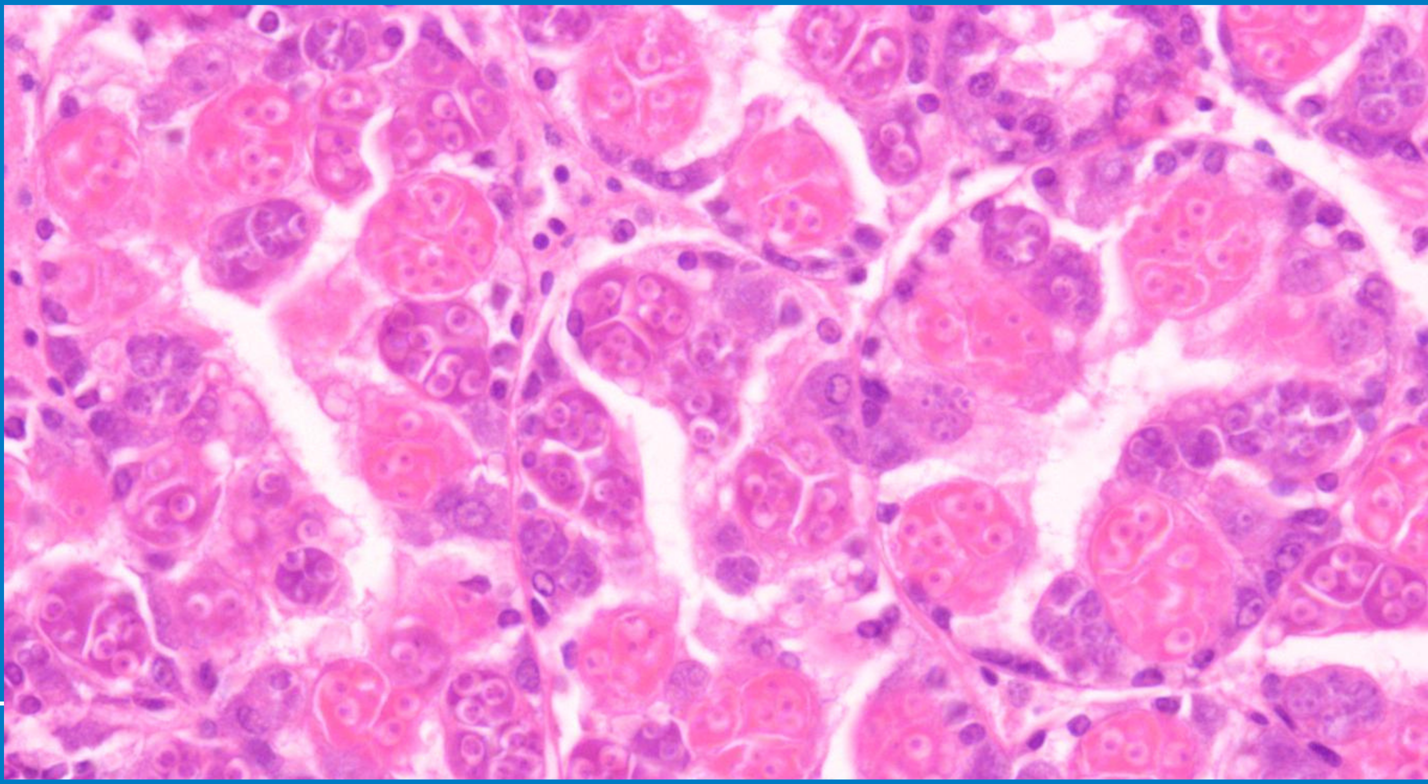

Guía de procedementos e recomendacións para a recuperación de bancos marisqueiros asolados pola marteiliose

XUNTA DE GALICIA

XUNTA
DE GALICIA

CONSELLERÍA DO MAR

CENTRO DE INVESTIGACIÓNS MARIÑAS

Vilanova de Arousa, 2024

CRÉDITOS

Coordinación e maquetación:
María Ortega Iñarrea

Tradución e revisión:
María Ortega Iñarrea
Antonio Villalba García

Autoría:
Antonio Villalba García
María Ortega Iñarrea
Emilio Abella Rey
David Iglesias Estepa

Fotografías portada:
Corte histolóxico da glándula dixestiva dun berberecho, *Cerastoderma edule* , infectado por *Marteilia cochillia* - CIMA
Esportas cheas de berberecho, Cerastoderma edule. CIMA

ÍNDICE

1. INTRODUCIÓN 3

2. RESTAURACIÓN DE POBOACIÓNS COMO APROXIMACIÓN PARA A RECUPERACIÓN DO RECURSO 6

2.1. Restauración pesqueira e restauración ecolóxica: conceptos 6

2.2. Bases teóricas da restauración 6

2.3. Identificación das causas que orixinan descensos poboacionais 8

3. ASPECTOS BIOLÓXICOS ECOLOLÓXICOS BÁSICOS DO BERBERECHO *Cerastoderma edule* IMPORTANTES PARA O DESEÑO DE PROGRAMAS DE RESTAURACIÓN 13

4. ASPECTOS EPIDEMIOLÓXICOS DA MARTEILIOSE 17

4.1. Factores do axente etiolóxico 17

4.2. Factores do hóspede 18

4.2.1. Especies/estados susceptibles 18

4.2.2. Órganos diana e tecidos infectados 18

4.2.3. Patoxenicidade individual 19

4.3. Padróns da enfermidade 20

4.3.1. Distribución xeográfica 20

4.3.2. Dinámica espazo-temporal da marteiliose do berberecho en Galicia. Factores determinantes 20

4.4. Control e prevención 20

4.5. Detección da enfermidade: mostraxe e diagnóstico 21

4.5.1. Tipo de mostraxe, selección de individuos 21

4.5.2. Métodos de diagnóstico 22

4.5.2.1. Observación macroscópica e sintomatoloxía clínica 22

4.5.2.2. Técnicas microscópicas 23

4.5.2.2.1. Impresións de tecidos 23

4.5.2.2.2. Histoloxía 24

4.5.2.2.3. Microscopía electrónica de transmisión 25

4.5.2.3. Técnicas moleculares 26

4.5.2.3.1. Técnica da reacción en cadea da polimerasa (PCR) 26

4.5.2.3.2. Hibridación in situ 26

5. ESTRATEXIA DE RESTAURACIÓN DE BANCOS DE BERBERECHO ASOLADOS POLA MARTEILIOSE 27

6. DESENVOLVEMENTO DUN PROGRAMA DE RESTAURACIÓN 33
6.1. Consideracións sobre os berberechos que se acheguen 33
6.1.1. Estado de desenvolvemento dos berberechos para repoboar 33
6.1.1.1. Larvas 34
6.1.1.2. Semente 34
6.1.1.3. Adultos 35
6.1.2. Procedencia dos berberechos para repoboar 35
6.1.2.1. Berberechos procedentes de criadeiro 35
6.1.2.2. Berberechos procedentes de banco marisqueiro 36
6.2. Consideracións sobre a área de recuperación 39
6.2.1. Especies marisqueiras que se explotan na área de recuperación 39
6.2.2. Hábitat da especie 39
6.2.3. Hidrodinamismo da zona 40
6.2.4. Tamaño e distribución da área de recuperación 40
6.2.5. Momento da sementeira 42
6.3. Necesidades e operacións tras a sementeira 42
6.4. Axentes implicados 43
6.4.1. Administracións públicas 44
6.4.2. Entidades do sector marisqueiro 44
6.4.3. Outros grupos de interese 45
6.4.4. Gobernación 45
7. AVALIACIÓN DA RESTAURACIÓN 47
7.1. Caracterización demográfica: seguimento da distribución espacial, da densidade e da estrutura de tamaños da poboación 47
7.2. Seguimento do estado sanitario 48
7.3. Seguimento ambiental 49
7.4. Discriminación xenética dos recrutas 49
7.5. Avaliación dos beneficios ecolóxicos e outros servizos ecosistémicos 50
8. BIBLIOGRAFÍA 51

1. INTRODUCIÓN

O berberecho *Cerastoderma edule* foi tradicionalmente a principal especie de molusco bivalvo do marisqueo en Galicia no que se refire ás toneladas vendidas en lonxa. Cunha produción media anual entre os anos 2001 e 2011 de 3.529 toneladas (http://www.pescadegalicia.gal/estadisticas/) e unha facturación media anual en primeira venda de 14.207.613 €, este recurso constituía a base na que se sustentaba unha das principais actividades económicas de moitos concellos costeiros.

No ano 2012, unha mortaldade masiva, sen precedentes, do berberecho *C. edule* levou ao colapso do marisqueo desta especie na ría de Arousa. A causa foi a marteiliose, unha enfermidade emerxente orixinada pola infección co protozoo *Marteilia cochillia,* que coloniza e inutiliza a glándula dixestiva do berberecho (Villalba et al., 2014). No ano 2013 a marteiliose estendeuse cara ao sur, devastando os bancos de *C. edule* das rías de Pontevedra e Vigo, mentres que non se teñen detectado brotes desta enfermidade máis ao norte da ría de Arousa. Como consecuencia, a produción de berberecho en Galicia concentrouse na área de Noia (fig. 1). A elevada patoxenicidade de *M. cochillia* presaxiaba un futuro incerto para os bancos de berberecho afectados, o que levou a considerar a marteiliose como unha importante nova ameaza para unha especie marisqueira de elevada importancia a nivel europeo (Alfjorden et al., 2017).

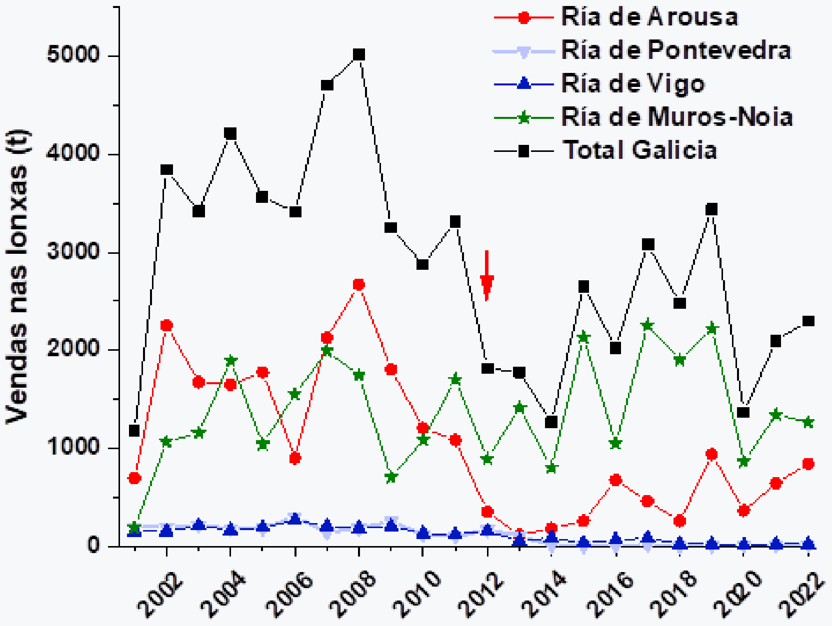

Figura 1. Variación das vendas anuais de berberecho (en toneladas) no conxunto das lonxas de cada ría e no conxunto de Galicia no período 2001-2022 (https://www.pescadegalicia.gal/estadisticas/). A seta vermella marca o ano da detección desta enfermidade. As restricións ao marisqueo motivadas pola COVID-19 influíron na caída das vendas do ano 2020.

O desenvolvemento de investigación aplicada enfocada a comprender a dinámica da enfermidade, así como a buscar estratexias dirixidas a minimizar os seus efectos prexudiciais volveuse urxente.

No que se refire ás estratexias de loita contra este tipo de enfermidades, non son moitas as posibilidades. O uso de axentes terapéuticos, no caso de que os houbese, non resultaría rendible nin viable xa que as poboacións naturais de berberecho atópanse baixo grandes masas de auga en espazos abertos, ademais doutras consideracións de índole ambiental derivadas do impacto potencial destes axentes no ecosistema. Por outra banda, a aplicación de estratexias de baleirado sanitario, baseadas na retirada completa de todos os berberechos das poboacións naturais afectadas para así erradicar o parasito, resulta imposible e, ademais, a súa efectividade nula, xa que non se desbota a existencia dun ou máis hóspedes intermediarios no seu ciclo de vida, que non están ben identificados. Unha forma prometedora de loita contra este tipo de enfermidades en zonas endémicas é a produción de estirpes resistentes ou tolerantes á enfermidade mediante programas de selección xenética, estratexia que se aplicou con éxito noutras enfermidades de bivalvos (Ford e Haskin, 1987; Ragone Calvo et al., 2003; Proestou et al., 2016). Para o desenvolvemento destes programas é conveniente partir de proxenitores que presenten vantaxes de resistencia ás enfermidades cunha base xenética.

Estudos epidemiolóxicos desenvoltos no Centro de Investigacións Mariñas (en adiante CIMA), da Consellería do Mar, dende 2012 mostraron un padrón epidémico na ría de Arousa caracterizado pola detección de brotes anuais da enfermidade, que afectaban cada nova cohorte recrutada causando a súa desaparición antes de acadar o tamaño comercial e impedindo a recuperación da explotación marisqueira. Sen embargo, a partires da cohorte recrutada en 2016, detectouse a variación deste padrón, de xeito que a prevalencia da marteiliose e a mortalidade fóronse reducindo progresivamente ata o punto de que en 2019 recuperáronse os niveis de produción de berberecho previos na zona (Iglesias et al., 2023a). Experiencias de campo posteriores de tipo "ambiente idéntico" *(common garden),* nas que lotes de semente producidos en criadeiro a partir de reprodutores de orixes diferentes foron expostos á marteiliose, mostraron que a resistencia á enfermidade aumentara na zona interna da ría de Arousa por selección natural (Villalba et al., 2023). Ademais, o desenvolvemento de deseños experimentais robustos, con enfoques xenómicos e proteómicos, nos experimentos de campo mencionados, permitiu identificar marcadores moleculares de resistencia á marteiliose (Cao et al., 2021; Pampín et al., 2023; Villalba et al., 2023).

Por outra banda, no 2014, outro equipo de investigación do CIMA iniciou un programa de mellora xenética baseado en cruzamentos controlados de berberechos nas instalacións de criadeiro do CIMA, co fin de incrementar a resistencia á marteiliose. Os berberechos da segunda xeración deste programa amosaron resistencia á enfermidade

(Fuentes, 2020). A ganancia de resistencia conseguida a través deste programa de cruzamentos controlados na súa terceira xeración amosouse similar á conseguida na zona interna da ría de Arousa a través da selección natural (resultados propios aínda non publicados).

Aínda que queda moito por avanzar no estudo da marteiliose que afecta ao berberecho, especialmente no coñecemento do ciclo de vida do parasito, os traballos realizados ate o momento permítennos establecer que as posibilidades de recuperación de bancos marisqueiros asolados por esta enfermidade pasarían polo desenvolvemento de programas de restauración baseados na introdución de reprodutores resistentes/tolerantes á enfermidade e que conduciran co paso do tempo a unha recolonización dos bancos con descendentes resistentes.

O coñecemento sobre a recuperación de zonas produtivas de moluscos aínda é moi escaso e hai moita marxe para seguir adiante coa innovación e mellora (Brumbaugh et al., 2006); isto é especialmente certo para o caso do berberecho común. O presente documento pretende sinalar as pautas e os puntos clave, con base no nivel de coñecemento actual, para considerar no deseño e na execución dun programa deste tipo. Non se trata en absoluto dun documento pechado, se non que cumprirá ir actualizándoo á medida que se vaian abordando experiencias deste tipo.

2. A RESTAURACIÓN DE POBOACIÓNS COMO APROXIMACIÓN PARA A RECUPERACIÓN DO RECURSO

2.1. Restauración pesqueira e restauración ecolóxica: conceptos

Nun senso amplo, a restauración dunha poboación refírese á rehabilitación da abundancia dos individuos que a integran ata alcanzar niveis de equilibrio coa capacidade de carga do ecosistema, é dicir, cos seus factores limitadores, como poden ser a cantidade de alimento e o hábitat dispoñible.

Tradicionalmente, no ámbito mariño, a restauración de poboacións tivo un enfoque pesqueiro, de xeito que o obxectivo perseguido era a recuperación da provisión dun recurso económico buscando a sostibilidade da súa explotación. Este tipo de restauración encadrouse tradicionalmente baixo o termo anglosaxón *stock enhancement* e referíase fundamentalmente a actividades de reforzo dos stocks explotados mediante achegas de xuvenís, procedentes de criadeiros ou transplantados dende outras zonas, normalmente debido a que a taxa de reprodución non era suficiente para soster os niveis da poboación (Munro e Bell, 1997; Mann e Powell, 2007).

Máis recentemente ampliouse o enfoque da restauración a nivel de ecosistema, incorporando a saúde dos ecosistemas costeiros como un obxectivo e, con frecuencia, como a prioridade dos proxectos de recuperación (Gann et al., 2019). Fálase habitualmente de restauración ecolóxica e perséguese neste caso a provisión de servizos ecolóxicos a través do desenvolvemento de poboacións sostibles, habitualmente de especies clave no ecosistema.

Así pois pódense diferenciar dous tipos de restauración segundo os obxectivos perseguidos co seu desenvolvemento: restauración pesqueira e restauración ecolóxica. Se ben non teñen porque ser excluíntes ambos os dous, é importante ter claro o obxectivo final xa que este vai orientar a toma de decisións ao longo do proceso e a determinar a avaliación final da súa efectividade (Fitzsimons et al., 2020).

2.2. Bases teóricas da restauración

A restauración é un exercicio de reconstrución dun recurso, similar ao empregado en ciencia pesqueira. Resulta de utilidade pois a simplificación dun stock como un sistema biolóxico pechado sobre o que actúan unha serie de "forzas de cambio" variando o número de individuos e o seu peso (figura 2; King, 2007). Así, a biomasa do stock incrementaríase polo crecemento dos individuos e polo recrutamento, isto é, a incorporación de individuos xuvenís debido á reprodución dos adultos. Ao mesmo tempo o tamaño do stock diminuiría debido á mortalidade por pesca (peso do total de individuos extraídos na actividade pesqueira) e á mortalidade natural (individuos que morren por causas naturais). Calquera procedemento de restauración de poboacións o

que pretende é que se produza un balance positivo a favor das forzas que incrementan o stock fronte as que o diminúen, é dicir, promover unha situación na que a suma do recrutamento máis o crecemento sexa maior que a mortalidade natural máis a extracción por pesca. A actuación máis axeitada a desenvolver require previamente da estima destas "forzas de cambio" a través de estudos de dinámica de poboacións, co fin de comprender o estado dos stocks e os problemas subxacentes que orixinan descensos da abundancia e/ou o colapso do recurso.

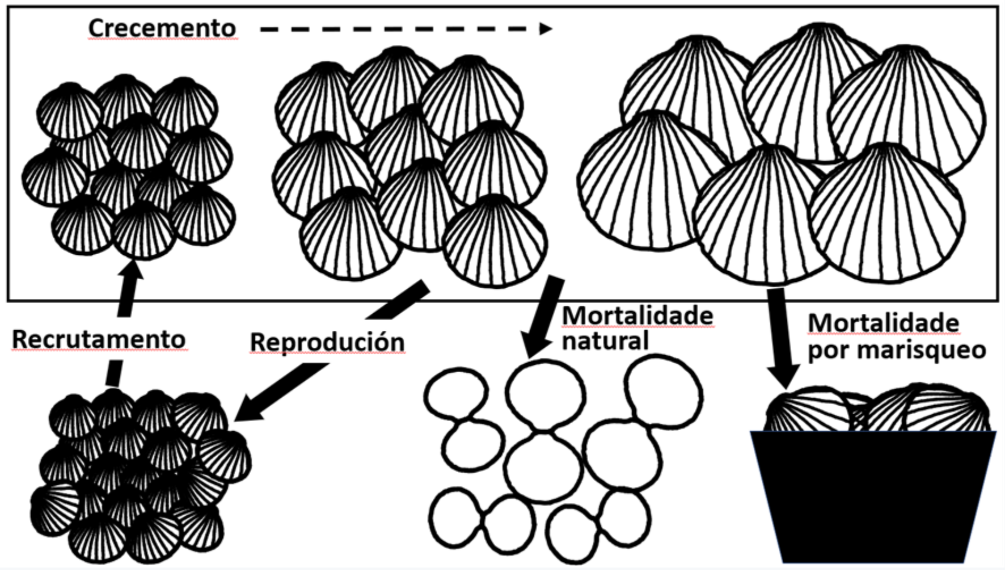

Figura 2. Dinámica de variación dun stock pesqueiro explotado. A biomasa aumenta debido ao crecemento e ao recrutamento e diminúe debido á mortalidade natural e por pesca (adaptado de King, 2007).

Así, á hora de abordar un programa de recuperación dunha especie en recesión cómpre facer un diagnóstico previo da causa ou causas que conducen á súa diminución. Poderiamos atoparnos ante unha situación de sobrepesca na que a taxa de extracción do recurso é superior á incorporación de individuos de tamaño comercial ao stock (mediante recrutamento e posterior crecemento); ante un problema de incorporación de individuos xuvenís ao stock, debido a unha baixa taxa reprodutiva que orixine un fallo de recrutamento, ou ante un problema de mortalidade natural moi elevada debido a factores ambientais adversos, elevadas taxas de depredación ou unha enfermidade, como sería o caso da marteiliose que nos ocupa.

As medidas que tomar para a restauración van ser moi diferentes segundo a problemática que orixine a recesión da poboación. Ás veces son varias as causas e o deseño do procedemento complícase pois son moitas as frontes abertas. En todo caso, sempre hai que preguntarse se realmente ten sentido emprender a repoboación no caso de que non se aborde, por inacción ou imposibilidade, o control da fonte que causa a caída da poboación.

2.3 Identificación das causas que orixinan descensos poboacionais

Á hora de abordar un plan de recuperación dunha poboación de berberecho afectado pola marteiliose é fundamental tamén ter en conta a posible existencia doutras causas que poidan interferir na súa recuperación. Se isto pasase, na estratexia de recuperación habería que considerar a súa redución ou mesmo a súa eliminación.

Entre os factores que afectan negativamente as poboacións de moluscos, sós ou en combinación, inclúense a sobrepesca, a degradación ou destrución do hábitat, a degradación da calidade da auga, as enfermidades e os niveis elevados de depredación. Tamén é preciso ter en conta a influencia que os efectos do cambio climático supoñen para o desenvolvemento sostible das poboacións de berberecho e doutros moluscos no litoral galego. Obviamente, no desenvolvemento dunha estratexia de recuperación de poboacións de berberecho afectadas por marteiliose, igual que en calquera caso, faise preciso implementar medidas específicas para neutralizar ou mitigar os efectos doutras causas que contribuíron á diminución da poboación (Brumbaugh et al., 2006).

No caso de que se sospeite da existencia de sobrepesca sobre a poboación diana, é preciso revisar a xestión que se fai do recurso. Non obstante, cando nos atopamos coa diminución da poboación de berberecho pola incidencia dunha enfermidade como a marteiliose, aínda cando o recurso está xestionado e hai un certo control dos parámetros que afectan a evolución da explotación (número de unidades recolledoras, número de días de extracción, cotas de captura, tamaño mínimo de captura, ...) e ademais hai un seguimento deles no tempo, pode ser necesario revisar eses parámetros para contribuír á mellora da eficiencia do plan de recuperación. Se a explotación do recurso non está minimamente xestionada, deberíamos pensar se paga a pena o esforzo de tentar a recuperación do banco.

En determinadas circunstancias pode haber unha extracción de recurso fóra do control da xestión –caso do furtivismo-, pero mesmo nestes casos é habitual coñecer a súa existencia e, aínda que non sexamos capaces de coñecer a súa dimensión exacta, podemos facernos unha idea aproximada dela e, polo tanto, chegar a valorar se esta extracción fóra de control pode influír de forma irreversible na imposibilidade da recuperación poboacional.

Outros factores que inflúen directamente na eficacia da recuperación dunha poboación son a alteración do substrato que ocupa, así como a da columna de auga inmediata á súa localización que lles permita respirar e alimentarse, isto é, a degradación do seu hábitat.

No canto da implementación dun plan de recuperación hai que ter claro que é posible controlar aquelas alteracións causadas directamente pola acción humana (achegas e/ou retirada de areas en bancos marisqueiros ou zonas próximas, obras realizadas na

costa que modifican a circulación costeira ou mesmo ocupan superficies produtivas, presenza de verteduras puntuais ou crónicas que introducen novos elementos na columna de auga ou modifican substancialmente as concentracións dos xa presentes de forma natural), pero é inviable controlar a incidencia de causas naturais (aumento da pluviosidade que pode provocar unha baixada brusca da salinidade, riadas que provoquen a chegada de materiais diversos e materia en suspensión provocando a súa acumulación sobre o banco marisqueiro, así como o aumento da turbidez da auga, os incendios forestais onde as cinzas e os ramallos queimados poden ser arrastrados por acción do vento e da chuvia e depositados na zona que se vai recuperar) e os efectos do cambio climático.

As posibles alteracións na columna de auga serán detectadas a través do seguimento de diferentes indicadores polo que se debe prestar especial atención á cantidade de osíxeno disolto, á presenza de materiais contaminantes e á salinidade. O osíxeno disolto é imprescindible para a respiración dos organismos bentónicos, por iso, cando diminúe ata os límites da hipoxia -ou mesmo a anoxia- entra en risco a viabilidade das poboacións. A diminución do contido de osíxeno disolto nunha determinada localidade pode deberse a unha achega insuficiente debido á falta de circulación, ou a un exceso de consumo pola respiración dos organismos heterótrofos presentes. A polución, habitualmente de orixe antrópica, introduce no medio sustancias alleas ou propias pero en concentracións anómalas que poden provocar dano directo sobre os organismos ou ben producir a medio prazo alteracións no medio, e habitualmente está orixinada por verteduras episódicas ou crónicas.

A alteración máis frecuente da salinidade é a súa baixada por unha achega intensa de auga doce, especialmente perigosa cando a capa superficial menos salina é grosa e chega a entrar en contacto co substrato nalgún momento do ciclo da marea. Estas flutuacións de salinidade poden orixinar altas mortalidades nas poboacións de berberechos (Parada et al., 2012). Tamén podería producirse un aumento local desta por evaporación de masas de auga relativamente pequenas illadas da circulación principal e con pouco contacto coas augas circundantes.

En canto á calidade do sedimento, as especies infaunais aséntanse sobre substrato sedimentario, tendo cada unha preferencias e límites de tolerancia sobre todo no relativo ao tamaño do gran e ao estado de oxidorredución.

Un factor importante que ten influencia no desenvolvemento dos recursos pesqueiros e marisqueiros galegos é o efecto do cambio climático. O cambio climático é un proceso dificilmente controlable á escala de actuación dun programa de recuperación de bancos marisqueiros e só abordable a escala global. Porén, debe ser tido en conta na xestión, que debe adaptarse a este feito.

Os efectos do cambio climático que poden interferir no desenvolvemento das poboacións de berberecho inclúen cambios na temperatura da auga, a acidificación do mar e os eventos extremos como tormentas e mareas vermellas.

O aumento da temperatura da auga pode ter impactos significativos no berberecho xa que esta especie é moi sensible aos cambios na temperatura e o seu ciclo de vida está estreitamente relacionado coas condicións térmicas da auga. O incremento da temperatura da auga pode acelerar o seu ciclo de vida ao verse afectada a temperatura ideal para a reprodución, influíndo na época de desova, o que afectaría a sincronización cos ciclos de alimentación e a dispoñibilidade de alimentos para as larvas. Así mesmo, non se pode ignorar o feito de que o estrés térmico os fai máis susceptibles á depredación e enfermidades (Domínguez et al., 2023).

Outra das consecuencias do cambio climático é a acidificación do mar, fenómeno provocado polo aumento de dióxido de carbono na atmosfera, que se disolve na auga do mar. Esta maior disposición de dióxido de carbono conduce á formación de ácido carbónico, o que reduce o pH da auga e aumenta a súa acidez. A acidificación da auga fai que haxa menos ións de carbonato dispoñibles na auga, dificultando a construción e o mantemento da cuncha, así mesmo as larvas e xuvenís son máis sensibles aos cambios na química da auga, afectando negativamente o seu desenvolvemento e as súas taxas de supervivencia. Por outra banda, un ambiente mariño máis acedo pode debilitar o sistema inmunolóxico do berberecho, reducindo a súa capacidade para resistir ou tolerar infeccións.

Se durante o período no que se está levando a cabo o plan de recuperación da poboación de berberecho afectada pola marteiliose se produce a incidencia dun evento climatolóxico extremo, máis probables pero non exclusivos neste marco de cambio climático, como o caso dunha tormenta con choivas, ventos fortes e ondada, pódese provocar unha diminución significativa da poboación de berberechos debido á mortalidade directa. A baixada da salinidade nas zonas estuáricas producida por unha achega importante de auga doce durante un episodio de fortes choivas ou riadas orixina estrés nas poboacións, que pode conducir á redución da capacidade do sistema inmunolóxico. As ondas poden arrastrar os berberechos fóra do seu hábitat e deixalos varados na costa, o que os expón a condicións desfavorables e aos depredadores. Así mesmo, as tormentas poden causar cambios no hábitat do berberecho de forma que as correntes de auga e as marusías alteren a distribución dos sedimentos no fondo do mar, afectando as áreas onde se atopa a poboación de berberecho. Isto pode derivar nunha diminución da dispoñibilidade de alimentos e refuxios ou en enturbar a auga e reducir a dispoñibilidade de luz para o fitoplancto, unha importante fonte de alimento para os berberechos, o que afectaría a supervivencia da poboación.

As mareas vermellas son fenómenos naturais que ocorren cando certas especies de microalgas mariñas se reproducen e se multiplican de maneira excesiva. O máis frecuente é que as microalgas que proliferan sexan produtoras de toxinas, polo que se fala de floracións de algas nocivas. Os efectos do cambio climático e outras actividades humanas poden influír na frecuencia e na intensidade das mareas vermellas. Polo seu tipo de alimentación, os berberechos poden inxerir grandes cantidades destas microalgas tóxicas durante os episodios de floracións masivas; as toxinas acumúlanse nos tecidos dos berberechos, ocasionándolles trastornos fisiolóxicos aos propios berberechos, máis acusados en larvas e xuvenís que en adultos, mesmo letais. Ademais, a presenza destas toxinas nos tecidos dos berberechos fainos perigosos para o consumo humano; cando isto ocorre, prohíbese a extracción deste recurso co conseguinte prexuízo económico para as persoas que viven do marisqueo.

No seguimento do plan de recuperación de bancos naturais de berberechos afectados por marteiliose é importante facer un control da afección dos factores vinculados ao cambio climático coa finalidade de adiantarse ás consecuencias que o impacto destes factores pode ter nas poboacións dos bancos naturais obxecto de extracción e consideralos nas futuras estratexias de xestión e conservación.

Outro factor que hai que ter en conta no plan de recuperación é a incidencia de organismos depredadores. Múltiples especies, tanto de invertebrados (caracois, cangrexos, estrelas de mar,...) como de vertebrados (peixes e aves) actúan como depredadores, exclusivos ou facultativos, dos bivalvos infaunais que forman os bancos marisqueiros, e poden contribuír a aumentar as perdas de berberechos achegados, comprometendo o éxito da recuperación (van der Heide et al., 2014; Wilcox & Jeffs 2019). Aínda que a presenza dos depredadores no banco é natural e xoga un claro papel ecolóxico, cando esta presenza é equilibrada non debería causar problemas. En caso de desequilibrio, sempre debemos pensar no seu control e nunca na súa eliminación.

Unha maneira de minimizar as perdas debidas a depredadores nas parcelas ou áreas nas que se sementan moluscos infaunais é cubrir o terreo con redes de protección, a modo de barreira (Cigarría & Fernández, 2000; Beal & Kraus, 2002; Tan & Beal, 2015). Non obstante, a utilización de redes protectoras é cuestionada para o caso do berberecho. En concreto, como o berberecho ten sifóns moi curtos, isto fai que se enterre moi cerca da superficie do substrato, a menor profundidade que outras especies infaunais; ademais, os berberechos móvense máis que outras especies infaunais. Por tanto, as redes protectoras poden dificultar tanto a alimentación como os desprazamentos dos berberechos, limitando a supervivencia da poboación.

Alternativamente, poderíanse empregar trampas para atrapar os depredadores no caso de que estes fosen un problema serio. Non obstante, é importante ter un coñecemento claro de que a especie sobre a que se pretende actuar é realmente

depredadora e non simplemente preeira, para non gastar recursos de forma innecesaria e mesmo alterar o equilibrio do ecosistema ao retirar individuos que poden ter un papel clave ao alimentarse de carnaza.

O estado de salubridade dos berberechos na zona obxecto de recuperación ha de ter unha atención especial á hora de deseñar a estratexia de recuperación. No caso de que a zona que se vai recuperar estea afectada por unha enfermidade severa do berberecho, como pode ser a marteiliose, os berberechos que se acheguen deben ser resistentes á patoloxía detectada para evitar unha mortaldade masiva en caso de utilizar berberechos susceptibles. Polo tanto, os berberechos empregados na recuperación da zona afectada teñen que ser recollidos doutra zona na que se saiba que os berberechos son resistentes a esa enfermidade en particular, ou ben teñen que ser producidos dentro dun programa de cría selectiva para aumentar a resistencia a esa enfermidade (Villalba & Martínez, 2021).

Un grave risco que hai que evitar, se se opta pola opción do traslado de berberechos recollidos noutras zonas, é a introdución de patóxenos ausentes na zona que se vai recuperar e nas zonas veciñas. Este risco será maior se os berberechos se recollen de zonas moi afastadas da área de destino.

3. ASPECTOS BIOLÓXICOS E ECOLÓXICOS BÁSICOS DO BERBERECHO *Cerastoderma edule* IMPORTANTES PARA O DESEÑO DE PROGRAMAS DE RESTAURACIÓN

O berberecho *Cerastoderma edule* é unha das especies de bivalvos máis comúns e amplamente distribuída ao longo da costa atlántica europea. A súa área de distribución esténdese desde Noruega a Portugal e prolóngase polo NO de África ata Senegal.

O coñecemento da bioloxía e do ciclo de vida do berberecho é cuestión chave á hora de deseñar un plan de recuperación da súa poboación. Comprender estes aspectos é esencial para desenvolver estratexias efectivas de conservación e xestión. Trátase dunha especie infaunal que vive moi próxima á superficie do sedimento en fondos de area limpa ou lodosa, tanto no intermareal como no infralitoral superficial de esteiros, praias protexidas e lagoas costeiras (Maia et al., 2021), onde se enterra, respirando e alimentándose da auga que move a través de dous sifóns curtos. Os berberechos poden chegar a acadar densidades superiores ao milleiro de individuos por metro cadrado (Gam et al., 2010; Van Colen et al., 2010), pero a súa abundancia varía considerablemente tanto temporal como espacialmente (Beukema, 1979; Reise, 1985; Jensen, 1992; Strasser et al., 2001). De acordo con Boyden & Russell (1972) e Brock (1980), as condicións ambientais apropiadas para *C. edule* oscilan entre un mínimo de 10ºC e un máximo de 20ºC de temperatura da auga do mar, e entre 10-14 e 35 psu de salinidade, e poden soportar bruscas variacións de salinidade e temperatura de curta duración. Non obstante, salinidades inferiores a 15 psu durante tres días consecutivos poden causar mortaldades moderadas de berberechos (Parada et al., 2012). A adaptación deste molusco a unha grande variedade de hábitats intermareais e estuáricos, xunto coa súa capacidade de filtración, convérteno nun compoñente importante dos ecosistemas costeiros. Adoita presentar unha distribución en agregados (Dabouineau e Ponsero, 2009).

A condición dos berberechos de seren suspensívoros oportunistas resulta vantaxosa xa que limita a competencia interespecífica polo alimento. Son capaces de adaptar a produción de enzimas dixestivos á cantidade e calidade do alimento. O proceso dixestivo presenta dúas fases, a primeira extracelular, na que intervén o estilo cristalino, seguida da fase intracelular no interior da glándula dixestiva (Malham et al., 2012).

Como ocorre coa maioría dos bivalvos, *C. edule* é unha especie gonocórica, é dicir, que presenta sexos separados, se ben sen diferenzas morfolóxicas externas entre machos e femias, que sincronizan o seu desenvolvemento gonadal. A fecundación é externa, liberan os gametos a través do sifón exhalante e as larvas permanecen na columna de auga durante uns 30 días (Creek, 1960), o que permite a súa dispersión polas correntes mariñas en máis de 100 km (Coscia et al., 2020). Os berberechos presentan unha

relación entre sexos próxima a 1:1 (Iglesias, 2006; Malham et al., 2012), aínda que pode haber desviación a favor das femias (Maia et al., 2021).

O ciclo reprodutivo do berberecho presenta variacións tanto a escala global como a escala local. Se atendemos á totalidade da súa área de distribución -escala global-, nas poboacións máis setentrionais é frecuente observar rápidas fases de maduración durante a primavera seguidas dun curto período de desova entre os meses de maio e xullo; en tanto que nas poboacións máis meridionais a gametoxénese se inicia en outono e a posta adiántase ao período marzo – abril. A unha escala local, os individuos que ocupan unha posición máis baixa na banda intermareal maduran antes que os situados en posicións máis altas da mesma banda (Martínez-Castro e Vázquez, 2012). En Galicia, máis concretamente nas Rías Baixas, Iglesias (2006) observou un padrón de desenvolvemento gonadal común para tres bancos marisqueiros, os do Carril e Camaxe, na ría de Arousa, e o de Misela, na ría de Muros-Noia. O padrón supoñía o inicio da gametoxénese en outono e o seu progreso durante o inverno. A madurez gonadal acadábase na transición inverno-primavera e a desova acontecía a principios de primavera, seguida de restauración gonadal, que conducía á madurez e unha nova desova a finais da primavera - inicio do verán. A mediados do verán comezaba a reabsorción da gónada e cara ao final do verán-inicio do outono a gónada mantíñase en repouso. Martínez-Castro e Vázquez (2012) describiron un ciclo gonadal similar en dous bancos marisqueiros da ría de Vigo, os da Xunqueira (Moaña) e Punta do Cabo (enseada de San Simón). Sen embargo, Iglesias (2006) observou un padrón diferente nun banco marisqueiro das Rías Altas, o de Villabril na ría do Barqueiro, onde a progresión da gametoxénese se estendía ata a primavera e a madurez gonadal non se acadaba ata mediada a primavera. Como consecuencia, a desova de primavera temperá detectada nas Rías Baixas non tivo lugar en Villabril e o período de desova estendeuse dende mediados da primavera ata o outono. Este padrón asegura que o desenvolvemento larval aconteza coincidindo cunha dispoñibilidade axeitada de alimento e unha temperatura moi favorable.

As femias producen un gran número de ovos de pequeno tamaño que deixan de ser viables de non seren fecundados entre as catro ou oito horas seguintes á súa liberación (André e Lindegarth, 1995). Tras a fertilización, o desenvolvemento larval é peláxico, como parte do zooplancto e cunha estratexia planctotrófica, o que supón que a larva ten capacidade de inxerir alimento presente no medio e que lle confire unha capacidade de dispersión ampla. Os ovos fecundados desenvólvense formándose primeiro unha larva chamada trocófora e logo a larva velíxer. Nesta última comeza a desenvolverse a cuncha, pasando primeiro pola fase de larva en D, logo, conforme a larva cambia de forma, pola fase de larva umbonada; finalmente na fase de larva pedivelíxer desenvólvese un órgano chamado pé e, cun tamaño de entre 250 e 350 μm de lonxitude, a larva comeza a explorar o substrato producíndose a continuación a súa fixación. Deseguido sofre un fenómeno de metamorfose, desaparecendo parte das estruturas larvais, ao mesmo tempo que aparecen outras novas e se reordenan as xa

existentes. Por último, prodúcese unha secreción da cuncha definitiva (Pérez-Camacho e Román, 1987) (fig. 3).

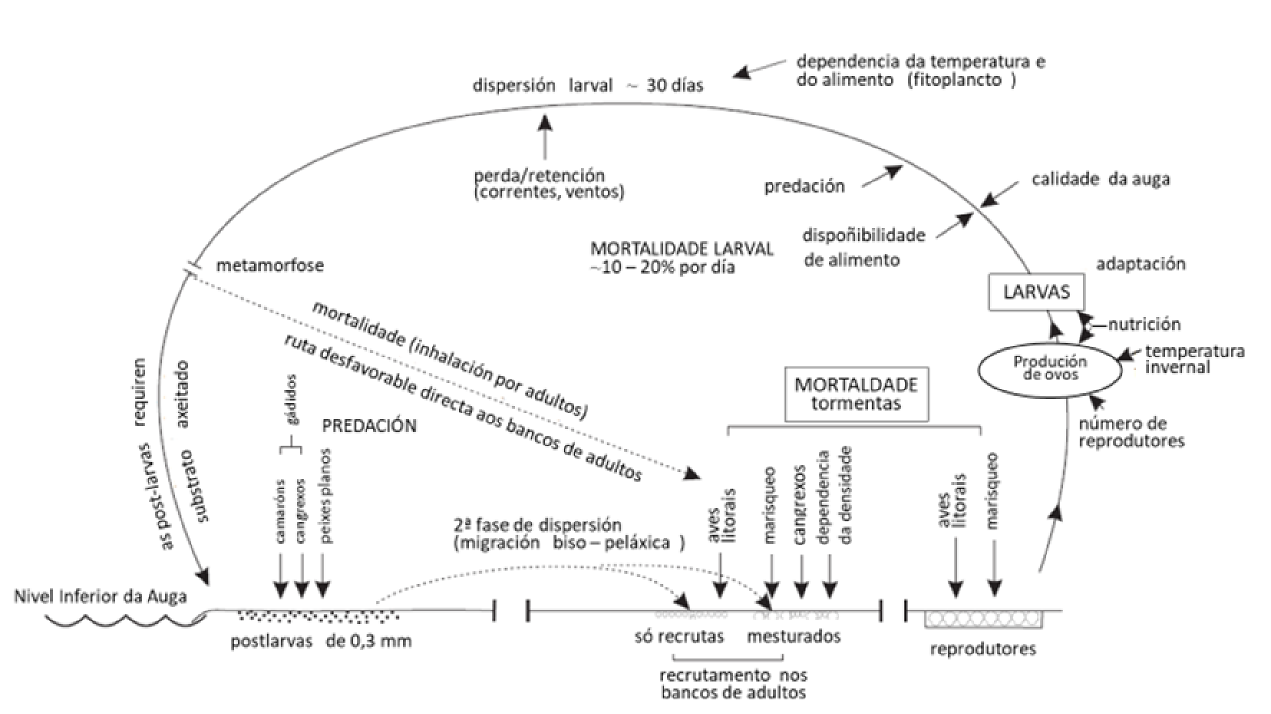

Figura 3. Ciclo de vida de *Cerastoderma edule* (adaptado de Dare et al., 2004).

O potencial de desprazamento dos adultos é reducido (100-1000 m) polo que a dispersión dos individuos ten lugar principalmente durante a etapa larval peláxica. O asentamento larval e recrutamento teñen grande influencia na dinámica poboacional da especie e varían en función de diferentes factores, entre eles a localización xeográfica, variacións climáticas e estacionais (Ducrotoy et al., 1991) e densidade poboacional (André et al., 1993). Ademais, o asentamento non se produce nun único momento, senón que sucede en varias etapas. No caso de que as condicións dun lugar non sexan adecuadas para o asentamento, os individuos recentemente fixados (0,5-3,5 mm) poden desenvolver un biso que lles permite aumentar a súa superficie e con iso a súa flotabilidade. Desta forma son arrastrados polas correntes en busca de novas zonas de asentamento (de Montaudouin, 1997).

O tempo de vida dun berberecho pode acadar entre os dous e os catro anos (Dabouineau and Ponsero, 2009), aínda que en determinadas poboacións con condicións favorables podería chegar aos seis anos (Malham et al., 2012). O berberecho ten un crecemento máis rápido durante os primeiros dous anos de vida, e logo faise máis lento (Dabouineau e Ponsero, 2009); ademais o crecemento presenta un clara influencia estacional (Malham et al., 2012), é maior na primavera e no verán e menor no outono, e detense case por completo no inverno. O tamaño de primeira maduración -aquel no que o 50% dos individuos dunha poboación están sexualmente maduros- foi establecido en 19,5 milímetros a partir da observación de exemplares de cinco bancos naturais de Galicia, e o tamaño de maduración masiva -aquel no que están maduros o 95% dos individuos da poboación- en 24,1 milímetros (Iglesias, 2010).

A partir desta información estableceuse a lonxitude de 25 mm como tamaño mínimo para a captura desta especie en Galicia (DOG 226 do 27/11/2012). En Galicia o berberecho acada o tamaño mínimo comercial de 25 mm durante os 10 – 15 primeiros meses de vida (Mejuto, 1984a,b; Pérez-Camacho e Román, 1984; Varela-Baños e Parada, 2023).

Así pois, *Cerastoderma edule* é unha especie que madura rapidamente, ten unha alta taxa de fecundidade, cun ciclo de vida relativamente curto e un recrutamento e tamaño das poboacións moi variable. Esta combinación de factores no ciclo de vida é característico de especies que están máis controladas pola súa capacidade reprodutiva que pola capacidade de adaptación a variables ambientais (Krebs, 2014). Polo tanto, as poboacións de berberecho tenden a ser inestables co tempo, variando amplamente en resposta a situacións das condicións ambientais favorables ou desfavorables (Dare et al., 2004). Este punto é fundamental á hora de deseñar unha estratexia de recuperación desta especie.

4. ASPECTOS EPIDEMIOLÓXICOS DA MARTEILIOSE

Os estudos epidemiolóxicos analizan os padróns de ocorrencia dunha enfermidade, baseándose na premisa de que as enfermidades a nivel poboacional non ocorren ao azar ao longo do tempo ou do espazo (Cameron, 2002). A través da análise destes padróns poden identificarse factores que determinan o desenvolvemento das enfermidades, como son a influencia das variables ambientais e as interaccións entre o axente causal e o hóspede. Este coñecemento resulta fundamental para a prevención e o control das enfermidades. Posto que os procedementos de restauración que se describen neste documento se dirixen á recuperación de bancos asolados pola marteiliose, cómpre sintetizar o coñecemento adquirido ate o momento sobre aspectos epidemiolóxicos da marteiliose que afecta ao berberecho *C. edule* de Galicia. Esta información será clave no deseño destes procedementos.

4.1. Factores do axente etiolóxico

A marteiliose é unha enfermidade causada pola infección co parasito *Marteilia cochillia* (Carrasco et al., 2013; Villalba et al., 2014). *M. cochillia,* ao igual que o resto de parasitos do xénero *Marteilia,* é un protista pertencente ao orde Paramyxida, dentro do grupo Rhizaria, que se caracteriza pola súa estrutura de células dentro de células na que se producen esporas tricelulares. O estadio máis simple do parasito que se observa no berberecho é unha célula primaria que contén no seu citoplasma unha célula secundaria. O desenvolvemento a partir deste estadio supón a división das células secundarias ata producir oito secundarias dentro da primaria. Cada célula secundaria evoluciona por sucesivas cariocineses e tabicamento de porcións do citoplasma arredor de cada núcleo, formándose seis células terciarias dentro de cada célula secundaria. Nas células terciarias, o núcleo divídese e o citoplasma tabícase dando lugar a unha estrutura tricelular, denominada frecuentemente espora, consistente nun esporoplasma nucleado externo que contén o esporoplasma nucleado intermedio, que á súa vez contén o esporoplasma nucleado interno (fig. 4). Non se coñece a parte do ciclo de vida do parasito que transcorre fóra do berberecho aínda que se supón que é un ciclo indirecto, xa que non parece que se produzan transmisións directas de berberecho a berberecho, e parece que pode incluír copépodos zooplanctónicos como hóspedes intermediarios. Existe a sospeita de que o copépodo *Paracartia grani* pode ser susceptible tamén a *M. cochillia,* e podería estar implicado, como hóspede intermediario, no ciclo de vida do parasito (Carballal et al., 2019), pero este aspecto non está aínda confirmado.

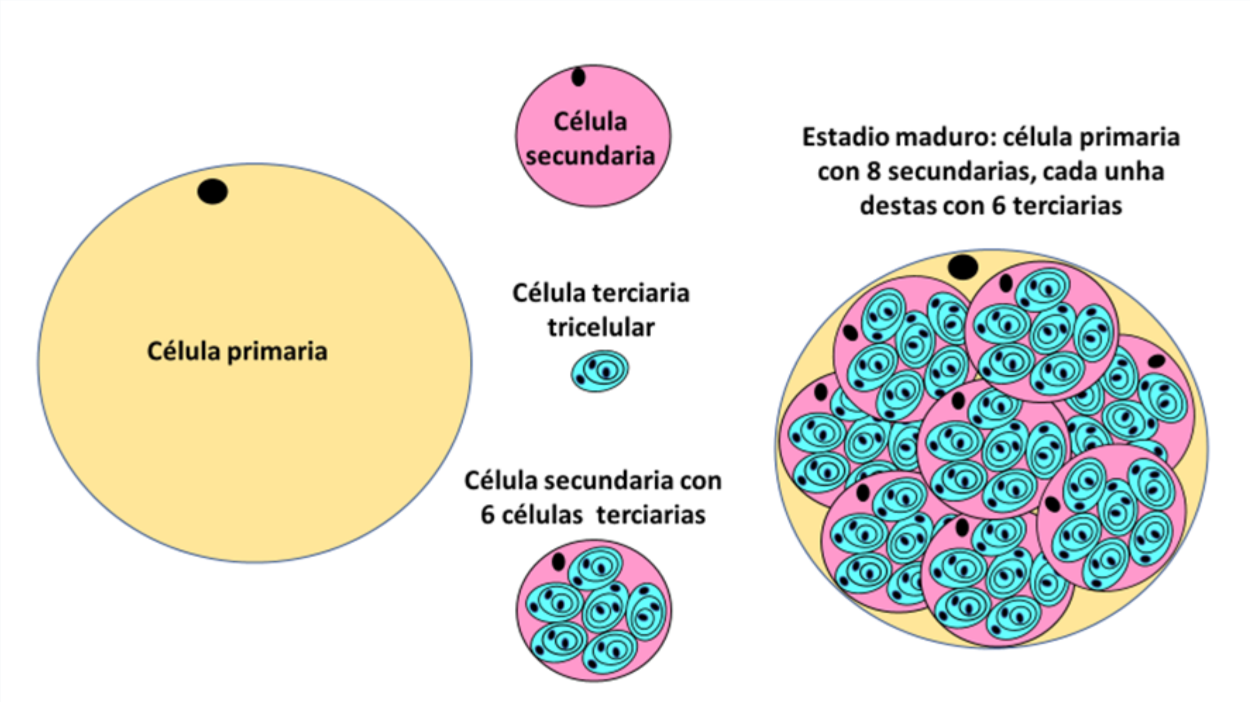

Figura 4. Esquema da ultraestrutura do estadio maduro de *Marteilia cochillia* (dereita). Cada tipo celular aparece representado esquematicamente na metade esquerda da imaxe.

4.2. Factores do hóspede

4.2.1. Especies/estados susceptibles

Marteilia cochillia infecta o berberecho *C. edule*, acada niveis epidémicos e orixina mortaldades masivas (Villalba et al., 2014). Polo contrario, a especie conxénere *Cerastoderma glaucum* (berberecho birollo) parece resistente á infección por este parasito (Carballal et al., 2016). Como consecuencia dun proceso de selección natural (Iglesias et al., 2023b; Villalba et al., 2023), na ría de Arousa existen individuos de *C. edule* con xenotipos que confiren maior resistencia á marteiliose (Pampín et al., 2023). Xuvenís e adultos de *C. edule* son igualmente susceptibles, polo que o tamaño e a idade non son factores determinantes para o desenvolvemento da enfermidade (Iglesias et al., 2023a). O sexo tampouco inflúe na susceptibilidade, xa que a marteiliose afecta por igual machos e femias. Habitualmente os individuos con estados avanzados da enfermidade presentan sexo indeterminado, debido a que a enfermidade inhibe a gametoxénese ou mesmo provoca castración (Iglesias et al., 2023a).

4.2.2. Órganos diana e tecidos infectados

A glándula dixestiva do *C. edule* é o órgano diana de *M. cochillia,* no que se desenvolve o proceso de produción de esporas deste parasito. Iglesias et al. (2023a) distinguiron catro etapas na progresión da infección, en función do estadio predominante do parasito e do volume da glándula dixestiva colonizada polo parasito. Na etapa avanzada da infección os epitelios da glándula dixestiva aparecen completamente

colonizados por estadios desenvolvidos (maduros) do parasito (fig. 5). Finalmente os parasitos libéranse ao lumen dixestivo ata chegaren ao lumen intestinal, onde se acumulan en grandes masas (Iglesias et al., 2023a). Dende aquí, as masas de esporanxios e esporas do parasito evacúanse ao exterior en forma de fíos brancos, a diferenza das feces que son verdosas (Darriba et al., 2020), descoñécese o seu destino unha vez liberados.

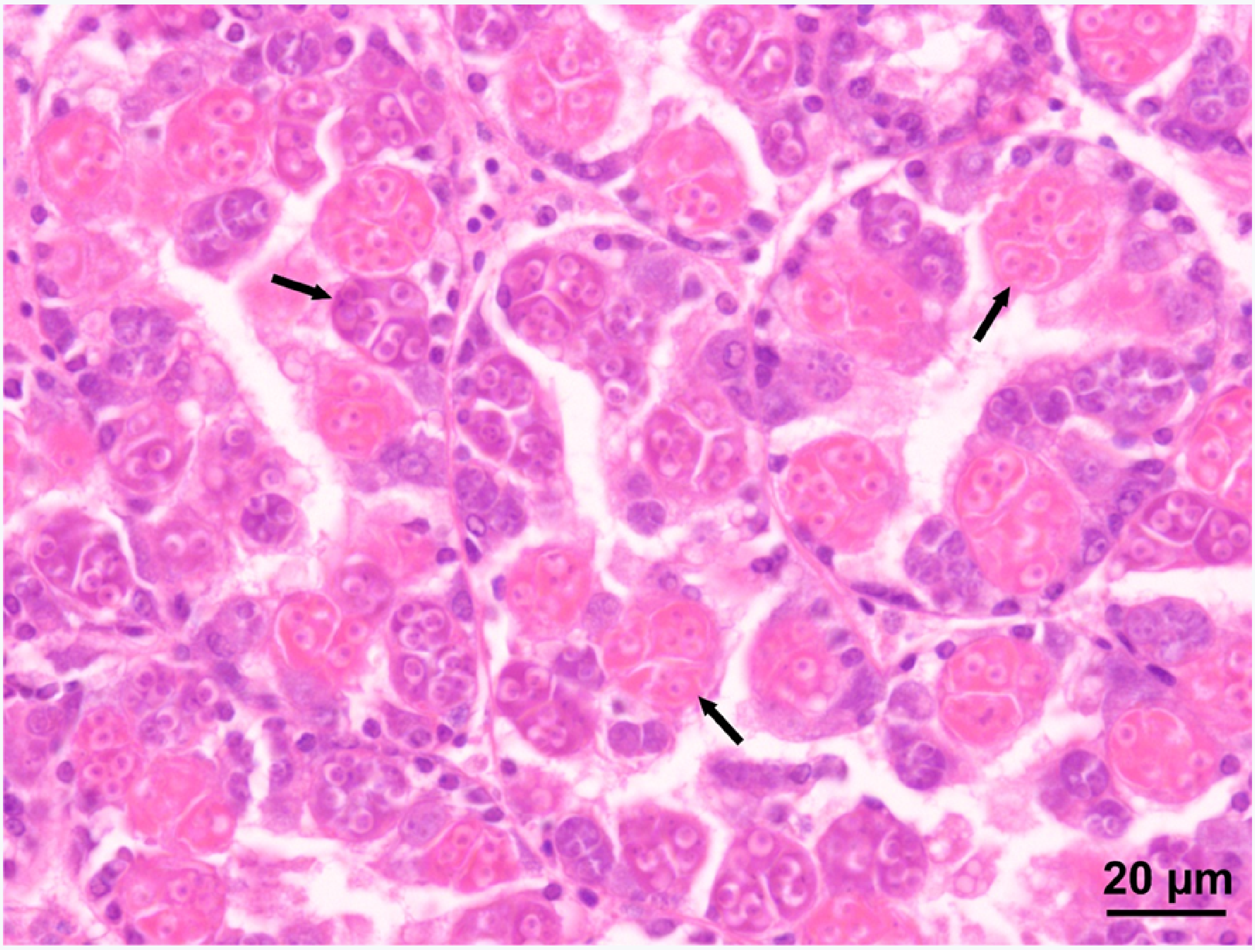

Figura 5. Fotografía con microscopio óptico dun corte histolóxico da glándula dixestiva dun berberecho cunha infección por *Marteilia cochillia* en fase avanzada. O epitelio dos túbulos dixestivos aparece completamente colonizado por estadios maduros ou preto da madurez do parasito (setas). Tinguidura con hematoxilina de Harris e eosina.

4.2.3. Patoxenicidade individual

A proliferación do parasito na glándula dixestiva do berberecho causa a completa destrución dos divertículos dixestivos do hóspede, o que conduce á súa morte por inanición. Un efecto subletal desta infección é a redución da fecundidade do berberecho porque o hóspede non ten enerxía para a dedicar á gametoxénese ou mesmo pode recorrer ás reservas inicialmente destinadas a fornecer de enerxía á gametoxénese para atender outras prioridades, provocando como xa se mencionou a inhibición da gametoxénese ou mesmo a castración do berberecho (Iglesias et al., 2023a).

4.3. Padróns da enfermidade

4.3.1. Distribución xeográfica

Ate o de agora tense detectado *Marteilia* sp. en poboacións de berberecho de Francia, Cataluña, Galicia, Andalucía e Portugal (segundo a orde cronolóxica dos reportes).

- Francia: parasitos *Marteilia* sp. foron descritos por primeira vez infectando berberechos *C. edule* da Bretaña francesa en 1975 (Comps et al., 1975). Aínda que nesta primeira cita a descrición morfolóxica era demasiado parca, os escasos detalles morfolóxicos proporcionados asemellábanse moito ao informado para *M. cochillia* (Villalba et al., 2014).

- Cataluña: *M. cochillia* foi detectada e descrita por vez primeira infectando berberechos do delta do Ebro (costa Mediterránea) en 2008 durante un evento de elevada mortalidade (Carrasco et al., 2013).

- Galicia: en 2012 e 2013 identificouse *M. cochillia* como responsable do declive das poboacións de berberecho *C. edule* nas rías de Arousa, Pontevedra e Vigo (Villalba et al., 2014; Iglesias et al., 2015). Non se teñen detectado brotes de marteiliose no resto da costa galega, é dicir, en poboacións de berberecho situadas máis ao norte da ría de Arousa.

- Andalucía: *M. cochillia* foi detectada con prevalencias moi baixas tamén en poboacións de *C. edule* da costa de Huelva (Navas et al., 2018).

- Portugal: No seo do proxecto Interrg Cockles informouse da detección de *M. cochillia* en mostras de *C. edule* das rías de Aveiro e de Formosa (de Montaudouin et al., 2021).

4.3.2. Dinámica espazo-temporal da marteiliose do berberecho en Galicia. Factores determinantes

Dende a súa detección en 2012, a marteiliose caracterizouse por presentar brotes epidémicos anuais que acadaban prevalencias moi elevadas e orixinaban mortaldades masivas de cada unha das cohortes anuais recrutadas. Isto conducía á práctica desaparición do stock de berberecho antes de que acadase o tamaño comercial, o que impedía a recuperación do marisqueo de berberecho. No entanto, recentemente, a prevalencia e a mortalidade dos hóspedes tendeu a reducirse debido a un aumento da resistencia mediante selección natural (Iglesias et al., 2023a,b; Villalba et al., 2023). O incremento da resistencia do berberecho á marteiliose na ría de Arousa fíxose evidente en poucos anos. A rapidez coa que operou a selección natural debeuse a intensa presión selectiva da marteiliose, cunha letalidade moi elevada para xuvenís e adultos. A letalidade elevada nas etapas xuvenís supuxo que os berberechos susceptibles morrían antes de acadar a madurez gonadal (non se reproducían) e só os escasos berberechos que conseguían evitar a infección pola súa resistencia contribuían á desova e á produción da cohorte seguinte. Ademais, o feito de que o berberecho acade a madurez gonadal de forma moi temperá durante o primeiro ano de vida

(Mejuto, 1984; Pérez Camacho & Román, 1984; Iglesias, 2010; Maia et al., 2021), determina unha sucesión moi rápida de novas xeracións (cohortes).

Na ría de Arousa existe un gradiente interior – exterior na dinámica da marteiliose, de xeito que cada brote anual da enfermidade se detecta antes na zona interna da ría e posteriormente na zona exterior. Este padrón non parece ligado a unha diferenza nas condicións ambientais de salinidade e temperatura e hipoteticamente podería responder a diferenzas espaciais na abundancia de estados infectivos do parasito en relación con diferenzas espaciais na dinámica poboacional dun presumible hóspede intermediario presente no zooplancto (Iglesias et al. 2023a). A dinámica e a severidade dos brotes de marteiliose son independentes da densidade de poboación de berberecho nos bancos afectados (Iglesias et al., 2023a). Isto sustenta a hipótese de que non se produce infección directa de berberecho a berberecho e de que o ciclo de vida require de, polo menos, un hóspede intermediario.

O nivel mareal dos bancos de berberecho (intermareal ou submareal) non se ten identificado como un factor de risco para o desenvolvemento da enfermidade. Tampouco se constatou unha relación causal entre as variacións da temperatura e a salinidade coa dinámica da enfermidade.

4.4. Control e prevención

As estratexias de sanidade animal para enfrontar enfermidades empregadas habitualmente en sistemas terrestres, como a erradicación da enfermidade mediante baleirado sanitario, o emprego de produtos terapéuticos ou a vacinación, non son estratexias válidas para a xestión de enfermidades de invertebrados mariños, o que é aplicable á marteiliose. A rexeneración de bancos empregando estirpes de berberecho resistentes á marteiliose parece a única opción viable nas zonas nas que a marteiliose é endémica. Nas zonas libres da enfermidade, a prevención para evitar a súa introdución resulta fundamental. Para isto cómpre facer un seguimento do estado sanitario das poboacións de berberecho para clasificar a nivel zoosanitario as zonas de produción e evitar a introdución en zonas libres de marteiliose de moluscos procedentes de zonas afectadas. O éxito dun programa de prevención deste tipo baséase no correcto deseño e execución dun programa de vixilancia activa, no que o tipo mostraxe e a técnica diagnóstica empregada son factores clave.

4.5. Detección da enfermidade: mostraxe e diagnóstico

4.5.1. Tipo de mostraxe, selección de individuos

Nun programa de vixilancia activa deseñado para a detección dunha enfermidade, a mostraxe deberá incluír aqueles individuos da poboación que teñen maior probabilidade de estaren enfermos. Así, a análise daqueles individuos de aspecto débil, como aqueles que aparezan desenterrados sobre o substrato coas valvas entreabertas *(gapers)* ou procedentes de zonas con mortalidade elevada maximizará a

probabilidade de detección de problemas patolóxicos. Cómpre destacar, no entanto, que se debe evitar incluír nas mostras individuos moribundos ou mortos pois os tecidos estarán moi degradados e impedirán unha correcta análise mediante técnicas histolóxicas e, ademais, moi probablemente presentarán infeccións secundarias, oportunistas, asociadas á extrema debilidade previa á morte ou á degradación *post-mortem*. Ademais, é imprescindible apañar tamén individuos enterrados no substrato (situación esperable dos individuos sans) que servirán de referencia para interpretar adecuadamente as diagnoses.

Cómpre destacar que nunca se deben empregar os resultados da análise de individuos recollidos mediante unha mostraxe dirixida (tendente) á detección da enfermidade para o cálculo de prevalencias, pois isto conducirá a unha sobreestimación da presenza da enfermidade na poboación. No caso de estudos dirixidos a avaliar os niveis da enfermidade na poboación, débense empregar sempre métodos de mostraxe que aseguren que todos os individuos da poboación, independentemente da súa condición de saúde, teñen a mesma probabilidade de seren incluídos na mostra, é dicir, mostraxes ao azar.

Outro factor clave dun programa de vixilancia é o tamaño da mostra que se vai analizar. Este vai depender especialmente da prevalencia da enfermidade na poboación natural, da porcentaxe de erro que esteamos dispostos a asumir e da fiabilidade da técnica diagnóstica. Neste senso sería ideal apañar as mostras naquelas épocas do ano nas que a prevalencia da enfermidade é máxima e empregar a técnica diagnóstica máis idónea para os obxectivos propostos. Existen táboas e programas de cálculo que consideran estas variables e poden asistirnos na decisión do número de exemplares que se van analizar co fin de asegurar a detección da enfermidade.

No caso da marteiliose que afecta o berberecho en Galicia, a época ideal para a detección da enfermidade é a mediados ou finais do inverno (xaneiro-marzo), xa que as prevalencias máximas dos brotes anuais se detectan nesta época (Iglesias et al., 2023a). Factores individuais como a idade, o tamaño ou o sexo dos berberechos non afectan a probabilidade de detección da marteiliose.

4.5.2. Métodos de diagnóstico

4.5.2.1. Observación macroscópica e sintomatoloxía clínica

Non existen signos macroscópicos específicos da infección do berberecho *C. edule* por *M. cochillia*. Síntomas de debilidade como valvas entreabertas que se pechan moi lentamente ao contacto e/ou problemas de enterramento son comúns tamén a outro tipo de infeccións parasitarias. Moitos berberechos presentan glándulas dixestivas pálidas e de aspecto acuoso cando están afectados por infeccións moi intensas por *M. cochillia*. Con todo, ningún destes signos é específico da marteiliose.

4.5.2.2. Técnicas microscópicas

Trátase de métodos diagnósticos de detección directa do axente causal (parasito) mediante a súa visualización nos tecidos do hóspede empregando técnicas de microscopía. Presentan boa especificidade (é dicir, poucos diagnósticos falsos positivos, xa que se basean na observación do parasito) pero a sensibilidade (probabilidade de detección da infección) depende moito da intensidade de infección e da cantidade de tecido analizado.

4.5.2.2.1. Impresións de tecidos

Trátase dunha técnica citopatolóxica baseada en premer un fragmento de tecido sobre o portaobxectos para deixar unha pegada ou impresión. O máis frecuente é repetir a operación de forma sucesiva, cada vez sobre un punto diferente do portaobxectos, deixando así unha serie ordenada de pegadas sobre a superficie do portaobxectos. No caso de diagnóstico da marteiliose, o fragmento de tecido que usar deberá ser de glándula dixestiva. Tras deixar secar ao aire as impresións, estas fíxanse e tínguense para facilitar o recoñecemento do parasito no exame ao microscopio. O máis frecuente é utilizar fixadores e tinguiduras habituais para os frotis de sangue, como fixación mediante metanol seguida da coloración de Giemsa ou as súas variantes comerciais, como pode ser o kit Hemacolor®. Tras cubrir as impresións xa tinguidas cun cubreobxectos, examínanse ao microscopio óptico, empregando entre 200 e 1000 aumentos, na procura de recoñecer algún estadio do parasito *M. cochillia*. O recoñecemento inequívoco deste parasito realizaríase mediante a observación de esporanxios (células secundarias) contendo no seu interior seis esporas (fig. 6). Entre as vantaxes desta técnica destacan a rapidez do diagnóstico (pode efectuarse o diagnóstico en termos de poucas horas dende a mostraxe) e que se pode realizar sen dispor dun equipamento de laboratorio moi complexo. A principal desvantaxe é a súa baixa sensibilidade pois poden pasar desapercibidas as infeccións de intensidade baixa. Pode ser moi útil para a realización de diagnósticos presuntivos rápidos en situacións de mortaldades masivas de berberecho, se ben cómpre complementar o diagnóstico con histoloxía e/ou técnicas moleculares.

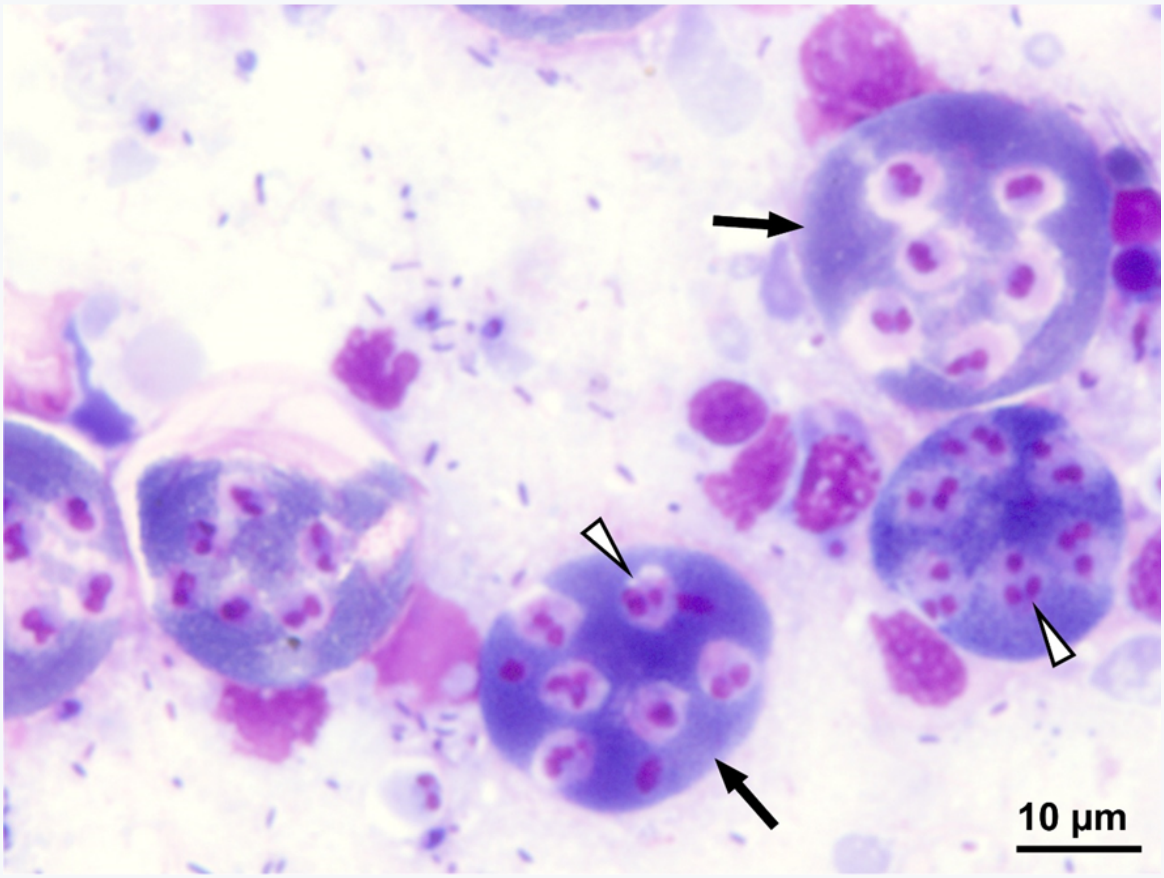

Figura 6. Fotografía con microscopio óptico dunha impresión da glándula dixestiva dun berberecho cunha infección por *Marteilia cochillia* en fase avanzada. Obsérvanse esporanxios do parasito (setas) que conteñen seis esporas (puntas de setas). Tinguidura co *kit* Hemacolor®.

4.5.2.2.2. Histoloxía

A histoloxía é unha técnica que se emprega para estudar a estrutura das células e dos tecidos ao microscopio óptico. A preparación do tecido consta de diferentes pasos, que inclúen a súa fixación, deshidratación, impregnación e inclusión das mostras en parafina, produción de cortes de entre tres e cinco µm de grosor mediante microtomo, que se colocan sobre un portaobxectos, e a súa tinguidura e montaxe final con cubreobxectos. A diagnose realízase examinando estas preparacións co microscopio óptico na procura da detección de estadios do parasito *M. cochillia* nos tecidos do berberecho, o máis habitual é a súa visualización nos epitelios da glándula dixestiva (fig. 7).

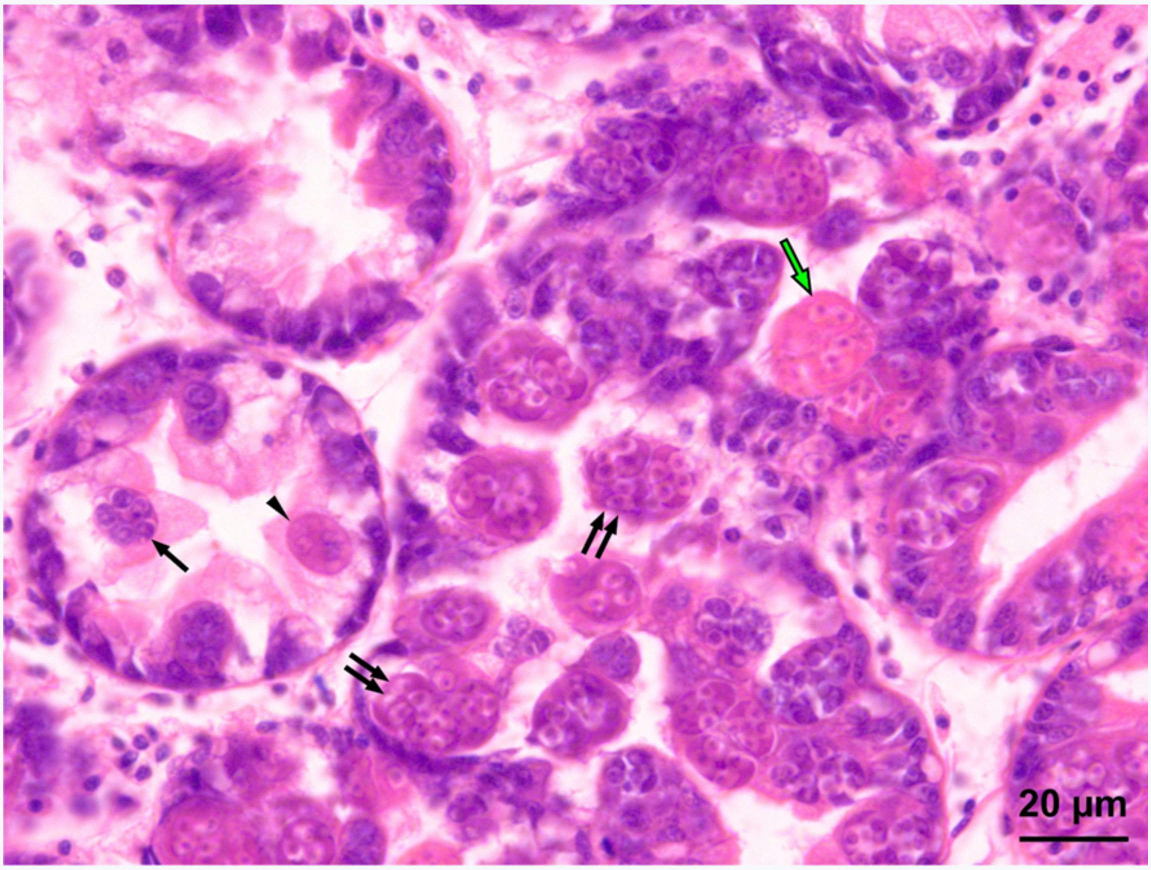

Figura 7. Fotografía con microscopio óptico dun corte histolóxico da glándula dixestiva dun berberecho cunha infección por *Marteilia cochillia*. Obsérvanse diferentes estadios de desenvolvemento do parasito, como unha etapa moi temperá (punta de seta), células primarias con varias células secundarias sen divisións internas (seta negra), estadios máis desenvolvidos con presenza de células terciarias dentro das secundarias (setas negras dobres) e estadios maduros (seta verde). Tinguidura con hematoxilina de Harris e eosina.

A histoloxía é unha técnica que require de varios días para dispor de resultados, ademais de equipamento específico e de persoal adestrado para efectuar o diagnóstico. No entanto, ten unha boa sensibilidade e especificidade para a diagnose da marteiliose e, ademais, proporciona moita información sobre a progresión da infección nos tecidos (severidade da enfermidade), a presenza doutros parasitos e lesións e tamén do estado fisiolóxico do berberecho (como grao de desenvolvemento gonadal, etc...). É a técnica de diagnose recomendada en casos de mortalidades anómalas, sen sospeitas claras sobre a etioloxía, e programas de vixilancia activa da condición xeral da saúde dos moluscos bivalvos.

4.5.2.2.3. Microscopía electrónica de transmisión

A microscopía electrónica de transmisión emprégase con frecuencia para a identificación confirmativa de axentes patóxenos en procedementos de diagnóstico de enfermidades de moluscos, especialmente no caso de novas enfermidades/parasitos ou emerxentes en zonas nas que non foron descritas previamente. Porén, non ten cabida o seu uso rutineiro no desenvolvemento de programas de vixilancia epidemiolóxica de enfermidades.

4.5.2.3. Técnicas moleculares

4.5.2.3.1. Técnica da reacción en cadea da polimerasa (PCR)

A técnica da reacción en cadea da polimerasa (en inglés, *polymerase chain reaction* ou PCR) é unha técnica de bioloxía molecular baseada en obter un grande número de copias a partir dun fragmento de ADN particular, partindo dun mínimo (en teoría basta partir dunha soa copia dese fragmento orixinal) que actúa como molde. Para isto pártese da extracción de ADN dos tecidos do molusco analizado e procédese a efectuar unha amplificación deste ADN empregando cebadores *(primers)* específicos para o parasito que se pretenda detectar. Trátase de técnicas moi sensibles pero deben empregarse controis positivos e negativos adecuados, co fin de efectuar un control de calidade do seu funcionamento. É importante destacar que a PCR só detecta ácido nucleico dun axente patóxeno e que un resultado positivo non indica *per se* a presenza dun parasito vivo nin de infección ou enfermidade (Burreson, 2008).

No caso da marteiliose do berberecho desenvolvéronse cebadores específicos para a detección de *M. cochillia* en tecidos do berberecho (Villalba et al., 2014; Hooper et al., 2023). Cómpre facer a extracción do ADN a partir da glándula dixestiva do berberecho, pois é este o órgano diana do parasito. En combinación coa histoloxía constitúe unha técnica moi potente para a clasificación das zonas de produción con respecto á marteiliose.

4.5.2.3.2. Hibridación *in situ*

A hibridación *in situ* (ISH) é unha técnica que se utiliza para a localización e detección de secuencias de ADN ou ARN específicas dun parasito nas células ou tecidos do hóspede presentes nun soporte físico, normalmente nun corte histolóxico sobre un portaobxectos. Baséase na capacidade que posúen os ácidos nucleicos para hibridarse entre si. A súa utilidade reside na capacidade de poder visualizar a presenza de determinada secuencia de ADN ou ARN do parasito nos tecidos do hóspede mediante a utilización dunha sonda de ADN con secuencia complementaria á secuencia específica do parasito. A sonda está ligada a unha molécula que emite un sinal visual (cor específica ou fluorescencia), de maneira que, se a sonda atopa e hibrida co ADN do parasito, o sinal visual, sexa cor específica ou sexa fluorescencia, permite localizar a presenza do ADN do parasito nas células ou tecidos do hóspede usando un microscopio óptico de campo claro ou de fluorescencia, respectivamente. Trátase pois dunha técnica mixta molecular-óptica que permite a detección de infeccións reais beneficiándose das vantaxes (sensibilidade e especificidade moi altas) das técnicas moleculares. Trátase, non obstante, dunha técnica complexa que non permite a análise dunha cantidade importante de mostras de xeito rutineiro, polo que o seu emprego se reduce ás ocasións en que é necesario confirmar casos positivos de diagnósticos por PCR ou en proxectos de investigación. No caso da marteiliose, existen sondas de ISH para a detección de parasitos do xénero *Marteilia* (Le Roux et al., 1999).

5. ESTRATEXIA DE RESTAURACIÓN DE BANCOS DE BERBERECHO ASOLADOS POLA MARTEILIOSE

Como xa se mencionou anteriormente, á hora de abordar un programa de restauración de poboacións cómpre definir con precisión os obxectivos que se perseguen co desenvolvemento das accións de recuperación e, ademais, facer un diagnóstico certeiro da problemática que afecta o recurso co fin de articular as medidas máis axeitadas para a consecución destes obxectivos.

Existe bibliografía centrada en programas de recuperación de poboacións de especies marisqueiras afectadas por sobrepesca e/ou a deterioración ambiental dos seus hábitats (véxase por exemplo MacKenzie 1989, 1996; Caddy & Defeo, 2003; Fitzsimons et al., 2019; Preston et al., 2020). Nestes casos son prácticas habituais o desenvolvemento de medidas de xestión pesqueira dirixidas a reducir a mortalidade por pesca, como suspensións temporais da actividade extractiva, diminución do esforzo pesqueiro, topes de captura axustados, etc... Tamén outras accións que pretenden mellorar o recrutamento e a súa supervivencia a través de intervencións sobre o hábitat mediante achegas de sedimento, labores de remoción do substrato e similares, ou de control dos seus depredadores naturais. Incluso accións máis custosas dirixidas a suplementar os stocks explotables mediante a achega de individuos xuvenís procedentes doutras zonas ou producidos en criadeiro. O caso que nos ocupa é moito máis complexo e as medidas para adoptar requiren dun proceso de deseño e reflexión máis laborioso, cuxa efectividade debe ser avaliada mediante procedementos de seguimento rigorosos e mantidos no tempo.

Así pois, no caso de bancos de berberecho asolados pola marteiliose, a experiencia acumulada ate o momento en Galicia permítenos definir un escenario diverso, aínda con importantes lagoas de coñecemento. Por unha banda, a poboación de berberechos da ría de Arousa recuperouse en certa medida por un proceso de selección natural e, nesta ría, a marteiliose pasou dun perfil epidémico severo a outro endémico (Iglesias et al., 2023a). Como consecuencia, o marisqueo do berberecho retomouse na ría de Arousa a partir de 2019 (fig. 8). Pola outra banda, as capturas de berberecho non se recuperaron nas rías de Pontevedra e Vigo, de acordo coas estatísticas de venda en lonxa (fig. 9). Ademais, de acordo coas informacións recentes de asistencias técnicas de confrarías de pescadores da zona, unha parte das capturas nestas rías, en particular na Enseada de San Simón (zona interna de ría de Vigo), corresponden nunha proporción importante á especie *C. glaucum,* especie que é resistente á marteiliose (Carballal et al., 2016). As análises de mostras recollidas con periodicidade anual das rías de Pontevedra e Vigo, no cadro do programa de seguimento da saúde dos moluscos bivalvos comerciais de Galicia que desenvolve a Unidade de Patoloxía do Instituto Tecnolóxico para o Control do Medio Mariño de Galicia (Intecmar), seguen a amosar a presenza de *M. cochillia* en *C. edule,* salvo na área de Baiona, onde nunca se detectou (http://www.intecmar.gal/Informacion/Patoloxia/Default.aspx?sm=e). Non

obstante, non dispoñemos de informacións sólidas derivadas dun seguimento epidemiolóxico rigoroso sobre a dinámica da marteiliose nestas rías.

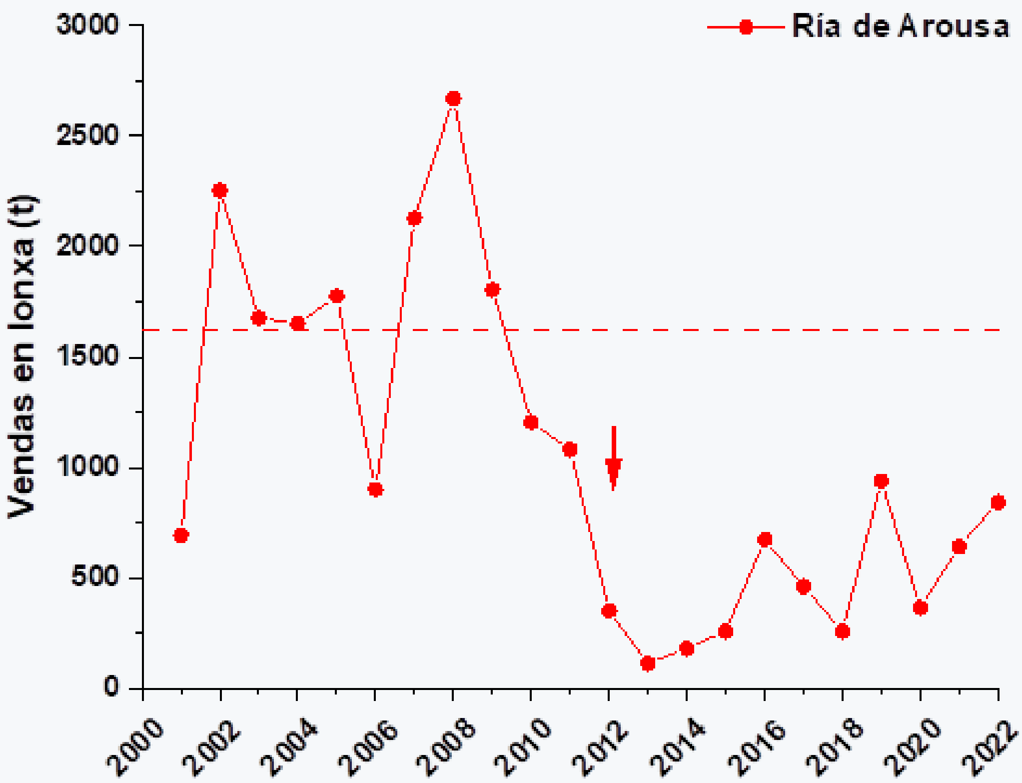

Figura 8. Variación das vendas anuais de berberecho (en toneladas) no conxunto das lonxas da ría de Arousa no período 2001-2022 (https://www.pescadegalicia.gal/estadisticas/). A liña horizontal descontinua marca o valor medio de vendas anuais no período anterior á detección da marteiliose en Galicia (2001-2011). A seta vermella marca o ano da detección desta enfermidade. As restricións ao marisqueo motivadas pola COVID-19 influíron na caída das vendas do ano 2020.

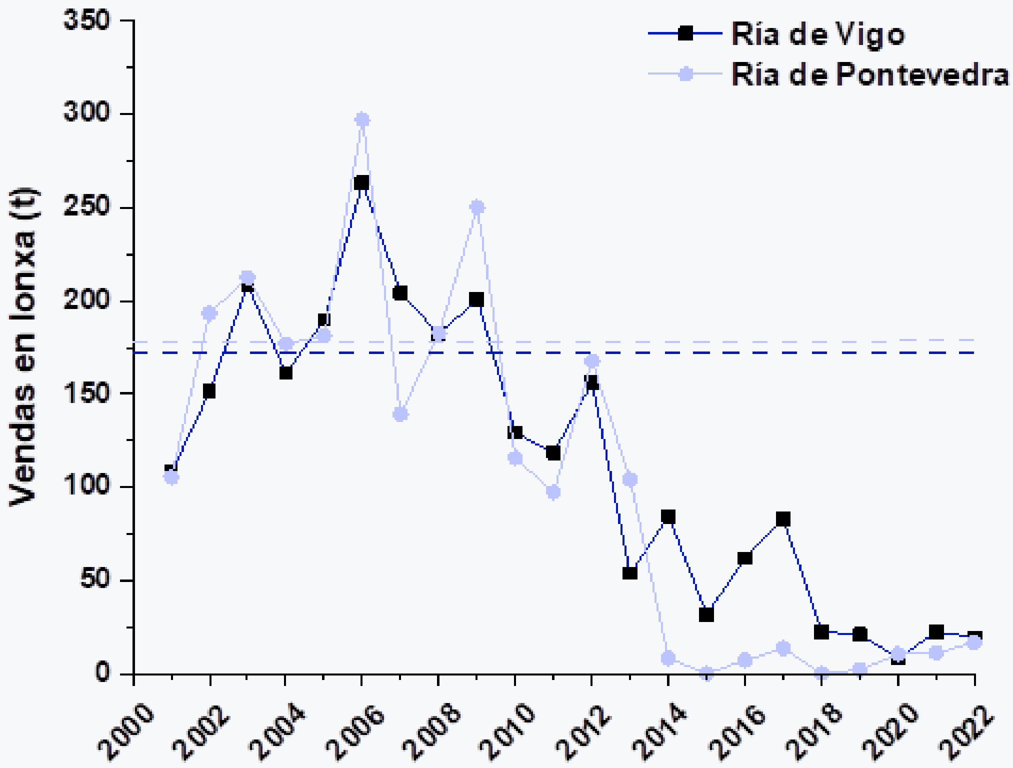

Figura 9. Variación das vendas anuais de berberecho (en toneladas) no conxunto das lonxas das rías de Pontevedra e Vigo no período 2001-2022 (https://www.pescadegalicia.gal/estadisticas/). As liñas horizontais descontinuas marcan o valor medio de vendas anuais en cada ría no período anterior á detección da marteiliose en Galicia (2001-2011).

Neste escenario diverso e con importantes carencias de información, considerando que para a recuperación dos bancos asolados pola marteiliose é necesario que haxa suficiente recrutamento integrado por individuos cun xenotipo resistente á enfermidade, as opcións posibles para recuperar eses bancos son: (1) non actuar confiando en que aumente a resiliencia á enfermidade ou (2) repoboar o medio natural con individuos que presenten un xenotipo resistente á marteiliose, co obxectivo de que, mediante a súa reprodución, contribúan á recolonización dos bancos con berberechos resistentes e, co tempo, se estableza unha poboación resistente e cuxa explotación resulte sostible. Neste caso de repoboación activa con individuos resistentes poden seguirse dúas estratexias: traslado de individuos "salvaxes" dende zonas onde se teña constatado o desenvolvemento de resistencia por selección natural ou produción de individuos resistentes en criadeiro e posterior liberación nos bancos afectados.

A toma de decisións no caso do berberecho non é doada e vén condicionada á súa vez pola bioloxía deste organismo que se sitúa próxima á estratexia da r. Así, tal e como se describiu no apartado 3, o berberecho *C. edule* é unha especie de vida relativamente curta, que acada moi pronto a madurez sexual, cunha elevada fecundidade e con dinámicas poboacionais caracterizadas por recrutamentos e tamaños de poboación cunha alta variación interanual, de xeito que as poboacións dependen máis da súa capacidade para reproducirse que da capacidade do ambiente para sustentalas (Krebs,

2014). As poboacións de berberecho tenden a ser moi inestables no tempo, variando enormemente en resposta a condicións ambientais favorables e desfavorables. Como consecuencia, *a priori* , este tipo de especie non é a máis axeitada para emprender custosos programas de restauración baseados na produción de individuos en criadeiro, pois a súa supervivencia tras a súa liberación non está garantida debido a factores ambientais de risco, como episodios de baixa salinidade debidos a períodos de choivas intensas.

Outro factor moi importante deriva da existencia dunha fase larval planctónica no ciclo reprodutivo do berberecho, que conduce a que non se poida falar propiamente de poboacións pechadas en cada banco ou en cada ría senón máis ben de metapoboacións. É dicir, poboacións bentónicas segregadas no espazo pero que se atopan interconectadas a través do intercambio larval que se produce durante a fase de dispersión planctónica. Deste xeito, a dinámica larval pode levar á existencia de bancos fonte (de onde xorden as larvas) e bancos sumidoiro (onde se fixan as larvas e se materializa o recrutamento). Na bibliografía diferéncianse catro modelos de reposición larval no referido a metapoboacións de invertebrados mariños (Caddy & Defeo, 2003): (a) poboacións locais pechadas, caracterizadas por padróns de autorecrutamento (é dicir, os individuos xuvenís que aparecen nos bancos derivan da reprodución dos adultos establecidos neles); (b) padrón de distancia limitada caracterizado por presentar unha ou múltiples fontes de larvas; padrón con dispersións larvais de longa distancia cunha fonte (c) única ou (d) múltiple definido por un conxunto común larval.

Os bancos de berberecho de Galicia están interconectados como consecuencia das considerables distancias ás que poden seren transportadas as larvas de berberecho, de xeito que larvas derivadas de desovas no interior dunha ría poden fixarse e contribuír ao recrutamento en bancos doutras rías, mesmo en rías afastadas. Así o demostra a recente análise xenética poboacional dos berberechos de Galicia, que permite considerar o conxunto dos bancos de berberecho galegos como unha poboación panmíctica (Vera et al., 2023). Esta conexión non é continua senón que acontece por episodios illados de transportes máis ou menos masivos de larvas, con frecuencia indeterminada. A dirección dos transportes larvais varía en función da circulación das masas de auga, que a súa vez está regulada por múltiples factores meteorolóxicos e ambientais, aínda que cunha influencia moi importante do vento.

A existencia de metapoboacións ten importantes consecuencias para a xestión das poboacións a múltiples niveis, de xeito que medidas de xestión implementadas nun banco poden repercutir na viabilidade doutro debido á intercomunicación entre eles a nivel reprodutivo a través do fluxo larval. Así pode darse o caso de bancos (sumidoiro) nos que o recrutamento está garantido aínda que se exploten ata o seu esgotamento e doutros que, aínda ben xestionados a nivel da súa explotación, presenten problemas de viabilidade porque son fonte de larvas cara a outros bancos e o recrutamento neles só se produce de xeito esporádico.

No que se refire aos bancos de berberecho asolados pola marteiliose a única posibilidade de recuperación pasa porque o recrutamento que se estableza neles proceda da subministración larval dos reprodutores cun xenotipo resistente á enfermidade. Nun escenario de metapoboacións podería darse o caso de non acadarse co tempo a adquisición de resistencia debido a que as larvas producidas polos organismos resistentes flúan cara a outras zonas, mesmo non afectadas pola marteiliose; mentres que os individuos xuvenís que recruten anualmente no banco para repoboar non teñan a condición de resistentes por provir dunha subministración larval correspondente a reprodutores dun banco afastado non afectado pola enfermidade. Por todo isto, a identificación precisa dos bancos fonte e sumidoiro dentro dunha metapoboación resulta unha tarefa fundamental no deseño de calquera acción de restauración que conduza ao establecemento dunha poboación viable no tempo.

É moi importante ter en conta que a situación epidemiolóxica das enfermidades é variable no tempo. Como se mencionou previamente, a marteilose evolucionou dunha situación epidémica severa cara a unha condición endémica, como consecuencia do aumento da resistencia á enfermidade na poboación de berberechos na ría de Arousa. Pero, realmente é irreversible o aumento de resistencia? Como ocorre con calquera enfermidade contaxiosa, as variacións das condicións ambientais e as interaccións do hóspede co patóxeno, que poden determinar cambios na abundancia e virulencia do patóxeno e na abundancia e tolerancia/resistencia do hóspede, determinan variacións da dinámica epidémica (Coen & Bishop, 2015). Neste contexto, a existencia de zonas afectadas e non afectadas pola marteiliose do berberecho no litoral galego e a interconexión dos bancos de berberecho de Galicia poden xogar un papel moi importante na dinámica epidémica da marteiliose nas zonas afectadas. A ría de Muros-Noia pódese considerar unha área refuxio da marteiliose en termos epidemiolóxicos; nesta ría os berberechos son moi susceptibles á marteiliose (Villalba et al., 2023) pois nela non houbo ningunha presión selectiva pola marteiliose. Considerando a enorme magnitude das desovas dos berberechos na ría de Muros-Noia, non se pode descartar que, en condicións hidrográficas que o favorezan, unha enorme masa de larvas derivadas de desovas desta ría sexan transportadas ao interior da ría de Arousa e contribúan ao recrutamento en bancos desta última ría. Se isto ocorrese, a proporción de xenotipos resistentes á marteiliose reduciríase na cohorte recrutada na ría de Arousa, diluída pola achega de xenotipos susceptibles dende a ría de Muros-Noia. A pesar disto, a elevada presión selectiva que supón a marteiliose, capaz de causar a morte dos berberechos susceptibles antes de que teñan capacidade para reproducirse (Iglesias et al., 2023a), tal vez podería manter a diferenciación xenética responsable da resistencia (Villalba et al., 2023). A interferencia das áreas refuxio nos procesos de aumento de resistencia a enfermidades de moluscos bivalvos por selección natural está ben documentada nalgúns casos (Ford et al., 2012). Cómpre tela en conta á hora de avaliar a evolución temporal da situación epidemiolóxica da marteiliose e a efectividade das accións de recuperación, posto que pode haber retrocesos no proceso de aumento da resistencia á marteiliose.

De maneira global, a estratexia dun programa de restauración de bancos marisqueiros asolados pola marteiliose basearase en achegas masivas de berberechos cun xenotipo resistente á enfermidade para constituír un stock de reprodutores moi abondoso que depare recrutamentos cuantiosos; os recrutas, co tempo, integraranse no stock de reprodutores. As áreas nas que se dispoñan os berberechos integrantes do stock de reprodutores terán a consideración de "santuario reprodutor", ou noutras verbas, de reserva integral protexida para evitar perdas por capturas. A mesma protección deberán ter os recrutas, que deben acadar a idade adulta para incorporarse igualmente ao stock reprodutor. Non se debería autorizar a actividade extractiva ata que se acaden niveis de abundancia e unha estrutura demográfica equilibrada, indicativa dunha poboación san, que permitan o marisqueo sostible. Fronte a operacións máis sinxelas de reforzamento da produción dun banco marisqueiro a través de achegas (sementeira) de cría e a súa captura tras a engorda, proceso cunha duración non maior dun ano, un programa de restauración de bancos asolados pola marteiliose é moito máis complexo no espazo e no tempo, pois ten que abranguer unha área xeográfica moi ampla para garantir que unha parte substancial das desovas dos reprodutores achegados se traduza en recrutamentos dentro da área xeográfica en recuperación. Por tanto, deberá tratarse polo menos dunha enseada moi estensa ou mesmo unha ría. Ademais, a duración do proceso dende o inicio das achegas de berberechos ata acadar o marisqueo sostible probablemente superará un lustro (fig. 10).

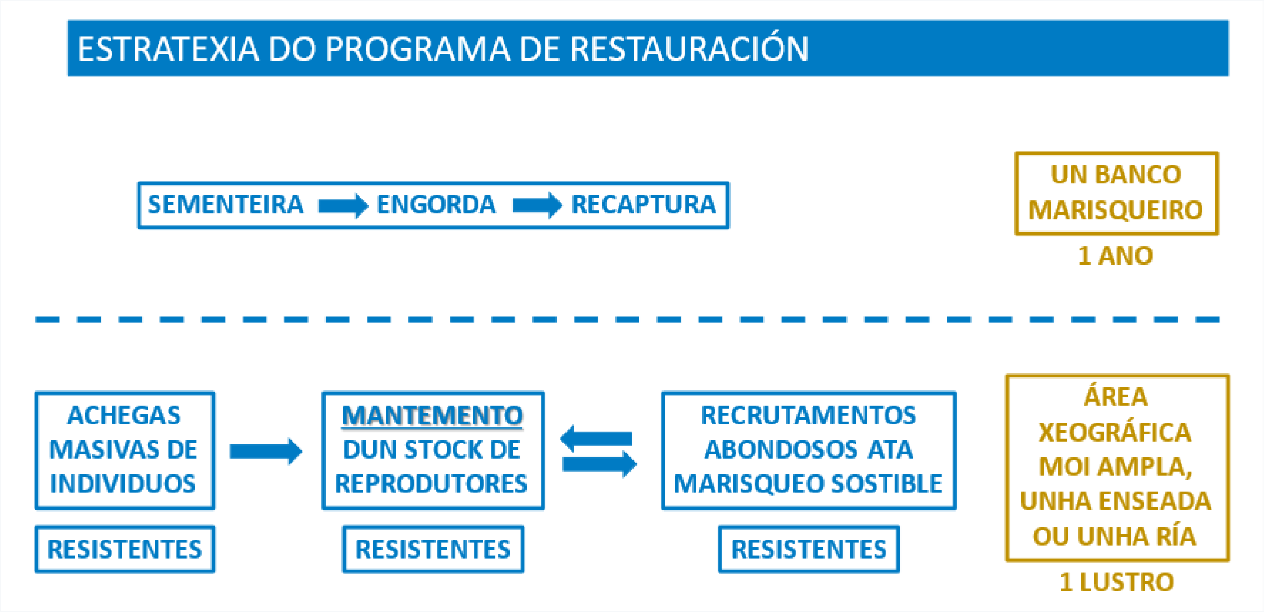

Figura 10. Esquema da estratexia dun programa de restauración de bancos asolados pola marteiliose (debaixo da liña descontinua) comparado cunha operación clásica de reforzamento da produción dun banco marisqueiro (enriba da liña descontinua).

6. DESENVOLVEMENTO DUN PROGRAMA DE RESTAURACIÓN

Unha vez perfilada a estratexia de restauración potencialmente aplicable para a recuperación de bancos de berberecho asolados pola marteiliose, procede deterse nos aspectos prácticos das diferentes tarefas que se van efectuar. Abórdanse deseguido os aspectos que teñen que ver cos berberechos que se achegan, coa área xeográfica na que se desenvolve o programa, coas accións de sementeira e cos axentes implicados no programa.

6.1. Consideracións sobre os berberechos que se acheguen

Dúas cuestións chave están relacionadas cos berberechos que se acheguen, o seu estadio de desenvolvemento e a súa orixe. Considerando que a subministración de berberechos se realizará moi probablemente en varias ocasións, en cada unha delas poderase variar (ou non) tanto o estadio de desenvolvemento como a orixe, dependendo das dispoñibilidades. En calquera caso e tendo en conta a causa do asolamento dos bancos marisqueiros obxecto desta guía, os berberechos que se acheguen deberán ser resistentes á marteiliose.

6.1.1. Estado de desenvolvemento dos berberechos para repoboar

A forma habitual de recuperar poboacións de moluscos infaunais en áreas esgotadas é a creación de zonas de elevada concentración de reprodutores que abastecerán de recrutas a zona obxecto de repoboación. Poderíase conseguir a través de tres enfoques principais, segundo a etapa do ciclo de vida para despregar, xa sexan adultos, xuvenís (semente), ou estadios previos á metamorfose (larvas ou ovos fecundados) (Arnold, 2001; Arnold et al., 2002; Stewart & Greese, 2002; Marsden & Adkins, 2010). A opción máis inmediata para conseguir unha desova masiva sería a implantación de adultos na época de desova (é dicir, con gónadas maduras ou preto delas), mentres que os berberechos xuvenís necesitarían un período máis longo desde a súa implantación para alcanzar a madurez. Canto máis longo sexa o período necesario para alcanzar a maduración gonadal maiores serán as perdas individuais; así, canto máis temperá sexa a etapa da vida utilizada, maior terá que ser o número de individuos que se deberá achegar. Un atallo para superar o proceso de desenvolvemento gonadal e mesmo as desovas sería achegar cantidades masivas de ovos fecundados ou larvas, evitando así o risco de liberación escasa de gametos ou fallos de fertilización e o proceso caro de produción de semente en criadeiros/viveiros. Como se anota nos seguintes parágrafos, cada estadio de desenvolvemento ten un período do ano axeitado para as introducións na área de operacións polo que se poden realizar achegas de diferentes estadios nos períodos do ano axeitados para cada caso, aproveitando todas as posibilidades, en función das dispoñibilidades, na procura do obxectivo dun stock de reprodutores o máis eficaz posible e de recrutamentos copiosos.

6.1.1.1. Larvas

A información sobre casos que utilizan o enfoque larval é moi escasa. O escaso éxito do emprego de larvas de ameixas *Mercenaria* spp. na repoboación de hábitats mariños (Arnold, 2008) contrasta cos bos resultados obtidos cando se utilizou a liberación de larvas do pectínido *Argopecten irradians* para recuperar poboacións severamente esgotadas nos estuarios de West Florida (EE.UU., Leverone et al., 2010). Á luz destes resultados pódese dicir que, se ben o emprego de larvas para a recuperación de poboacións de moluscos non é axeitado para todas as especies, pode ser unha estratexia eficaz nalgúns casos.

Dous son os riscos sobresaíntes do uso de larvas na procura de recrutamento copioso na área de operacións: a dispersión e a baixa supervivencia. O período peláxico das larvas de berberecho antes do seu asentamento no medio natural pode durar 30 días ou máis, o que implica unha potencial dispersión a longas distancias, principalmente dependendo da circulación da auga. Segundo isto, as larvas poderían asentarse no interior da zona que se vai recuperar ou exportarse fóra (Lundquist et al., 2009). O coñecemento de bancos preferentemente sumidoiros e a dispoñibilidade de modelos de circulación das masas de auga na zona que se vai recuperar podería axudar a escoller as áreas onde a liberación das larvas pode ser máis favorable para obter bos asentamentos e recrutamentos (Lundquist et al., 2009; Bidegain et al., 2013; Goodwin et al., 2019). Dúas formas non excluíntes de reducir o risco de dispersión larval serían utilizar larvas pedivelíxeras, é dicir listas para a fixación, e liberar as larvas nunha pequena área limitada cunha barreira infranqueable para as larvas, a modo de curral, feito con cortinas plásticas ancoradas ao fundo; desta forma as larvas poden desenvolverse na auga e as barreiras pódense retirar cando as larvas acaden a etapa pedivelíxer, preto da fixación (Leverone et al., 2010). O problema da baixa supervivencia pódese contrarrestar coa liberación de cantidades masivas de larvas. Para maximizar a supervivencia larval será preciso liberar as larvas na época do ano máis favorable (temperatura e abundancia de alimento) para o seu desenvolvemento, no final da primavera e no verán. No caso de optar pola subministración de larvas, estas deben proceder de criadeiros que garantan a resistencia á marteiliose, como se apunta máis adiante na sección sobre a orixe do criadeiro.

6.1.1.2. Semente

Outra opción para a subministración de individuos de berberecho á zona obxecto de recuperación é o emprego de semente. Hai que ter en conta que múltiples causas revisadas previamente poden contribuír a ocasionar perdas dende a achega da semente ata que se reproduzan os berberechos achegados. Esas perdas serán menores canto menor sexa o tempo necesario para que os berberechos desoven, polo que convén sincronizar o momento da sementeira para que os berberechos acaden a madurez gonadal e desoven no período máis curto posible. A semente pódese obter de bancos naturais e de criadeiros, en ambos os dous casos é preciso que se garanta a resistencia á marteiliose.

6.1.1.3. Adultos

O uso de berberechos adultos minimiza o risco de perdas dende a introdución na área ata a desova, máxime achegando individuos coa gónada madura no inicio do período de desova. Nas condicións ambientais do litoral galego, durante o período anual de desovas (de maio a setembro), os berberechos son capaces de reacondicionar (restaurar) as súas gónadas de forma rápida despois da desova sen pasar por un estadio de repouso. Terminado ese período, a gónada entra na etapa de repouso no outono para retomar a gametoxénese e madurar na primavera do ano seguinte (Iglesias, 2006; Martínez-Castro & Vázquez, 2012). Segundo isto, os berberechos poden liberar gametos varias veces nun ano, repetindo o proceso cada ano ata a súa morte. Con todo, a fecundidade do berberecho tende a diminuír coa idade, polo que é recomendable que anualmente se subministren novos berberechos para reforzar o stock (reaxustar densidades) con reprodutores moi fecundos. Os berberechos achegados modificarán o sedimento favorecendo a escavación de novos recrutas ou dos novos berberechos que se acheguen (Donadi et al., 2014). Obviamente, no caso de optar polo emprego de berberechos adultos nas achegas, estes deben obterse de bancos naturais con resistencia á marteiliose demostrada, tendo en conta as consideracións que se anotan máis adiante na sección específica sobre a orixe do banco natural. Neste caso, é importante ter en conta o estado sanitario dos individuos do banco doador, coa finalidade de non introducir patóxenos ausentes na zona na que se está aplicando o plan de recuperación, así como nas zonas veciñas.

6.1.2. Procedencia dos berberechos para repoboar

Como xa se comentou no punto anterior os individuos de berberecho que se pretenden empregar para achegar á zona de recuperación poden ter dúas procedencias, ben son extraídos dun banco natural doador ou ben son producidos en criadeiros.

6.1.2.1. Berberechos procedentes de criadeiro

A utilización de berberechos producidos en criadeiros como achega na recuperación de bancos marisqueiros asolados pola marteiliose pode repercutir directamente no éxito do plan. Hai que ter en conta que os berberechos de criadeiro son producidos en condicións controladas, o que permite asegurar unha subministración sostible de individuos sen extraer berberechos de bancos marisqueiros. Na actualidade hai procedementos ben establecidos para a produción de semente en criadeiro (Pronker et al., 2015; Fernández Otero et al., 2021), aínda que o seu custo é moi elevado polo de agora. A través do desenvolvemento de programas de selección xenética, con cruzamentos controlados desenvolvidos en criadeiros, pódense obter individuos resistentes á marteiliose (Villalba & Martínez, 2021) e a outras enfermidades, mesmo coa utilización de marcadores moleculares específicos de resistencia á marteiliose (Villalba & Martínez, 2021; Pampín et al, 2023; Villalba et al., 2023), garantindo o aumento da supervivencia no caso de darse unha crise epidemiolóxica no período de implementación do plan.

Unha opción alternativa á obtención de semente de criadeiro resistente á marteiliose a través de programas de selección xenética de resistencia é utilizar reprodutores recollidos nun banco marisqueiro con recrutamentos de berberechos resistentes por selección natural. Non obstante, como se explicou previamente, o proceso de aumento da resistencia á marteiliose por selección natural non é irreversible e pode haber interferencias pola chegada masiva de larvas dende áreas refuxio que contribúan ao recrutamento nas áreas reputadas como resistentes. O desenvolvemento de programas de selección xenética, co mantemento axeitado das estirpes resistentes, é unha vía para garantir a dispoñibilidade de individuos resistentes ante o risco de perda de resistencia que pode acontecer nos recrutamentos naturais.

Unha cuestión relevante na produción de moluscos bivalvos en criadeiro é o risco de perda de diversidade xenética se o número de reprodutores efectivos que contribúen á produción de semente é baixo, o que pode ocorrer mesmo dispoñendo números altos de adultos como stock de reprodutores (Borrell et al., 2014; Alves Monteiro et al., 2022). Unha maneira efectiva de controlar o número de reprodutores que contribúen á produción de semente é a fecundación por parellas femia-macho, en lugar de desovas masivas. Cando a fecundación por parellas non é posible e hai que optar por desovas masivas convén distribuír os reprodutores en numerosos grupos de poucos individuos en lugar de poucos grupos de numerosos individuos. Mesmo con desovas masivas se pode conservar a diversidade xenética en programas de selección xenética de bivalvos (Xu et al., 2019).

Como xa se comentou, no programa de restauración pódese contar coa produción en criadeiro para utilizar larvas ou semente. No caso das larvas, os custos e tempos de produción son moito máis reducidos que no caso da semente. Para a semente precísanse instalacións máis complexas, hai que producir máis alimento e hai que mobilizar volumes de auga moito maiores, todo isto con máis persoal. Ademais, cando se utiliza semente de criadeiro, normalmente é necesario realizar unha preengorda da semente que sae do criadeiro para que acade un tamaño axeitado para sementar nun banco marisqueiro. Esta preengorda pódese facer en instalacións de tipo *nursery,* en terra ou en estruturas flotantes con fluxo de auga forzado, aínda que de forma máis barata se fai frecuentemente en diferentes tipos de artefactos continentes pendurados de estruturas flotantes, como bateas ou *long-lines* (Guerra Díaz, 2009; Bordignon et al., 2021; Fernández-Otero et al., 2021; Villalba et al., 2023).

6.1.2.2. Berberechos procedentes de banco marisqueiro

Tradicionalmente, a resementeira (recoller individuos dun banco e trasladalos sementándoos noutras áreas) foi o método máis utilizado para a recuperación de poboacións de moluscos infaunais, principalmente polas dificultades económicas e/ou técnicas da produción en criadeiro da maioría das especies (Rice et al., 2000).

Respecto ao impacto no banco doador, os procedementos de recollida e as cantidades

deben axustarse para evitar a ameaza á súa sustentabilidade pero, no caso de que o recrutamento no banco doador sexa moi abundante, con alta densidade de semente de berberecho, o impacto da diminución da densidade de poboación sería insignificante ou mesmo beneficioso para a zona de orixe da semente (Dijkema et al., 1987).

Como xa se apuntou con anterioridade, no caso de decantarse pola subministración de berberechos doutra área hai que realizarlles un control sanitario co fin de non introducir novos patóxenos na zona que poidan afectar as poboacións nativas.

De forma xenérica en calquera proceso de translocación de bivalvos, unha consideración importante está relacionada coas características xenéticas dos berberechos que van ser introducidos. Os individuos que se vaian empregar na sementeira ou aqueles que van ser utilizados como reprodutores en instalacións de criadeiro para producir larvas ou semente, idealmente deben recollerse de áreas próximas á zona que se vai recuperar para que pertenzan a unha poboación xeneticamente ben adaptada á zona xeográfica que se vai recuperar e evitar a introdución de elementos xenéticos discordantes que poidan repercutir nas zonas veciñas pola futura migración de larvas da zona restaurada. Non obstante, no caso da recuperación de bancos asolados pola marteiliose en Galicia, o requisito básico é que os berberechos para sementar sexan resistentes á marteiliose, polo que no caso de optar pola obtención de berberechos de bancos marisqueiros, estes deberán contar con recrutamentos de berberechos resistentes á enfermidade. Neste senso, é importante considerar que a resistencia á marteiliose da poboación dos berberechos dos bancos da ría de Arousa, acadada por selección natural, non é irreversible e pode diminuír co recrutamento derivado de larvas procedentes doutras rías non afectadas pola marteiliose, como se comentou previamente. É conveniente, por tanto, ter coñecemento do grao de resistencia da cohorte que se vai recoller no banco doador, para tal fin os marcadores xenéticos de resistencia identificados en traballos previos (Pampín et al., 2023; Villalba et al. 2023) constitúen unha ferramenta moi valiosa.

A modo de síntese, no cadro seguinte analízanse as diferentes vantaxes e inconvenientes que se presentan á hora de elixir un ou outro estadio de desenvolvemento do berberecho, considerando as opcións de orixe.

	LARVAS	SEMENTE	ADULTOS
VANTAXES	Permiten chegar a superficies extensas. Potencialmente produción fácil (posta inducida) e rápida. Opción máis económica que a produción de semente en criadeiro. Certeza no carácter de resistencia á marteiliose co control dos cruzamentos no criadeiro.	Permite unha planificación a medio-longo prazo ao asegurar un stock sostido de reprodutores nos seguintes anos. Os custos son coñecidos.. Dobre orixe posible: bancos naturais e criadeiros. Certeza no carácter de resistencia á marteiliose, co control dos cruzamentos no caso de producirse en criadeiro. Facilidade na manipulación e sementeira. Facilidade no seguimento. Existencia de estudos previos sobre supervivencias que permiten facer estimacións de resultado.	Permite unha planificación a curto prazo ao asegurar un rápido recrutamento. Facilidade na manipulación e traslado. Facilidade no seguimento. Risco menor de mortalidade por depredación. Risco menor de perdas por condicións ambientais extremas antes da primeira desova se se instalan no momento adecuado. Amplo coñecemento sobre supervivencia que facilita a estimación de resultados.
INCONVENIENTES	Incerteza extrema sobre a distribución e supervivencia. Dificultade metodolóxica no seu seguimento. Precísase persoal técnico e instalacións axeitadas para a súa produción. Risco de perda de diversidade xenética se o número de reprodutores que contribúen á produción das larvas é reducido.	Risco de mortalidade maior que con adultos por predación. Risco de mortaldade masiva por condicións ambientais extremas, que aumenta co tempo necesario ata á primeira desova (período crítico). Necesidade de preengorda se a orixe é o criadeiro, o que require de instalacións máis complexas incrementando os custos de produción con respecto á produción de larvas. Maior complexidade no desenvolvemento do plan por entrar máis actores (como as instalacións de preengorda). Risco de perda de diversidade xenética, no caso de orixe de criadeiro, se o número de reprodutores que contribúen á produción das larvas é reducido. Hai incertezas dende a sementeira ata o momento da desova.	Custo elevado por teren ou estaren próximos ao tamaño comercial. Necesidade de dispoñer de individuos sans. Dificultade para dispoñer de cantidades suficientes de berberechos de bancos resistentes.

6.2. Consideracións sobre a área de recuperación

Hai múltiples consideracións relacionadas directamente coas características da área obxecto da recuperación que condicionarán a localización e o tamaño das parcelas nas que instalar os berberechos que se acheguen, é dicir onde se realizará a sementeira de individuos novos. Aspectos tales como cales son as zonas, dentro da ampla área que se vai recuperar, coas condicións máis axeitadas para o desenvolvemento da especie obxectivo, que outras especies se están a explotar, como é o hidrodinamismo, cal é o mellor momento para instalar os berberechos que se acheguen deben ser tidos en conta.

6.2.1. Especies marisqueiras que se explotan na área de recuperación

Os bancos marisqueiros na área en recuperación poden ser monoespecíficos ou multiespecíficos e, neste segundo caso, as especies non afectadas potencialmente poderían seguir sendo explotadas. Isto ten importancia porque, na medida do posible, deberase permitir que as operacións de recuperación poidan desenvolverse de xeito simultáneo ás actividades de extracción das especies recurso aínda explotables. Debemos coñecer a distribución espacial das especies que permanecen en explotación, intentar descubrir posibles zonas de preferencia para cada unha delas e considerar a posibilidade de rareos e traslados das especies que non serán obxecto de repoboación. No caso da incompatibilidade entre as medidas restritivas requiridas polo programa de recuperación e as actividades de explotación doutras especies da zona de operacións, podería ser necesario arbitrar vías de compensación ás limitacións da actividade extractiva.

6.2.2. Hábitat da especie

Dentro da área xeográfica que se vai restaurar hai que escoller as zonas concretas onde instalar os berberechos que se subministren, sexa cal sexa o seu estadio de desenvolvemento e a súa orixe. Para aumentar as probabilidades de éxito da recuperación, debemos coñecer cales son as condicións ambientais de preferencia da especie que se vai recuperar, nomeadamente as condicións do substrato, así como a distribución espacial destas características "máis favorables" na zona de actuación. No caso necesario, poderíanse acometer labores de acondicionamento do substrato no que se van dispoñer os berberechos achegados. É tamén moi importante coñecer se hai zonas onde o risco de condicións ambientais extremas sexa máis alto, como pode acontecer nas desembocaduras dos ríos (risco alto de caídas extremas de salinidade) ou no intermareal alto fronte ao submareal (maior tempo de exposición a temperaturas moi elevadas). Outro aspecto que considerar é a distribución e abundancia de depredadores no conxunto da área xeográfica, tratando de evitar as zonas onde a presión dos predadores sexa maior. O estadio de desenvolvemento dos berberechos que se acheguen inflúe substancialmente na súa susceptibilidade a predadores e, por tanto, no tipo de zona (altura no intermareal ou submareal) máis favorable para a súa instalación. Tamén, en caso necesario, se poderian dispoñer medidas para diminuír as perdas por predación.

6.2.3. Hidrodinamismo da zona

A circulación local e o hidrodinamismo son posiblemente os coñecementos previos máis importantes en canto á súa influencia na repoboación dos bancos. Influirán na distribución dos individuos no momento da sementeira –no caso de adultos e, sobre todo, de xuvenís- pero especialmente no destino das larvas xeradas cando a poboación instalada chegue á madurez reprodutiva.

Como xa se comentou, un coñecemento previo de zonas preferentemente fonte e zonas preferentemente sumidoiro axudaría a escoller as zonas onde instalar os berberechos que se acheguen, dando preferencia á instalación para constituír os stock de reprodutores nas zonas ben coñecidas como fonte e evitando a instalación en zonas sumidoiro.

6.2.4. Tamaño e distribución da área de recuperación

Aínda que esta cuestión é unha das primeiras incógnitas que hai que despexar á hora de abordar un plan de recuperación, a decisión final sobre a superficie total e distribución espacial das parcelas nas que realizar a sementeira dos individuos que se achegan para contribuír á constitución dun stock de reprodutores debe ser o resultado dun compromiso entre todos os elementos citados nos puntos anteriores. No eido do éxito reprodutor, para maximizar o número de larvas hai que maximizar o número de reprodutores, na procura de desovas masivas, cunha cantidade enorme de gametos liberados, pero ademais, é preciso que as desovas sexan sincrónicas e que os encontros entre gametos de ambos os dous sexos sexa tamén máximo, para garantir o máximo de fecundacións e minimizar a perda de ovocitos emitidos sen fecundar. Tanto a sincronización como a probabilidade de encontro entre gametos de sexos diferentes son favorecidas pola proximidade entre reprodutores. Polo tanto, emulando a distribución en agregados que esta especie presenta no medio natural, as densidades do stock de reprodutores terán que ser suficientemente altas. Idealmente, deberían utilizarse densidades próximas a 100 berberechos listos para desovar por metro cadrado en parcelas dunha superficie de polo menos 100 metros cadrados. No caso de sementar xuvenís haberá que facelo con densidades superiores, tendo en conta a mortalidade esperable ata acadar a madurez gonadal e que se produza a desova. Ademais, hai que considerar a posibilidade de desprazamento dos xuvenís sementados (Ansell, 1969; Tettelbach et al., 2017). A dispersión posterior ao asentamento dos moluscos infaunais é frecuentemente ignorada. Un estudo de Hunt et al. (2020) demostrou que as ameixas de Nova Zelanda *Austrovenus stutchburyi* foron capaces de dispersarse polo menos 50 cm dentro dun ciclo de marea semidiúrno (12 h). A dispersión dependía do tamaño dos individuos, dispersándose en menor medida os individuos adultos que os xuvenís. A dispersión posterior ao asentamento variou tanto espacial como temporalmente, sendo maior no lugar máis exposto ás ondas e durante unha tormenta.

Asumindo a densidade e a área mínima por parcela recomendadas, hai que decidir se

establecer poucas parcelas cunha superficie grande ou múltiples parcelas de superficie pequena moi espalladas. No seguinte cadro resúmense as vantaxes e os inconvenientes das dúas opcións.

	POUCAS parcelas GRANDES	MOITAS parcelas PEQUENAS
VANTAXES	Facilitar as tarefas de sementeira, ao simplificar a localización dos límites de cada parcela e a distribución espacial regular dos individuos destinados a cada unha delas. Facilitar o seguimento da poboación instalada ao simplificar a distribución e localización efectiva das estacións de seguimento.	Facilitar o establecemento das parcelas naqueles lugares con condicións de preferencia para a especie que se vai recuperar. Evitar a superposición das parcelas de instalación con zonas en explotación.
INCONVENIENTES	Redúcese a superficie produtiva en explotación, xa que logo da achega dos individuos de reforzo debe suspenderse a actividade extractiva na zona. Pode ser importante no caso dun banco multiespecífico no que non todas as poboacións están afectadas.	Dificúltase o control de acceso ao recurso en lugares con explotación multiespecífica. Resulta difícil saber, en tempo real, se as persoas recolledoras están dentro ou fóra das zonas "non accesibles". Dificúltase o seguimento se as parcelas son demasiado pequenas. Pode ser máis difícil a localización das estacións de seguimento, especialmente en zonas de acceso dende embarcación; e mesmo pode requirir un número mínimo de estacións por parcela e polo tanto un esforzo de mostraxe tamén maior

6.2.5. Momento da sementeira

Aínda que o momento da sementeira non é unha cuestión directamente relacionada coas características da área xeográfica, é outra cuestión que ter en conta. Cómpre ter en conta as variacións temporais na susceptibilidade á predación ou nas condicións ambientais (salinidade ou temperatura extremas, por exemplo) e, en función disto, elixir os momentos máis axeitados para proceder á sementeira, considerando a fase do ciclo vital na que serán achegados os berberechos. Por outra banda, hai que minimizar o risco de perdas dende a sementeira ata que os berberechos desoven e, para maximizar o éxito reprodutivo dos individuos achegados, convén que estes teñan a gónada madura no inicio do período anual de desovas. Por tanto, se os individuos que se van sementar son xuvenís, a sementeira deberá facerse coa antelación suficiente para que coincida a súa madurez gonadal co inicio do período de desova, mentres que se os individuos que se achegan son adultos coa gónada madura, o momento ideal da sementeira será no inicio do período de desova.

6.3. Necesidades e operacións tras a sementeira

Como xa se comentou, as parcelas nas que se instalen os berberechos achegados terán a consideración de "santuarios de reprodución" e, por tanto, non se debe permitir ningunha actividade extractiva na área, para o que será preciso establecer a normativa pertinente e desenvolver a vixilancia necesaria. Aínda así, convén garantir as condicións necesarias para minimizar as perdas tras a sementeira, desenvolvendo labores de retirada de algas e depredadores cando a súa abundancia sexa unha ameaza. Mesmo se poden implementar medidas para minimizar a presenza de depredadores.

O stock de reprodutores ten que contar co número mínimo imprescindible non só durante o primeiro ano senón que haberá que mantelo ao longo de todo o proceso de restauración, é dicir ata que se acaden niveis demográficos que permitan o marisqueo sostible na área xeográfica que se vai recuperar. Tendo en conta que a fecundidade dos berberechos diminúe coa idade e que haberá perdas de berberechos por diferentes causas, serán necesarias achegas sucesivas de berberechos resistentes á marteiliose para manter o máximo potencial de reprodución. Ao longo do proceso de restauración, os novos recrutamentos iranse incorporando progresivamente ao stock de reprodutores, ben permanecendo no lugar no que se establezan de maneira natural ou ben a través da súa captura e transplante ás areas seleccionadas como máis favorables para a instalación de reprodutores. Hai varias consideracións sobre a conveniencia de deixar os recrutas onde se fixen de maneira natural ou transplantalos. No caso de recrutamentos con densidades que se poidan considerar demasiado altas, é conveniente rarear o banco, retirando parte dos recrutas para favorecer a supervivencia dos que permanezan e transplantando os capturados ás parcelas favorables para a instalación de reprodutores. Nas zonas consideradas como sumidoiro, que apenas contribúen a recrutamentos novos, como pode suceder se as

larvas alá producidas son transportadas polas correntes fóra da área xeográfica que se vai restaurar (por exemplo se están na periferia), os recrutas deberanse deixar para que medren e desenvolvan a gónada; pouco antes da desova poderanse transplantar nas parcelas consideradas axeitadas para a instalación de reprodutores. No caso de recrutamentos en áreas con alto risco de condicións ambientais desfavorables, como poden ser zonas moi frecuentemente afectadas por caídas de salinidade ou pola abundancia de depredadores, é conveniente recoller os recrutas para transplantalos en zonas con menos riscos ou mesmo nas parcelas axeitadas para instalar reprodutores. En calquera caso, os berberechos que acaden o estadio adulto aínda que non sexan transplantados deben ser obxecto de protección, impedindo as capturas ao longo do desenvolvemento do programa de restauración.

6.4. Axentes implicados

Nos parágrafos previos quedou claro que a restauración dos bancos marisqueiros dunha área xeográfica ampla é un proceso complexo que require a implicación de persoas de diferentes organizacións e con distintas especializacións. É fundamental no desenvolvemento deste tipo de programas contar coa implicación e o apoio das partes con intereses na zona de actuación e facer unha combinación correcta delas, xa que poden ser dunha grande axuda para deseñar e implementar con éxito un programa de recuperación, garantindo un resultado sostible (Brumbaugh et al., 2006). Así pois, é imprescindible identificar cales son as administracións con competencias na xestión do espazo público onde se vai desenvolver a actuación ou para establecer o tipo de restricións legais que habería que impoñer (por exemplo, longos períodos de veda...). Tamén deben considerarse os axentes afectados socioeconomicamente pola posta en marcha do plan (por exemplo, debido a perturbacións nas súas prácticas habituais, na gobernación...) ou os axentes implicados na súa implementación (van Tatenhove et al., 2020). Outra consideración importante é que, ademais da área que se vai restaurar, hai que ter en conta outras áreas que se poden ver afectadas no proceso, como é o caso dos bancos marisqueiros doadores.

As distintas organizacións ou axentes do territorio posúen diferentes fortalezas, recursos ou capacidades, polo que crear unha coalición eficaz na que todos estean representados é a mellor forma de facilitar o éxito dun proxecto. Así mesmo, o reforzo legal e regulamentario que proporciona o apoio oficial da Administración competente incrementará sen dúbida a probabilidade de éxito a longo prazo (LoBue & Udelhoven, 2013). Por outra banda, convén evitar a oposición de organizacións ou colectivos que se poidan considerar prexudicados ou que se consideren marxinados no proceso. Atoparanse grupos de interese vinculados á posta en marcha dun plan de recuperación en diferentes niveis de interese, administrativo, social, económico...

Deseguido abórdanse os diferentes axentes e organizacións cos que hai que contar para o desenvolvemento dun programa de restauración destas características.

6.4.1. Administracións públicas

Sen ánimo de profundar en cuestións lexislativas, no caso do litoral galego, na Lei 11/2008, de pesca de Galicia (e modificacións posteriores), establécese que, no ámbito das competencias da Comunidade Autónoma de Galicia, a Administración autonómica ten a potestade para a regulación, entre outras materias, da adopción de medidas de conservación, protección e recuperación dos recursos mariños vivos, así como do exercicio do marisqueo na zona marítimo-terrestre, nas augas marítimas interiores, no mar territorial e na zona económica exclusiva correspondente ao litoral de Galicia. Cómpre ter en conta, ademais, que a Administración do Estado ten competencias na xestión dos títulos de ocupación e uso do dominio público marítimo-terrestre, na ordenación do espazo marítimo e noutras cuestións que poden ser de aplicación no contexto dun programa de restauración como o que nos ocupa.

Segundo o actual marco competencial, enténdese que a autoridade pesqueira galega ten que velar pola conservación de poboacións de especies de interese marisqueiro ou que contribúan a unha mellor xestión das especies, velando polo desenvolvemento sustentable das zonas de pesca e evitando o abandono de zonas produtivas nas que se dea unha perda desa produtividade, sexa pola razón que sexa.

Neste nivel administrativo é importante diferenciar aqueles postos de xestión, coa súa xerarquía organizativa (Consellería do Mar, delegación territorial, direccións xerais, subdireccións xerais, xefaturas de servizo...), daqueles postos técnicos (Investigación-CIMA, Control-Intecmar, biólogas/os de zona, persoal de mostraxe...), xa que cada un deles terá unha implicación diferente tanto na toma de decisións como no asesoramento, seguimento e execución do plan.

Así mesmo, hai outras administracións que, ben por ter un interese directo na posta en marcha do plan por razóns socioeconómicas (Administración local), de ampliación do coñecemento (universidades, CSIC...), ben por ter responsabilidade competencial (Administración do Estado, outras consellerías), deben figurar na lista de grupos de interese.

6.4.2. Entidades do sector marisqueiro

Probablemente as entidades pertencentes a este grupo son as que marcarán o ritmo para a implementación do plan de recuperación, tendo en conta tanto as persoas representantes do sector (produtoras) como o persoal técnico que traballa nestas entidades.

As agrupacións e asociacións de marisqueo, por seren fundamentalmente os colectivos que explotan os bancos naturais de berberecho, son o grupo de interese con máis implicación á hora de desenvolver o plan de recuperación. Non obstante, tamén hai que avaliar se outros colectivos do sector e as entidades organizativas das que

forman parte (parques de cultivo de moluscos, OPP, cooperativas do mar, confrarías de pescadores, federacións provinciais de confrarías e outras agrupacións do sector como as de recursos específicos) poden participar e/ou influír na consecución dos obxectivos do plan de recuperación.

6.4.3. Outros grupos de interese

Ademais dos citados con anterioridade, e segundo as características do territorio así como o ámbito territorial de afección do plan de recuperación, terase tamén que avaliar o interese doutras entidades económicas que operan no territorio (entidades de obtención de semente -criadeiros-, públicas ou privadas, ou empresas depuradoras e de estabulación), así como ter en conta a poboación en xeral.

6.4.4. Gobernación

Os axentes implicados en cada caso deberán estar fluidamente comunicados e coordinados. A relación de axentes implicados dependerá da magnitude do plan de recuperación que, á súa vez, dependerá do alcance da afectación. O desexable é que varios axentes diferentes estean implicados na resolución dun caso concreto, polo que a coordinación é imprescindible. É aconsellable que o liderado na coordinación sexa asumido pola administración con maior nivel de competencias na materia, ou polo axente con meirande capacidade técnica, organizativa e económica; pero asegurando que todos e cada un dos axentes participantes teña un papel claro, ben definido e acordado entre todos. Deste xeito:

- Un alcance ou nivel de aplicación do plan máis local debería contar cun protagonismo claro da entidade representante do sector produtivo, en tanto que é coñecedora da contorna. Sería interesante a participación da administración local e sempre aconsellable o liderado da Administración responsable da xestión do recurso.

- Unha actuación cun alcance máis amplo debería ser liderada pola administración con competencias máis amplas sobre a xestión marisqueira -neste caso a autonómica–, o que non debería excluír a colaboración entre institucións do mesmo nivel ou mesmo con institucións estatais e/ou europeas. As propias fontes de financiamento poderían influír ou determinar os niveis de representacións institucionais.

A complexidade da coordinación fai recomendable a existencia de dous niveis de coordinación, cun comité de coordinación e xestión global e cun comité técnico. O Comité de Coordinación débese encargar da promoción, xestión e gobernación do plan, incluídas as persoas representantes das institucións, organizacións e colectivos implicados, e o Comité Técnico encargarase das cuestións científico-técnicas do programa. Entre ambos os comités é necesaria unha canle de coordinación continua a través dunha comisión permanente de coordinación con representación dos dous comités.

Convén deseñar e manter un plan de comunicación para informar a poboación e mesmo facela partícipe do desenvolvemento e éxito do plan de recuperación, pois a aceptación social do programa favorecerá o seu desenvolvemento.

7. AVALIACIÓN DA RESTAURACIÓN

Para coñecer se o programa de restauración está acadando os obxectivos propostos debe desenvolverse un plan de seguimento e avaliación. Ademais, coa avaliación do desenvolvemento do programa decidiranse as modificacións necesarias do plan de operacións, se é o caso. Por tanto, a propia avaliación retroalimentará o deseño do programa. O tipo de avaliación vai vir condicionada polos obxectivos definidos ao inicio das accións de recuperación, xa que non se vai avaliar do mesmo xeito un proxecto de restauración pesqueira que ecolóxica.

No caso dos bancos de berberecho asolados pola marteiliose, o fin último que se persegue é a recuperación das poboacións de xeito que se poda reiniciar unha actividade marisqueira sostible. A avaliación dun programa deste tipo centrarase principalmente no seguimento de variables indicadoras do estado da poboación a nivel demográfico e sanitario. Co fin de establecer se se está a producir unha mellora co tempo, cómpre dispor de niveis de referencia, tanto da situación de partida antes de emprender os labores de recuperación como da situación que se persegue coa restauración. Tamén é moi importante a contextualización temporal dos obxectivos de recuperación que se pretenden e establecer obxectivos a curto (por exemplo o establecemento e a supervivencia dun ou varios pulsos de recrutamento) e a medio-longo prazo (a recuperación e o mantemento dunha explotación marisqueira con topes de captura previos ao colapso dos bancos).

7.1. Caracterización demográfica: seguimento da distribución espacial, da densidade e da estrutura de tamaños da poboación

A estimación de variables demográficas típicas, como a distribución espacial, a densidade e a distribución da frecuencia de tamaños do berberecho, así como a análise da súa evolución temporal, pode proporcionar información moi valiosa sobre o estado da poboación. Para isto resultan moi útiles as metodoloxías clásicas baseadas no desenvolvemento de dúas campañas de mostraxe poboacional ao ano: unha ao inicio da primavera, que permite obter estruturas de tamaños que reflicten o stock reprodutor, e outra no outono, que reflicte o recrutamento incorporado á poboación, xunto co stock explotable ao inicio das campañas marisqueiras (Parada et al., 2006). A toma de mostras pode seguir un deseño regular estratificado con estacións fixas que se manteñen ao longo do tempo, o que resulta moi adecuado para estudar simultaneamente a distribución espacial e a abundancia. Tamén pode optarse por un deseño aleatorio con mostraxes ao azar, estratificadas ou non, pero este tipo de mostraxes aleatorias non permiten a definición de padróns de distribución espacial.

O seguimento dos diferentes pulsos de recrutamento na zona que se vai recuperar é fundamental para avaliar o éxito do proceso de recuperación. Para iso, a partir das distribucións de frecuencias de tamaños atopadas nas diferentes mostraxes poden

identificarse as hipotéticas cohortes presentes en cada mostraxe empregando, por exemplo, o método de Batthacharya incluído no programa FiSAT II da FAO (Gayanilo et al., 2005). Deste xeito pode tratar de analizarse se a distribución por idades e tamaños dos individuos das poboacións é indicativa dunha poboación san, o que debe incluír unha proporción elevada de individuos de idade avanzada/tamaño grande, segundo o indicador D3C3 do descritor 3 definido na Decisión (UE) 2017/848 da Comisión, referida aos criterios e ás normas metodolóxicas aplicables ao bo estado ambiental das augas mariñas (Anónimo, 2017).

Mediante análises da progresión modal dos histogramas de distribución de tamaños pódense estimar diferentes parámetros da ecuación de crecemento de von Bertalanffy (1938). Tamén analizando a evolución temporal da abundancia das diferentes cohortes identificadas se pode estimar a mortalidade anual nos bancos marisqueiros. Este tipo de metodoloxías están ben descritas en manuais de bioloxía pesqueira (Haddon, 2011; King, 2007) e mesmo implementadas en ferramentas informáticas como ARouSA (Parada e Molares, 2009).

Complementariamente, pódese estimar de xeito máis detallado a mortalidade natural mediante a disposición de berberechos testemuña en caixas de confinamento dispostas na área de estudo, que se revisan cunha periodicidade definida rexistrando o número de berberechos vivos e mortos (Villalba et al., 2014; Iglesias et al., 2023a,b). Estas caixas pódense cubrir con mallas protectoras ou non, segundo se queira considerar ou non o factor da depredación na estima da mortalidade.

Toda esta información constituirá un factor de retroalimentación crucial para redeseñar os procedementos, en concreto, a revisión das localizacións e os tamaños das parcelas onde se instalan os berberechos, as densidades dos berberechos e a idade dos individuos achegados, a necesidade de novas achegas de berberechos, a conveniencia de rareos de recrutas e de transplantes de recrutas ou adultos, as accións antidepredadoras... Ademais, a información permitirá validar ou corrixir modelos de circulación larval, se están dispoñibles (Zhang et al., 2021). Como se comentou, cómpre manter un stock de reprodutores con contía e calidade suficientes durante todo o proceso de restauración, repoñéndoo ano tras ano para aproveitar cada época reprodutiva, ata que a poboación de berberecho alcance un nivel que permita unha explotación sostible. Se é o caso, haberá que adaptar a normativa (e a vixilancia) de acordo coa evolución do programa e as necesidades de modificacións de procedementos.

7.2. Seguimento do estado sanitario

Posto que nos atopamos no suposto dun programa de recuperación de bancos afectados por unha patoloxía, resulta fundamental facer un seguimento do estado de saúde das poboacións de berberecho establecidas nas zonas que se van restaurar. Tal e como se comentou no apartado 4, a técnica histolóxica é a metodoloxía idónea para

abordar esta tarefa xa que, ademais da detección das infeccións por *M. cochillia,* permite a diagnose dun amplo abano de parasitos e patoloxías e provee de moita información ao respecto do estado fisiolóxico dos individuos. No caso de precisar resultados moi rápidos, pode complementarse coa diagnose de *M. cochillia* mediante PCR. Se ben a detección de *M. cochillia* pode realizarse tanto analizando individuos adultos como xuvenís, tense mostrado como moi útil o seguimento temporal dos pulsos anuais de recrutamento, especialmente co fin de avaliar a resistencia á marteiliose nas novas xeracións de berberechos que se incorporan á poboación (Iglesias et al., 2023a, b). Poderíase avaliar a conveniencia de combinar os diagnósticos de marteiliose nos berberechos con análises da presenza/abundancia do parasito en mostras ambientais (Bass et al., 2023), na auga e no sedimento (substrato dos bancos).

7.3. Seguimento ambiental

Resulta moi recomendable o seguimento das principais variables ambientais rexistradas nas zonas obxecto de recuperación. Esta información pode resultar fundamental para comprender o estado das poboacións e para interpretar eventos de mortalidade anormal. A situación idónea sería a disposición na zona de rexistradores continuos de, polo menos, temperatura e salinidade. Alternativamente pódese recorrer a medicións puntuais mediante sondas portátiles ou, no caso de atoparse cerca, á consulta dos rexistros da rede de estacións oceanográficas do Intecmar (http://www.intecmar.gal/informacion/fito/estacions/Default.aspx).

7.4. Discriminación xenética dos recrutas

É fundamental realizar un seguimento xenético específico para discriminar entre berberechos recrutados derivados da poboación de berberechos achegados (ou as larvas producidas no criadeiro) e recrutas de calquera outra orixe. Non se pode descartar que, de forma limitada ou masiva, entren larvas derivadas de berberechos localizados fóra da zona en recuperación e que se asenten na área en proceso de restauración. Ademais, os escasos berberechos existentes previamente nos bancos naturais da área que se vai recuperar tamén poderían contribuír a novos recrutamentos. Polo tanto, é importante discriminar a orixe dos recrutas para avaliar con precisión a contribución dos berberechos achegados aos novos recrutamentos (Wilbur et al., 2005; Díaz Puente et al., 2016). Isto ten particular importancia se os berberechos empregados na recuperación deben ter un carácter específico, como resistencia ás enfermidades, pois as larvas derivadas doutros berberechos poden carecer deste carácter. Neste sentido, hai marcadores xenéticos da resistencia á marteiliose dispoñibles (Pampín et al., 2023; Villalba et al., 2023).

Ademais, o mantemento da variabilidade xenética e a prevención da endogamia excesiva é moi importante para garantir a sustentabilidade da poboación (Gaffney, 2006; Hornick e Plough, 2019, 2022). O seguimento xenético permitirá avaliar a diversidade xenética así como avaliar se mantén algunha estrutura xenética entre os

diferentes anos (Zhang et al., 2021). De novo, este coñecemento retroalimentará o proceso, e revelará as desviacións para corrixir modificacións do procedemento. O coñecemento profundo do xenoma do berberecho (Pardo et al., 2021; Bruzos et al., 2023) e da estrutura xenética das poboacións de berberechos ao longo da costa atlántica europea (Vera et al., 2022, 2023) son recursos fundamentais para o seguimento xenético dos novos recrutamentos de berberecho que se produzan na área en proceso de restauración.

7.5. Avaliación dos beneficios ecolóxicos e outros servizos ecosistémicos

O berberecho común é unha especie enxeñeira clave nos ecosistemas litorais (Dairain et al., 2020; Maire et al. 2021), polo que é de esperar que se produzan cambios no ecosistema como consecuencia da recuperación dos bancos esgotados. O seguimento dos cambios ecolóxicos, como a estrutura da comunidade da macrofauna e a diversidade (Hewitt e Cummings, 2013; Shantharam et al., 2019; Blanchet et al., 2021), producidos ao longo do proceso de recuperación e, mesmo avaliando calquera outro servizo ecosistémico do berberecho (Carss et al. 2020; Jackson-Bué et al., 2021) sería moi útil para demostrar os beneficios dos procesos de recuperación, máis alá do de permitir unha actividade extractiva.

8. BIBLIOGRAFÍA

Alfjorden, A., Areskog, M., Bruno, D., Carnegie, R., Cheslett, D., Feist, S., Ford, S., Jones, S., Lillehaug, A., Madsen, L., Renault, T., Ruane, N., Vennerström, P., 2017. New trends in important diseases affecting the culture of fish and molluscs in the ICES Area 2002 – 2015 *ICES Cooperative Research Report No.* 337. 50 p. http://doi.org/10.17895/ices.pub.2800

Alves Monteiro, H.J., Saurel, C., Jacobsen, M.J., Hemmer-Hansen, J., Bekkevold,D., 2022. Genetic parentage reconstruction as a practical tool applied to aquaculture and restoration programs for the European flat oyster, *Ostrea edulis. Aquatic Living Resources* 35:18. https://doi.org/10.1051/alr/2022018

André, C., Lindegarth, M., 1995. Fertilization efficiency and gamete viability of a sessile free-spawning bivalve, *Cerastoderma edule. Ophelia,* 43:215–227. https://doi.org/10.1080/00785326.1995.10429833

André, C., Jonsson, P., Lindegarth, M., 1993. Predation on settling bivalve larvae by benthic suspension feeders: the role of hydrodynamics and larval behaviour. *Marine Ecology Progress Series,* 97:183–192.

Anónimo, 2017. Decisión (UE) 2017/848 de la Comisión, de 17 de mayo de 2017, por la que se establecen los criterios y las normas metodológicas aplicables al buen estado medioambiental de las aguas marinas, así como especificaciones y métodos normalizados de seguimiento y evaluación, y por la que se deroga la Decisión 2010/477/UE. *DOUE 125, de 18 de mayo de 2017,* 43–74.

Ansell, A.D., 1969. Leaping movements in the Bivalvia. *Proceedings of the Malacological Society of London* 38:387–399. https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.mollus.a065059

Arnold, W.S., 2001. Bivalve enhancement and restoration strategies in Florida, U.S.A. *Hydrobiologia* 465:7–19. https://doi.org/10.1023/A:1014596909319.

Arnold, W.S., 2008. Application of larval release for restocking and stock enhancement of coastal marine bivalve populations. *Reviews in Fisheries Science* 16:65–71. https://doi.org/10.1080/10641260701678140

Arnold, W.S., Marelli, D.C., Parker, M., Hoffman, P., Frischer, M., Scarpa, J., 2002. Enhancing hard clam (*Mercenaria* spp.) population density in the Indian River Lagoon, Florida: a comparison of strategies to maintain the commercial fishery. *Journal of Shellfish Research* 21:659–672.

Bass, D., Christison, K.W., Stentiford, G.D., Cook, L.S.J., Hartikainen, H., 2023. Environmental DNA/ARN for pathogen and parasite detection, surveillance and ecology. *Trends in Parasitology* 9:285–304. https://doi.org/10.1016/j.pt.2022.12.010

Beal, B.F., Kraus, M.G., 2002. Interactive effects of initial size, stocking density, and

type of predator deterrent netting on survival and growth of cultured juveniles of the soft-shell clam, *Mya arenaria* L., in eastern Maine. *Aquaculture* 208:81–111. https://doi.org/10.1016/S0044-8486(01)00900-0

Beukema, J., 1979. Biomass and species richness of the macrobenthic animals living on a tidal flat area in the Dutch Wadden Sea: effects of a severe winter. *Netherlands Journal of Sea Research* 13:203–223. https://doi.org/10.1016/0077-7579(79)90003-6

Bidegain, G., Bárcena, J.F., García, A., Juanes, J.A., 2013. LARVAHS: Predicting clam larval dispersal and recruitment using habitat suitability-based particle tracking model. *Ecological Modelling* 68:78–92. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2013.07.020

Blanchet, H., Goedknegt, A., van Paemelen, R., Maire, O., Laveque, N., Latry, L., Gouillieux, B., de Montaudouin, X., Humbert, S., Chainho, P., Carvalho, F., Cabal, S., Cruz, J., Ramajal, J., Joaquim, S., Matias, D., Ramos, M., Soares, J., Castano, S., Ribeiro, l., Incera, M., Couñago, E., Rocroy, M., 2021. *Cockles as ecosystem engineer Relation between cockles and the structure and diversity of associated macrozoobenthic community*. Project COCKLES Report-Output 8.1. 46 p. https://cocklesproject.eu/public/uploads/downloads/c4545b92833658bad1950a1e8f60238d.pdf.

Bordignon, F., Trocino, A., Rossetti, E., Zomeño, C., Pascual, A., Birolo, M., Martines Llorens, S., Xiccato, G., 2021. Effect of stocking density on growth and survival of juvenile Manila clams *(Ruditapes philippinarum)* farmed in suspended lanterns in a North Italian lagoon. *Aquaculture Reports* 20:100719. https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100719

Borrell, Y.J., Arias-Pérez, A., Freire, R., Valdés, A., Sánchez, J.A., Méndez, J., Martínez, D., López, J., Varleos, C., Blanco, G., Insua, A.M., 2014. Microsatellites and multiplex PCRs for assessing aquaculture practices of the grooved carpet shell *Ruditapes decussatus* in Spain. *Aquaculture* 426-427:49–59. http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.01.010

Boyden, C., Russell, P., 1972. The distribution and habitat range of the brackish water cockle *(Cardium (Cerastoderma) glaucum)* in the British Isles. *The Journal of Animal Ecology* 41:719–734. https://doi.org/10.2307/3205

Brock, V., 1980. The geographical distribution of *Cerastoderma (Cardium) edule* L. and *C. Lamarcki* (Reeve) in the Baltic and adjacent seas related to salinity and salinity fluctuations *Ophelia* 19:207–214. https://doi.org/10.1080/00785326.1980.10425517

Brumbaugh, R. D., Beck, M. W., Coen, L. D., Craig, L., Hicks, P., 2006. *A practitioners' guide to the design and monitoring of shellfish restoration projects an ecosystem approach*. The Nature Conservancy, Arlington, 28 p.

Bruzos, A.L., Santamarina, M., Garcia-Souto, D., Diaz, S., Rocha, S., Zamora, j., Lee, Y., Viñas-Feás, A., Quail, M.A., Otero, I., Pequeño-Valtierra, A., Temes, J., Rodriguez-Castro, J., Aramburu, L., Vidal-Capón, A., Villanueva, A., Costas, D., Rodriguez, R., Prieto, T., Tomas, L., Alvariño, P., Alonso, J., Cao, A., Iglesias, D., Carballal, M.J., Amaral, A.M., Balseiro, P., Calado, R., El Khalfi, B., Izagirre, U., de Montaudouin, X., Pade, N.G., Probert, I., Ricardo, F., Ruiz, P., Skazina, M., Smolarz, K., Pasantes, J.J., Villalba, A., Ning, Z., Ju, Y.S., Posada, D., Demeulemeester, J., Baez-Ortega, A., Tubio J.M.C., 2023. Somatic evolution of marine transmissible leukemias in the common cockle, *Cerastoderma edule*. *Nature Cancer* 4:1575–1591. https://doi.org/10.1038/s43018-023-00641-9

Burreson, E.M., 2008. Misuse of PCR assay for diagnosis of mollusc protistan infections. *Diseases of Aquatic Organisms* 80: 81–83. https://doi.org/10.3354/dao01925

Caddy, J.F., Defeo, O., 2003. *Enhancing or restoring the productivity of natural populations of shellfish and other marine invertebrate resources. FAO Fisheries Technical Paper*. No. 448. Rome, FAO. 159 p.

Calvo, L.M.R., Dungan, C.F., Roberson, B.S., Burreson, E.M., 2003. Systematic evaluation of factors controlling *Perkinsus marinus* transmission dynamics in lower Chesapeake Bay. *Diseases of Aquatic Organisms* 56:75–86. https://doi.org/10.3354/dao056075

Cameron, A., 2002. *Survey Toolbox for Aquatic Animal Diseases. A Practical Manual and Software Package*. Australian Centre for International Agricultural Research Monograph No. 94. 375 p.

Cao, A., Iglesias, D., Carballal, M.J., Villalba, A., 2021. Identification of protein markers of marteiliosis resistance. Project COCKLES Report-Deliverable 7.2. 40 p. https://cockles-project.eu/public/uploads/downloads/08bb19cda0c40de6d14b96c180c43ad7.pdf

Carballal, M.J., Iglesias, D., Darriba, S., Cao, A., Mariño, J.C., Ramilo, A., No, E., Villalba, A., 2016. Parasites, pathological conditions and resistance to *Marteilia cochillia* in lagoon cockle *Cerastoderma glaucum* from Galicia (NW Spain). *Diseases of Aquatic Organisms* 122:137–152. https://doi.org/10.3354/dao03070

Carballal, M.J., Iglesias, D., Abollo, E., Cao, A., García, L., Ramilo, A., González, A.I., González, A.F., Pascual, S., Villalba, A., 2019. Looking for hosts of *Marteilia cochillia* in the zooplankton. En: *19th International Conference on Diseases of Fish and Shellfish Abstract Book,* European Association of Fish Pathologists, p. 502.

Carrasco, N., Hine, P. M., Durfort, M., Andree, K. B., Malchus, N., Lacuesta, B., Gonzalez, M., Roque, A., Rodgers, C., Furones, M.D., 2013. *Marteilia cochillia* sp. nov., a new *Marteilia* species affecting the edible cockle *Cerastoderma edule* in European waters. *Aquaculture* 412:223–230. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.07.027

Carss, D.N., Brito, A.C., Chainho, P., Ciutat, A., de Montaudouin, X., Fernández Otero, R.M., Filgueira, M. I., Garbutt, A., Goedknegt, M.A., Lynch, S.A., Mahony, K.E., Maire, O., Malham, S.K., Orvain, F., van der Schatte Olivier, A., Jones, L., 2020. Ecosystem services provided by a non-cultured shellfish species: The common cockle *Cerastoderma edule*. *Marine Environmental Research* 158:104931. https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2020.104931

Cigarría, J., Fernández, J.M., 2000. Management of Manila clam beds: I. Influence of seed size, type of substratum and protection on initial mortality. *Aquaculture* 182:173–182. https://doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00257-4

Coen, L.D., Bishop, M.J., 2015. The ecology, evolution, impacts and management of host-parasite interactions of marine molluscs. *Journal of Invertebrate Pathology* 131:177–211. http://doi.org/10.1016/j.jip.2015.08.005

Comps, M.M., Grizel, H., Tige, G., Duthoit, J.L., 1975. Parasites nouveaux de la glande digestive des mollusques marins *Mytilus edulis* L. *et Cardium edule L. Comptes Rendues de l'Académie des Sciences* 281:179–181.

Coscia, I., Wilmes, S.B., Ironside, J.E., Goward-Brown, A., O'Dea, E., Malham, S.K., McDevitt, A.D., Robins, P.E., 2020. Fine-scale seascape genomics of an exploited marine species, the common cockle *Cerastoderma edule,* using a multimodelling approach. *Evolutionary Applications* 13:1854–1867. https://doi.org/10.1111/eva.12932

Creek, G.A., 1960. The development of the lamellibranch *Cardium edule* L. *Proceedings of the Zoological Society of London* 135:243–260. https://doi.org/10.1111/j.1469-7998.1960.tb05843.x

Dabouineau, L., Ponsero, A., 2009. Synthesis on biology of Common European Cockle *Cerastoderma edule*. hal-00581394. https://hal.science/hal-00581394

Dairain, A., Maire, O., Meynard, G., Richard, A., Rodolfo-Damiano, T., Orvain, F., 2020. Sediment stability: can we disentangle the effect of bioturbating species on sediment erodibility from their impact on sediment roughness? *Marine Environment Research* 162:105147. https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2020.105147

Dare, P., Bell, M., Walker, P., Bannister, R., 2004. *Historical and current status of cockle and mussel stocks in The Wash*. CEFAS, Lowestoft, 85 p.

Darriba, S., Iglesias, D., Carballal, M.J., 2020. *Marteilia cochillia* is released into seawater via cockle *Cerastoderma edule* faeces. *Journal of Invertebrate Pathology* 172:107364. https://doi.org/10.1016/j.jip.2020.107364

de Montaudouin, X., 1997. Potential of bivalves' secondary settlement differs with species: a comparison between cockle *(Cerastoderma edule)* and clam *(Ruditapes philippinarum)* juvenile resuspension. *Marine Biology* 128:639–648. https://doi.org/10.1007/s002270050130

de Montaudouin, X., Arzul, I., Cao, A., Carballal, M.J., Chollet, B., Correia, S., Cuesta, J., Culloty, S., Daffe, G., Darriba, S., Díaz, S., Engelsma, M., Freitas, R., Garcia, C., Goedknegt, A., Gonzalez, P., Grade, A., Groves, E., Iglesias, D., Jensen, K.T., Joaquim, S., Lynch, S., Magalhães, L., Mahony, K., Maia, F., Malham, S., Matias, D., Nowaczyk, A., Ruano, F., Thieltges, D., Villalba, A., 2021. *Inventario de parasitos e enfermidades do berberecho* Cerastoderma edule. UA Editora – Universidade de Aveiro, 128 p. http://doi.org/10.34624/xq5v-kt60

Díaz-Puente, B., Miñambres, M., Rosón, G., Aghzar, A., Presa, P., 2016. Genetic decoupling of spat origin from hatchery to harvest of *Mytilus galloprovincialis* cultured in suspension. *Aquaculture* 460:124–135. http://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.04.016

Dijkema, R., Bol, J., Vroonland, C., 1987. Enhancement of the production of cockles *(Cerastoderma edule L.)* by thinning out a dense natural bed and reseeding, Oosterschelde, SW-Netherlands. *International Council for the Exploration of the Sea, Shellfish Committee C.M.* 1987/K:12, 21 p.

Dominguez, R., Olabarria, C., Vazquez, E., 2023. Assessment of risks associated with extreme climate events in small-scale bivalve fisheries: conceptual maps for decision-making based on a review of recent studies. *Journal of Marine Science and Engineering* 11:1216. https://doi.org/10.3390/jmse11061216

Donadi, S., van der Zee, E.M., van der Heide, T., Weerman, E.J., Piersma, T., de Koppel, J.V., Olff, H., Bartelds, M., van Gerwena, I., Eriksson, B.K., 2014. The bivalve loop: Intra-specific facilitation in burrowing cockles through habitat modification. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 461:44–52. https://doi.org/10.1016/j.jembe.2014.07.019

Ducrotoy, J.P., Rybarczyk, H., Souprayen, J., Bachelet, G., Beukema, J.J., Desprez, M., Dörjes, J., Essink, K., Guillou, J., Michaelis, H., Sylvand, B., Wilson, J.G., Elkaïm, B., Ibanez, F., 1991. A comparison of the population dynamics of the cockle *(Cerastoderma edule* L.) in North Western Europe. En: Elliot, M., Ducrotoy, J.P. (eds.), *Estuaries and Coasts: Spatial and Temporal Intercomparisons*. Olson & Olson, Fredensborg, p. 173–184

Fernández Otero, R.M., Villalba, A., Costas, D., Joaquim, S., Matías, D., 2021 *Compilation of culture experiences*. Centro Tecnológico del Mar- Fundación CETMAR, Vigo, 46 p. https://cockles-project.eu/public/uploads/downloads/249112e2dc888dbe1db19f9ae430e8db.pdf

Fitzsimons, J., Branigan, S., Brumbaugh, R.D., McDonald, T., zu Ermgassen, P. S.E., (Eds.) 2019. *Restoration Guidelines for Shellfish Reefs*. The Nature Conservancy, Arlington VA, USA. 72 p.

Fitzsimons, J.A., Branigan, S., Gillies, C.L., Brumbaugh, R.D., Cheng, J., DeAngelis, B.M., Geselbracht, L., Hancock, B., Jeffs, A., McDonald, T., McLeod, I., Pogoda, B., Theuerkauf, S.J., Thomas, M., Westby, S., zu Ermgassen, P.S.E., 2020. Restoring

shellfish reefs: Global guidelines for practitioners and scientists. *Conservation Science and Practice* 2:e198. https://doi.org/10.1111/csp2.198

Ford, S.E., Haskin, H.H., 1987. Infection and mortality patterns in strains of oyster *Crassostrea virginica* selected for resistance to the parasite *Haplosporidium nelsoni* (MSX). *Journal of Parasitology* 73:368–376.

Ford S.E., Scarpa E, Bushek D., 2012. Spatial and temporal variability of disease refuges in an estuary: implications for the development of resistance. *Journal of Marine Research* 70:253–277.

Fuentes, J., 2020. *Informe final da Acción de Investigación CROQUEDOUS – Engorde en batea de semente de berberecho producida en criadeiro. Mellora da metodoloxía de cultivo*. Informe interno da Consellería do Mar da Xunta de Galicia, 60 p.

Gaffney, P.M., 2006. The role of genetics in shellfish restoration. *Aquatic Living Resources* 19:277–282. https://doi.org/10.1051/alr:2006028

Gam, M., de Montaudouin, X., Bazairi, H., 2010. Population dynamics and secondary production of the cockle *Cerastoderma edule:* a comparison between Merja Zerga (Moroccan Atlantic Coast) and Arcachon Bay (French Atlantic Coast). *Journal of Sea Research* 63:191–201. https://doi.org/10.1016/j.seares.2010.01.003

Gann, G. D., McDonald, T., Walder, B., Aronson, J., Nelson, C. R., Jonson, J., Hallett, J.G., Eisenberg, C., Guariguata, M.R., Liu, J., Hua, F., Echeverria, C., Gonzales, E., Shaw, N., Decleer, K., Dixon, K.W., 2019. International principles and standards for the practice of ecological restoration (2ª ed.). *Restoration Ecology* 27:S3-S46. https://doi.org/10.1111/rec.13035

Gayanilo, F.C. Jr., Sparre, P., Pauly, D., 2005. *FAO-ICLARM Stock assessment tools II (FiSAT II). Revised version. User´s guide.* FAO Computerized Information Series (Fisheries). No. 8, Revised version. FAO, Roma. 168 p.

Goodwin, J.D., Munroe, D.M., Defne, Z., Ganju, N.K., Vasslides, J., 2019. Estimating connectivity of hard clam (*(Mercenaria mercenaria)* and eastern oyster *(Crassostrea virginica)* larvae in Barnegat Bay *Journal of Marine Science and Engineering* 7:167. https://doi.org/10.3390/jmse7060167

Guerra Díaz, A., 2009. *Jornadas sobre criaderos, semilleros y cultivo de almejas.* Xunta de Galicia, Santiago de Compostela, 165 p.

Haddon, M., 2011. *Modelling and quantitative methods in fisheries* (2ª ed.). Taylor & Francis, Boca Raton, 465 p. https://doi.org/10.1201/9781439894170

Hewitt, J.E., Cummings, V.J., 2013. Context - dependent success of restoration of a key species, biodiversity and community composition. *Marine Ecology Progress Series* 479:63–73. https://doi.org/10.3354/meps10211

Hoopper, C., Ward, G.M., Foster, R., Skujina, I., Ironside, J.E., Berney, C., Bass, D., 2023. Long amplicons as a tool to identify variable regions of ribosomal RNA for improved taxonomic resolution and diagnostic assay design in microeukaryotes: using Ascetosporea as a case study. *Frontiers in Ecology and Evolution* 11:1266151. https://doi.org/10.3389/fevo.2023.1266151

Hornick, K.M., Plough, L.V., 2019. Tracking genetic diversity in a large-scale oyster restoration program: effects of hatchery propagation and initial characterization of diversity on restored vs. wild reefs. *Heredity* 123:92–105. https://doi.org/10.1038/s41437-019-0202-6

Hornick, K.M., Plough, L.V., 2022. Genome - wide analysis of natural and restored eastern oyster populations reveals local adaptation and positive impacts of planting frequency and broodstock number. Evolutionary Applications 15:40–59. https://doi.org/10.1111/eva.13322 *Evolutionary Applications*

Hunt, H.L., Pilditch, C.A., Gladstone-Gallagher, R.V., Lundquist, C.J., 2020. Spatial and temporal variation in the dispersal of clam populations on intertidal flats. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 524:151291. https://doi.org/10.1016/j.jembe.2019.151291

Iglesias, D., 2006. *Estudio patológico de las poblaciones de berberecho* Cerastoderma edule (l.) *de Galicia*. Memoria da tese de doutoramento. Universidade de Santiago de Compostela 266 p.

Iglesias, D., 2010. *Estudio de determinación de la talla de primera maduración sexual y de maduración masiva del berberecho* Cerastoderma edule (L.) *de Galicia con el fin de modificar la talla mínima legal de extracción establecida en la Orden de 15 de noviembre de 1992*. Informe interno da Consellería do Mar da Xunta de Galicia, 6 p.

Iglesias, D., Villalba, A., No, E., Darriba, S., Mariño, C., Fernández, J., Carballal, M.J., 2015. Cockle *Cerastoderma edule* marteiliosis first detected in Ría de Arousa (Galicia, NW Spain) has spread to other Galician rias causing mass mortality. En: *17th International Conference on Diseases of fish and S hellfish, Las Palmas de Gran Canaria, Spain. Book of Abstracts,* European Association of Fish Pathologists, p. 348.

Iglesias, D., Villalba, A., Mariño, C., No, E., Carballal, M.J., 2023a. Long-term survey discloses a shift in the dynamics pattern of an emerging disease of cockles *Cerastoderma edule,* marteiliosis, and raises hypotheses to explain it. *Journal of Invertebrate Pathology* 201:108021. https://doi.org/10.1016/j.jip.2023.108021

Iglesias, D., Cao, A. S., Carballal, M.J., Villalba, A., 2023b. Decline of *Marteilia cochillia* in Ría de Arousa may be due to increased resistance in host *Cerastoderma edule. Diseases of Aquatic Organisms* 156:7–13. https://doi.org/10.3354/dao03756

Jackson-Bué, M., Brito, A.C., Cabral, S., Carss, D.N., Carvalho, F., Chainho, P., Ciutar, A., Couñago Sánchez, E., de Mountaudouin, X., Fernández Otero, R.M., Incera Filgueira, M., Fitch, A., Garbutt, A., Goedknegt, M.A., Lynch, S.A., Mahoney, K., Maire, O., Malham, S.K., Orvain, F., Rocroy, M., van der Scatte Olivier, A., Jones, L., 2021. Inter-country differences in the cultural ecosystem services provided by cockles. *People and Nature* 4:71–87. https://doi.org/10.1002/pan3.10252

Jensen, K.T., 1992. Dynamics and growth of the cockle, *Cerastoderma edule,* on an intertidal mud-flat in the Danish Wadden Sea: effects of submersion time and density. *Netherlands Journal of Sea Research* 28:335–345. https://doi.org/10.1016/0077-7579(92)90035-D

King, M., 2007. *Fisheries Biology, Assessment and Management* (2ª ed.). Blackwell Publishing Ltd., 408 p. https://doi.org/10.1002/9781118688038

Krebs, C.J., 2014. *Ecology: the experimental analysis of distribution and abundance* (6ª ed.). Pearson Education Ltd., Harlow, 646 p.

Le Roux, F., Audemard, C., Barnaud, A., Berthe, F., 1999. DNA probes as potential tools for the detection *Marteilia refringens*. *Marine Biotechnology* 1:588–597. https://doi.org/10.1007/pl00011814

Leverone, J.R., Geiger, S.P., Stephenson, S.P., Arnold, W.S., 2010. Increase in Bay scallop *(Argopecten irradians)* populations following releases of competent larvae in two west Florida estuaries. *Journal of Shellfish Research* 29:395–406. https://doi.org/10.2983/035.029.0216

LoBue, C., Udelhoven, J., 2013. Private ownership of underwater lands in Great South Bay, New York: A case study in degradation, restoration and protection. *Marine Policy* 41:103–109. https://doi.org/10.1016/j.marpol.2012.12.021

Lundquist, C.J., Oldman, J.W., Lewis, M.J., 2009. Predicting suitability of cockle *Austrovenus stutchburyi* restoration sites using hydrodynamic models of larval dispersal. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* 43:735–748. https://doi.org/10.1080/00288330909510038

MacKenzie, C.L.Jr., 1989. A guide for enhancing estuarine molluscan shellfisheries. *Marine Fisheries Review* 51:1–47.

MacKenzie, C.L.Jr., 1996. Management of Natural Populations. En: Kennedy, V.S., Newell, R.I.E., Eble, A.F., *The Eastern Oyster* Crassostrea virginica. Maryland Sea Grant, College Park, p. 707–721.

Maia, F., Barroso, C.M., Gaspar, M.B., 2021. Biology of the common cockle *Cerastoderma edule* (Linnaeus, 1758) in Ria de Aveiro (NW Portugal): Implications for fisheries management. *Journal of Sea Research* 171:102024. https://doi.org/10.1016/j.seares.2021.102024

Maire, O., Richard, A., de Montaudouin, X., Ciutat, A., Fort, F., Rodolfo-Damiano, T., Fabre-Barroso, S., Rubiello, A., Gury, L., Orvain, F., Dairain, A., 2021. *Quantifying*

the role of cockles as ecosystem engineer species supporting coastal ecosystem functioning. Project COCKLES Report-Deliverable 8.1, 53 p. https://cocklesproject.eu/public/uploads/downloads/57f5756e3a35926eca01c5ebab111c85.pdf.

Malham, S.K., Hutchinson, T.H., Longshaw, M., 2012. A review of the biology of European cockles (*Cerastoderma spp.*). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 92:1563–1577. https://doi.org/10.1017/S0025315412000355

Mann, R., Powell, E.N., 2007. Why oyster restoration goals in the Chesapeake Bay are not and probably cannot be achieved. *Journal of Shellfish Research* 26:905–917. https://doi.org/10.2983/0730-8000(2007)26[905:WORGIT]2.0.CO;2

Marsden, I.D., Adkins, S.C., 2010. Current status of cockle bed restoration in New Zealand. *Aquaculture International* 18:83–97. https://doi.org/10.1007/s10499-009-9270-6

Martínez-Castro, C., Vázquez, E., 2012. Reproductive cycle of the cockle *Cerastoderma edule* (Linnaeus 1758) in the Ría de Vigo (Galicia, Northwest Spain). *Journal of Shellfish Research* 31:757–767. https://doi.org/10.2983/035.031.0320

Mejuto, J., 1984a. Primeros datos sobre la dinámica de la población de *Cerastoderma edule* (L.) de la Ría do Pasaxe (NW de Galicia): estrategias de explotación. *Actas IV Simposium Ibérico de Estudos do Benthos Marinho* 1: 83–102.

Mejuto, J., 1984b. Contribución al estudio de la dinámica de la población de berberecho, *Cerastoderma edule* (L.), en la Ría de Noia (Galicia). *Cuadernos da Area de Ciencias Mariñas, Seminario de Estudos Galegos* 1: 453–467.

Munro, J.L., Bell, J.D., 1997. Enhancement of marine fisheries resources. *Reviews in Fisheries Science* 5:185–222. https://doi.org/10.1080/10641269709388597

Navas, J.I., López-Sanmartín, M., Perez - Miguel, M., Drake, P., 2018. Detection of *Marteilia cochillia in Cerastoderma edule* from Huelva coast (Andalusia Spain). En: *Aqua 2018 We R Aquaculture* Abstract Book, p. 463.

Pampín, M., Casanova, A., Fernández, C., Blanco, A., Hermida, M., Vera, M., Pardo, B.G., Coimbra, R.M., Cao, A., Iglesias, D., Carballal, M.J., Villalba, A., Martínez, P., 2023. Genetic markers associated with divergent selection against the parasite *Marteilia cochillia* in common cockle *(Cerastoderma edule)* using transcriptomics and population genomics data. *Frontiers in Marine Science* https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1057206

Parada, J.M., Molares, J., 2009. *Unha ferramenta para a avaliación de recursos marisqueiros*. ARouSA. Consellería do Mar, Xunta de Galicia, Santiago de Compostela.

Parada, J.M., Molares, J., Otero, X., 2012. Multispecies mortality patterns of commercial bivalves in relation to estuarine salinity fluctuation. *Estuaries and*

Coasts 35:132–142. https://doi.org/10.1007/s12237-011-9426-2

Parada, J.M., Molares, J., Sánchez-Mata, A., Martínez, G., Darriba, C., Mariño, J., 2006. Plan de actuación para la recuperación del banco "Lombos do Ulla": Campañas marisqueras desde 2002 a 2005. *Revista Galega dos Recursos Mariños* 1:1-37.

Pardo, B.G., Fernández, C., Cao, A., Blanco, A., Pampín, M., Casanova, A., Iglesias, D., Vera, M., Carballal, M.J., Villalba, A., Martínez, P., 2021. *Identification of candidate genes and genetic markers of resistance to marteiliosis*. Project COCKLES Report-Deliverable 7.3, 39 p. https://cocklesprojet.eu/public/uploads/downloads/e1b4171fe23dc7c6f5f56e07ab0d468e.pdf

Pérez Camacho, A., Román, G., 1984. Crecimiento, reproducción, mortalidad y producción del berberecho *Cerastoderma edule* (L.), en la Ría de Arousa. *Cuadernos da Area de Ciencias Mariñas, Seminario de Estudos Galegos* 1:499–507.

Pérez-Camacho, A., Román, G., 1987. La reproducción en los moluscos bivalvos. En: Espinosa de los Monteros, J., Labarta, U., (eds.), *Reproducción en acuicultura.* CAYCIT, Madrid, p. 133-184.

Preston, J., Gamble, C., Debney, A., Helmer, L., Hancock, B., zu Ermgassen, P.S.E., (eds.) 2020. *European native oyster habitat restoration handbook.* The Zoological Society of London, London, 61 p.

Proestou, D.A., Vinyard, B.T., Corbett, R.J., piesz, J., Allen, S.K., Small, J.M., Li, C., Liu, M., DeBrosse, G., Guo, X., Rawson, P., Gómez-Chiarri, M., 2016. Performance of selectively-bred lines of Eastern oyster, *Crassostrea virginica,* across Eastern US estuaries. *Aquaculture* 464:17–27. https://doi.org/doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.06.012

Pronker, A.E., Peene, F., Donner, S., Wijnhoven, S., Geijsen, P., Bossier, P., Nevejan, N., 2015. Hatchery cultivation of the common cockle *(Cerastoderma edule L.)* : from conditioning to grow-out. *Aquaculture Research* 46:302–312. https://doi.org/10.1111/are.12178

Ragone Calvo, L.M., Calvo, G.W., Burreson, E.M., 2003. Dual disease resistance in a selectively bred eastern oyster, *Crassostrea virginica,* strain tested in Chesapeake Bay. *Aquaculture* 220:69–87. https://doi.org/10.1016/S0044-8486(02)00399-X

Reise, K., 1985. *Tidal flat ecology: An experimental approach to species interactions.* Ecological Studies 54, Springer, Berlin, 194 p.

Rice, M.A., Valliere, A., Caporelli, A., 2000. A review of shellfish restoration and management projects in Rhode Island. *Journal of Shellfish Research* 19:401–408.

Shantharam, A.K., Padilla, D.K., Peterson, B.J., Doall, M., Lobue, C., Webb, A., 2019.

Macrofaunal community structure following the restocking of northern quahog *(Mercenaria mercenaria)* to Great South Bay, Long Island, NY. *Journal of Shellfish Research* 38:259–270. https://doi.org/110.2983/035.038.0206

Stewart, M.J., Creese, R.G., 2002. Transplants of intertidal shellfish for enhancement of depleted populations: Preliminary trials with the New Zealand little neck clam. *Journal of Shellfish Research* 21:21–27.

Strasser, M., Reinwald, T., Reise, K., 2001. Differential effects of the severe winter of 1995/96 on the intertidal bivalves *Mytilus edulis* , *Cerastoderma edule* and *Mya arenaria in the Northern Wadden Sea*. *Helgoland Marine Research* 55:190–197. https://doi.org/10.1007/s101520100079

Tan, E.B.P., Beal, B.F., 2015. Interactions between the invasive European green crab, *Carcinus maenas* (L.), and juveniles of the soft-shell clam, *Mya arenaria* L., in eastern Maine, USA. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 462:62–73. https://doi.org/10.1016/j.jembe.2014.10.021

Tettelbach, S.T., Europe, J.R., Tettelbach, C.R.H., Havelin, J., Rodgers, B.S., Furman, B.T., Velasquez, M., 2017. Hard clam walking: active horizontal locomotion of adult *Mercenaria mercenaria* at the sediment surface and behavioral suppression after extensive sampling. PLoS ONE 12:e0173626. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0173626

Van Colen, C., Montserrat, F., Vincx, M., Herman, P.M., Ysebaert, T., Degraer, S., 2010. Long-term divergent tidal flat benthic community recovery following hypoxia-induced mortality. *Marine Pollution Bulletin* 60:178–186. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2009.09.028

van der Heide, T., Tielens, E., van der Zee, E.M., Weerman, E.J., Holthuijsen, S., Eriksson, B.K., Piersma, T., van de Koppel, J., Olff, H., 2014. Predation and habitat modification synergistically interact to control bivalve recruitment on intertidal mudflats. *Biological Conservation* 172:163–169. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2014.02.036

van Tatenhove, J.P.M., Ramírez-Monsalve, P., Carballo-Cárdenas, E., Papadopoulou, N., Smith, C.J., Alferink, L., Ounanian, K., Long, R., 2021. The governance of marine restoration: insights from three cases in two European seas. *Restoration Ecology* 29:e13288. https://doi.org/10.1111/rec.13288

Varela-Baños, P., Parada, J.M., 2023. Análise da dinámica de crecemento do berberecho no banco marisqueiro dos Lombos do Ulla. En: Parada, J.M., No-Couto, E., Abella Rey, E. (Eds.), *Simposio de Técnicos de Marisqueo. Santiago de Compostela,* p. 171–176.

Vera, M., Maroso, F., Wilmes, S.B., Hermida, M., Blanco, A., Fernández, C., Groves, E., Malham, S.K., Bouza, C., The Cockle's Consortium, Robin, P.E., Martínez, P., 2022. Genomic survey of edible cockle *(Cerastoderma edule)* in the Northeast

Atlantic: A baseline for sustainable management of its wild resources. *Evolutionary Applications* 15:262–285. https://doi.org/10.1111/eva.13340

Vera, M., Wilmes, S.B., Maroso, F., Hermida, M., Blanco, A., Iglesias, D., Cao, A., Culloty, S., Mahony, K., Orbain., F., Bouza, C., Robins, P.E., Malham, S.K., Lynch, S., Villalba, A., Martínez, P., 2023. Heterogeneous microgeographic genetic structure of the common cockle *(Cerastoderma edule)* in the Northeast Atlantic Ocean: biogeographic barriers and environmental factors. Heredity, 131:292–305. https://doi.org/10.1038/s41437-023-00646-1

Villalba, A., Martínez, P., 2021. *Guidelines to perform a marker - assisted selective breeding programme to produce marteiliosis - resistant cockle strains.* Project COCKLES Report-Deliverable 7.4, 25 p.https://cockles-project.eu/public/uploads/downloads/986fe41694c27e7dee1662790516a04d.pdf

Villalba, A., Iglesias, D., Ramilo, A., Darriba, S., Parada, J. M., No, E., Abollo, E., Molares, J., Carballal, M.J., 2014. Cockle *Cerastoderma edule* fishery collapse in the Ria de Arousa (Galicia, NW Spain) associated with the protistan parasite *Marteilia cochillia*. *Diseases of Aquatic Organisms* 109:55–80. https://doi.org/10.3354/dao02723

Villalba, A., Coimbra, R.M., Pampín, M., Iglesias, D., Costas, D., Mariño, C., Blanco, A., Vera, M., Domínguez, M., Cacabelos E., Abella, E., Incera, M., Fernández Otero, R., Martínez, P., 2023. A common garden experiment supports a genetic component underlying the increased resilience of common cockle *(Cerastoderma edule)* to the parasite *Marteilia cochillia*. *Evolutionary Applications* 16:1789–1804. https://doi.org/10.1111/eva.13601

Von Bertalanffy, L., 1938. A quantitative theory of organic growth (inquiries on growth laws. II). *Human Biology* 10:181–213.

Wilbur, A.E., Seyoum, S., Bert, T.M., Arnold, W.S., 2005. A genetic assessment of bay scallop *(Argopecten irradians)* estoration efforts in Florida's Gulf of Mexico coastal waters (USA). *Conservation Genetics* 6:111–122 https://doi.org/10.1007/s10592-004-7747-4

Wilcox, M., Jeffs, A., 2019. Impacts of sea star predation on mussel bed restoration. *Restoration Ecology* 7:189–197. https://doi.org/10.1111/rec.12831

Xu, L., Li, Q., Xu, C., Yu, H., Kong, L., 2019. Genetic diversirty and effective population size in successive mass selected generations of black shell strain Pacific oyster *(Crassostrea gigas)* based on microsatellites and mtDNA data. *Aquaculture* 500:338–346. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.10.007

Zhang, A.G., Li, H.J., Yang, X.L., Wang, L.L., Gao, Y.C., Song, M.S., Yuan, X., 2021. Stock assessment of hatchery-released clam *Meretrix meretrix* in an estuary of China from the perspectives of population ecology and genetic diversity. *Frontiers in Marine Science* 8:725238. https://doi.org/10.3389/fmars.2021.725238

XUNTA DE GALICIA
CONSELLERÍA DO MAR

CIMA
CENTRO DE INVESTIGACIÓNS MARIÑAS