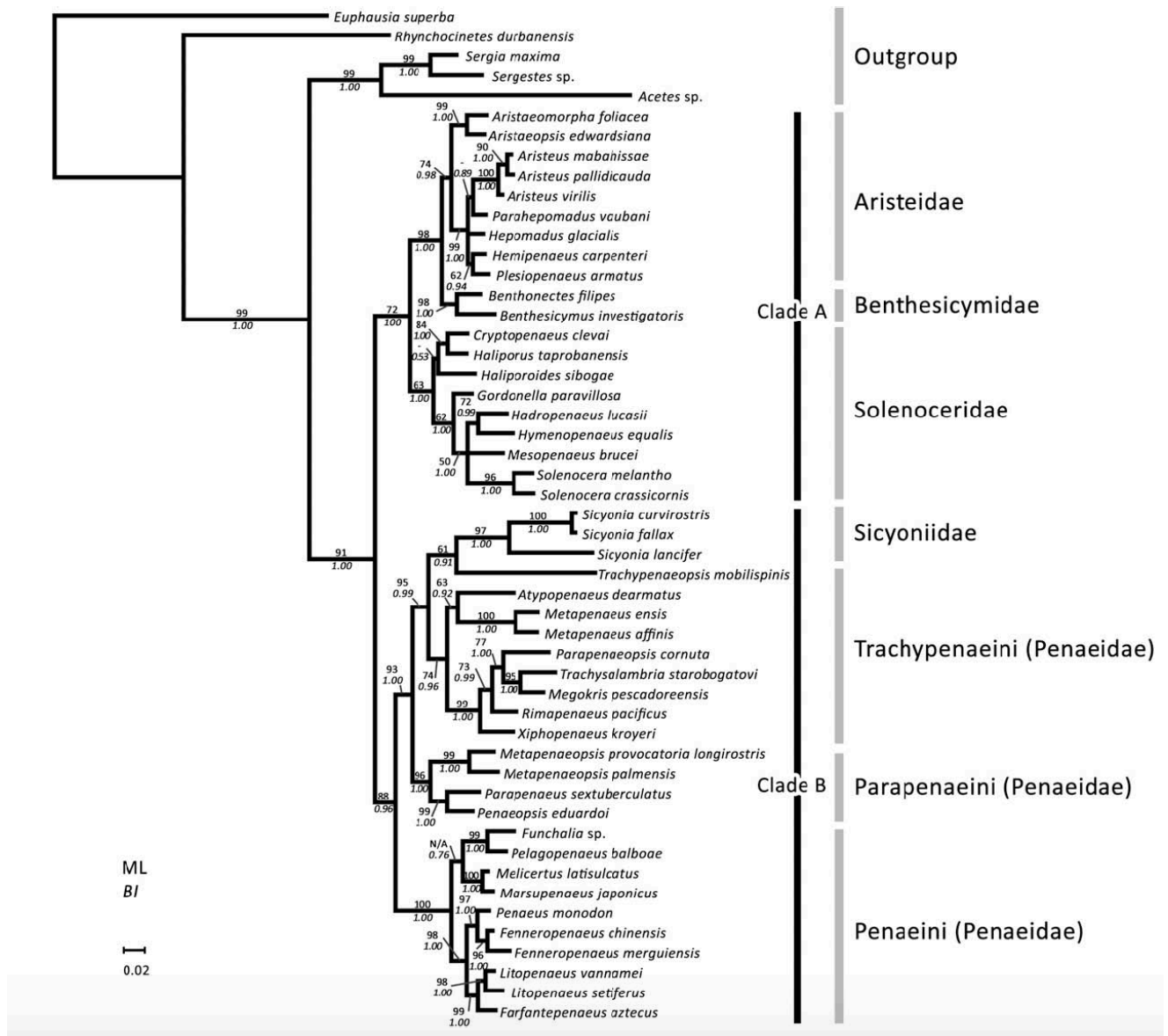
En aquest context, Medina et al. (2006) planteja la separació filogenètica de la família Aristeidae i la superfamília Penaeoidea en base a un estudi comparatiu de la ultraestructura espermàtica entre aquests dos grups. En estudis anteriors, s’havien catalogat els espermatozoides d’ *A. antennatus* i *A. foliacea* com a excepcions dins dels dendrobranquiats

per no presentar punxó, i a més, s'havien plantejat preguntes referents a la filogènia dins la mateixa família Aristeidae per diferències en l'organització espermàtica entre les dues espècies (Medina et al., 2006). A partir d'aquí, es va proposar l'existència de dues tendències evolutives divergents en quant a la configuració espermàtica que separava Aristeidae de la resta de Penaeoidea (Penaeidae, Solenoceridae i Sicyoniidae). A fi de testar aquesta hipòtesi, l'any 2006, examinaren l'estructura espermàtica de dues espècies d'aristeïds: *Aristaeopsis edwardsiniana* i *Aristeus viridens*. En l'estudi, es compararen trets morfològics com ara la localització nuclear, la distribució citoplasmàtica, la presència/absència de vesícula acrosomal i de punxó, etc. En acabat, es constatà que el cas d'*A. antennatus* i *A. foliacea* no eren excepcions sinó que les diferències estructurals dins del grup Aristeidae es mantienien: per una banda, *A. edwardsiniana* presenta un esperma sense acrosoma, format per una regió nuclear central sense membrana i envoltada per un citoplasma perifèric prim molt similar al d'*A. foliacea*; per altra banda, *A. viridens* mostra espermatozoides amb acromosoma esfèric, sense punxó i parcialment incrustat en el cos espermàtic igual que *A. antennatus* (Medina et al., 2006). Així, l'article confirmà l'existència de dos llinatges independents en l'evolució espermàtica dins d'Aristeidae (un format per les espècies *A. antennatus* i *A. viridens* i l'altre per *A. foliacea* i *A. edwardsiniana*) que, al seu torn, són divergents del presumpte patró espermàtic de la superfamília Penaeoidea (Medina et al., 2006). Es remarcà però, la necessitat d'ampliar els estudis a altres espècies dins d'Aristeidae per adreçar amb més seguretat les relacions evolutives dins d'aquest grup (Medina et al., 2006).

Tres anys més tard, va sortir publicada una anàlisi exhaustiva de la filogènia molecular de la superfamília Penaeoidea i per primera vegada, s'aconseguí reconstruir les relacions evolutives i estimar la divergència (en milions d'anys) de 37 gèneres penaeoids (entre ells *A. foliacea*) a partir de la seqüència de dos gens nuclears: fosfopiruvat carboxilasa i la subunitat- $\alpha$  de l'ATPasa de sodi-potassi (PEPCK i NaK respectivament) (Ma et al., 2009).

L'arbre filogenètic final, també agrupava *A. foliacea* i *A. edwardsiniana* suggerint que el llinatge independent a nivell d'evolució espermàtica proposat en Medina et al., 2006 podria ser-ho també a nivell molecular (Figura 3). No obstant, en Ma et al. (2009), no es va detectar

una segregació filogenètica de la família Aristeidae respecte la superfamília Penaeoidea (Medina et al., 2006, Ma et al., 2009).



**Figura 3.** Arbre d'inferència Bayesià obtingut a partir d'anàlisis combinats de PECK i NaK. Els nombres per sobre de les branques indiquen els valors de bootstrap de màxima versemblança mentre que els valors per sota les branques són les probabilitats de BI. Els valors per sota de 50 no es mostren.

Font: Ma et al., 2009 (consultat Juliol 2018)

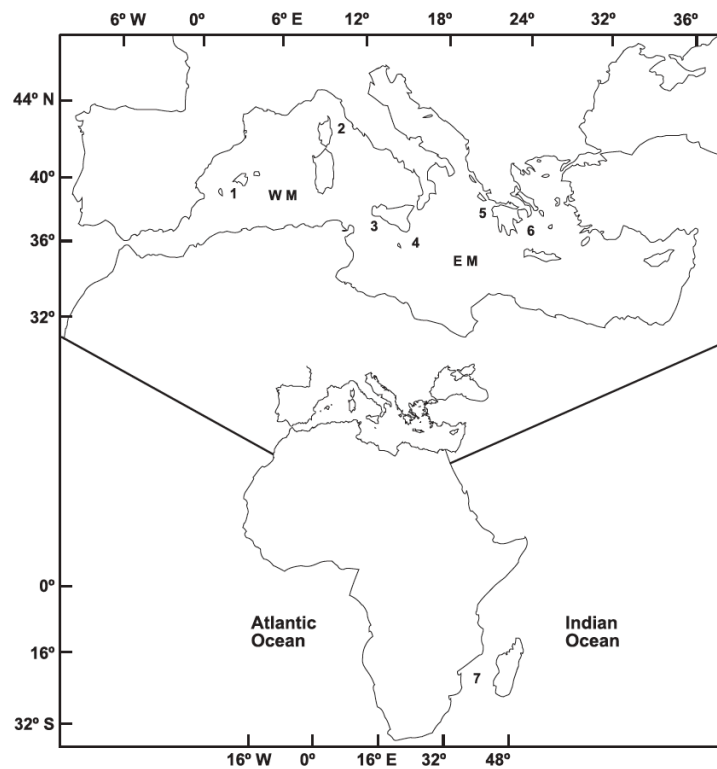


En vista d'aquests estudis revisats, en aquest àmbit, es necessitaria més esforç d'investigació enfocat a establir una filogènia consensuada de la superfamília Penaeoidea i determinar si *A. foliacea* i *A. edwardsiniana* constitueixen un llinatge independent dins d'Aristeidae. Per fer-ho, se suggereix la incorporació de més marcadors moleculars i, en el primer cas, també de més espècies tant de la família Aristeidae com de la superfamília Penaeoidea, de manera que la robustesa dels resultats sigui més gran. En cas que es confirmés el llinatge format per *A. foliacea* i *A. edwardsiniana*, seria interessant considerar la possibilitat de fer una anàlisi filogeogràfica comparativa entre les dues espècies ja que podria aportar més informació sobre els seus patrons evolutius i les contribucions que van tenir dins els mateixos.

## 5.2 Anàlisis poblacionals

Aquesta unitat temàtica inclou 3 estudis de la tesi doctoral de Fernández (2012): Fernández et al., 2011; Fernández et al., 2013a i Fernández et al., 2013b; que, en conjunt, constitueixen la primera literatura científica que adreça la genètica de poblacions d'*A. foliacea*. Els dos primers estudis examinen la variabilitat genètica de l'espècie a nivell global a partir de diferents marcadors genètics; el tercer, aprofita la relació de simpatria entre *A. foliacea* i *A. antennatus* per fer una anàlisi filogeogràfica entre les dues espècies i, així, corroborar els resultats dels anteriors estudis i ampliar la informació filogenètica dins la família Aristeidae.

Així doncs, la genètica de poblacions d'*A. foliacea* va ser adreçada per primera vegada en l'estudi de Fernández et al. (2011), una anàlisi de la divergència i diferenciació genètica entre dues localitats on l'espècie està distribuïda. Es va treballar amb un total de 7 mostres (6 del Mediterrani i una de l'oest de l'Oceà Índic, en el Canal de Moçambic) (Figura 4) i 5 ISSR com a marcadors moleculars.



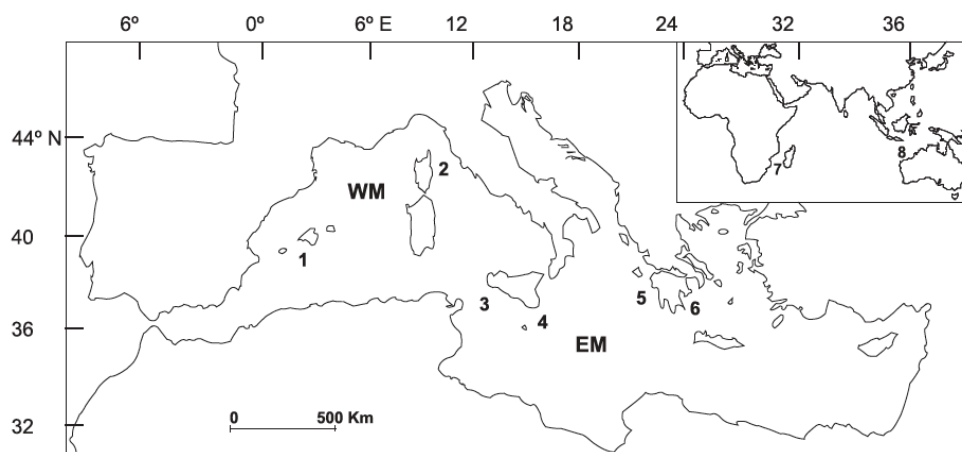
**Figura 4.** Localitzacions de mostreig d'*Aristaeomorpha foliacea* a l'oest del Mediterrani (WM): 1:Canal d'Eivissa, 2. Mar Tirrè, 3: Mazara del Vallo; a l'est del Mediterrani (EM): 4: Portopalo, 5:Mar Jònica, 6: Mar Egeu; en l'Oceà Índic: 7: Canal de Moçambic

Font: Fernández et al., 2011. (consultat Juny 2018)

L'estimació de la diversitat genètica després de la prova t-test i la correcció Bonferroni no diferia significativament entre les poblacions amb una mitjana d'heterozigositat de  $H = 0,105$  ( $\pm 0,015$ ) i, el coeficient de coancestralitat ( $\theta = 0.013 \pm 0.002$ ) juntament amb el flux genètic ( $N_m = 18.407$ ) i el test de Mantel ( $Z = 2269.04, P = 0.269$ ) suggerien alts nivells de connectivitat genètica i l'absència d'aïllament per distància. En la mateixa línia, l'anàlisi de variància molecular (AMOVA) va situar més del 98% de la variabilitat genètica entre les mostres i no entre les regions i la clusterització de les dades no va detectar diferències geogràfiques ni genètiques entre els diferents grups (Fernández et al., 2011). Amb aquests resultats, la conclusió va ser l'absència d'una estructuració genètica a gran escala d'*A. foliacea* que necessitava contrastar-se amb propers estudis que utilitzessin altres marcadors moleculars per entendre si els marcadors ISSR havien estat incapaços de detectar-la per causa de la seva hipervariabilitat o bé, si realment l'espècie no estava

genèticament diferenciada a gran escala. A més, les mostres s'havien d'ampliar al total de la distribució de l'espècie per aconseguir una visió global de l'estructuració genètica poblacional d'*A. foliacea* (Fernández et al., 2011).

Posteriorment, Fernández et al. (2013a) van realitzar un estudi referent a la divergència genètica d'*A. foliacea*, aquesta vegada però, van utilitzar un gen codificant per proteïna com a marcador molecular i afegir una localitat de l'est de l'Oceà Índic: el nord-oest d' Austràlia (Figura 5). Així, en aquest estudi sequenciaren 685 parells de bases (pb) del gen mitocondrial COI (Cytochrome C Oxidase Subunit I) en 317 individus d'*A. foliacea* de 6 localitats mediterrànies i dues de l'Oceà Índic (Figura 5).



**Figura 5.** *Aristaemomorpha foliacea*. Localització de les mostres: 1-Canal d'Eivissa (IBI), 2-Mar Tirrè(TYR), 3-Mazara del Vallo (MAZ), 4-Portopalo, 5-Mar Jònica (ION), 6- Mar Egeu(AEG), 7- Canal de Moçambic(MOZ), i 8-nord-Oest d'Austràlia (AUS).

Font: Fernández et al., 2013a (consultat Juny 2018)

En l'anàlisi, referent a la diversitat genètica dins les mostres, s'arribà a les conclusions següents: s'establí que la diversitat genètica global de *A. foliacea* era alta ( $h=0.828$ ), essent superior dins les mostres de l'Oceà Índic i amb el màxim al nord-oest australià (Taula 3). Per altra banda, es determinà que la diversitat genètica d'*A. foliacea* dins del Mediterrani era dependent de les característiques oceanogràfiques i, tot i ser substancialment inferior respecte la diversitat entre regions, els valors significatius de l'estimador  $F_{st}$  suggerien l'existència de dos estocs diferenciats que, per tant, s'haurien de gestionar de manera independent en les pesqueries (Fernández et al., 2013a) (Taula 4).

**Taula 3.** *Aristaeomorpha foliacea*. Estimadors de la diversitat genètica per seqüències COI, Nombre de seqüències (N), nombre d'haplotips (Nh), nombre de posicions polimòrfiques (Np), haplotips (h) i diversitat de nucleòtids ( $\pi$ ) amb la desviació estàndard (S.D) per a cada localització i del total.

Font: Fernández et al., 2013a (consultat Juny 2018)

Region	Locality	N	Nh	Np	$h \pm S.D.$	$\pi \pm S.D.$
Mediterranean Sea (MED)						
Western Mediterranean (WM)						
	1—Ibiza Channel, Spain (IBI)	51	12	12	$0.649 \pm 0.068$	$0.0015 \pm 0.0002$
	2—Tyrhenian Sea, France (TYR)	45	8	7	$0.697 \pm 0.061$	$0.0017 \pm 0.0002$
	3—Mazara del Vallo, Italy (MAZ)	40	8	7	$0.727 \pm 0.048$	$0.0022 \pm 0.0002$
Eastern Mediterranean (EM)						
	4—Portopalo, Italy (PPA)	37	11	10	$0.775 \pm 0.058$	$0.0021 \pm 0.0002$
	5—Ionian Sea, Greece (ION)	37	8	8	$0.602 \pm 0.089$	$0.0021 \pm 0.0003$
	6—Aegean Sea, Greece (AEG)	44	5	5	$0.511 \pm 0.081$	$0.0019 \pm 0.0003$
Western Indian Ocean						
	7—Mozambique Channel, Mozambique (MOZ)	42	13	14	$0.557 \pm 0.093$	$0.0011 \pm 0.0002$
Eastern Indian Ocean						
	8—north-western Australia, Australia (AUS)	21	19	24	$0.990 \pm 0.018$	$0.0058 \pm 0.0007$
Total		317	57	76	$0.828 \pm 0.013$	$0.0117 \pm 0.0015$

**Taula 4.** Les diferències “Pairwise”  $F_{st}$  entre les localitats mostrejades apareixen en la diagonal; els P-valors es van obtenir després de 10.000 rèpliques

Font: Fernández et al., 2013a (consultat Juny 2018)

	IBI	TYR	MAZ	PPA	ION	AEG	MOZ
IBI	–						
TYR	–0.010 <sup>ns</sup>	–					
MAZ	0.149 <sup>***</sup>	0.102 <sup>**</sup>	–				
PPA	0.004 <sup>ns</sup>	–0.013 <sup>ns</sup>	0.050 <sup>*</sup>	–			
ION	0.331 <sup>***</sup>	0.277 <sup>***</sup>	0.037 <sup>***</sup>	0.206 <sup>***</sup>	–		
AEG	0.382 <sup>***</sup>	0.325 <sup>***</sup>	0.068 <sup>*</sup>	0.250 <sup>***</sup>	–0.016 <sup>***</sup>	–	
MOZ	0.867 <sup>***</sup>	0.859 <sup>***</sup>	0.844 <sup>***</sup>	0.857 <sup>***</sup>	0.857 <sup>***</sup>	0.867 <sup>***</sup>	–
AUS	0.943 <sup>***</sup>	0.941 <sup>***</sup>	0.937 <sup>***</sup>	0.938 <sup>***</sup>	0.938 <sup>***</sup>	0.940 <sup>***</sup>	0.947 <sup>***</sup>

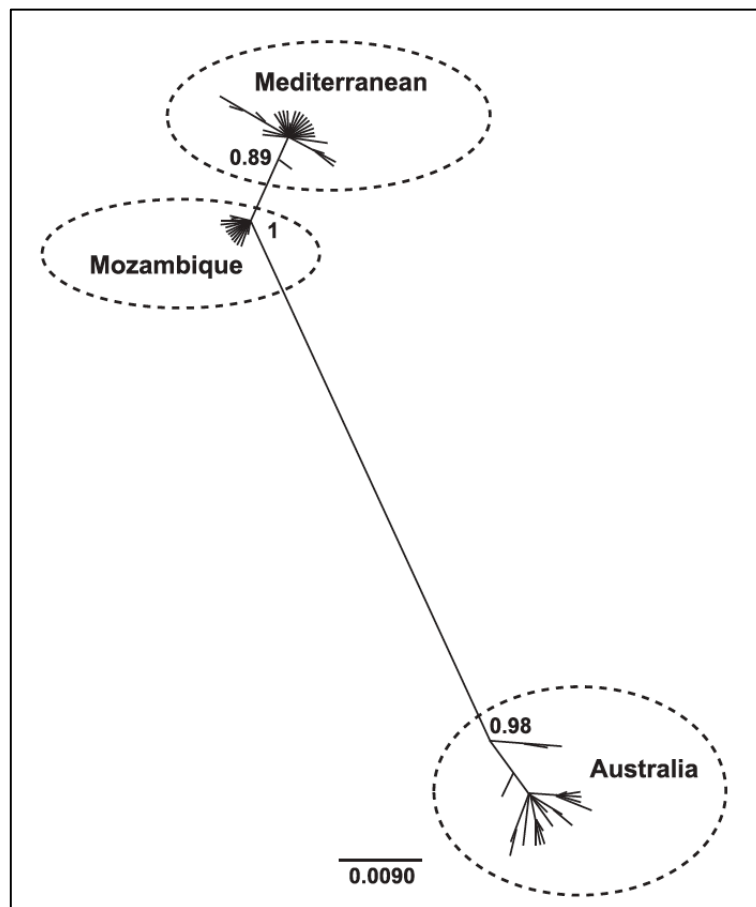
<sup>ns</sup> Non-significant.

\*  $P < 0.05$ .

\*\*  $P < 0.01$ .

\*\*\*  $P < 0.001$ .

De manera paral·lela, l'estudi de la divergència genètica entre regions posà per primera vegada en evidència l'estructuració genètica d'*A. foliacea* en 3 haplogrups: MED, MOZ i AUS (Mediterrani, Moçambic i Austràlia) separats per 3 i 38 salts mutacionals respectivament (Figura 6) (Fernández et al., 2013a). Aquesta estructuració venia recolzada tant per l'anàlisi de variància molecular ( $\phi = 0.923$  i  $P = 0.036$ ) com pels índex de fixació (Taula 4), de “median joining network of haplotypes” i els tests Bayesianes.



**Figura 6.** Arbre Bayesià dels haplotips detectats pel gen COI en les 8 localitats mostrejades. Els valors de probabilitat estan indicats a sobre de les branques.

Font: Fernández et al., 2013a (consultat Juny 2018)

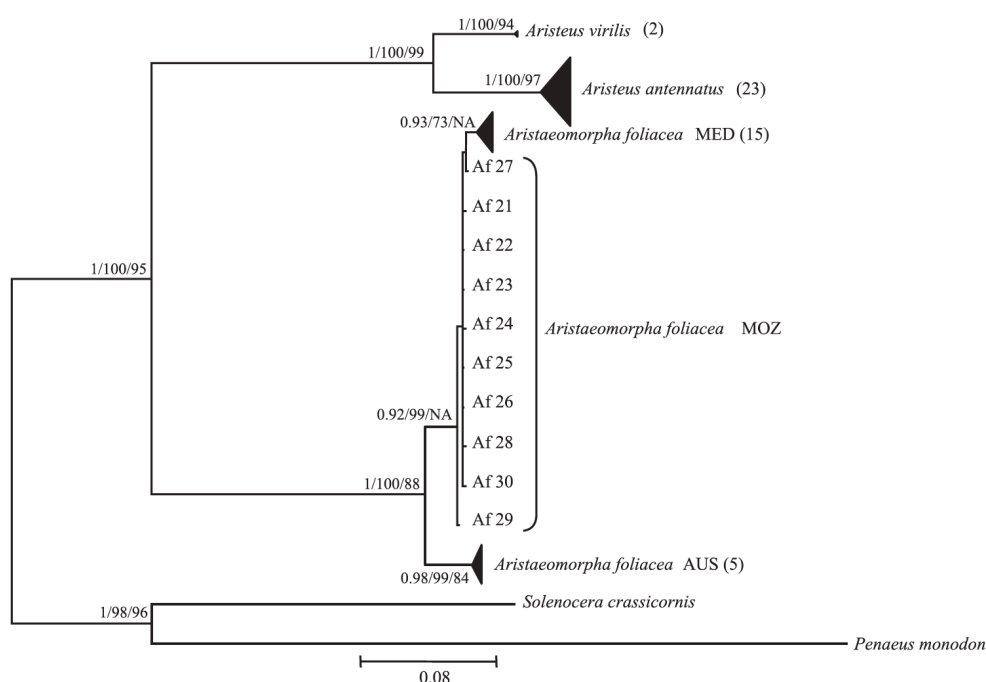
Una vegada establertes les grans diferències genètiques entre aquestes tres regions i tenint en compte els alts valors de diversitat haplotípica i nucleotídica obtinguts (Taula 3), els tests “mismatch distribution” i de neutralitat van donar indicacions consistents sobre una expansió passada en cadascuna de les regions per separat (MED, MOZ, AUS).

Ja per últim, subjecte a la divergència genètica tan marcada entre AUS-MOZ i AUS-MED (6,4% i 6,5%, respectivament) i enfront a la que hi ha entre MED-MOZ (1,1%), se suggereix un possible escenari d'especiació alopàtrica dins l'Oceà Índic i enfatitza la necessitat d'adreçar la taxonomia de manera global i amb múltiples conjunts de dades (Fernández et al., 2013a).

En un primer intent de confirmar aquesta especiació, posteriorment Fernández et al (2013b) duen a terme una anàlisi comparativa entre *A. foliacea* i *A. antennatus*, dues espècies molt properes taxonòmicament, que habiten en simpatria parcial i que comparteixen un elevat nombre de similituds tant en l'ecologia adulta com en la biologia reproductiva i, això, les converteix en la parella idònia per a un estudi filogeogràfic comparatiu (Fernández et al., 2013b). És per això que, a fi d'ampliar la informació filogenètica de dues espècies tan importants a nivell comercial, i ajudar a la conservació i gestió dels seus "stocks", es realitzà un estudi comparatiu de la seva filogeografia que confirmà l'existència del llinatge AUS diferenciat dins d'*A. foliacea* (Fernández et al., 2013b).

Així, en l'estudi de Fernández et al (2013b), per ambdues espècies es va treballar amb mostres del Mediterrani i el Canal de Moçambic afegint una mostra al nord-oest d' Austràlia per *A. foliacea* i una a l'Oceà atlàntic per *A. antennatus*.

En aquest cas, com a marcadors moleculars van utilitzar dos gens nuclears (PECK i NaK) i un gen mitocondrial (COI). La combinació de marcadors va permetre corroborar la divergència genètica mitocondrial d'*A. foliacea* ( $\Phi_{st} = 0.874, P < 0.001$ ) confirmant així l'existència del llinatge AUS que, a més, també va veure's reflexada en els arbres d'anàlisi Bayesià, de "Neighbour-Joining i de "Median joining" on apareixien dos grans grups filogenètics i associacions geogràfiques de la diversitat genètica corresponents a AUS i MED-MOZ, respectivament (Figura 7).



**Figura 7.** Arbre d'anàlisi Bayesià. L'arbre va ser inferit a partir de 57 seqüències de fragments concatenats de COI, PECK i NaK (1548 pb). *Solenocera crassicornis* i *Penaeus monodon* es van utilitzar com a "outgroup". Els nombres en els nodes indiquen els valors de probabilitat de l'arbre Bayesià i els valors de Màxima Versemblança i "Neighbour joining", respectivament. Les mides dels triangles són proporcionals al nombre de seqüències del clúster (nombre entre parèntesis). El nombre dels nodes indica els valors de bootstrap  $\geq 70$  després de 10.000 rèpliques.

Font: Fernández et al., 2013b (Recuperat Juny 2018)

Seguint en la mateixa línia, també es va determinar que aquests dos llinatges, diferenciats per una profunda divisió evolutiva, es trobaren a una distància genètica ( $D_A = 0.0226 \pm 0.0038$ ) gairebé equivalent a la meitat de la que hi ha entre espècies congenèriques i s'estimà que el temps de divergència (basada en la distància genètica de COI) hauria estat de 2.88-4.20 Ma.

D'aquesta manera, considerant que el llinatge AUS d'*A. foliacea* mostrava un gran suport a la concordància genealògica de múltiples locus, que habita en una província biogeogràficament diferenciada i que expressava nivells substancials de divergència genètica des de la separació d'un llinatge parental, l'article va suggerir que *A. foliacea* en el Nord-Oest d' Austràlia fos considerada una espècie diferent.

Per últim, també en consonància amb Fernández et al. (2013a), considerà MED i MOZ com a unitats evolutives significatives (ESU) i, conseqüentment, proposà que s'haurien d'avaluar per separat i establir plans de gestió i conservació específics per cadascuna.

Una vegada revisada la literatura dins de "Genètica de poblacions" i tenint en compte la distribució geogràfica d'*A. foliacea* (Figura 2), considero que en futurs estudis, s'haurien d'ampliar els punts de mostreig de manera que incloguin també localitats de l'Oceà Atlàntic i de l'oest del Pacífic, adreçant així, el total de la distribució d'*A. foliacea*. D'aquesta manera, es podrà determinar l'existència de possibles nous estocs genètics a nivell global i instaurar plans de gestió adaptats per a la seva conservació i pesqueries.

### 5.3 Desenvolupament d'eines genètiques

Tenint en compte que *A. foliacea* habita a grans profunditats, per aconseguir avaluar-ne l'estructuració genètica i la connectivitat entre poblacions, els estudis i les eines genètiques són essencials (Bensch et al., 2008).

En aquest bloc de "Desenvolupament d'eines genètiques" s'inclouen dos articles dirigits al descobriment de nous instruments i tècniques genètiques que poden ajudar a ampliar la informació actual d'*A. foliacea* en l'àmbit de la genètica (Huang et al., 2012; Cannas et al., 2012).

Per una banda, Huang et al. (2012) proposà el mètode PCR-RFLP com a eina eficaç per identificar diverses espècies de crustacis i entre elles *A. foliacea*. En el seu estudi, aconseguix diferenciar entre 10 espècies comercials de gamba per mitjà d'aquest mètode: en primer lloc, identifiquen múltiples individus de 10 espècies comercials per mètodes morfològics; després, utilitzen la PCR i l'encebador UCYTB151F/270R per amplificar un fragment de 401-407 pb del gen "cytochrome b" i construeixen un mapa RFLP utilitzant les endonucleases Alu I, Ssp I i Hae III. Per últim, comparant les seqüències gèniques amb els mapes RFLP (PCR-restriction fragment length polymorphism) obtinguts aconseguixen identificar les espècies.



Els resultats d'aquest estudi, suggereixen que la PCR-RFLP pot ser un mètode efectiu per identificar altres espècies de crustacis (Huang et al., 2012).

Per la seva part, Cannas et al. (2012) aconsegueixen aïllar 14 marcadors microsatèlits (SSR) de l'espècie *A. foliacea* (Taula 5):

**Taula 5. Microsatèlits aïllats d'*Aristaeomorpha foliacea*.**

Font: Cannas et al., 2012 (recuperat Juliol 2018)

Locus name	GenBank No.	Repeat motif	Primer sequence (5'→3')	PCR-TD, Ta (°C)	Size range (bp)	$N_A$	PIC	$H_O$	$U_H$
Cea17	JN087855	(GT) <sub>11</sub>	F <sub>HEX</sub> : TGAACATCTGCCACGAGTA R: GGTGATAGATGAAGACTTGAC	56→48	156-210	19	0.91	0.77* <sup>5</sup>	0.93
Cia19	JN087863	(TG) <sub>13</sub>	F <sub>FAM</sub> : ACACAATATAATGGGAAGACA R: CACTGTGATGAGCGAATGT	56→48	158-202	17	0.90	0.97	0.92
Cia57	JN087856	(AC) <sub>8</sub>	F <sub>DAMBRA</sub> : CATGATGTCGGAGGGATGTG R: GGAATCACAGTGGAATGGG	61→53	178-202	9	0.55	0.70	0.58
Cia67	JN087857	(CA) <sub>6</sub> ·(CA) <sub>4</sub> ·(CA) <sub>5</sub> ·(CA) <sub>4</sub>	F <sub>DAMBRA</sub> : GAGTGACGCTGTAGGTGTA R: ACACAGATAAACAGATGCAGATAT	59→51	152-170	6	0.53	0.50	0.57
Cia82	JN087858	(CA) <sub>7</sub> ·(CA) <sub>12</sub>	F <sub>HEX</sub> : CCTTGCCTAACCTTGACACA R: GTAACCCCTGGGAAACAATGTAA	62.5→54.5	260-320	7	0.48	0.57	0.54
Ciea253	JN087859	(AC) <sub>3</sub> ·(AC) <sub>3</sub> ·(AC) <sub>5</sub>	F <sub>DAMBRA</sub> : GCCGACGGTGAGTTAATTTCG R: TACATCCACCCGATACCTGA	60→52	178-204	4	0.43	0.50	0.48
Ciea257	JN087860	(TG) <sub>14</sub>	F <sub>HEX</sub> : TCAATGTGATTCTTCTCAGG R: AAGCATTATCTATACACTTACG	55→47	183-207	9	0.79	0.87	0.83
Ciea260	JN087864	(AAC)·(AAC) <sub>4</sub> ·(AAC)	F <sub>HEX</sub> : TGCAGCATGAGAACAGTTG R: GGGCAAGGCTATATAACG	58→50	153	1	0	0	0
Ciea302	JN087861	(TG) <sub>7</sub>	F <sub>DAMBRA</sub> : ACCGACAATCTGTGGAACATG R: GGTTACCAACTCACCTGG	60→52	204-266	2	0.36	0.73**	0.47
Ciea317	JN087862	(CA) <sub>3</sub> A(CA) <sub>4</sub>	F <sub>FAM</sub> : GGAATGGAATAACTTGCAG R: TAGAGTTGGGAGTATGAAG	57→49	260-320	7	0.48	0.75	0.54

La caracterització d'aquests loci, permetrà aprofundir en la investigació d'aquesta espècie marina en quant a diversitat genètica, estructura poblacional i connectivitat demogràfica, que, en última instància, és la informació necessària per fer una bona gestió d'aquest important recurs comercial (Cannas et al., 2012).

De cares a futures investigacions, per tal de reafirmar l'efectivitat del mètode PCR-RFLP, caldria veure si aquesta tècnica també és capaç de diferenciar *A. foliacea* d'altres espècies penaeoides, com ara *A. antennatus*. Podria passar que algunes espècies presentessin el mateix patró de bandes que *A. foliacea* i, aleshores, fossin indistingibles les unes de les altres. Si aquest fos el cas, s'haurien de fer nous assajos PCR-RFLP amb diferents encebadors i endonucleases per finalment aconseguir mapes RFLP eficients per diferenciar *A. foliacea* de la resta d'espècies penaeoides.

Per altra banda, els 14 microsatèl·lits aïllats en l'estudi de Cannas et al. (2012) podrien ser útils a l'hora d'inferir una microestructura dins les poblacions genètiques d'*A. foliacea* descrites a Fernández et al. (2013a, 2013b) i, en un futur, també incloure possibles estocs genètics que encara estan per descobrir.

## 6. CONCLUSIONS

Having reviewed all the articles published in the bibliographic databases consulted (SCOPUS and WOS), there were only 7 articles concerning genetic items related to *A. foliacea*. For such an important economic species, in order to address correctly its management and conservation plans, there are many genetic gaps yet to assess, such as: providing a consensuated Penaeoidea and Aristeidae phylogeny; discovering possible new genetic stocks throughout the entire distributional range of *A. foliacea*; establishing the global microstructure within genetic populations of the species and testing the existing genetic tools.

## 7. AGRAÏMENTS

A la Dra. Sandra Heras per haver-me ajudat i orientat sempre que ho he necessitat al llarg d'aquest treball.

Als meus pares per haver-me acompanyat fins aquí, haver-me guiat a ser qui sóc i sempre haver confiat en mi.

Als meus amics de la Universitat i als de tota la vida per haver-me recolzat sempre que ho he necessitat i haver omplert aquests 4 anys de moments inoblidables. Sense ells no seria qui sóc avui ni hauria arribat fins aquí.

Per últim, a tots aquells professors que, al llarg de la meva trajectòria acadèmica, de manera inconscient, han despertat el meu interès i m'han ajudat a superar-me.

## 8. BIBLIOGRAFIA

- Avise, J. C. (1998). The history and purview of phylogeography: a personal reflection. Retrieved from <https://pdfs.semanticscholar.org/4c34/16c79bf9a4ab3c6a90ab2fc85ce4767a7fa7.pdf>
- Bayhan, K. Y., Cartes, J. E., & Fanelli, E. (2014). Biological condition and trophic ecology of the deep-water shrimp *Aristaeomorpha foliacea* in the Levantine Sea (SW Turkey). *Mediterranean Marine Science*, *16*, 103.
- Bensch, A., Gianni, M., Gréboval, D., Sanders, J., & Hjort, A. (2008). Worldwide review of bottom fisheries in the high seas. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper*, 522.
- Brutto, S. LO, Maggio, T., Deiana, A. M., Cannas, R., & Arculeo, M. (2012). Further investigations on populations of the deep-water blue and red shrimp *Aristeus antennatus* (Risso, 1816) (Decapoda, Dendrobranchiata), as inferred from amplified fragment length polymorphism (AFLP) and mtDNA analyses. *Crustaceana*, *85*, 1393-1408.
- Burgos González, J., & Fernández Aguado, J. A. (1981). Comparative study of the lipid composition of flesh and carapace in *Aristaeomorpha foliacea* and *Heterocarpus dorsalis*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Comparative Biochemistry*, *69*, 819–827.
- Capezzuto, F., Carlucci, R., Maiorano, P., Sion, L., Battista, D., Giove, A., & D'Onghia, G. (2010). The bathyal benthopelagic fauna in the north-western Ionian Sea: structure, patterns and interactions. *Chemistry and Ecology*, *26*, 199–217.
- Carpenter, K. E., & Niem, V. H. (1998). FAO species identification guide for fishery purposes the living marine resources of the western central Pacific. Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-w7192e.pdf>
- Cartes, J. E., Soler-Membrives, A., Stefanescu, C., Lombarte, A., & Carrassón, M. (2016). Contributions of allochthonous inputs of food to the diets of benthopelagic fish over the northwest Mediterranean slope (to 2300 m). *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, *109*, 123–136.
- Cau, A., Carbonell, A., & Follesa, M. C. (2002). MEDITS- based information on the deep-water red shrimps *Aristaeomorpha foliacea* and *Aristeus antennatus*. Retrieved from <http://scimar.icm.csic.es/scimar/pdf/66/sm66s2103.pdf>
- Cannas, R., Marcias, S., Sacco, F., Cau, A., & Deiana, A. M. (2012). First isolation and characterization of genomic SSR markers for the giant red shrimp *Aristaeomorpha foliacea* (Risso, 1827). *Genetics and Molecular Research*, *11*, 2745–2748.
- Colloca, F., Garofalo, G., Bitetto, I., Facchini, M. T., Grati, F., Martiradonna, A., & Spedicato, M. T. (2015). The seascape of demersal fish nursery areas in the north Mediterranean sea, a first step towards the implementation of spatial planning for trawl fisheries. *PLoS ONE*, *10*, e0119590.
- Fernández Hernández, M. V. (2012). Phylogeographical analysis of two aristed shrimps, *Aristeus antennatus* and *Aristaeomorpha foliacea* (Crustacea: Aristeidae), with implications for resource conservation. *TDX (Tesis Doctorals En Xarxa)*. Retrieved from <https://www.tdx.cat/handle/10803/98477>
- Fernández, M. V., Maltagliati, F., Pannacciulli, F. G., & Roldán, M. I. (2011). Analysis of genetic variability in *Aristaeomorpha foliacea* (Crustacea, Aristeidae) using DNA-ISSR (Inter Simple Sequence Repeats) markers. *Comptes Rendus Biologies*, *334*, 705–712.
- Fernández, M. V., Heras, S., Maltagliati, F., & Roldán, M. I. (2013a). Deep genetic divergence in giant red shrimp *Aristaeomorpha foliacea* (Risso, 1827) across a wide distributional range. *Journal of Sea Research*, *76*, 146–153.
- Fernández, M.V., Heras, S., Viñas, J., Maltagliati, F., & Roldán, M.I. (2013b). Multilocus comparative phylogeography of two Aristeid shrimps of high commercial interest (*Aristeus antennatus* and *Aristaeomorpha foliacea*) reveals different responses to past environmental changes. *PLoS ONE* *8*, e59033.
- Fisher, W., Schneider, M., & Bauchot, M. (1987). Fiches fao d'identification des especes mediterrannee et mer noire zone de peche 37 Révision 1. Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-x0169f.pdf>
- Huang, K. M., Liu, S. M., Huang, Y. W., & Chen, T. Z. (2012). Identification of Species in Commercial Frozen Shrimp Meat in Taiwan. *Journal of Food and Drug Analysis*, *20*, 839-843.

- Holthuis, L. B. (1980). *Shrimps and prawns of the world : an annotated catalogue of species of interest to fisheries*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Retrieved from <http://www.fao.org/docrep/009/ac477e/ac477e00.htm>
- Kapiris, K., & Thessalou-Legaki, M. (2006). Comparative fecundity and oocyte size of *Aristaeomorpha foliacea* and *Aristeus antennatus* in the Greek Ionian Sea (E. Mediterranean) (Decapoda: Aristeidae). *Acta Zoologica*, 87, 239–245.
- Maiorano, P., Sion, L., Carlucci, R., Capezzuto, F., Giove, A., Costantino, G., & Tursi, A. (2010). The demersal faunal assemblage of the north-western Ionian Sea (central Mediterranean): current knowledge and perspectives. *Chemistry and Ecology*, 26, 219–240.
- Ma, K. Y., Chan, T.-Y., & Chu, K. H. (2009). Phylogeny of penaeoid shrimps (Decapoda: Penaeoidea) inferred from nuclear protein-coding genes. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 53, 45-55.
- Medina, A., Garcia-Isarch, E., Sobrino, I., & Abascal, F. J. (2006). Ultrastructure of the spermatozoa of *Aristaeopsis edwardsiniana* and *Aristeus varidens* (Crustacea, Dendobranchiata, Aristeidae). *Zoomorphology*, 125, 39-46.
- Mezzasalma, V., Zagra, M., Stefano, L., Ragonese, S., & Bianchini, M. L. (2008). Evidence of lipofuscin accumulation in the deep-water red shrimp *Aristaeomorpha foliacea* (Risso, 1827). *Mediterranean Marine Science*, 9, 21.
- Olgunoglu, İ. A., Artar, E., & Gocer, M. (2015). Comparison of fatty acid profiles of male and female giant red shrimps (*Aristaeomorpha foliacea* Risso, 1827) obtained from mediterranean sea. *Italian Journal of Food Science*, 27, 432–436.
- Perdichizzi, A., Pirrera, L., Micale, V., Muglia, U., & Rinelli, P. (2012). A histological study of ovarian development in the giant red shrimp *Aristaeomorpha foliacea* (Crustacea: Decapoda: Aristeidae) from the Southern Tyrrhenian Sea (Western Mediterranean). *The Scientific World Journal*, 2012, 289608.
- Politou, C.-Y., Kapiris, K., Maiorano, P., Capezzuto, F., Dokos, J., & Dokos, J. (2004). Deep-sea Mediterranean biology: the case of *Aristaeomorpha foliacea* (Risso, 1827) (Crustacea: Decapoda: Aristeidae). *Scientia Marina*, 68, 129–139.
- Ragonese, S., Bianchini, L., & Gallucci, V.F. (1994). Growth and mortality of the red shrimp *Aristaeomorpha foliacea* in the Sicilian channel (Mediterranean Sea). *Crustaceana* 67, 348-361.
- Roldán, M.I., Planella, L., Heras, S., & Caldarazzo, S. (2013). La gamba de Palamós: noves eines genètiques per a la sostenibilitat del recurs pesquer a la Confraria de Palamós. Retrieved from [http://www.serveiarxiunicipalpalamos.cat/wordpress/wpcontent/uploads/becca-cooperativa/Beca\\_La\\_Equitativa\\_resum\\_2013\\_2014\\_final.pdf](http://www.serveiarxiunicipalpalamos.cat/wordpress/wpcontent/uploads/becca-cooperativa/Beca_La_Equitativa_resum_2013_2014_final.pdf)