

PROGRAMA PLEAMAR 2023 · FEMPA

Fundación Biodiversidad — Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico



PROYECTO MAJA

Cultivo integral de la centolla *Maja brachydactyla*: cría y repoblación

INFORME DE RESULTADOS

Entidad beneficiaria: Universidad de Vigo

Universidade de Vigo · Estación de Ciencias Mariñas de Toralla (ECIMAT)

Periodo de ejecución: julio 2024 – febrero 2026

Este proyecto se desarrolla con la colaboración de la Fundación Biodiversidad, del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, a través del Programa Pleamar, y se cofinancia por la Unión Europea por el FEMPA (Fondo Europeo Marítimo, de Pesca y de Acuicultura).



Cofinanciado por
la Unión Europea



MINISTERIO
DE AGRICULTURA, PESCA
Y ALIMENTACIÓN



Fondos Europeos



VICEPRESIDENCIA
TERCERA DEL GOBIERNO
MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO



Datos identificativos del proyecto

Concepto	Detalle
Título	Cultivo integral de la centolla <i>Maja brachydactyla</i> : cría y repoblación
Acrónimo	MAJA
Convocatoria	Programa Pleamar 2023 — Fundación Biodiversidad F.S.P., en régimen de concurrencia competitiva para el fomento de la economía azul y la sostenibilidad pesquera y acuícola
Cofinanciación	Unión Europea — Fondo Europeo Marítimo, de Pesca y de Acuicultura (FEMPA)
Entidad beneficiaria	Universidad de Vigo (CIF Q8650002B)
Ámbito de actuación	Supraautonómico (Galicia y Cataluña) · Medio marino de competencia estatal
Ubicación principal	Estación de Ciencias Mariñas de Toralla (ECIMAT), Illa de Toralla, Vigo (Pontevedra)
Batea experimental	Ría de Arousa, ensenada de Boiro (Pontevedra)
Especie objetivo	<i>Maja brachydactyla</i> (Balss, 1922) — centolla atlántica (cód. 19034)
Presupuesto total aprobado	383.899,95 €
Periodo de ejecución	22/07/2024 – 21/02/2026
Eje del Programa	Eje 6 — Nuevos conocimientos técnicos y organizativos para una acuicultura más sostenible

Este documento constituye un informe de resultados elaborado a partir de las fuentes de verificación técnicas del proyecto MAJA. Su objetivo es difundir una síntesis orientada de los resultados más relevantes del proyecto para su a la aplicación práctica y a la transferencia de conocimiento en el sector acuícola y pesquero.



Índice

Datos identificativos del proyecto	2
1. Resumen ejecutivo	4
Resultados más destacados	4
Relevancia para el sector	4
2. Presentación del proyecto	6
2.1. Antecedentes y justificación	6
2.2. Objetivo general y objetivos específicos	6
2.3. Estructura del proyecto: el marco lógico	6
2.4. Equipo y colaboraciones	7
3. La cría en criadero: del desove al juvenil	8
3.1. Cultivo larvario	8
Protocolo y parámetros óptimos	8
Embolia gaseosa y su solución	8
Resultados de supervivencia larvaria	9
El cultivo MAJA en el contexto de la bibliografía	9
3.2. Asentamiento y metamorfosis	10
3.3. Preengorde de juveniles	11
Parámetros y manejo	11
Crecimiento durante el preengorde	11
Producción total obtenida	12
4. El engorde en el medio natural	14
4.1. Estructuras de cultivo diseñadas	14
Prototipo 1 — Jaula rígida modular MAJA-J01 (batea)	14
Prototipo 2 — Linternas flexibles de malla MAJA-L01/L02/L03 (pantalán)	15
4.2. Alimentación con subproductos de la batea	16
4.3. Piensos experimentales de engorde	16
Estudio comparativo de dietas	17
4.4. Vulnerabilidad de las estructuras de engorde a los temporales y sensibilidad a la salinidad	18
Sensibilidad de la centolla a la salinidad (recomendación técnica)	19
5. Producción para repoblación y protocolo de liberación	20
5.1. Talla mínima de liberación	20
5.2. Metodología de repoblación y seguimiento	20
5.3. Protocolo operativo de liberación	20
Fase 0 — Verificación previa	20
Fases 1 a 3 — Transporte, aclimatación y suelta	21
Fases 4 y 5 — Registro y seguimiento post-liberación	21
6. Estudio morfológico mediante tomografía computarizada	22
6.1. Fundamento y metodología	22
6.2. Resultados	22
7. Valorización del recurso y de los subproductos	23
7.1. Extracción de la vianda: un instrumento neumático	23
Ensayo complementario: altas presiones hidrostáticas (HPP)	24
7.2. Nuevos productos de mercado	24
7.3. Suplementos avícolas a partir de los caparzones	24
7.4. Valorización de conchas de mejillón: efecto sobre la brotación de patata	24
7.5. Obtención de quitina y quitosano	25
8. Circularidad y viabilidad económica	27
8.1. Análisis de circularidad	27
8.2. Evaluación económica	27
8.3. Contribución a la sostenibilidad y a la dimensión social	27
9. Innovación, transferencia y divulgación	28
9.1. Elementos innovadores del proyecto	28
9.2. Divulgación y participación del sector	28
10. Conclusiones y recomendaciones	29
10.1. Conclusiones generales	29
10.2. Recomendaciones prácticas para el sector	29
10.3. Continuidad y líneas futuras	30
10.4. Valoración final	30
Referencias bibliográficas	31
Créditos y agradecimientos	33

1. Resumen ejecutivo

El proyecto MAJA ha desarrollado, por primera vez en el mundo, un sistema integral y sostenible de cultivo, engorde y repoblación de la centolla atlántica *Maja brachydactyla*, cubriendo todo el ciclo desde el desove hasta la obtención de juveniles aptos para su engorde comercial o para la repoblación de bancos naturales. El proyecto ha demostrado que es posible producir un número muy elevado de juveniles en un espacio reducido de forma eficiente, lo que hace técnica y económicamente viable el escalado industrial del cultivo de esta especie y abre una vía real de diversificación para la acuicultura.

Resultados más destacados

- **Producción masiva de juveniles:** se obtuvieron aproximadamente 10.600 juveniles de por metro cúbico, lo que evidencia la viabilidad de una producción intensiva de juveniles en espacio reducido.
- **Supervivencia larvaria del 69 %** al final del cultivo larvario, un valor que multiplica por más de 2,5 la media de los cultivos previos recogidos en la bibliografía científica para el género *Maja*.
- **Supervivencia del 68 % en la metamorfosis** (megalopa → juvenil C1), la fase considerada el principal cuello de botella del cultivo; es el mayor porcentaje descrito hasta la fecha en esta etapa crítica, frente a valores previos habitualmente inferiores al 30 %.
- **Preengorde:** supervivencia del 85 % durante los 259 días de preengorde en criadero y tasas de crecimiento específico (1,42 % global; 1,98 % en los primeros 90 días) superiores a las publicadas para la especie.
- **Prototipo de estructuras de engorde en batea:** se diseñaron, fabricaron y ensayaron dos prototipos de estructuras de engorde en el medio marino —una jaula rígida modular para adultos en batea y linternas flexibles de varias plantas para juveniles— adaptados a la miticultura en bateas.
- **Dietas de engorde innovadoras:** se formularon piensos experimentales a base de harina de insecto que igualaron o superaron al pienso comercial de referencia (tasa de crecimiento específico del 3,44 % frente al 2,98 %), evitando harinas y aceites de pescado.
- **Protocolo de repoblación:** se estableció la talla mínima de liberación (≥ 30 mm de longitud de caparazón, ~12 g, estadio C10–C11) y un protocolo operativo completo de suelta y seguimiento post-liberación.
- **Innovación en métodos de estudio anatómico:** se analizó por primera vez la anatomía interna del exoesqueleto de la especie mediante tomografía computarizada de rayos X mediante segmentación digital automática.
- **Valorización de subproductos:** se desarrolló un instrumento neumático para la extracción rápida de la vianda, para obtener nuevos productos alimentarios, y se obtuvieron quitina y quitosano de alta calidad a partir de los caparazones, además de ensayarse la valorización de conchas de mejillón y la elaboración de suplementos avícolas.
- **Economía circular:** el análisis de circularidad reflejó una reutilización del 75 % de los materiales y subproductos generados durante la ejecución del proyecto.

Relevancia para el sector



Cofinanciado por
la Unión Europea



MINISTERIO
DE AGRICULTURA, PESCA
Y ALIMENTACIÓN



Fondos Europeos



GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO
DE AGRICULTURA, PESCA
Y ALIMENTACIÓN



GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO
DE AGRICULTURA, PESCA
Y ALIMENTACIÓN



GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO
DE AGRICULTURA, PESCA
Y ALIMENTACIÓN

La centolla es una de las especies de mayor valor gastronómico y comercial del litoral atlántico. En Galicia, más del 90 % del recurso procede de la pesca extractiva, lo que ha ejercido una presión creciente sobre unas poblaciones naturales en muchos casos desestructuradas. El proyecto MAJA ofrece al sector una doble respuesta: por un lado, una alternativa de producción acuícola que puede diversificar la actividad de bateiros y acuicultores aprovechando infraestructuras y subproductos ya existentes (el escombro de la miticultura); por otro, una herramienta de conservación mediante la producción masiva de juveniles para repoblar bancos disminuidos. El protocolo desarrollado es además extrapolable a la centolla mediterránea *Maja squinado*, en peligro crítico de extinción.

A lo largo de este informe se detallan la metodología, los datos y las recomendaciones prácticas asociadas a cada uno de estos resultados, con el propósito de facilitar su adopción por parte de las comunidades explotadoras, operadoras, comercializadoras, técnicas y científicas relacionadas con la acuicultura y la pesca.

2. Presentación del proyecto

2.1. Antecedentes y justificación

El centollo atlántico *Maja brachydactyla* es una de las especies marinas más apreciadas gastronómicamente en España, donde alcanza precios elevados en el mercado. En Galicia —principal región productora del país— más del 90 % del recurso procede de la pesca extractiva, lo que ha conducido a una sobreexplotación de las poblaciones naturales. A ello se suma un desequilibrio estructural: la obligación de devolver al mar las hembras ovadas incrementa la presión sobre los machos, reduciendo la disponibilidad de machos grandes con capacidad reproductiva y, con ello, el reclutamiento de nuevos individuos.

El centollo reúne, sin embargo, características muy favorables para el cultivo: elevada fecundidad, desarrollo larvario breve, crecimiento relativamente rápido, buena adaptación a la cautividad y alto valor comercial. Estas cualidades ya fueron señaladas por el Plan Nacional JACUMAR (2006–2009), pionero en abordar el cultivo del género *Maja* en España, cuyas conclusiones apuntaban a que la viabilidad del cultivo dependía fundamentalmente de mejorar la alimentación y optimizar los parámetros de cría. El proyecto MAJA retoma y culmina esa línea de trabajo, cerrando por primera vez el ciclo completo de producción en criadero con rendimientos compatibles con una explotación industrial.

2.2. Objetivo general y objetivos específicos

El objetivo general del proyecto fue desarrollar un sistema integrado y sostenible de cultivo, engorde y repoblación de la centolla *Maja brachydactyla* que maximice la eficiencia productiva y contribuya a la conservación y recuperación de la especie, generando a la vez productos innovadores, aprovechando de forma circular los subproductos del proceso y asegurando la viabilidad económica y la contribución a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

Este objetivo general se articuló en torno a seis objetivos específicos:

- Optimizar el cultivo larvario y el preengorde para maximizar el número de juveniles producidos en criadero.
- Desarrollar el engorde en jaulas suspendidas de una batea empleando subproductos de la miticultura como fuente de alimentación.
- Elaborar un protocolo óptimo de repoblación de bancos naturales desestructurados.
- Desarrollar nuevos métodos de extracción de la vianda para desarrollar futuros preparados para su conservación y comercialización.
- Explorar usos sostenibles de los subproductos generados durante el cultivo (caparazones, conchas de mejillón).
- Estudiar la anatomía y fisiología de la especie en todas sus fases de desarrollo mediante tomografía, y analizar la circularidad y la viabilidad económica del modelo.

2.3. Estructura del proyecto: el marco lógico

El proyecto se organizó en diez actividades (A0–A9), cada una con acciones, resultados esperados y fuentes de verificación (FV) asociadas. La siguiente tabla resume esa estructura y su grado de ejecución a modo de guía del presente informe.

Cód.	Actividad
A0	Plan de comunicación y divulgación
A1	Protocolos de cultivo larvario y asentamiento-metamorfosis
A2	Preengorde de alevines en criadero
A3	Engorde en estructuras suspendidas de batea
A4	Producción masiva y protocolo de liberación
A5	Seguimiento morfológico por tomografía
A6	Extracción de vianda y nuevos productos
A7	Aprovechamiento de subproductos
A8	Análisis de circularidad y evaluación económica
A9	Coordinación y seguimiento

2.4. Equipo y colaboraciones

El proyecto fue ejecutado por la Universidad de Vigo en la Estación de Ciencias Mariñas de Toralla (ECIMAT) con la participación de los grupos TEZE para la ejecución y GEN para el análisis de circularidad y la evaluación económica y en colaboración con el Centro de Investigación Mariña (CIM). El equipo estuvo compuesto por 14 personas.

Colaboraron activamente diversos agentes del sector: la Cofradía de Pescadores San Francisco de Vigo y la Cofradía de Pescadores San Antonio de Cambados (apoyo a la difusión y cesión de instalaciones), los bateiros de Boiro (cesión de espacio en batea para el engorde experimental), la Asociación Nacional de Mujeres de la Pesca (ANMUPESCA, difusión de la jornada final), y centros de investigación como el ICTAN-CSIC de Madrid y el IRTA de Tarragona, donde se presentaron los resultados. La planta piloto de ANFACO-CECOPESCA colaboró en los ensayos de altas presiones hidrostáticas. Se ha contado con la inestimable ayuda y colaboración del personal del departamento de Acuicultura del Instituto Galego de Formación en Acuicultura (IGAFA) y de la empresa Insuiña S.L.

3. La cría en criadero: del desove al juvenil

La producción en criadero constituye el núcleo del proyecto y la base sobre la que se sustentan tanto la vía comercial (engorde hasta talla de mercado) como la vía de conservación (repoblación). Se realizaron tres cultivos larvarios completos en las instalaciones de la ECIMAT. El primero permitió identificar y resolver un problema técnico crítico —la embolia gaseosa por sobresaturación del agua con el aire presurizado—; el segundo y el tercero se llevaron a término con éxito, con una optimización progresiva de los parámetros que culminó en los excelentes resultados del tercer cultivo.

3.1. Cultivo larvario

El ciclo larvario de *Maja brachydactyla* comprende tres estadios antes del asentamiento: Zoea I, Zoea II y megalopa. Tras el desove —que no requiere inducción específica: basta con estabular una hembra madura, identificable por la coloración negra de los ovocitos—, las larvas Zoea I se transfieren al día siguiente a los tanques de cultivo mediante un filtro de 150 µm. El desarrollo hasta el estado premetamórfico se completa en 14–17 días, en función de la temperatura.

Protocolo y parámetros óptimos

La alimentación se basó en *Artemia* salina enriquecida (nauplios y metanauplios), a una concentración que se ajustó según la observación del tracto digestivo de las larvas —desde ~3.000 individuos/L los primeros días hasta ~6.000/L a partir del quinto día. El cultivo se desarrolló en circuito abierto con renovación continua (1.000 L/día), aireación de ~10 L/min y limpieza diaria de restos de alimento y mudas. Los parámetros de cultivo óptimos determinados se resumen a continuación:

Parámetro	Rango / valor óptimo	Observaciones
Temperatura	16 – 18 °C	A 18 °C el cultivo larvario se completa en ~15 días
pH	7,5 – 8,0	
Salinidad	35 – 36 ppt	
Oxígeno disuelto	7,5 – 8,1 mg/L	Requiere desgasificación previa del agua
Densidad de siembra	~100 – 140 larvas/L	El 3.er cultivo se sembró a 140 larvas/L
Alimento	Artemia enriquecida	3.000 → 6.000 ind./L; 2–3 raciones diarias
Duración	14 – 17 días	Hasta estado premetamórfico

Se realizó un bioensayo de temperatura (14 °C, 16 °C y 18 °C) durante el desarrollo larvario: las larvas cultivadas a 18 °C alcanzaron el mayor tamaño y el desarrollo más rápido, confirmando la temperatura como factor clave del rendimiento del cultivo.

Embolia gaseosa y su solución

Durante el primer cultivo se detectó un problema no descrito previamente para la cría larvaria de centolla: la aparición microburbujas y de embolia gaseosa en los caparazones por despresurización del agua aireada. La despresurización del agua marina al salir de los conductos hacia los tanques generaba una sobresaturación de gases; las burbujas resultantes hacían flotar a las larvas, impidiéndoles sumergirse para alimentarse y provocando su acumulación en los filtros, con una mortalidad extremadamente elevada.

La solución consistió en diseñar e instalar un sistema de desgasificación específico consistente en columnas de desgasificación rellenas de polímeros plásticos biocompatibles de elevada superficie específica y fragmentos de plástico corrugado, a través de las cuales se hacía pasar el agua antes de entrar en los tanques. Este paso favorece la adhesión y coalescencia de las burbujas y liberación del exceso de gases disueltos. Gracias a esta modificación, los dos cultivos posteriores se desarrollaron sin episodios de embolia. Este resultado constituye una recomendación de interés general para la acuicultura de crustáceos en fase larvaria.

Resultados de supervivencia larvaria

La supervivencia media se mantuvo en torno al 90 % al final de las fases Zoea I y II, y alcanzó el 69 % al final del cultivo larvario (estado premetamórfico) en el tercer cultivo, frente al 0,4 % del segundo cultivo —afectado por las dificultades técnicas iniciales— y el descarte del primero. La tabla siguiente compara los tres cultivos:

Cultivo	pH	Tª	Salinidad	O ₂ disuelto	Densidad inicial	Supervivencia
1.º	7,5–8	15 °C	36,2 ppt	7,52 mg/L	30 larvas/L	— (descartado)
2.º	7–7,5	17,5 °C	36,1 ppt	7,98 mg/L	40 larvas/L	0,4 %
3.º	7,5–8	17,5 °C	36,0 ppt	7,86 mg/L	140 larvas/L	69 %

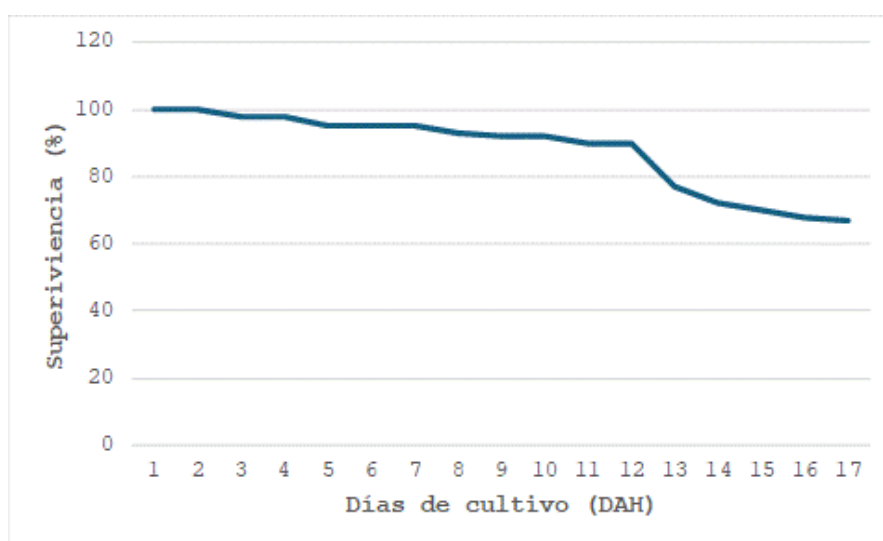


Figura 3.1. Curvas de supervivencia larvaria obtenidas en los cultivos del proyecto MAJA. El tercer cultivo mantuvo una mortalidad reducida y estable a lo largo de todo el desarrollo.

El 69 % de supervivencia final supone un incremento de más del 250 % sobre la media de los cultivos recogidos en la literatura científica (Andrés et al., 2007; Rotllant et al., 2014). El salto de rendimiento del tercer cultivo se atribuye principalmente a la optimización de la alimentación —una cantidad ajustada de *Artemia* enriquecida que garantiza alimento suficiente sin contaminar el tanque por exceso— y, secundariamente, a una temperatura media algo más elevada que aceleró el desarrollo.

El cultivo MAJA en el contexto de la bibliografía

La escasez de experiencias previas de cultivo de la especie hace especialmente relevante situar estos resultados frente a los trabajos publicados, sobre todo en la fase de metamorfosis, considerada el cuello de botella del cultivo. La siguiente tabla recoge los principales antecedentes:

Referencia	Especie	Resultado de supervivencia en metamorfosis
Urcera et al. (1993)	M. squinado	46 % (mejor dato previo publicado)
Iglesias et al. (2002)	M. squinado	8 – 13 % (según densidad)
JACUMAR (2006–2009)	Maja sp.	26,9 % (a 60 larvas/L)
Andrés et al. (2007)	M. brachydactyla	26,0 % (megalopa a los 12 DPH)
Durán et al. (2012)	M. squinado	7,13 ± 2,33 %
Rotllant et al. (2014)	M. squinado	7,74 ± 1,94 %
Castejón et al. (2019)	M. brachydactyla	13 – 14 % (según sustrato)
Proyecto MAJA (2026)	M. brachydactyla	67 – 68 %

Como se aprecia, el resultado del proyecto MAJA (67–68 % de supervivencia en la metamorfosis) supera de forma muy notable todos los antecedentes conocidos, incluido el mejor dato previo (46 %, obtenido precisamente por uno de los investigadores del proyecto tres décadas atrás).

3.2. Asentamiento y metamorfosis

El paso de megalopa a juvenil C1 es la fase más delicada de todo el cultivo. La clave para maximizar la supervivencia reside en la elección del sustrato de asentamiento. Los ensayos del proyecto permitieron determinar una superficie óptima de fijación para las megalopas, provista de un biofilm de algas que aporta a los juveniles alimento complementario y refugio.

Con este planteamiento se alcanzó una supervivencia del 67–68 % en la transformación de megalopa a juvenil C1, en condiciones de muy alta densidad —con resultados de entre 1.000 y 1.700 alevines por cestilla de 17 L de capacidad. Este es el mayor porcentaje descrito hasta la fecha en esta etapa, muy por encima de los valores habituales (7–14 %) reportados por otros autores.

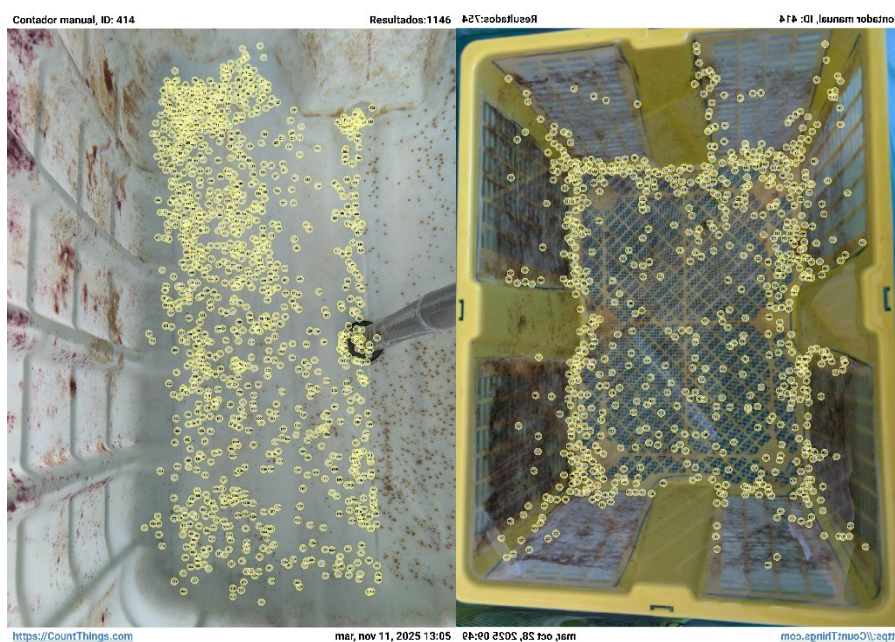


Figura 3.2. Recuento automatizado de alevines obtenidos tras la metamorfosis en las cestillas de cultivo, empleado para estimar la producción y la supervivencia.

La conclusión práctica es directa: la supervivencia en la metamorfosis puede incrementarse de forma muy significativa mediante el uso de un sustrato de asentamiento adecuado, cubierto por un biofilm algal que actúa simultáneamente como refugio y como fuente de alimento complementario para los juveniles recién transformados.

3.3. Preengorde de juveniles

Una vez transformadas las megalopas en juveniles C1, comienza el preengorde en criadero. Los juveniles se mantienen en cestillas forradas con malla mosquitera y provistas de macroalgas y epífitos —que sirven de biotopo, refugio y camuflaje—, estabuladas a su vez en tanques cuadrados de 1.000 L. Las postlarvas mudan unas 15 veces con una frecuencia aproximada de 15 días, duplicando su peso e incrementando un 30 % su longitud en cada muda, hasta alcanzar la talla objetivo (~10 cm de longitud y ~250 g) apta para su traslado a la batea o su liberación al medio.

Parámetros y manejo

Los parámetros óptimos de preengorde son muy similares a los del cultivo larvario:

Parámetro	Valor óptimo
Temperatura	17 – 18 °C
pH	7,5 – 8,0
Salinidad	36 – 36,5 ppt
Oxígeno disuelto	7,5 – 8,0 mg/L
Densidad de cultivo	2 juveniles/L

Dos prácticas de manejo resultaron determinantes para la supervivencia. En primer lugar, la separación sistemática de los individuos por tallas en cada muda, que reduce prácticamente a cero el canibalismo —el principal factor de mortalidad en el preengorde de braquiuros. En segundo lugar, el mantenimiento de macroalgas y epífitos en las estructuras: en su ausencia, los juveniles emplean el propio alimento como camuflaje, lo que favorece la proliferación bacteriana, la contaminación del agua y una elevada mortalidad. La limpieza de las cestillas mediante sifón cada dos días completa el protocolo.

Crecimiento durante el preengorde

Los juveniles se mantuvieron en criadero durante 259 días (de la muda C1 a la C12), con registro periódico de talla y peso. La supervivencia final del preengorde fue del 85 %, gracias a la separación por tallas. La tasa de crecimiento específico (TCE) obtenida superó los valores publicados para la especie:

Periodo	TCE — Proyecto MAJA	Referencia bibliográfica
259 días (preengorde completo)	1,42 %/día	0,22 – 0,46 % (Pazos et al., 2018; primeros 8 meses)
Primeros 90 días	1,98 %/día	Notablemente superior a protocolos anteriores

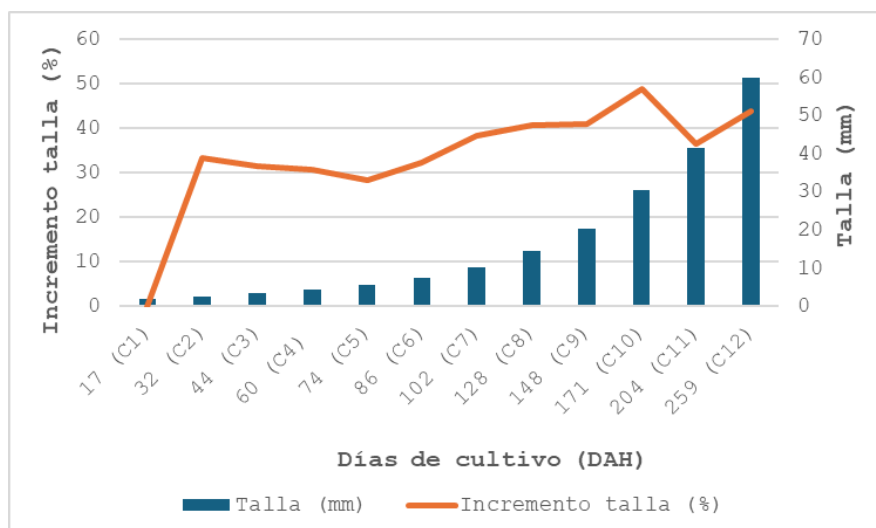


Figura 3.3. Curva de crecimiento e incremento de talla (%) de los juveniles mantenidos en criadero durante 259 días (Proyecto MAJA, ECIMAT).

Como es esperable en la especie, la TCE disminuye a medida que los juveniles crecen; de ahí que el valor de los primeros 90 días (1,98 %) sea superior al del conjunto del periodo (1,42 %).

Producción total obtenida

La combinación de los rendimientos anteriores permitió obtener más de 10.500 individuos juveniles de *Maja brachydactyla* a partir de un único desove y en un único tanque de 1 m³. Esta cifra —en torno a 10.600 juveniles— es la evidencia central de la viabilidad industrial del cultivo: demuestra que es posible producir un gran número de juveniles en un espacio muy reducido, reduciendo notablemente los costes de producción y abriendo la puerta tanto a la comercialización como a la repoblación a escala.

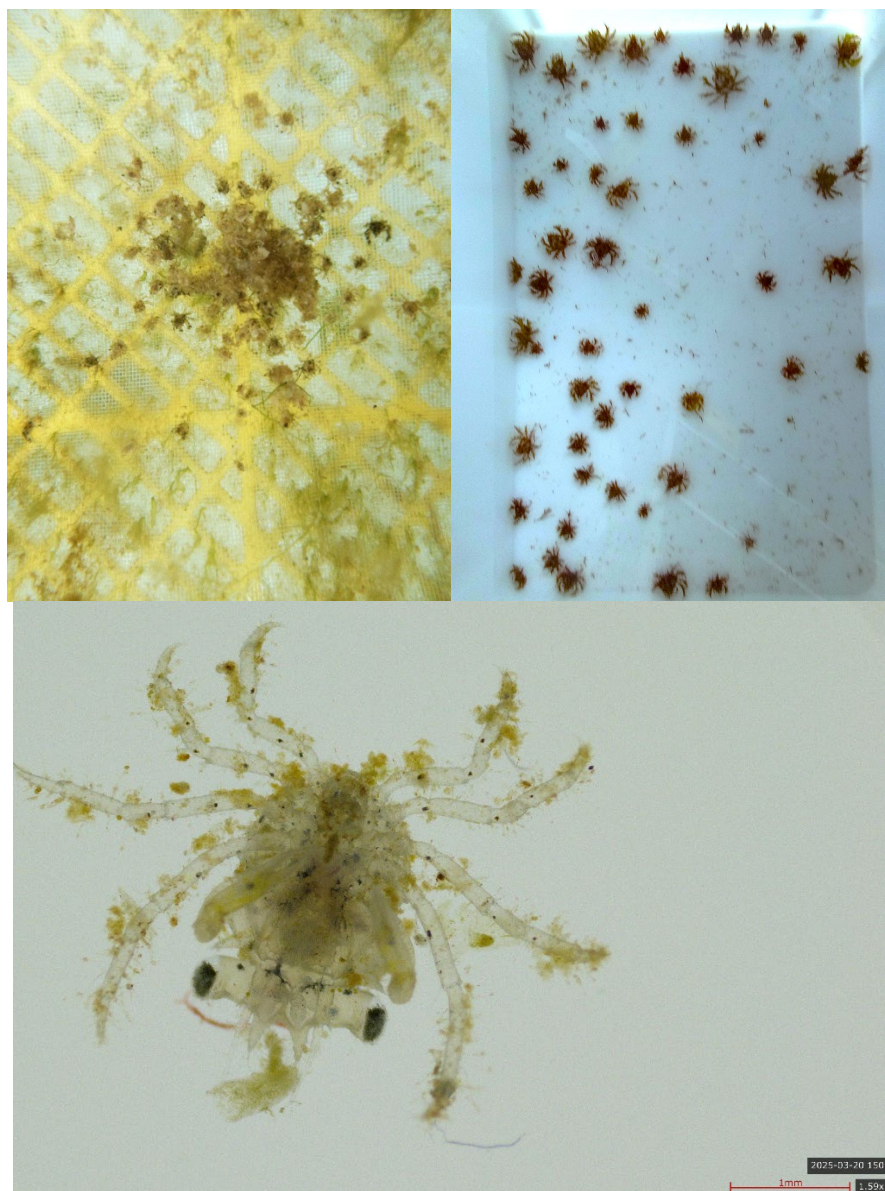


Figura 3.4. Juveniles de centolla obtenidos en criadero durante el proyecto MAJA.

4. El engorde en el medio natural

El engorde de la centolla en estructuras marinas suspendidas es una estrategia que aprovecha las condiciones ambientales óptimas de la ría —temperatura, salinidad, renovación del agua y disponibilidad de alimento natural— para obtener individuos de talla comercial con insumos reducidos. La integración con la miticultura es especialmente atractiva: los residuos de la batea (el «escombro»: mejillón fragmentado y epífitos) pueden emplearse como alimento, con un coste energético y logístico muy bajo. El proyecto desarrolló estructuras de cultivo específicas, ensayó la alimentación con escombros de batea y formuló pienso experimentales de engorde.

4.1. Estructuras de cultivo diseñadas

La heterogeneidad de los estadios implicados —adultos para engorde comercial frente a juveniles para repoblación— exige soluciones técnicas diferenciadas. Se diseñaron, fabricaron y ensayaron en condiciones reales dos prototipos complementarios.

Prototipo 1 — Jaula rígida modular MAJA-J01 (batea)

Estructura cúbica en acero galvanizado en caliente, concebida para el estabulado de ejemplares adultos en una batea mejillonera. Su diseño responde a tres requisitos: maximizar el volumen de cultivo durante la inmersión, minimizar el esfuerzo de izado y manipulación, y permitir la alimentación sin extraer la jaula del agua. Para ello incorpora un sistema de dos cuerpos encastrables, una compuerta deslizante de inspección y un orificio de alimentación por tubo.



Figura 4.1. Prototipo de jaula rígida modular MAJA-J01 en acero galvanizado (izquierda, muelle de Boiro) e izado de la jaula completa con malacate desde la batea (derecha).

El sistema de dos cuerpos aporta una doble funcionalidad: sumergida, ambos cuerpos acoplados forman la jaula completa y maximizan el volumen disponible; en el izado, el cuerpo inferior se desengancha y permanece sumergido mientras se iza únicamente el superior, reduciendo el peso a manejar y facilitando la inspección y alimentación desde cubierta. El orificio superior permite introducir una manguera flexible de 110 mm para suministrar el escombros de batea directamente a los ejemplares con la jaula sumergida, minimizando el estrés por manipulación.

Parámetro	Especificación
Material	Acero galvanizado en caliente + malla HDPE (25 mm de luz), apto para uso marino
Forma y dimensiones	Cúbica, dos cuerpos apilables; 100 × 100 × 200 cm (exterior)
Sistema de encastre	Perfil guía perimetral que permite acoplar/desacoplar sin herramientas
Alimentación	Orificio de paso de 110 mm para introducción de escombros con la jaula sumergida
Suspensión	4 argollas de acero galvanizado + ganchos inferiores de tensado
Peso en seco	35 kg (dos cuerpos)
Vida útil estimada	> 5 años con mantenimiento básico

Prototipo 2 — Linternas flexibles de malla MAJA-L01/L02/L03 (pantalán)

Estructuras cilíndricas flexibles de malla de polietileno, inspiradas en las linternas de cultivo de bivalvos de la acuicultura gallega y adaptadas a la centolla juvenil. Cada linterna se divide en varias plantas mediante aros rígidos, creando compartimentos superpuestos que separan a los juveniles por grupos y reducen el canibalismo durante las mudas. Se construyeron tres linternas con distinta luz de malla para cubrir todo el rango de tallas juveniles:

Parámetro	MAJA-L01	MAJA-L02	MAJA-L03
Material / color	PE verde	PE verde	PE azul
Diámetro aprox.	450 mm	450 mm	500 mm
Luz de malla	1 mm	1,8 mm	2,5 mm
Estadio destinatario	C1 – C3 (tempranos)	Juveniles intermedios	Juveniles avanzados
Capacidad por planta	50 juveniles	30 juveniles	30 juveniles



Figura 4.2. Linternas flexibles de malla MAJA-L01 (versiones verde y azul) para el engorde de juveniles, suspendidas del pantalán de la ECIMAT.

Las ventajas del diseño son la maximización de la superficie de cultivo por unidad de volumen, la prevención del canibalismo mediante compartimentación, el acceso sencillo a cada planta para inspección y alimentación, el bajo coste y la ligereza (manejeable por una sola persona), y la renovación natural del agua y el acceso al alimento natural. Las linternas se cargaron con densidades de 30–50 juveniles por planta según el estadio, con alimentación tres veces por semana.

4.2. Alimentación con subproductos de la batea

Se ensayó la alimentación de centollas adultas estabuladas en la jaula de batea empleando el escombros generado por la propia instalación mejillonera: fragmentos de valva de mejillón (*Mytilus galloprovincialis*), tejido blando disgregado y epífitos algales adheridos a cuerdas y redes. Este subproducto, de disponibilidad continua y alto valor nutritivo, representa una estrategia de valorización de residuos de gran interés para la economía circular del sector.

Durante el periodo de actividad efectiva, las observaciones cualitativas registraron: aceptación activa del escombros por parte de los adultos, con comportamiento de ingestión documentado; preferencia por el tejido blando fresco (manto y músculo aductor) sobre los fragmentos de valva; consumo apreciable de epífitos algales, coherente con los hábitos naturales de la especie; y ausencia de signos de rechazo. En las linternas, los juveniles mostraron respuesta alimentaria positiva al escombros finamente fragmentado, un efecto favorable de la presencia de algas sobre la aceptación del alimento, y un patrón de alimentación predominantemente nocturno.

La cuantificación precisa de tasas de ingestión, conversión alimenticia e índice de condición no pudo completarse debido a la interrupción de las actividades por los temporales extraordinarios que se describen en el apartado 4.4.

4.3. Piensos experimentales de engorde

En paralelo se diseñaron y ensayaron dietas de engorde perfeccionadas, formuladas con harinas vegetales o de insecto, evitando expresamente harinas y aceites de pescado. Se elaboraron tres dietas: dos con harina de insecto (una con gelatina y otra con agar como gelificante) y una con mejillón. La composición base fue la siguiente:

Ingrediente	Cantidad (g)	Porcentaje (%)
Harina de maíz	120	8,16
Harina de trigo	120	8,16
Harina de insecto / mejillón	200	13,59
Gelatina neutra / agar	25	1,70
Glutamato	3	0,20
Suplemento de cobre	2	0,13
Complejo vitamínico	1	0,06
Agua	1000	68,00
TOTAL	1471	100



Figura 4.3. Preparado para suministro de la dieta experimental de engorde. Etapa intermedia de elaboración para su conservación, elaborada a base de harina de insecto y agar como agente gelificante.

Estudio comparativo de dietas

Se realizó un experimento de dietas de dos meses de duración con cinco tratamientos (10 juveniles por tratamiento, en cestillas dentro de cajas de 100 L con renovación continua), alimentando a demanda en función del comportamiento de los juveniles: tres veces por semana aproximadamente y registrando peso y consumo. Se calcularon la tasa de crecimiento específico (TCE) y la tasa de conversión de alimento (FCR). Los resultados fueron:

Dieta	TCE (%/día)	Valoración
Dieta experimental (harina de insecto)	3,44	Mayor crecimiento
Pienso comercial de langostino (Dibaq)	2,98	Mejor equilibrio crecimiento-supervivencia
Pescado + algas + conchilla	2,72	Adecuada para preengorde
Pescado + algas	2,26	Resultados intermedios
Pescado (dieta base)	1,26	Menor eficacia

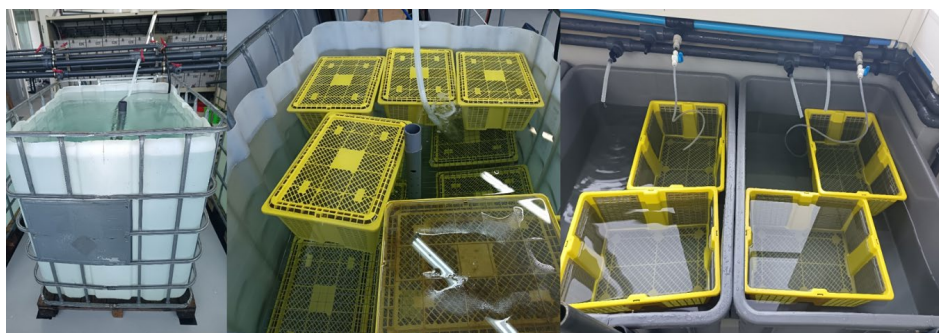


Figura 4.4. Incremento de peso (%) de los juveniles a lo largo del experimento de dietas (Proyecto MAJA, ECIMAT).

Las tres primeras dietas produjeron un incremento de peso significativamente mayor que las dos últimas ($p < 0,05$). La dieta experimental diseñada ofreció el mayor crecimiento, seguida de cerca por el pienso comercial de langostino, que además destacó por combinar una TCE elevada con una buena supervivencia. La tasa media de conversión de alimento se situó en torno al 3,15 —esto es, se requieren ~3,15 kg de alimento por cada kg de incremento de peso—, un valor coherente con el descrito en trabajos previos con crustáceos.

La conclusión principal es que la dieta basada en harina de insecto es una alternativa sostenible y eficaz a los piensos convencionales: alimentando a los juveniles con esta formulación podría reducirse en al menos un 20 % el tiempo necesario para producir individuos aptos para repoblación, sin recurrir a harinas ni aceites de pescado.

4.4. Vulnerabilidad de las estructuras de engorde a los temporales y sensibilidad a la salinidad

La fase de engorde en el medio natural coincidió con una de las temporadas de borrascas atlánticas más activas de los últimos años. Estas circunstancias extraordinarias e imprevisibles condicionaron la obtención de datos cuantitativos de crecimiento en batea y linternas, y se documentan aquí por su valor para el diseño de futuras operaciones de cultivo en el medio marino.

La borrasca Ingrid (22–24 de enero de 2026), con aviso rojo de AEMET y MeteoGalicia, generó condiciones de mar extraordinariamente adversas en las Rías Baixas:

Parámetro	Valor registrado
Altura máxima de ola (boya de Cabo Silleiro)	12 – 14 metros
Nivel de aviso costero	Rojo (peligro extraordinario)
Viento en litoral (racha máxima)	Fuerza 9 – 10 (> 100 km/h)
Duración del aviso rojo	22 – 24 enero 2026 (≈ 48 h)
Precipitación acumulada (estaciones costeras)	> 80 – 120 L/m ² en 24 h

El oleaje extremo provocó la pérdida total de las linternas de engorde del pantalán de la ECIMAT (rotura de cabos, deformación y apertura de la estructura, escape de ejemplares). Además, la sucesión de temporales de noviembre a enero impidió el acceso seguro a la batea de Boiro para las biometrías programadas.

A los daños mecánicos se sumó un problema fisiológico de gran relevancia para el cultivo de esta especie: la desalinización extrema de las rías. Las precipitaciones excepcionales redujeron drásticamente la salinidad superficial, con descensos por debajo de 6 ppt en superficie y de 12 ppt en profundidad —valores muy por debajo del umbral de mortalidad de la centolla.

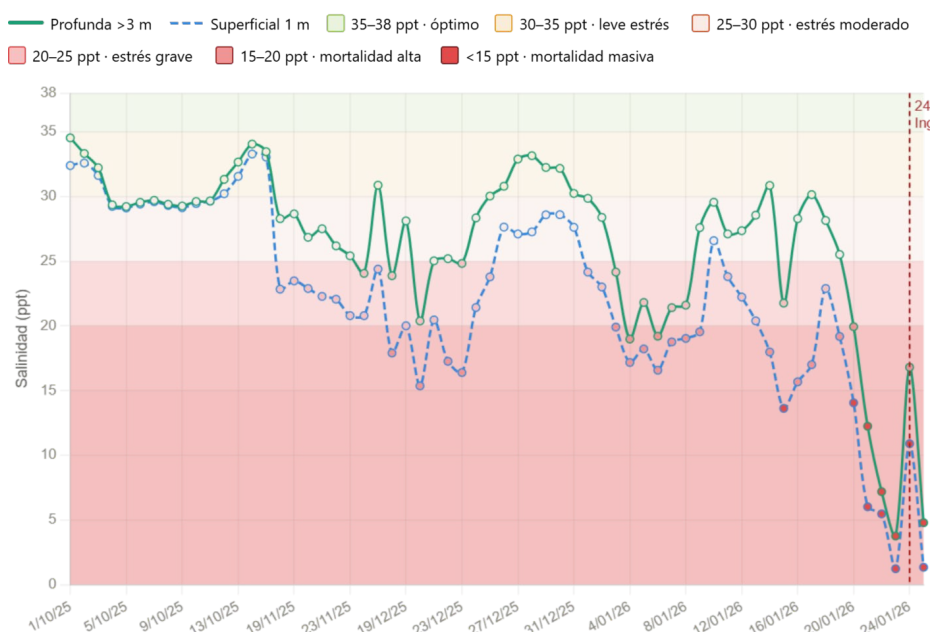


Figura 4.5. Evolución de la salinidad del agua en el punto de cultivo (Rías Baixas), octubre 2025 – enero 2026. Las bandas de color indican las zonas de riesgo fisiológico para la especie. Fuente de datos: INTECMAR.

Sensibilidad de la centolla a la salinidad (recomendación técnica)

La centolla tiene escasa capacidad de regulación osmótica frente a descensos bruscos de salinidad; su rango de tolerancia se sitúa entre 28 y 38 ppt. Los ejemplares en intermuda o recién mudados son especialmente vulnerables, ya que su exoesqueleto blando no constituye una barrera osmótica efectiva. Esta tabla, de utilidad directa para la planificación del engorde en batea, resume la respuesta fisiológica de la especie:

Salinidad (ppt)	Respuesta fisiológica de la centolla
35 – 38	Condiciones óptimas de engorde
30 – 35	Ligero estrés osmótico; sin mortalidad significativa
25 – 30	Estrés moderado; reducción del metabolismo y la alimentación
20 – 25	Estrés grave; inicio de mortalidad en individuos debilitados o en muda
15 – 20	Mortalidad alta, especialmente en ejemplares en muda o juveniles
< 15	Mortalidad masiva en pocas horas

La lección práctica es clara: la ubicación de las estructuras de engorde debe considerar la profundidad y la exposición a los aportes fluviales, priorizando puntos con menor influencia de la capa superficial de baja salinidad durante los episodios de lluvia intensa, y contemplando la posibilidad de arriar las estructuras a mayor profundidad o trasladarlas ante avisos meteorológicos de temporal.

5. Producción para repoblación y protocolo de liberación

La producción masiva de juveniles en criadero habilita una de las aplicaciones de mayor interés del proyecto: la repoblación de bancos naturales disminuidos o desestructurados. El protocolo descrito es además directamente extrapolable a la centolla mediterránea *Maja squinado*, en peligro crítico de extinción. El proyecto abordó tres aspectos: la determinación de la talla mínima de liberación, la metodología de repoblación y seguimiento, y el protocolo operativo de suelta.

5.1. Talla mínima de liberación

La determinación de la talla mínima equilibra dos variables opuestas: a mayor talla de suelta, mayor supervivencia en el medio (menor vulnerabilidad a depredadores, mayor competitividad por recursos), pero también mayor coste y tiempo de producción en criadero. A partir de los datos de crecimiento y supervivencia del preengorde, el proyecto estableció el siguiente umbral:

Criterio	Valor recomendado
Longitud del caparazón (CL)	≥ 30 mm
Peso aproximado	≥ 12 g
Estadio de muda	C10 – C11 (caparazón endurecido)
Tiempo en criadero	~180 días desde la eclosión (≈ 6 meses)

Este umbral se fundamenta en cuatro criterios: la capacidad competitiva por refugio (a partir de C10–C11 el caparazón es suficientemente robusto y la respuesta evasiva está desarrollada); la curva de crecimiento frente al riesgo de depredación (que se invierte favorablemente a partir de C10); la eficiencia económica del criadero (a partir de ~180 DAH el coste marginal de producción supera la ganancia adicional en supervivencia); y la coherencia con el experimento de dietas (la talla de 30 mm CL se alcanza hacia C10–C11 con las dietas recomendadas).

5.2. Metodología de repoblación y seguimiento

La primera recomendación es realizar un estudio previo del ecosistema y del estado de la población que se pretende restaurar, que aborde como mínimo: la evaluación del estado actual de la población (densidad, estructura de tallas, proporción de sexos, presencia de hembras ovadas); la caracterización del hábitat (sustrato, cobertura algal, refugios, profundidad, temperatura); la identificación de presiones (pesca, contaminación, degradación); la delimitación de la zona y la estimación de la capacidad de carga del ecosistema receptor; y la revisión de la normativa y la obtención de los permisos pertinentes.

5.3. Protocolo operativo de liberación

El proyecto elaboró un protocolo operativo completo, estructurado en fases con parámetros de control verificables. A continuación, se sintetizan sus elementos esenciales.

Fase 0 — Verificación previa

Antes de cualquier suelta deben confirmarse tres bloques de requisitos: sobre los individuos (CL ≥ 30 mm, peso ≥ 12 g, estadio C10–C11, sin lesiones); sobre el lugar (zona rocosa con cobertura algal, refugios abundantes, profundidad 2–20 m, temperatura 10–18 °C, salinidad 30–35 PSU, sin

contaminación, con presencia histórica de la especie y permisos en vigor); y sobre las condiciones del día (altura de ola $\leq 1,5$ m, visibilidad suficiente, diferencia de temperatura agua de transporte/suelta < 2 °C).

Fases 1 a 3 — Transporte, aclimatación y suelta

- **Transporte:** agua de mar limpia y oxigenada (≥ 1 L por cada 10 individuos, $O_2 \geq 6$ mg/L), máximo 4 horas sin recirculación, con registro de temperatura al inicio y a la llegada.
- **Aclimatación:** si la diferencia de temperatura supera los 2 °C, añadir gradualmente agua del punto de suelta (~10 % del volumen cada 5 min, mínimo 30 minutos); retirar individuos con signos de estrés severo.
- **Suelta:** preferentemente al amanecer o al atardecer; densidad máxima de 0,5–1 individuo/m²; distribución repartida por toda el área (nunca concentrada); depósito individual sobre sustrato rocoso junto a refugios (nunca vertido en masa); registro GPS de cada punto.

Fases 4 y 5 — Registro y seguimiento post-liberación

Cada operación se documenta en una ficha de liberación (fecha, coordenadas, número de individuos, talla y peso medios, temperatura, estado de la mar, incidencias). El seguimiento se organiza en cuatro campañas de muestreo con umbrales de alerta definidos:

Campaña	Tiempo tras suelta	Umbral de referencia
C1 — Mortalidad inicial	30 días	Supervivencia ≥ 50 % de individuos marcados
C2 — Establecimiento territorial	90 días	Permanencia / dispersión de marcados
C3 — Integración en la población	180 días	Supervivencia ≥ 25 %; crecimiento CL ≥ 10 mm
C4 — Seguimiento a largo plazo	365 días	Detectabilidad en ≥ 2 de 3 transectos

El protocolo incluye además un procedimiento específico para la liberación de hembras ovadas (transporte más corto, ≤ 2 h; liberación en zonas de mayor cobertura algal; registro del número de masas ovígeras) y su marco normativo de referencia (Ley 3/2001 de Pesca Marítima del Estado; Ley 5/2023 de pesca sostenible e investigación pesquera; Ley 11/2008 de pesca de Galicia).

6. Estudio morfológico mediante tomografía computarizada

Conocer en profundidad la anatomía y el desarrollo de la especie es un requisito para asegurar su bienestar en cultivo y, con ello, la productividad. En el género *Maja*, el conocimiento anatómico se limitaba en buena medida a descripciones externas del caparazón y los apéndices; el esqueleto interno —endosternitos, endopleuritos y apodemas de inserción muscular— apenas había sido abordado. El proyecto aplicó la tomografía computarizada de rayos X (micro-CT) como herramienta no destructiva para caracterizar el exoesqueleto en distintas fases de desarrollo.

6.1. Fundamento y metodología

El fundamento de la técnica es el elevado contraste entre las superficies epidérmicas calcificadas —ricas en calcio— y el resto de los componentes internos del cuerpo. Este contraste facilita enormemente la segmentación (identificación y separación digital de órganos y artejos) de las imágenes tomográficas, permitiendo individualizar cada artejo del esqueleto y obtener sus métricas de forma automática.

Se prepararon especímenes juveniles (procedentes del cultivo en tanques y del engorde en linternas) y un ejemplar adulto (de la jaula de batea). Las exploraciones se realizaron con un sistema FF20 CT mediante adquisición tipo Cone Beam con trayectoria helicoidal, empleando un tubo de rayos X en modo alta potencia (130 kV, 50 μ A), sin filtro —para conservar el detalle de las estructuras quitinosas no calcificadas— y un detector Perkin Elmer con tamaño de píxel de 0,150 mm.

6.2. Resultados

Los resultados demuestran que es posible individualizar cada artejo de forma automática, lo que permite cuantificar y determinar datos morfológicos de cada uno y obtener relaciones entre características morfológicas de interés en estudios del desarrollo y taxonómicos. Para cada componente segmentado se obtienen métricas como el volumen, la superficie, la elongación, la planitud, la anisotropía, los diámetros característicos, la orientación de los ejes y la curvatura.

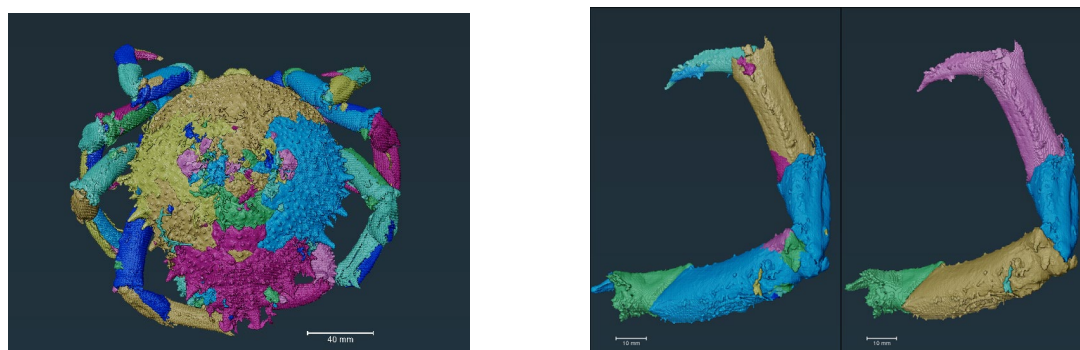


Figura 6.1. Reconstrucción tomográfica tridimensional de un ejemplar de centolla con segmentación digital de los distintos artejos del exoesqueleto (izquierda: vista dorsal; derecha: detalle segmentado).

La aproximación es aplicable a estudios de anatomía comparada y de desarrollo, y constituye una base metodológica reutilizable para el seguimiento morfológico de crustáceos sin necesidad de disección destructiva. El informe técnico completo incluye, además, una revisión de los estudios anatómicos previos disponibles para el género y la tabla de métricas empleadas en la clasificación del esqueleto.

7. Valorización del recurso y de los subproductos

Uno de los ejes diferenciales del proyecto es el aprovechamiento integral del recurso y de los subproductos generados durante el cultivo, en línea con la economía circular. Se trabajó en cinco frentes: la extracción eficiente de la vianda, el diseño de nuevos productos alimentarios, la elaboración de suplementos avícolas a partir de los caparazones, la valorización de conchas de mejillón, y la obtención de biopolímeros (quitina y quitosano).

7.1. Extracción de la vianda: un instrumento neumático

La centolla posee propiedades organolépticas excepcionales, pero su consumo mundial es escaso, en parte por la ausencia de productos elaborados que faciliten su comercialización, por su morfología — que algunos mercados rechazan— y por lo costoso de su transporte en pieza entera, sabiendo que la vianda aprovechable representa solo el 40 % del peso del animal vivo. El proyecto se planteó dotar a la centolla de un formato más atractivo, ligero y práctico, lo que exige un método de extracción de la carne eficiente.

Se desarrolló un método de extracción neumática mediante aire comprimido. El sistema consiste en una cubeta de plástico de uso alimentario con una tapa de metacrilato provista de dos orificios para manipular el producto en su interior, conectada a un compresor exento de aceite (8 bar, 120 L/min) con filtro de partículas. La centolla se despieza, se retiran las branquias y se aplica el chorro de aire por los extremos de cada segmento hasta extraer completamente la carne.

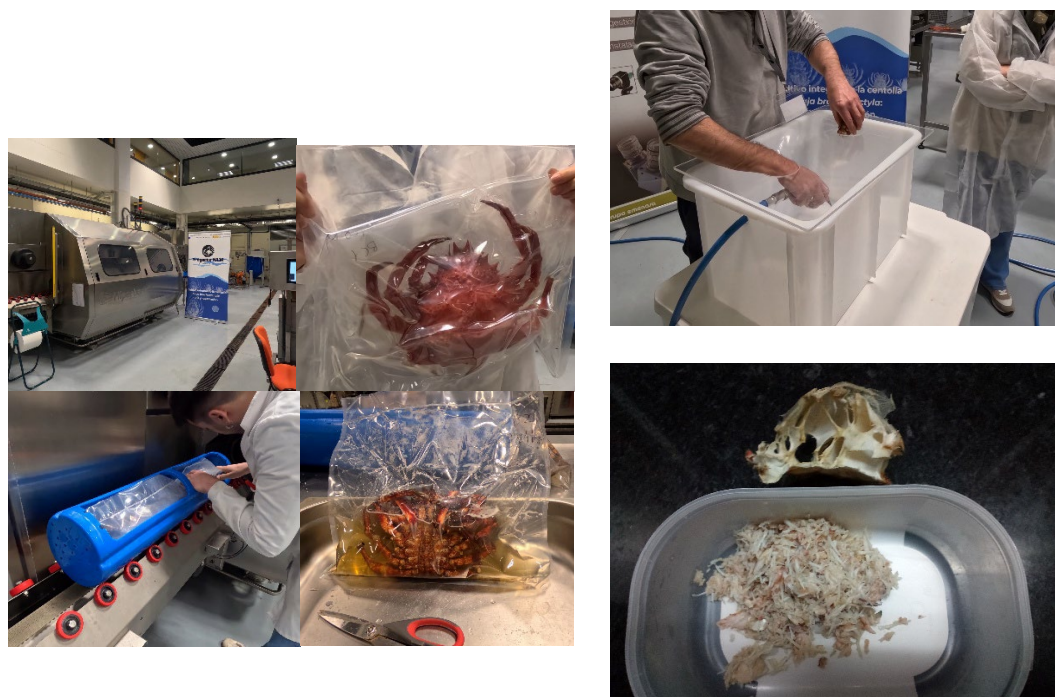


Figura 7.1. Sistema de extracción neumática de la vianda de centolla (izquierda) y carne extraída lista para su procesado (derecha).

El método reduce de forma muy significativa el tiempo requerido frente a la extracción manual. Los pequeños fragmentos de cáscara que puedan quedar entre la vianda se detectan con facilidad bajo luz ultravioleta y se retiran con pinzas. La carne extraída puede conservarse mediante congelación, enlatado o liofilización sin alterar sus propiedades organolépticas, constituyendo una materia prima versátil.

Ensayo complementario: altas presiones hidrostáticas (HPP)

En paralelo se evaluó la tecnología de altas presiones hidrostáticas —ya empleada con éxito en langostas y bogavantes— como posible vía de extracción. Se realizaron ensayos a escala piloto (400 MPa/3 min) y en equipo industrial (Hiperbaric H55), con distintas combinaciones de presión y cocción. La extracción del músculo de las patas resultó ligeramente más sencilla en los ejemplares presurizados, pero la mejora en el cefalotórax fue mínima. Dado el elevado coste de la tecnología y que las múltiples articulaciones de las patas y la septación del cefalotórax de la centolla limitan la recuperación de la carne en una sola pieza —a diferencia de la langosta—, se concluyó que las HPP no resultan actualmente justificadas para esta especie, confirmando la ventaja del método neumático desarrollado.

7.2. Nuevos productos de mercado

A partir de la vianda extraída se diseñó, a nivel técnico, una línea de tres nuevos productos orientados a poner en valor la carne de centolla en formatos más atractivos y prácticos:

- **Conserva al natural:** carne de centolla en envase metálico con líquido de gobierno (agua y sal), esterilizada en autoclave, apta para distribución a temperatura ambiente con larga vida útil.
- **Paté de centolla:** producto de aperitivo de alta gama, de textura untuosa, en envase de vidrio, elaborado con carne de centolla, aceite de oliva, mantequilla, cebolla y especias.
- **Carne congelada en porciones:** vianda en porciones individuales con congelación rápida y envasado al vacío, para preservar las propiedades del producto fresco y facilitar su uso culinario.

El diseño técnico de los tres productos quedó completamente definido. No fue posible elaborar los prototipos físicos por no disponer de vianda en cantidad suficiente dentro del plazo del proyecto; no obstante, todas las operaciones implicadas (esterilización en autoclave, envasado al vacío, congelación rápida) son tecnología alimentaria estándar y ampliamente disponible, por lo que su elaboración efectiva no presenta obstáculo técnico previsible una vez disponible la materia prima.

7.3. Suplementos avícolas a partir de los caparazones

Los caparazones generados durante las sucesivas mudas se aprovecharon mediante molienda para la elaboración de un suplemento destinado a la alimentación avícola, con el objetivo de aportar calcio y carotenoides a los huevos de las aves. Esta vía convierte un residuo del cultivo en un insumo de valor para otra industria, reforzando el carácter circular del modelo.

7.4. Valorización de conchas de mejillón: efecto sobre la brotación de patata

Se evaluó la influencia de la molienda de conchas de mejillón —subproducto del engorde en batea— sobre la germinación de tubérculos de patata (variedad Mona Lisa) durante su almacenamiento. Las conchas, lavadas y secadas, se molieron a un tamaño de partícula inferior a 100 µm. Se aplicaron tres

niveles (control, bajo 1/10 y alto 1/1) sobre lotes de tubérculos incubados ~45 días en oscuridad a 15–20 °C, analizando después la morfología de los brotes mediante análisis de imagen.



Figura 7.2. Análisis de imagen de los brotes de tubérculos tratados con molienda de concha de mejillón: los brotes desarrollados en tubérculos de *Solanum tuberosum* almacenados con tratamiento inhibidor de la germinación. Izquierda: fotogrametría de los tubérculos con brotes tras el periodo de almacenamiento. Derecha: análisis de imagen mostrando la segmentación de los brotes (líneas azules) y la detección de nodos (puntos amarillos), utilizada para la cuantificación de la ramificación

Los niveles bajo y alto no difirieron significativamente entre sí, por lo que se agruparon y compararon frente al control. El tratamiento redujo en un 21 % el número de brotes por tubérculo e indujo modificaciones en su morfología (brotes algo más gruesos y con mayor complejidad de ramificación). La conclusión es que la concha de mejillón triturada no actúa como inhibidor total de la brotación, pero sí modula su intensidad y patrón: presenta una eficacia moderada que abre una línea de exploración, aunque sin llegar a demostrarse como solución aplicable de control de la brotación en almacenamiento.

7.5. Obtención de quitina y quitosano

La valorización de mayor proyección industrial es la obtención de quitina y quitosano —biopolímeros de alto valor— a partir de los caparazones de centolla. Se desarrolló un protocolo químico que, a partir de 50 g de caparazón molido (< 1 mm), comprende cuatro etapas: desproteinización (NaOH), decoloración (acetona), desmineralización (HCl) y desacetilación (NaOH 50 %) para transformar la quitina en quitosano, más soluble y de mayor aplicabilidad industrial.

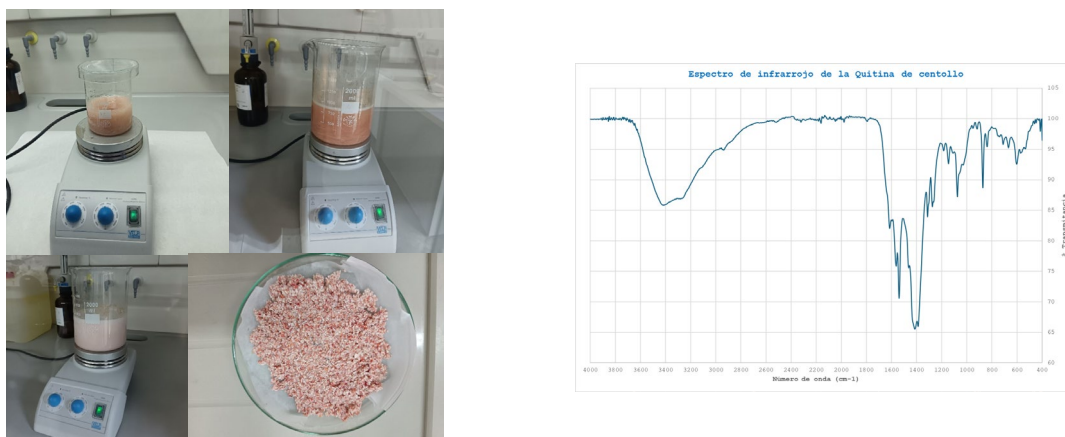


Figura 7.3. Proceso de extracción de quitina a partir de los caparazones (izquierda) y espectro infrarrojo de la quitina de centolla obtenida (derecha).

La caracterización mediante espectroscopía infrarroja y análisis elemental de carbono y nitrógeno confirmó la calidad de los productos obtenidos, coherentes con los resultados de otros autores que extrajeron estos compuestos de caparazones de crustáceos. La composición elemental fue la siguiente:

Muestra	ID	% N	% C
Quitina	25AEL2456-001	1,53	20,74
Quitina	25AEL2456-002	1,46	20,19
Quitosano	25AEL2456-003	1,41	15,17
Quitosano	25AEL2456-004	1,38	14,49

La quitina y el quitosano son biopolímeros biodegradables, biocompatibles y de baja toxicidad, con un amplio abanico de aplicaciones ya consolidadas: en el sector sanitario (apósitos hemostáticos, andamiajes para ingeniería de tejidos, liberación controlada de fármacos), cosmético (ingrediente acondicionador y filmógeno para piel y cabello), agroalimentario (recubrimientos comestibles activos, films antimicrobianos), agrícola (bioestimulante y elicitador natural que activa la resistencia de las plantas) y ambiental (biosorbente para la eliminación de metales pesados y contaminantes de aguas residuales). Existen numerosas patentes en explotación comercial que respaldan estos usos, lo que confiere a esta vía de valorización un notable potencial de mercado.

8. Circularidad y viabilidad económica

Para garantizar la sostenibilidad ambiental y económica del modelo, el proyecto incorporó un análisis de circularidad y una evaluación económica del modelo de negocio, desarrollados por el grupo GEN de la Universidad de Vigo.

8.1. Análisis de circularidad

El análisis partió de la elaboración de un balance de masas a partir de los datos alimentarios del cultivo, sobre el que se construyó un indicador de circularidad basado en la metodología de la Fundación Ellen MacArthur, considerando tanto los flujos lineales como los reciclados. El resultado más destacado es una reutilización del 75 % de los materiales y subproductos generados durante la ejecución del proyecto, un valor que refleja el elevado grado de aprovechamiento del modelo propuesto.

El estudio analizó asimismo la alineación de las actividades del proyecto con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, en particular con el ODS 12 (Producción y consumo responsables), el ODS 13 (Acción por el clima), el ODS 14 (Vida submarina) y el ODS 15 (Vida de ecosistemas terrestres).

8.2. Evaluación económica

La evaluación económica estimó los costes e ingresos del modelo de negocio y elaboró una cuenta de pérdidas y ganancias, calculando indicadores de viabilidad como el coste unitario de producción, el OPEX, el margen operativo, la ratio beneficio/coste de explotación y el punto de equilibrio. La estimación de ingresos se basó en la tasa de supervivencia obtenida, aplicada a un nivel de producción y a un precio por unidad de producto. La metodología es replicable dentro del sector acuícola y pesquero, y proporciona a los potenciales operadores una base cuantitativa para evaluar la implantación del modelo.

8.3. Contribución a la sostenibilidad y a la dimensión social

Más allá de las cifras, el modelo de cultivo integral de la centolla contribuye a la sostenibilidad del sector por varias vías: reduce la presión de la pesca extractiva sobre las poblaciones naturales, ofrece una herramienta de repoblación para bancos desestructurados, aprovecha infraestructuras y subproductos de la miticultura ya existentes, y valoriza residuos que de otro modo supondrían un problema ambiental. En su dimensión social, la puesta en práctica del modelo favorecería la incorporación de nuevos profesionales al sector y el relevo generacional, con una atención específica a la participación de las mujeres de la pesca a través de la colaboración con ANMUPESCA.

9. Innovación, transferencia y divulgación

9.1. Elementos innovadores del proyecto

El proyecto ha generado un conjunto de innovaciones técnicas y organizativas de interés para el sector:

- Diseño de una jaula rígida modular específica para el engorde de centollas suspendida de una batea.
- Uso de linternas de malla multiplanta para el engorde de juveniles, adaptadas del cultivo de bivalvos.
- Diseño de un instrumento neumático de aire comprimido para la extracción rápida de la carne de centolla.
- Innovaciones en el cultivo larvario: uso de cestillas en tanques, sistema de aireación y desgasificación del agua.
- Formulación de dietas experimentales de engorde a base de harina de insecto, sin harinas ni aceites de pescado.
- Preparación de molienda de caparzones para suplementos avícolas y valorización de conchas de mejillón sobre la brotación de patata.
- Modificación del protocolo habitual de extracción de quitina y quitosano.
- Caracterización anatómica del exoesqueleto mediante tomografía computarizada con segmentación digital automática.
- Elaboración de una métrica de circularidad y de una valoración económica replicables dentro del sector acuícola y pesquero.

9.2. Divulgación y participación del sector

El proyecto desarrolló un plan de comunicación completo dirigido a los distintos públicos interesados y al público general. Entre las acciones realizadas destacan la publicación de notas de prensa en el diario de la Universidad de Vigo (DUVI) y su difusión en la televisión autonómica; la creación de perfiles en redes sociales (LinkedIn y X) con 74 publicaciones y un canal de YouTube con 30 vídeos; la participación en el Congreso Europeo de Acuicultura (Valencia, septiembre de 2025) con un e-póster; la celebración de charlas de presentación de resultados en el ICTAN-CSIC de Madrid y en el IRTA de Tarragona; una jornada inicial de presentación del proyecto y una jornada final de difusión de resultados en la Cofradía de Pescadores San Antonio de Cambados, con la participación de ANMUPESCA; y la elaboración de un vídeo divulgativo de resultados finales.

El vídeo divulgativo de resultados está disponible públicamente en el canal de YouTube del proyecto y en la web del Programa Pleamar.

10. Conclusiones y recomendaciones

10.1. Conclusiones generales

- Las estructuras de cultivo innovadoras diseñadas demostraron ser eficaces y manejables para el cultivo de la especie, tanto en criadero como en el medio natural.
- La metodología de cultivo descrita en los manuales del proyecto permite obtener un gran número de juveniles en un espacio reducido y con un solo desove (~10.600 juveniles en 1 m³), haciendo rentable el cultivo para la industria acuícola y posibilitando la diversificación del mercado y la repoblación de hábitats desestructurados.
- Se alcanzaron tasas de supervivencia muy elevadas tanto en el cultivo larvario (69 %) como en la fase crítica de asentamiento-metamorfosis (67–68 %), muy por encima de los valores previos publicados.
- Las dietas de engorde diseñadas —en particular la basada en harina de insecto— fueron eficaces para obtener elevadas tasas de crecimiento durante el preengorde, sin recurrir a harinas ni aceites de pescado.
- Se obtuvo un procedimiento inédito para el estudio anatómico de la centolla mediante tomografía computarizada.
- El instrumento neumático diseñado para extraer la vianda funcionó correctamente y reduce significativamente el tiempo de extracción.
- Se extrajeron quitina y quitosano de alta calidad mediante un protocolo químico propio, con múltiples aplicaciones industriales.
- El análisis de circularidad reflejó una reutilización del 75 % de los materiales y subproductos generados.
- El protocolo desarrollado es extrapolable a la centolla mediterránea *Maja squinado*, en peligro crítico de extinción.

10.2. Recomendaciones prácticas para el sector

De la experiencia del proyecto se derivan recomendaciones directamente aplicables:

- **Desgasificar el agua de cultivo** mediante columnas de relleno para prevenir la embolia gaseosa en la fase larvaria.
- **Ajustar la alimentación larvaria** a la observación del tracto digestivo; evitar el exceso de alimento en los tanques; mantener la temperatura en torno a 17–18 °C.
- **Emplear sustratos de asentamiento con biofilm algal** para maximizar la supervivencia en la metamorfosis.
- **Separar los juveniles por tallas en cada muda** y mantener macroalgas en las estructuras para eliminar prácticamente el canibalismo durante el preengorde.
- **Ubicar las estructuras de engorde** considerando la exposición al oleaje y a los aportes fluviales, y arriarlas o trasladarlas ante avisos de temporal, dada la sensibilidad de la especie a la desalinización por los aportes de aguas de escorrentía continental (< 20 ppt).
- **Liberar juveniles** a partir de 30 mm de longitud de caparazón (~12 g, estadio C10–C11), siguiendo el protocolo operativo de suelta y seguimiento.

- **Valorizar los subproductos** (caparazones para quitina/quitosano y suplementos avícolas; escombros de batea como alimento) para reforzar la circularidad y la rentabilidad del modelo.

10.3. Continuidad y líneas futuras

El principal aspecto pendiente es la ejecución completa de las tareas de repoblación y su seguimiento en el medio natural, que no pudieron completarse por falta de tiempo y por las circunstancias meteorológicas extraordinarias de la temporada final. El equipo ha planteado dar continuidad a estas líneas a través de nuevas convocatorias. Otras líneas de continuidad de interés incluyen: la validación a escala real de las dietas de engorde y de la alimentación con escombros de batea una vez superadas las restricciones meteorológicas; la elaboración efectiva de los prototipos de nuevos productos una vez disponible materia prima suficiente; y el escalado industrial del protocolo de producción de juveniles.

10.4. Valoración final

Se cumplieron ampliamente la mayor parte de los objetivos planteados, obteniendo datos muy relevantes sobre el desarrollo y la alimentación de la especie, determinando los parámetros óptimos de cultivo en todas sus fases y alcanzando tasas de supervivencia sin precedentes. El proyecto MAJA ha logrado, por primera vez en el mundo, resolver los principales obstáculos para el cultivo industrial de la centolla *Maja brachydactyla*, sentando las bases técnicas para su producción acuícola sostenible y para la conservación de la especie.

Referencias bibliográficas

- Abdulkarim, A. et al. (2013). Extraction and characterisation of chitin and chitosan from mussel shell. *Extraction*, 3(2), 108–114.
- Alaminos, J. & Domingues, P. (2008). Effects of different natural or prepared diets on growth and survival of juvenile spider crabs, *Maja brachydactyla* (Balss, 1922). *Aquaculture International*, 16, 417–425.
- Andrés, M., Estévez, A. & Rotllant, G. (2007). Growth, survival and biochemical composition of spider crab *Maja brachydactyla* (Balss, 1922) larvae reared under different stocking densities, prey:larva ratios and diets. *Aquaculture*, 273, 494–502.
- Castejón, D. et al. (2018). Micro-computed tomography and histology to explore internal morphology in decapod larvae. *Scientific Reports*, 8, 14399.
- Castejón, D., Rotllant, G. & Guerao, G. (2019). Factors influencing successful settlement and metamorphosis of the common spider crab *Maja brachydactyla* (Brachyura: Majidae). *Aquaculture*, 501, 374–381.
- Domingues, P., Alaminos, J., García-Garrido, S., Hachero-Cruzado, I. & Rosas, C. (2012). Growth and survival of juvenile spider crabs, *Maja brachydactyla*, fed with fresh or frozen mussels. *Aquaculture Research*, 43(2), 167–177.
- Durán, J., Pastor, E., Grau, A. & Valencia, J. M. (2012). First results of embryonic development, spawning and larval rearing of the Mediterranean spider crab *Maja squinado* under laboratory conditions. *Aquaculture Research*, 43(12), 1777–1786.
- Gamage, A. et al. (2023). Recent application prospects of chitosan based composites for the metal contaminated wastewater treatment. *Polymers*, 15(6), 1453.
- Gil, M., Pastor, E. & Durán, J. (2019). Survival and growth of hatchery-reared Mediterranean spider crab juveniles, *Maja squinado*, under different rearing conditions. *Aquaculture*, 498, 37–43.
- Guzmán, E., Ortega, F. & Rubio, R. G. (2022). Chitosan: A promising multifunctional cosmetic ingredient for skin and hair care. *Cosmetics*, 9(5), 99.
- Hamed, I., Özogul, F. & Regenstein, J. M. (2016). Industrial applications of crustacean by-products (chitin, chitosan and chitooligosaccharides): A review. *Trends in Food Science & Technology*, 48, 40–50.
- Iglesias-Estévez, J. et al. (2002). Datos preliminares sobre el cultivo de larvas y juveniles de centolla *Maja squinado* Herbst, 1788 en el Centro Oceanográfico de Vigo del IEO.
- Mawazi, S. M. et al. (2024). Recent applications of chitosan and its derivatives in antibacterial, anticancer, wound healing, and tissue engineering fields. *Polymers*, 16(10), 1351.
- Mohan, K. et al. (2021). A study on structural comparisons of α -chitin extracted from marine crustacean shell waste. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 2, 100037.
- Muñoz-Tebar, N. et al. (2023). Chitosan edible films and coatings with added bioactive compounds. *Polymers*, 15(2), 396.
- Pazos, G., Fernández, J., Linares, F. et al. (2018). El ciclo de vida completo en cautividad del cangrejo araña, *Maja brachydactyla*, Herbst 1788. *Aquaculture Research*, 49, 2440–2445.
- Plan Nacional JACUMAR (2006–2009). Cría de centolla (*Maja* sp.). Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- Rotllant, G. et al. (2014). Interannual variability in the biochemical composition of newly hatched larvae of the spider crab *Maja brachydactyla*. *Marine Ecology*, 35(3), 298–307.
- Schaub, B. & Kroschel, J. (2018). Developing a biocontrol strategy to protect stored potato tubers from infestation with potato tuber moth species in the Andean region. *Journal of Applied Entomology*, 142, 78–88.
- Sharaby, A., Gesraha, M. & Fallatah, S. (2020). Botanical extracts against the potato tuber moth, *Phthorimaea operculella*, during storage conditions. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 30.
- Stasińska-Jakubas, M. & Hawrylak-Nowak, B. (2022). Protective, biostimulating, and eliciting effects of chitosan and its derivatives on crop plants. *Molecules*, 27(9), 2801.

Urcera, M., Arnaiz, R., Rua, N. & Coa, A. (1993). Cultivo de la centolla Maja squinado: influencia de la dieta en el desarrollo larvario. Actas IV Congreso Nacional de Acuicultura, 269–274.

Créditos y agradecimientos

Este informe ha sido elaborado a partir de las fuentes de verificación técnicas del proyecto MAJA — Cultivo integral de la centolla *Maja brachydactyla*: cría y repoblación, ejecutado por la Universidad de Vigo.

El proyecto se ha desarrollado con la colaboración de la Fundación Biodiversidad, del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, a través del Programa Pleamar, y se cofinancia por la Unión Europea a través del Fondo Europeo Marítimo, de Pesca y de Acuicultura (FEMPA).

Se agradece la colaboración de la Cofradía de Pescadores San Francisco de Vigo, la Cofradía de Pescadores San Antonio de Cambados, los bateiros de Boiro (Marisco Gusroben C.B.), la Asociación Nacional de Mujeres de la Pesca (ANMUPESCA), el ICTAN-CSIC, el IRTA y ANFACO-CECOPESCA, Insuiña S.L. y el Instituto Galego de Formación en Acuicultura (IGAFA).



Cofinanciado por
la Unión Europea



MINISTERIO
DE AGRICULTURA, PESCA
Y ALIMENTACIÓN



Fondos Europeos



VICEPRESIDENCIA
TERCERA DEL GOBIERNO
MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO

