



**Universidad  
Zaragoza**

## Trabajo Fin de Grado

Grado en Ciencias Ambientales

Traslocación de *Pseudunio auricularius*

(= *Margaritifera auricularia* Spengler, 1793) en el Río Ebro  
en Aragón

Translocation of *Pseudunio auricularius*

(= *Margaritifera auricularia* Spengler, 1793) in the Ebro  
River in Aragon

**Autora**

Natalia Benedí Anadón

**Directora**

Keiko Nakamura Antonacci

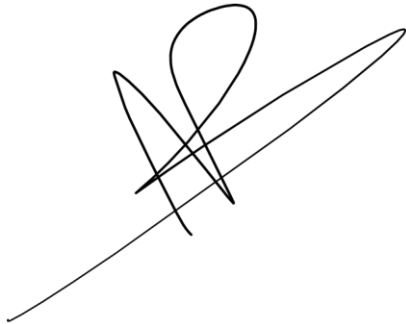
**Ponente**

Ernesto Pérez Collazos

Escuela Politécnica Superior de Huesca  
2025

El Trabajo de Fin de Grado que presento para su exposición y defensa es original y todas las fuentes utilizadas para su realización han sido debidamente citadas en el mismo.

**FIRMA:**

A handwritten signature in black ink, consisting of a long, sweeping horizontal stroke that is crossed by a vertical loop and a diagonal stroke, forming a stylized, abstract mark.

## Resumen

*Pseudunio auricularius*, anteriormente conocida como *Margaritifera auricularia*, es una almeja de agua dulce catalogada en peligro crítico de extinción. Debido a las elevadas tasas de mortalidad detectadas en el Canal Imperial de Aragón (CIA), se inició en 2017 un plan de traslocación al río Ebro como medida urgente de conservación.

El seguimiento a largo plazo muestra una heterogeneidad de resultados entre las siete parcelas receptoras de los individuos traslocados, a pesar de haber sido todas preseleccionadas por presentar buenas condiciones. Remolinos, Juslibol y Monzalbarba1 presentan los resultados más desfavorables, con una elevada pérdida del número de ejemplares (no aparecidos o muertos) como consecuencia de las riadas invernales principalmente. Monzalbarba 2 y Almozara 1 presentan condiciones intermedias, con cierta estabilidad inicial, pero algunas señales de alerta como el ligero descenso del número de ejemplares de margaritona. Las parcelas de Monzalbarba 3 y Almozara 2 destacan por ser las más favorables para la supervivencia de la especie si bien es cierto que son las que tienen menos tiempo establecidas.

Palabras Clave: canales, conservación, especies en peligro, monitorización y náyades.

## **Abstract**

*Pseudunio auricularius*, formerly known as *Margaritifera auricularia*, is a freshwater mussel listed as critically endangered. Due to high mortality rates detected in the Canal Imperial de Aragón (CIA), a translocation plan to the Ebro River was launched in 2017 as an urgent conservation measure.

Long-term monitoring shows heterogeneity among the recipient sites of the translocated individuals. Remolinos, Juslibol, and Monzalbarba 1 present the most unfavourable conditions, with a high number of missing specimens or dead, mainly as a result of flooding events. Monzalbarba 2 and Almozara 1 show intermediate conditions, with some initial stability, but also early warning signs such as the first declines in mussel numbers. The Monzalbarba 3 and Almozara 2 sites stand out as the most favourable for the species' survival, although they are the most recently established.

**Keywords:** canals, conservation, endangered species, mussel and monitoring.

# ÍNDICE

Resumen .....	3
Abstract.....	4
1. Introducción.....	10
1.1. Descripción y distribución de la especie <i>Pseudunio auricularius</i> .....	11
1.2. Distribución.....	13
1.3. Marco legal.....	14
1.4. Plan de traslocación de <i>Pseudunio auricularius</i> (=Margaritifera <i>auricularia</i> ) .....	en Aragón.....15
1.5. Otras especies de náyades presentes en el río Ebro.....	17
1.5.1. <i>Potomida littoralis</i> (Cuvier, 1798).....	17
1.5.2. <i>Unio Mancus</i> (Lamarck, 1819).....	18
1.5.3. <i>Anodonta anatina</i> (Linnaeus, 1758).....	19
1.5 Bivalvos exóticos invasores .....	20
1.5.1 <i>Corbicula</i> spp.....	20
2. Justificación .....	22
2.1. Relación con los ODS.....	23
3. Objetivos.....	24
3.1. Objetivos generales .....	24
3.2. Objetivos específicos .....	24
4. Material y métodos .....	24
4.1. Área de estudio.....	24
4.2. Caracterización de las parcelas.....	26
4.3. Metodología.....	30
4.3.1. Trabajo de campo.....	30
4.3.1.1. Monitorización de ejemplares de <i>P. auricularius</i> en las parcelas del río Ebro.....	30
4.3.2. Monitorización de otras náyades y almeja asiática: Transectos.....	33
4.4. Tratamiento de datos y análisis estadístico.....	34
5. Resultados.....	36

5.1. Evaluación de la abundancia de ejemplares de <i>P. auricularius</i> por parcela.....	36
5.1.1. Remolinos.....	36
5.1.2. Juslibol.....	38
5.1.3. Monzalbarba 1.....	40
5.1.4. Monzalbarba 2.....	42
5.1.5. Monzalbarba 3.....	44
5.1.6. Almozara 1.....	46
5.1.7. Almozara 2.....	48
5.1.8. Grupos controles en el Canal Imperial de Aragón.....	50
5.2. Caudal medio mensual del río Ebro (2018-2024) .....	51
5.3. Supervivencia de <i>P. auricularius</i> .....	52
5.3.1. Supervivencia de <i>P. auricularius</i> en Monzalbarba 1, 2 y 3.....	54
5.3.2. Supervivencia de <i>P. auricularius</i> en Almozara 1 y 2.....	54
5.3.3. Modelo de regresión de Cox.....	55
6. Discusión.....	60
7. Conclusiones.....	69
8. Recomendaciones .....	70
9. Agradecimientos.....	71
10. Bibliografía.....	72
Anexos.....	79

## Índice de figuras

Figura 1: Concha de ejemplar adultos de *Pseudunio auricularius* (ambas valvas).

Figura 2: Anatomía interna y externa de las valvas de un bivalvo.

Figura 3: Ciclo reproductivo de *P. auricularius*.

Figura 4: Distribución *Pseudunio auricularius*. Los puntos rojos representan los individuos vivos y los puntos blancos conchas encontradas recientemente de *P. auricularius*.

Figura 5: Parcelas seleccionadas en el Río Ebro (receptoras) y Canal Imperial (donantes) donde se translocaron ejemplares de *P. auricularius*.

Figura 6: Ejemplar de *Potomida littoralis*.

Figura 7: Ejemplar de *Unio Mancus*.

Figura 8: Ejemplar de *Anodonta anatina*.

Figura 9: Muestra de campo de almeja asiática (*Corbicula* spp.).

Figura 10: Ubicación de las parcelas de estudio.

Figura 11: Parcela de traslocación Juslibol (Río Ebro, Zaragoza) mostrando el efecto de la limpieza de macrófitos de *P. auricularius*.

Figura 12: Parcela de traslocación de Almozara 1.

Figura 13: Parcela de traslocación de Monzalbarba 1.

Figura 14: Ejemplar etiquetado de *P. auricularius*.

Figura 15: Localización de ejemplares en la parcela utilizando mirafondos.

Figura 16: Ejemplar de *P. auricularius* marcado con banderilla roja.

Figura 17: Señalización de individuos de margaritona en parcela del río Ebro.

Figura 18: Procesamiento de *Corbicula* spp.

Figura 19: Parcela de Remolinos. A: Evolución de la abundancia de *P. auricularius*. B: Evolución de la densidad de náyades vivas y muertas desde el año 2017-2023. C: Evolución de la densidad *Corbicula* spp. vivas y muertas desde el año 2017-2023.

Figura 20: Parcela de Juslibol. A: Evolución de la abundancia de *P. auricularius* (ejemplares NA: no recapturados) B; Evolución de la densidad de náyades vivas y

muertas desde el año 2017-2024. C: Evolución de la densidad *Corbicula* spp. vivas y muertas desde el año 2017-2024.

Figura 21: Parcela de Monzalbarba 1. A: Evolución de la abundancia de *P. auricularius* (ejemplares NA: no recapturados). B: Evolución de la densidad de náyades vivas y muertas desde el año 2017-2024. C: Evolución de la densidad *Corbicula* spp. vivas y muertas desde el año 2017-2024.

Figura 22: Parcela de Monzalbarba 2. A: Evolución de la abundancia de *P. auricularius* (ejemplares NA: no recapturados). B: Evolución de la densidad de náyades vivas y muertas desde el año 2017-2024. C: Evolución de la densidad *Corbicula* spp. vivas y muertas desde el año 2019-2024.

Figura 23: Parcela de Monzalbarba 3. A: Evolución de la abundancia de *P. auricularius* (ejemplares NA: no recapturados). B: Evolución de la densidad de náyades vivas y muertas desde el año 2020-2024. C: Evolución de la densidad *Corbicula* spp. vivas y muertas desde el año 2020-2024.

Figura 24: Parcela de Almozara 1. A: Evolución de la abundancia de *P. auricularius* (ejemplares NA: no recapturados). B: Evolución de la densidad de náyades vivas y muertas desde el año 2018-2024. C: Evolución de la densidad *Corbicula* spp. vivas y muertas desde el año 2018-2024.

Figura 25: Parcela de Almozara 2. A: Evolución de la abundancia de *P. auricularius* (ejemplares NA: no recapturados). B: Evolución de la densidad de náyades vivas y muertas desde el año 2021-2024. C: Evolución de la densidad *Corbicula* spp. vivas y muertas desde el año 2021-2024.

Figura 26: Evolución de abundancia de *P. auricularius* en los grupos de control del CIA (ejemplares NA: no recapturados).

Figura 27: Caudal medio mensual ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) del río Ebro periodo 2018-2024. Fuente: SAIH (<https://www.saihebro.com/homepage/estado-cuenca-ebro>).

Figura 28: Curva de supervivencia de Kaplan-Meier para cada parcela con ejemplares de *P. auricularius*.

Figura 29: Curva de supervivencia de Kaplan-Meier en las parcelas de Monzalbarba 1,2 y 3.

Figura 30: Curva de supervivencia de Kaplan-Meier en las parcelas de Almozara 1 y 2.



## Índice tablas

Tabla 1: Resultados de la Regresión de Cox en las parcelas con presencia de ejemplares de *P. auricularius*, tomando como referencia la parcela de Monzalbarba 2.

Tabla 2: Resultados de la prueba de Regresión de Cox de las parcelas de Monzalbarba con presencia de ejemplares de *P. auricularius*, tomando como referencia la parcela de Monzalbarba 1.

Tabla 3: Resultados de la de la prueba de Regresión de Cox de las parcelas de Almozara con presencia de ejemplares de *P. auricularius*, tomando como referencia la parcela de Amozara 1.

Tabla 4: Ranking de parcelas en el río Ebro con presencia de individuos de *P. auricularius* traslocados desde el Canal Imperial de Aragón.

## 1. Introducción

La conservación de la biodiversidad constituye uno de los principales desafíos a los que se enfrenta la ciencia ecológica y la gestión ambiental en el siglo XXI. El deterioro de los ecosistemas naturales, impulsado por factores como el cambio climático, la fragmentación del hábitat, la contaminación, la sobreexplotación de recursos naturales y la introducción de especies exóticas invasoras, ha generado una acelerada pérdida de diversidad biológica a nivel global (Díaz et al., 2019).

En este contexto, los ecosistemas acuáticos continentales (ríos, lagos y humedales) se reconocen como algunos de los sistemas más vulnerables y, paradójicamente, menos atendidos en términos de conservación, a pesar de su alta biodiversidad relativa y de los múltiples servicios ecosistémicos que proporcionan.

Numerosos estudios han documentado una disminución drástica en la abundancia y distribución de especies acuáticas en las últimas décadas, lo que ha llevado a que muchas de ellas estén catalogadas en categorías de amenaza dentro de la Lista Roja de la UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza). En particular, los invertebrados acuáticos como los moluscos bivalvos han mostrado tendencias especialmente preocupantes debido a su sensibilidad a alteraciones al hábitat, su ciclo complejo de vida y su escasa capacidad de dispersión (UCN/SSC, 2013). Esta situación ha impulsado el desarrollo de estrategias de conservación activas, que van más allá de la mera protección del hábitat, incluyendo medidas como la cría en cautividad, la restauración ecológica, la reintroducción de especies, y de forma destacada, la traslocación de individuos.

Según las directrices para reintroducciones y otras translocaciones para fines de conservación de la UICN (UCN/SCC, 2013), la translocación de individuos se define como «el movimiento y la liberación intencionales de un organismo vivo cuyo objetivo principal es un beneficio para la conservación». Esta herramienta cobra especial relevancia en el caso de especies en peligro crítico, como *Pseudunio auricularius* (Araujo & Ramos., 2000b).

## 1.1 Descripción y distribución de la especie *Pseudunio auricularius*

Posición taxonómica:

- Phylum: *Mollusca*
- Clase: *Bivalvia*
- Subclase: *Paleoheterodonta*
- Orden: *Unionida*
- Familia: *Margaritiferidae*

*Pseudunio auricularius*, anteriormente conocida como *Margaritifera auricularia* (Lopes-Lima et al., 2018) conocida como náyade auriculada o margaritona, es un molusco bivalvo de agua dulce y una de las especies de náyades más grandes que existen, pudiendo llegar a medir 18 cm de longitud (Araujo et al., 2009) y alcanzar casi los 70 años (Nakamura et al., 2018).

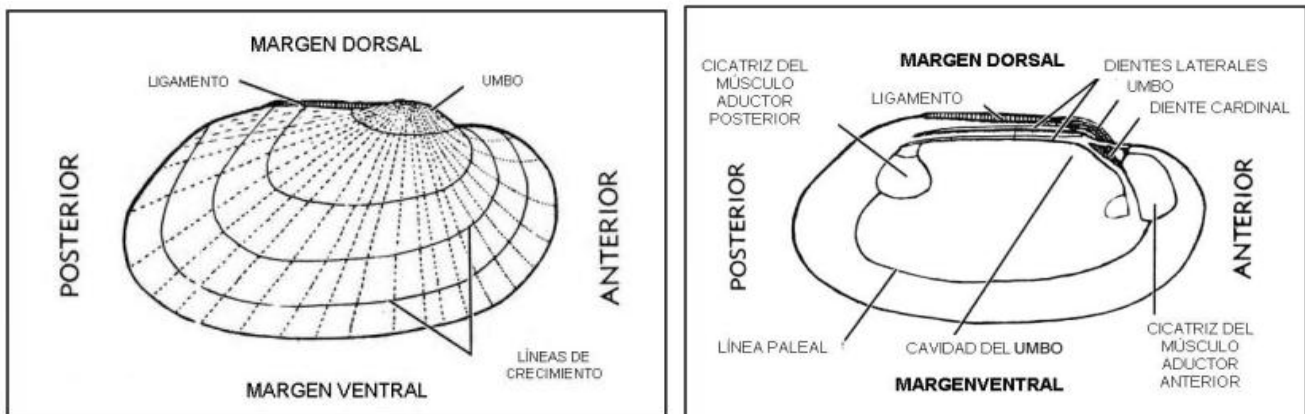
Uno de los rasgos más característicos de esta especie es su concha negra y gruesa, normalmente con forma auriculada (Figura 1), de ahí su nombre en latín “aurícula” que significa oreja (Nakamura et al., 2024).



**Figura 1:** Concha de ejemplar adulto de *Pseudunio auricularius* (ambas valvas). **Fuente:** Araujo et al., 2009

La concha de estos individuos (Figura 2) está formada por dos valvas unidas por un ligamento proteico, el cual les permite abrir las valvas, situado cerca del umbo del animal, desde el cual se inicia el crecimiento de éstas. Bajo él se encuentra la chamela

que suele tener unos dientes en su cara interna que encajan con los de la valva opuesta. Cuenta con un pie, órgano muy musculoso y extensible, que les permite enterrarse y desplazarse por el sustrato, es el órgano más grande de las náyades, junto con las branquias, las cuales se sitúan entre el pie y el manto, y son las encargadas de facilitar el intercambio de oxígeno con el medio y con una gran superficie que incrementa la capacidad de filtración (Zapater et al., 2006).



**Figura 2:** Anatomía interna y externa de las valvas de un bivalvo. **Fuente:** Zapater et al., 2006

Las almejas de agua dulce tienen un ciclo de vida parcialmente parasitario (Figura 3). Tras la fecundación, liberan las larvas en el agua, llamadas gloquidios, y éstas se adhieren a las branquias u otras partes del cuerpo de determinadas especies de peces hospedadores (Araujo et al., 1998). Una vez adheridas a los peces, sufren una metamorfosis para convertirse en pequeños juveniles (Modesto et al., 2018). Para el caso específico de *P. auricularius* se conocen dos especies de peces hospedadores en la cuenca del Ebro (Araujo et al., 2000b). El primero el ahora extinto esturión común (*Acipenser sturio*), ausente en el Ebro desde la década de los 60's. El otro pez que funciona para transformar los gloquidios de la margaritona es el pez fraile o blenio de río (*Salaria fluviatilis*) declarado como vulnerable según el Decreto 49/1995 de la Diputación General de Aragón.



**Figura 3:** Ciclo reproductivo de *P. auricularius*. **Fuente:** Gobierno de Aragón, 2007.

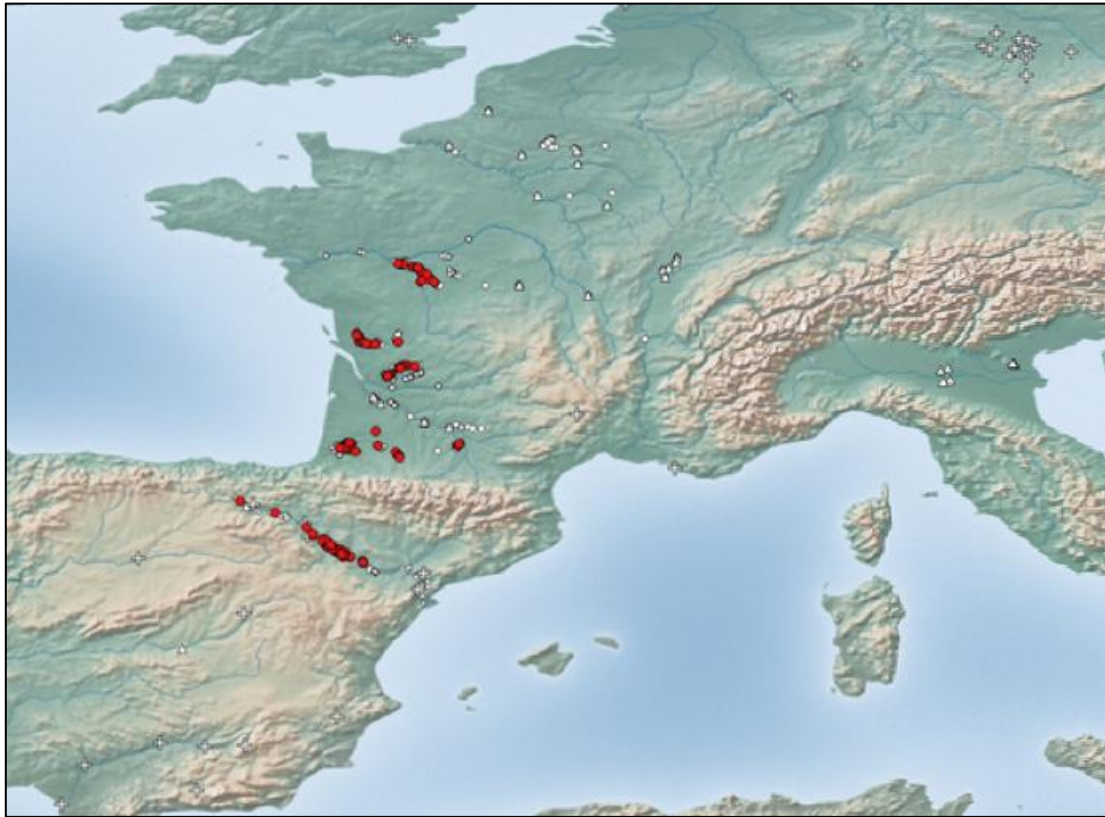
La margaritona vive en los brazos laterales separados por islas, donde el agua se remansa y los peces hospedadores se detienen para alimentarse o frezar. Cuando aparece en el cauce principal, suele ser en zonas donde la corriente es menor por la presencia de meandros (Araujo, 2012). También habita en zonas de rápidos y aguas someras, donde vive incrustada entre las piedras. Requiere fondos con sustratos de gravas asentadas y estables, en zonas donde dominan las gravas finas (2 a 64mm) (Gobierno de Aragón, 2007).

## 1.2 Distribución

Actualmente la margaritona presenta una distribución geográfica extremadamente reducida y fragmentada (Figura 4). En Aragón, las principales poblaciones se solían concentrar en hábitats artificiales como el CIA (Canal Imperial de Aragón) y el Canal de Tauste, mientras que en el río Ebro su presencia era muy limitada. Hoy en día la mayor abundancia de ejemplares se encuentra en el Ebro medio cerca de la ciudad de Zaragoza (Nakamura et al., 2023).

Fuera de Aragón, en el resto de España, la especie se considera prácticamente extinta en estado silvestres. A Nivel Europeo, se encuentra distribuida por cinco cuencas en Francia: la del Loira, Charente, Dordogne, Garonne, Adour (Prié, 2021; Nakamura et al., 2024).

El declive de estas poblaciones se ha acentuado en las últimas décadas, debido principalmente a la alteración de su hábitat, contaminación y ausencia de peces hospedadores para completar su ciclo reproductivo, entre otros (Nakamura et al., 2023).



**Figura 4:** Distribución actual de *Pseudunio auricularius*. Los puntos rojos representan las localidades donde quedan individuos vivos y los puntos blancos conchas encontradas recientemente. Las cruces blancas datos históricos y los triángulos especímenes fósiles.

**Fuente:** Nakamura et al., 2024

### 1.3 Marco legal

Actualmente la especie está catalogada como “En Peligro Crítico” por el decreto 129/2022; es por ello por lo que cuenta con un plan de recuperación desde el año 2005 y recientemente actualizado por el decreto 33/2024 del Gobierno de Aragón.

*P. auricularius* se encuentra incluida en los siguientes listados, convenios y legislaciones:

### Internacional

- Lista Roja de la IUCN (2010), En Peligro Crítico (Prié, 2024).
- Anexo IV de la Directiva de Hábitats, especie animal de Interés Comunitario que requiere una protección estricta [Directiva 92/43/CEE]. (Araujo & Ramos, 2001a).
- Anexo II del Convenio de Berna, especie de fauna estrictamente protegida.

### Nacional

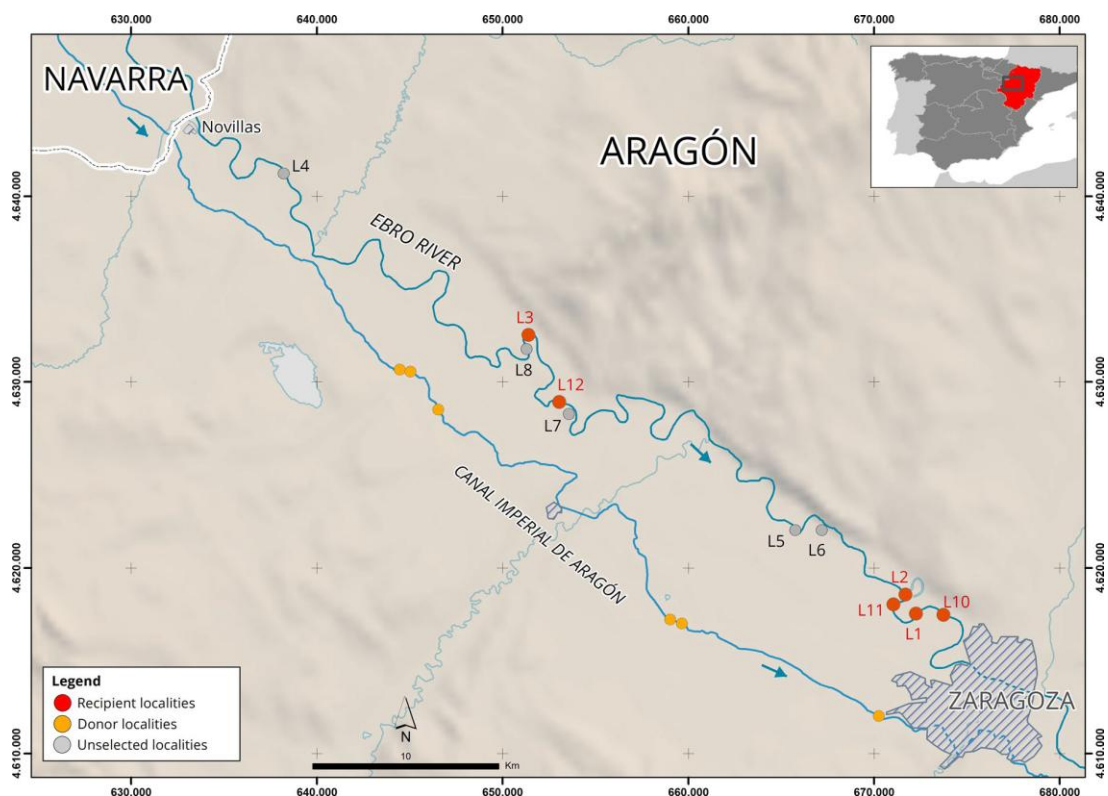
- Catálogo Nacional de Especies Amenazadas (2011), En Peligro de Extinción. [RD 139/2011].
- Libro Rojo de los Invertebrados de España (2006), En Peligro Crítico.

### Autonómico

- Catálogo de Especies Amenazadas de Aragón, En Peligro de Extinción. Decreto 129/2022 de 5 de septiembre.
- Decreto 187/2005, de 26 de septiembre, por el que se establece un Régimen de Protección para la *Margaritifera auricularia* y se aprueba el Plan de Recuperación. Este fue actualizado por el Decreto 33/2024, de 28 de febrero, que revisa y refuerza las medidas de conservación para la margaritona en Aragón.

## **1.4 Plan de traslocación de *Pseudunio auricularius* (= *Margaritifera auricularia*) en Aragón**

En la actualidad, la aplicación de medidas de conservación para mitigar la pérdida de biodiversidad debida a impactos antropogénicos es una práctica habitual. Una de esas medidas es la traslocación de ejemplares (Armstrong & Seddon, 2008; Jourdan et al., 2019). En 2017, el Gobierno de Aragón inició un plan de traslocación para la supervivencia de *P. auricularius*, en el cual se extrajeron ejemplares del CIA y se translocaron al río Ebro, a parcelas previamente caracterizadas (Nakamura et al., 2022) (Figura 5).



**Figura 5:** Parcelas seleccionadas en el Río Ebro (receptoras en rojo) y Canal Imperial (donantes en amarillo) donde se translocaron ejemplares de *P. auricularius*. **Fuente:** Nakamura et al., 2022.

Para la selección de esas parcelas, se diseñó un índice que comprendía diez variables físicas y químicas, cuatro biológicas, y cinco antropogénicas. A cada una de esas variables se les asignó una puntuación asociada: 1 punto si las condiciones eran poco adecuadas, 3 puntos si eran condiciones adecuadas y 5 puntos si eran óptimas para la especie. La suma de esos valores da una puntuación global para cada localidad, y así elegir aquellas con la puntuación más alta que se consideraron las más idóneas para la supervivencia de la especie (Nakamura et al., 2022).

Las primeras traslocaciones de individuos adultos de *P. auricularius* se realizaron en otoño del 2017, para evitar temperaturas extremas de aire y agua, ya que estas pueden generar estrés fisiológico, reducir la supervivencia o dificultar la adaptación al nuevo entorno (Nakamura, 2022) y se llevaron a cabo entre los meses de octubre y diciembre de cada año, evitando también el periodo reproductivo más sensible de la especie, producido en febrero-marzo (Grande et al., 2001) , ya que es una etapa crítica de su ciclo de vida, y cualquier perturbación en ese tiempo puede comprometer el éxito reproductivo, y por lo tanto, la viabilidad de la población traslocada.



Se trasladaron un total de 638 ejemplares (291 ejemplares en 2017, 291 en 2018 y 56 en 2019) y se evaluó la probabilidad de supervivencia año tras año.

La monitorización de los individuos trasladados se realiza una vez al año en la época estival, entre los meses de julio a septiembre, época de menor caudal en el río.

Como parte del plan de traslocación de *P. auricularius*, se establecieron desde el primer año (2017) varios grupos de control en el CIA en los mismos puntos de extracción de ejemplares con el fin de comparar su evolución con respecto a los ejemplares trasladados en las parcelas del río Ebro. De esta forma se dispone de una referencia para evaluar la supervivencia de la especie en los puntos donantes y facilitando la comparación de la supervivencia con los individuos trasladados al río Ebro. Estos grupos se evalúan anualmente, durante los meses de octubre y noviembre, coincidiendo con los trabajos de mantenimiento del canal y la bajada del nivel de agua.

## **1.5 Otras especies de náyades presentes en el río Ebro**

En la cuenca del Ebro hay otras especies de náyades que acompañan a la margaritona, aunque todas no comparten el mismo hábitat. Al igual que *P. auricularius*, se enfrentan a amenazas como la alteración de los cauces fluviales o presencia de especies invasoras, lo que también implica que deban realizarse acciones de conservación de estas especies para garantizar su supervivencia. Estas especies son:

### **1.5.1 *Potomida littoralis* (Cuvier, 1798)**

Es una especie típicamente fluvial, está distribuida por toda la Península ibérica y es probablemente la náyade más común del Ebro (Zapater et al., 2006). Está catalogada En Peligro en la Lista Roja de la UICN y como vulnerable en el Libro Rojo de los invertebrados de España y en Aragón según el Decreto 49/1995, de 28 de marzo, del Gobierno de Aragón, por el que se establece el Catálogo de Especies Amenazadas de Aragón.

Los adultos pueden llegar a medir hasta 9 cm (Figura 6), además de tener una concha sólida y de gran dureza (Araujo, 2011), debido al alto contenido en nácar. Color oscuro, de castaño a negro, a veces verdoso en ocasiones con líneas amarillentas radiales que parten del umbo (Araujo et al., 2009).

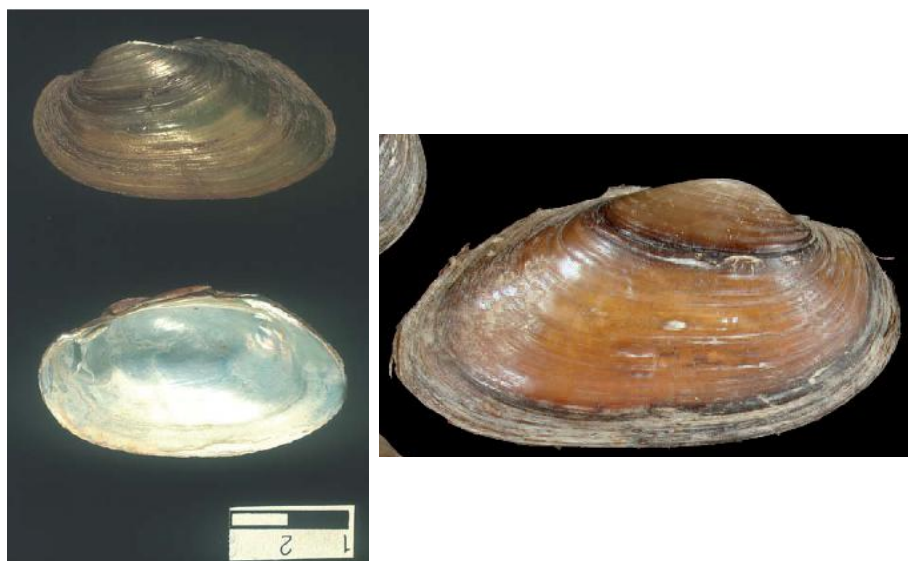


**Figura 6:** Ejemplar de *Potomida littoralis*. **Fuente:** Zapater et al., 2006

Esta especie se encuentra en los cursos medios y bajos del río, con grandes caudales, aunque también puede encontrarse en canales. Requiere de aguas limpias y oxigenadas, aunque se adapta a aguas duras y blancas. Como en las demás especies de náyades, su presencia está relacionada con los hábitats de sus peces hospedadores, en este caso, peces bentónicos del género *Barbus*, como el barbo común ibérico (*Luciobarbus bocagei*) (Zapater et al., 2006).

#### **1.5.2 *Unio mancus* (Lamarck, 1819)**

Esta especie presenta un aspecto típico de mejillón de río, con una longitud menor 10 cm de longitud, raramente alcanza los 9 cm (Araujo et al., 2009). Tiene la concha oscura, parda, en ocasiones verduzca, sólida y alargada, con un umbo prominente y redondeado (Figura 7). El interior es blanco nacarado y presenta una línea paleal muy marcada entre las cicatrices de los músculos aductores (Zapater et al., 2006). En la valva izquierda cuenta con dos dientes posteriores y dos cardinales que en ocasiones pueden aparecer fusionados en una única estructura laminar. La valva derecha presenta un diente lateral posterior y uno cardinal (Araujo et al., 2009).



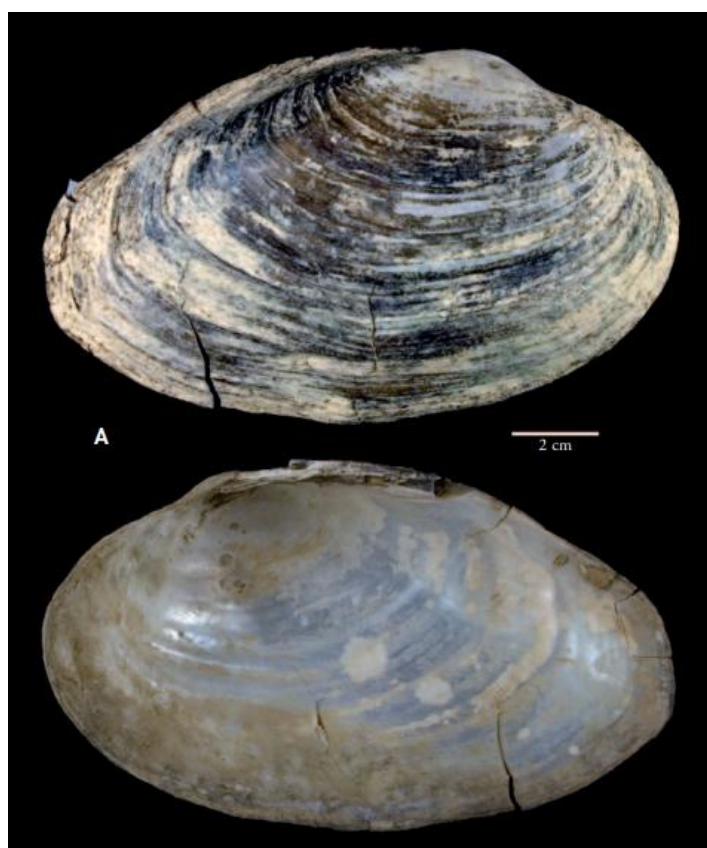
**Figura 7:** Ejemplar de *Unio Mancus*. **Fuente:** Araujo et al., 2009

Los peces hospedadores de esta especie han sido identificados gracias a experimentos realizados en laboratorios, en los cuales se han podido llegar a infestar hasta siete especies de peces, sin embargo, en condiciones natural, solo se han obtenido resultados positivos de infestación con el barbo común (*Luciobarbus graellsii*) (Araujo et al., 2005), aunque también pueden actuar como hospedadores el barbo de montaña (*Barbus haasi*) o el blenio de río (*S. fluviatilis*).

### **1.5.3 *Anodonta anatina* (Linnaeus, 1758)**

Esta náyade se caracteriza por su gran tamaño, pudiendo alcanzar hasta 20 cm de longitud.

Su concha es característica por ser proporcionalmente fina y delicada y por su forma abombada en los adultos, además de su coloración pardo-amarillenta del exterior de la valva y color blanquecino en el interior (Figura 8). A diferencia del resto de náyades, carece de dientes en la charnela de ahí proviene su nombre: *An-odonta* = sin diente. Debido a la delgadez de sus valvas, tienden a secarse y agrietarse cuando quedan fuera del agua (Zapater et al., 2006). Esta especie cuenta con varias especies de peces hospedadores, como el barbo de Graells (*Barbus graellsii*), la madrilla (*Chondrostoma miegii*), el pez fraile o blenio de río (*Salvia fluviatilis*), el gobio (*Gobio gobio*), el cacho (*Squalius pyrenaicus*) y el bagre (*Squalius cephalus*) (Araujo et al., 2009).



**Figura 8:** Ejemplar de *Anodonta anatina*. **Fuente:** Araujo et al., 2009

## 1.6 Bivalvos exóticos invasores

Junto a las náyades autóctonas también se encuentran especies de bivalvos exóticos invasores como la almeja asiática *Corbicula* spp. y el conocido mejillón cebra *Dreissena polymorpha*.

### 1.6.1 *Corbicula* spp.

En el Ebro se han citado varias especies del género *Corbicula* conviviendo (Quiñonero-Salgado et al., 2016) por lo que en este documento nos referiremos a la almeja asiática como *Corbicula* spp.

Es una especie exótica invasora (EEI) originaria del sudeste asiático, concretamente de regiones fluviales de China, Corea y sudeste de Rusia (Sousa et al., 2008) que puede llegar a medir hasta 50 mm de longitud. El color de la concha es variable, ya que

generalmente adquiere colores marrones o amarillentos, aunque algunos son más oscuros con colores marrones y verdes (Figura 9). La concha presenta unas estrías concéntricas y marcadas, separadas entre sí, las cuales sirven para calcular la edad del bivalvo y las condiciones ambientales en las que creció la concha (Rivas, 2013).



**Figura 9:** Muestra de campo de almeja asiática (*Corbicula* spp.) **Fuente:** Elaboración propia.

Esta especie prefiere las aguas limpias y bien oxigenadas, al igual que las náyades, y en condiciones favorables tiende a alcanzar densidades de varios cientos o miles de individuos por metro cuadrado (Cardim et al. 2021).

El continuo aumento de su población puede causar problemas por competencia por alimento y territorio con otras especies de bivalvos (Zapater et al., 2006). La supervivencia de estos individuos depende de la posibilidad de enterrarse, y lo hace en fondos arenosos y limosos, frecuentes en tramos bajos del Ebro. Las conchas forman una barrera física que inhibe la excavación y la locomoción de las náyades nativas, esto puede ser un serio mecanismo de amenaza (Szarmach et al., 2024).

## 2 Justificación

El Gobierno de Aragón es la única comunidad autónoma que cuenta con un plan de recuperación para la margaritona, el cual cuenta con acciones orientadas a la conservación *ex situ* e *in situ*, la mejora y restauración del hábitat, así como el control de amenazas y la investigación sobre la biología y ecología de la especie (Decreto 45/2009, de 24 de marzo, del Gobierno de Aragón, por el que se aprueba el Plan de Recuperación de *Margaritifera auricularia* en Aragón).

Desde el año 2013 se detectó en el medio natural, sobre todo en el CIA, una mortalidad masiva de ejemplares de margaritona sin causa aparente (Catalá et al., 2017). Se plantearon diferentes hipótesis para determinar las posibles causas, entre ellas:

- La presencia de contaminantes provenientes de actividades agrícolas e industriales
- Posibles enfermedades o parásitos
- La competencia con especies exóticas invasoras, como la almeja asiática

Otras causas que han contribuido con el declive progresivo de la especie son: la ausencia de peces hospedadores, la extracción de agua para el uso humano que ha alterado los caudales naturales, entre otros (Nakamura et al., 2023; Araujo et al., 2009b).

Ante la grave y continua mortalidad, el Gobierno de Aragón se planteó en el año 2016 realizar un plan de traslocación como medida de emergencia con el objetivo de salvar los últimos ejemplares del CIA (Catalá et al., 2017). Después de su redacción fue sometido a opinión pública con todos los agentes implicados con la especie: administraciones, grupo de trabajo del ministerio, asociaciones científicas, naturalistas, ONG, empresas privadas. Se dio comienzo al plan en 2017 con la selección y evaluación de localidades donantes y receptoras, seguido de la implementación de las primeras traslocaciones de ejemplares desde el CIA hacia el río Ebro habiendo traslocado hasta la fecha más de 900 ejemplares adultos. A lo largo de los años siguientes, se han realizado y se siguen realizando monitoreos anuales para evaluar la supervivencia de los individuos traslocados, se analizan las condiciones ambientales de las localidades antes y después de las traslocaciones y se ajustan las estrategias de conservación en función de los resultados obtenidos.

Para cada traslocación de individuos a las parcelas de estudio, ha sido necesario un previo análisis de las condiciones ambientales de las parcelas, además de los parámetros fisicoquímicos y las características del lugar, de manera que se pueda

asegurar una correcta adaptación de la especie y asegurar su supervivencia (Nakamura et al., 2022).

Actualmente la conservación de especies como la margaritona es urgente, no solo por el mantenimiento de la biodiversidad acuática y del patrimonio natural de Aragón y de España, si no por todos los servicios ecosistémicos que brindan dentro del medio acuático y del que los humanos nos beneficiamos.

## 2.1 Relación con los ODS

En este estudio se contribuye con los siguientes Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible:

- 3. Salud y bienestar
- 6. Agua limpia y saneamiento
- 13. Acción por el clima
- 14. Vida submarina

La conservación de esta especie contribuye a mejorar la calidad del agua, lo cual tiene efectos positivos en la salud humana y en los ecosistemas acuáticos, reduciendo la exposición a contaminantes y mejorando el bienestar de las comunidades cercanas, además de ayudar a la restauración de los ríos.

Las náyades como *P. auricularius* desempeñan un papel fundamental en la filtración del agua, eliminando partículas en suspensión, materia orgánica e inorgánica e incluso contaminantes como metales pesados y pesticidas, bioacumulando estos productos en sus cuerpos, por lo que funcionan como perfectos bioindicadores de la salud del ecosistema.

La investigación y conservación de especies amenazadas ayuda a mantener la biodiversidad de los ecosistemas acuáticos frente al cambio climático, además de la protección de estos hábitats también contribuyen a la mitigación de los efectos de este.



## 3 Objetivos

### 3.1 Objetivos generales

Como objetivo general en este trabajo se plantea el estudio y evaluación en el tiempo de la supervivencia de los ejemplares de *P. auricularius* traslocados desde el Canal Imperial, en parcelas seleccionadas del Río Ebro en Aragón.

### 3.1 Objetivos específicos

- Evaluación de la supervivencia de *P. auricularius*, en cada una de las parcelas seleccionadas desde el primer año de traslocación, hasta el año 2024 (2017-2024).
- Evaluación de la presencia de otras especies de náyades autóctonas en las parcelas seleccionadas y su evolución en el tiempo.
- Evaluación de la densidad de la especie exótica invasora *Corbicula spp* que se encuentra en las parcelas de estudio y su evolución en el tiempo.
- Comparar los resultados de las diferentes parcelas y seleccionar cuales tienen un mejor resultado de supervivencia para *P. auricularius*.

## 4 Materiales y métodos

### 4.1 Área de estudio

La cuenca del Ebro se encuentra situada en el cuadrante NE de la Península Ibérica, ocupando una superficie total de 85.534 Km<sup>2</sup>, siendo así la cuenca más extensa de España. Representa el 17% del territorio peninsular español, además de ser una de las principales cuencas mediterráneas europeas (CHE, 2024).

El Ebro es el cauce principal de la red fluvial que drena la cuenca, con una longitud de 950km. Este río cuenta con una gran importancia ambiental y territorial, debido a su riqueza como ecosistema y por su papel en la configuración de un eje socioeconómico y cultural de primer orden (Ollero, 1993). Su recorrido por Aragón cuenta con 317 km, se sitúa dentro del curso medio, que se desarrolla desde las conchas de Haro hasta el embalse de Riba-Roja (Ollero et al., 2004).

Los límites naturales de la cuenca son: por el N los montes Cantábricos y los Pirineos, por el SE por el Sistema Ibérico y por el E la cadena y montes Cantábricos.

Cuenta con afluentes que recogen aguas procedentes de los Pirineos en las regiones Eurosiberianas y Mediterránea, además de contar con ecosistemas de gran valor y del



orden del 30% de la superficie de la cuenca está incluida en alguna figura de protección natural (CHE, 2024).

La cuenca hidrográfica del Ebro abarca territorios distribuidos en nueve comunidades autónomas: Aragón, Cataluña, La Rioja, Navarra, Castilla y León, Castilla-La Mancha, Comunidad Valenciana, Cantabria y País Vasco. incluyendo dieciocho provincias y aproximadamente setecientos municipios.

Como ocurre con todos los ríos y barrancos, el Ebro no es solo una corriente de agua, sino un sistema fluvial completo. Este sistema tiene como función principal evacuar las aguas, cargadas de materiales transportados, siguiendo la pendiente hacia el mediterráneo. Sin embargo, además de esta tarea primordial, el río actúa como agente geomorfológico, una fuente de vida y un recurso natural. Además de una corriente, también es un cauce con riberas, un sistema abierto de interacciones que se caracteriza por su enorme dinamismo en el espacio y el tiempo, así como su notable complejidad (Ollero, 1993).

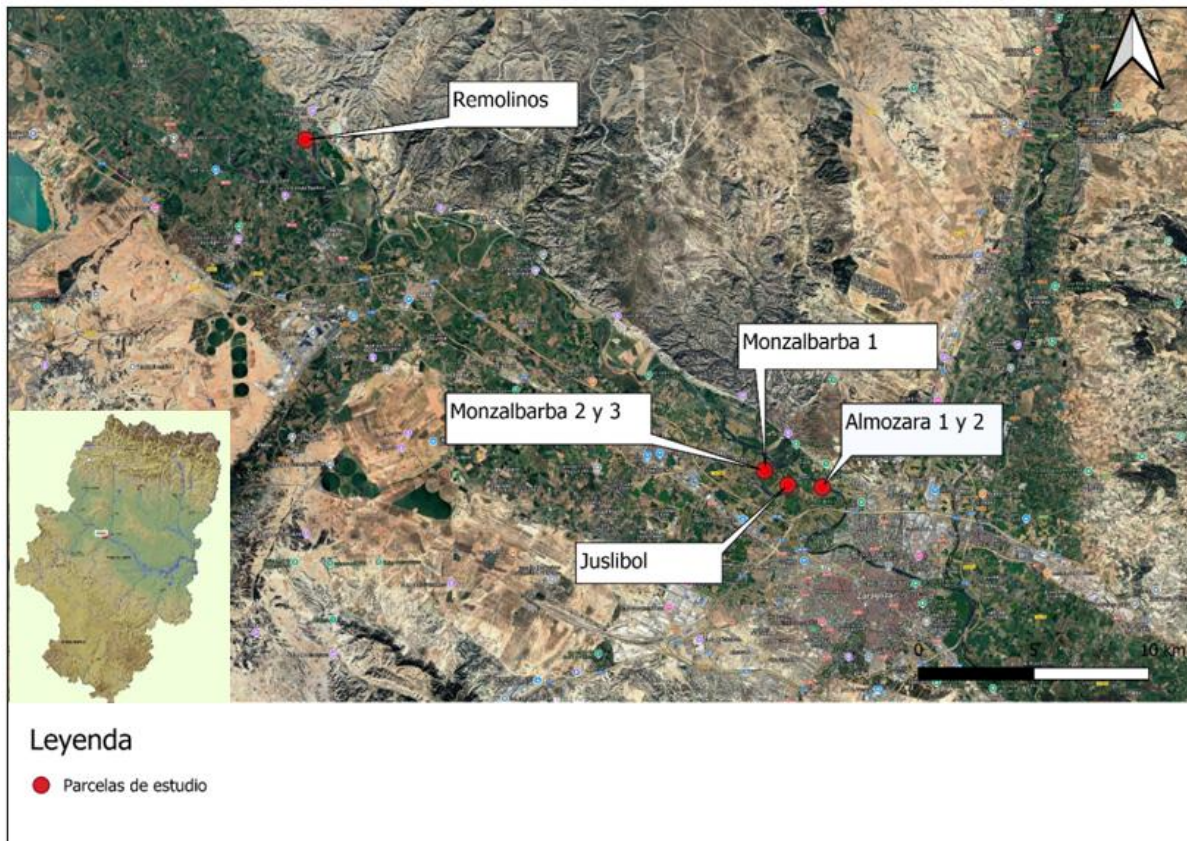
El régimen hidrológico es pluvio-nival, con caudales máximos en febrero y mínimo en agosto, prolongándose las aguas altas en primavera y las bajas en otoño. Los caudales invernales son producidos por la influencia pluvial oceánica desde la cabecera del Ebro y el Pirineo Occidental, además de ocasionar crecidas más frecuentemente (Ollero et al., 2004).

Este estudio ha sido realizado en el eje principal del río Ebro, en su paso por Aragón, específicamente en las localidades de Remolinos, Monzalbarba, Juslibol y La Almozara.

En cada localidad las parcelas fueron seleccionadas previamente durante el trabajo del Plan de Traslocación (Catalá et al., 2017) liderado por el equipo de SARGA-Gobierno de Aragón. La selección se basó en la evaluación del hábitat siguiendo el índice de idoneidad que se describe en el trabajo de Nakamura et al. (2022), ya mencionado anteriormente.

## 4.2 Caracterización de las parcelas

En la figura 10 se sitúan sobre el mapa la ubicación de las parcelas estudiadas en este trabajo, en el tramo medio del río Ebro cerca de la ciudad de Zaragoza.



**Figura 10:** Ubicación de las parcelas de estudio. **Fuente:** Elaboración propia con Qgis.

Cada una de las parcelas estudiadas tiene unas características distintivas, que se describen a continuación:

- **Remolinos:** es una parcela situada en la margen derecha del río Ebro, caracterizada por una fuerte corriente en la margen opuesta, y más suave en la misma parcela. La zona presenta una notable cobertura de macrófitos y una abundante vegetación de ribera, como tamarices (*Tamarix* spp.), que proyectan sombra sobre la parcela. El acceso se realiza cruzando a pie a la orilla contraria del río, y en algunos casos con ayuda de una piragua para transportar el material necesario para realizar el muestreo. Alrededor de la parcela se evidencia la intervención del ganado, cuya actividad puede modificar la vegetación de ribera, o incluso el sustrato donde se encuentran los ejemplares de la margaritona.

- **Juslibol:** ubicada en la margen izquierda del río, se distingue por una velocidad de corriente alta. Esta parcela se ha ido modificando con el pasar de los años debido a la dinámica del mismo río. En el lugar donde antes existía una isla de arena y donde se habían colocado ejemplares de margaritona durante la primera traslocación, se ha formado un canal con un caudal considerable, lo que ha provocado la desaparición de decenas de individuos. Cuenta con una extensa cobertura vegetal acuática, compuesta principalmente por macrófitos y algas filamentosas.

Debido a su ubicación, no se proyecta ninguna sombra, por lo que está expuesta a una elevada radiación solar durante el día, lo que puede influir en la temperatura del agua o procesos biológicos, además de facilitar el crecimiento de macrófitos (Figura 11).



**Figura 11:** Parcela de traslocación Juslibol (Río Ebro, Zaragoza) mostrando el efecto de la limpieza de macrófitos de *P. auricularius*. **Fuente:** Gobierno de Aragón.

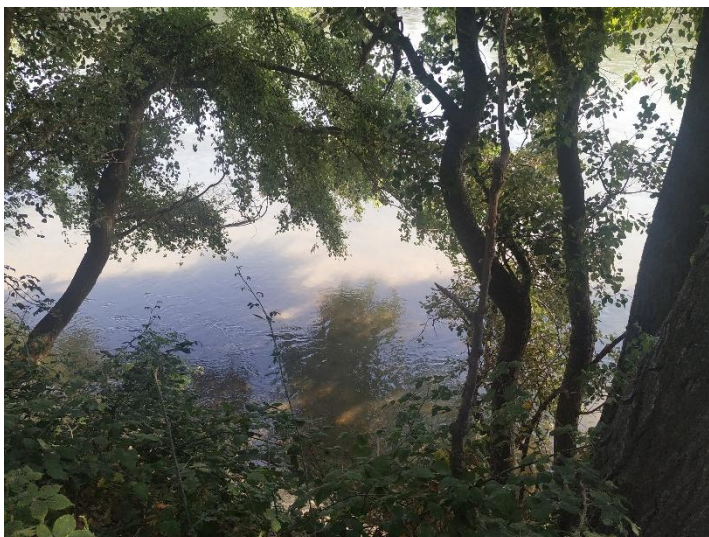
El acceso a la zona no es complicado, aunque la irregularidad del terreno y la densa vegetación de ribera puede dificultarlo.

- **Almozara 1 y 2:** ambas parcelas, en la margen derecha, están separadas por escasos metros, por lo que presentan similares características, aunque Almozara 1 tiene mucha menos profundidad en verano que Almozara 2, situada más aguas abajo. Se encuentran ubicadas en la margen derecha del cauce, ambas zonas se encuentran completamente sombreadas por la vegetación de ribera lo que impide el crecimiento descontrolado de macrófitos y algas (Figura 12).

Se ha observado desde el año 2022 una intensificación de la fuerza de la corriente en la parcela de Almozara 1 en comparación con los registros del año 2018 cuando se inició la monitorización de la parcela. La velocidad del agua ha aumentado progresivamente en los últimos años, probablemente como consecuencia del

desprendimiento de una sección de la orilla ubicada aguas arriba, la cual actuaba previamente como barrera natural.

La ausencia de macrófitos en la zona también podría estar relacionada con este incremento de la corriente, ya que las nuevas condiciones hidrológicas no son favorables para su establecimiento y desarrollo.



**Figura 12:** Parcela de traslocación de Almozara 1. **Fuente:** Gobierno de Aragón.

El acceso a la parcela presenta un grado significativo de dificultad, debido a su ubicación en la ribera del río. La presencia de un pequeño cortado requiere el uso de una cuerda para descender con seguridad hasta la zona de estudio.

- **Monzalbarba 1** está situada en la margen derecha del río, y es la parcela que está sometida a una mayor corriente en comparación con las demás parcelas de estudio, por lo que se genera un fuerte arrastre del agua cuando se producen crecidas invernales. Este flujo influye en la morfología del sustrato, promoviendo la erosión y el arrastre de sedimentos, además de que puede llegar a afectar a la disponibilidad de hábitat para otros organismos acuáticos. Esta parcela carece de sombra, por lo que está expuesta a la constante radiación solar (Figura 13).





**Figura 13:** Parcela de traslocación de Monzalbarba 1. **Fuente:** Gobierno de Aragón.

Durante los periodos de bajo caudal, la reducción de la velocidad de la corriente facilita la acumulación de comunidades vegetales como macrófitos o algas filamentosas, pudiendo llegar a cubrir el sustrato incluso a las náyades, modificando así las condiciones de disponibilidad de oxígeno y alterando la estructura de la parcela.

El acceso al río es sencillo, ya que, a pesar de haber vegetación de ribera, cuenta con caminos que permiten el paso con facilidad a través de soto.

- **Monzalbarba 2** ubicada en la margen derecha del río, unos metros aguas abajo de la parcela de Monzalbarba 1. Aunque forma parte del mismo tramo fluvial, esta parcela está situada en una zona con menos corriente, lo que implica una dinámica completamente diferente, mucho más estable y con menor erosión del sustrato. Sin embargo, la circulación del agua sigue siendo lo suficientemente significativa como para la supervivencia de las náyades.

Esta parcela cuenta con un gran porcentaje de sombra, lo que favorece la baja densidad de macrófitos.

**-Monzalbarba 3:** se sitúa a continuación de Monzalbarba 2, por lo que tiene unas características muy similares a ésta. Parcela con mucha sombra, situada en una zona de menos corriente.

El acceso es el mismo que para acceder a Monzalbarba 2, primero se baja al río a través de Monzalbarba 1 y se accede a esta parcela.

### 4.3 Metodología

#### 4.3.1 Trabajo de campo

##### 4.3.1.1 Monitorización de ejemplares adultos de *P. auricularius* en las parcelas del río Ebro

Materiales necesarios para el muestreo:

- Traje personal de neopreno, guantes y botines
- Banderas de señalización
- Disco de Secchi
- Sonda multiparamétrica
- Mallas-saco
- Surber (luz de malla 1mm)
- Bandeja de plástico
- Cinta métrica
- Cuerda-transecto
- Mirafondos
- Cubos

Las monitorizaciones *P. auricularius* se realizan una vez al año, durante el verano, cuando el caudal del río permite el acceso a las parcelas, donde se encuentran los individuos adultos (Figura 14) de la especie traslocados de años anteriores.



**Figura 14:** Ejemplar etiquetado de *P. auricularius*. **Fuente:** Elaboración propia.

Para llevar a cabo el recuento de ejemplares, se comienza por la limpieza de la parcela, ya que durante los últimos años ha habido un aumento de la densidad de macrófitos por todo el cauce del río en general. Consiste en retirar la vegetación que dificulta la visibilidad del sustrato y por tanto de los ejemplares de margaritona. Habitualmente suelen ser macrófitos (plantas sumergidas enraizadas al lecho), así como también algas filamentosas, ya que ambos tipos de vegetación pueden irrumpir en la identificación de individuos en el fondo del río.

Una vez está limpia la parcela y la turbidez ha disminuido, se realiza el primer recorrido utilizando un mirafondos (dispositivo en forma de cono con un fondo transparente, diseñado para la observación del sustrato del fondo del río) (Figura 15).



**Figura 15:** Localización de los ejemplares en la parcela utilizando mirafondos. **Fuente:** Elaboración propia.

Cada individuo visualizado se marca con una banderilla (Figura 16) hecha con un celo de color llamativo, a la vez que se chequea si el ejemplar está vivo y bien enterrado en el sustrato.



**Figura 16:** Ejemplar de *P. auricularius* marcado con banderilla roja. **Fuente:** Gobierno de Aragón.

Una vez identificados todos los ejemplares con banderas, se procede al recuento, retirando una a una las banderas que se han colocado (Figura 17), lo que permite determinar el número total de individuos presentes en la parcela.

Para garantizar la precisión y fiabilidad del recuento, el proceso se repite de manera independiente por diferentes observadores hasta obtener resultados coincidentes. Previamente se conocen cuantos ejemplares hay en cada parcela, su origen y sus números de etiqueta.





**Figura 17:** Señalización y conteo de individuos de margaritona en parcela del río Ebro. **Fuente:** Elaboración propia.

Los ejemplares muertos, de ser encontrados dentro de la parcela de seguimiento, se recolectan y se trasladan al laboratorio, donde se procede a la toma de medidas y a la identificación del ejemplar mediante la lectura de la su etiqueta. Esta información se utiliza para actualizar el registro de mortalidad de los individuos permitiendo así un seguimiento preciso del estado de los ejemplares trasladados.

#### **4.3.2 Monitorización de otras náyades y almeja asiática: Transectos**

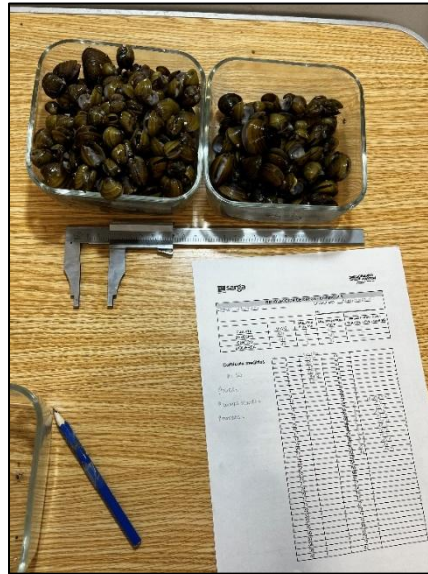
En cada parcela y desde el primer año que se introdujeron los individuos adultos de margaritona, además de la monitorización de éstos, también se estudia la evolución del resto de náyades presentes en la parcela y de la especie exótica invasora *Corbicula* spp., con el objetivo de detectar cambios en la comunidad debido a la traslocación.

La metodología que se realiza exactamente igual cada año es por transectos de longitud establecida según la característica de cada parcela. En el procedimiento se utiliza también una cinta métrica y un surber de muestreo de macroinvertebrados.

La longitud del transecto depende del tamaño de la parcela, alrededor de 15 metros. Se recorre completamente por un muestreador que va recogiendo a su paso y en una anchura de 50 cm, todas las náyades, vivas y muertas detectadas, ya sea visualmente con ayuda del mirafondos o palpando el lecho. Posteriormente se clasifican los ejemplares extraídos por especie y se mide la longitud total de cada uno.

A continuación, se realiza el muestreo de almeja asiática. El mismo transecto se divide en tres partes iguales, y en la mitad de cada una de esas subdivisiones, se extrae una muestra de unos 10 cm de espesor, con ayuda del surber de 30 cm de lado, y con una

mallas de tamaño de luz de 1mm. Esta muestra se limpia de partículas finas, antes de guardarla en bolsas de plástico, identificadas con los datos de la localidad, fecha, y parte del transecto al que pertenecen: aguas arriba, centro o aguas abajo. Estas muestras se procesan *a posteriori* en el laboratorio (Figura 18), donde se separan entre ejemplares vivos y muertos para obtener el valor de la densidad. Adicionalmente se mide la longitud de la concha de una muestra de 50 individuos vivos y 50 muertos escogidos al azar. Los datos obtenidos se registran en la ficha de campo que corresponde a cada transecto.



**Figura 18:** Procesamiento de muestra de *Corbicula* spp. en laboratorio **Fuente:** Elaboración propia.

#### 4.4 Tratamiento de datos y análisis estadístico

Para este estudio se ha realizado un análisis de la abundancia de margaritona y la densidad media tanto de náyades como de almeja asiática a través de los años.

Para ello ha sido necesaria una base de datos en formato Excel que contiene registros de abundancia de margaritona recopilados entre los años 2018 y 2024 en las distintas localidades de estudio. La metodología consistió en separar los datos por localidad, de forma que se pudiera analizar la evolución temporal de la población en cada una de ellas de manera independiente. Para cada localidad se elaboraron gráficas que representaban la variación en el número de individuos vivos, muertos y no aparecidos. Esta representación gráfica es la que ha permitido identificar tendencias, patrones y posibles fluctuaciones en la abundancia de la especie a lo largo del periodo estudiado.

Además, se ha llevado a cabo un estudio complementario centrado en las otras especies de náyades (*Potomida littoralis*, *Unio mancus*, *Anodonta anantina*) y finalmente la monitorización de la especie exótica: la almeja asiática. La metodología de ambas ha sido la misma; se han utilizado dos bases de datos independientes, también organizada por años y basadas en la información obtenida de los transectos realizados en el río. De cada conjunto de datos, se han extraído los valores de densidad media de individuos. Con esta información, se han elaborado gráficas anuales de cada especie, lo que ha permitido visualizar y comparar la evolución temporal de sus densidades en el hábitat durante el periodo de estudio.

Desde la página web de la Confederación Hidrográfica del Ebro ([www.saihebro.com](http://www.saihebro.com)) se recopilaron los datos de la evolución del caudal medio mensual del río Ebro en la estación de aforo de Zaragoza entre enero de 2018 y octubre de 2024. Se analizó su variación y se relacionó con los resultados de abundancia de la margaritona en las parcelas.

El análisis estadístico se ha realizado mediante el programa R Studio (versión 2024-09-01). Se han utilizado los siguientes análisis estadísticos:

\* Kaplan-Meier: es un estadístico no paramétrico utilizado para estimar la función de supervivencia de estudios de seguimiento, lo que permite evaluar la probabilidad de un evento, en este caso, la supervivencia de *P. auricularius* en cada una de las localidades a lo largo del tiempo.

La metodología implica el cálculo de probabilidad de supervivencia en cada tiempo que ocurre un evento, multiplicándolas de manera acumulativa para generar una curva de supervivencia.

El p valor indicará si hay diferencias significativas en las tasas de supervivencia entre las localidades, es decir, la probabilidad de que las diferencias observadas sean debidas al azar o no.

\* Modelo de regresión de Cox: es una herramienta estadística ampliamente utilizada en los análisis de supervivencia, que permite estudiar la relación entre variables independientes y el tiempo hasta que ocurre un evento de interés, se utiliza para evaluar el impacto de diversas variables sobre la probabilidad de ocurrencia de un evento, tomando en este caso, una de las localidades, como factor de referencia (de manera aleatoria), lo que nos permite comparar el comportamiento de las demás localidades con respecto a esta referencia.

## 5 Resultados

Como punto de partida para el análisis de los resultados, es fundamental contextualizar el proceso de establecimiento y evolución de las parcelas de estudio.

En el año 2017 se instalaron las tres primeras parcelas: Juslibol, Remolinos y Monzalbarba 1, a las cuales se traslocaron 118, 64 y 109 individuos de margaritona respectivamente. A partir de los buenos resultados obtenidos en estas parcelas iniciales, se adoptó una estrategia progresiva de expansión: en 2018 se estableció la parcela de Almozara 1, en 2019 se instaló Monzalbarba 2, en 2020 Monzalbarba 3 y por último Almozara 2 en el año 2021. Además, en cada una de estas parcelas, desde su primer año de establecimiento, se han ido introduciendo nuevos individuos traslocados en años posteriores, ya sea provenientes de otras parcelas iniciales o del programa de cría en cautividad.

### 5.1 Evaluación de la abundancia de ejemplares de *P. auricularius* por parcela

#### 5.1.1 REMOLINOS

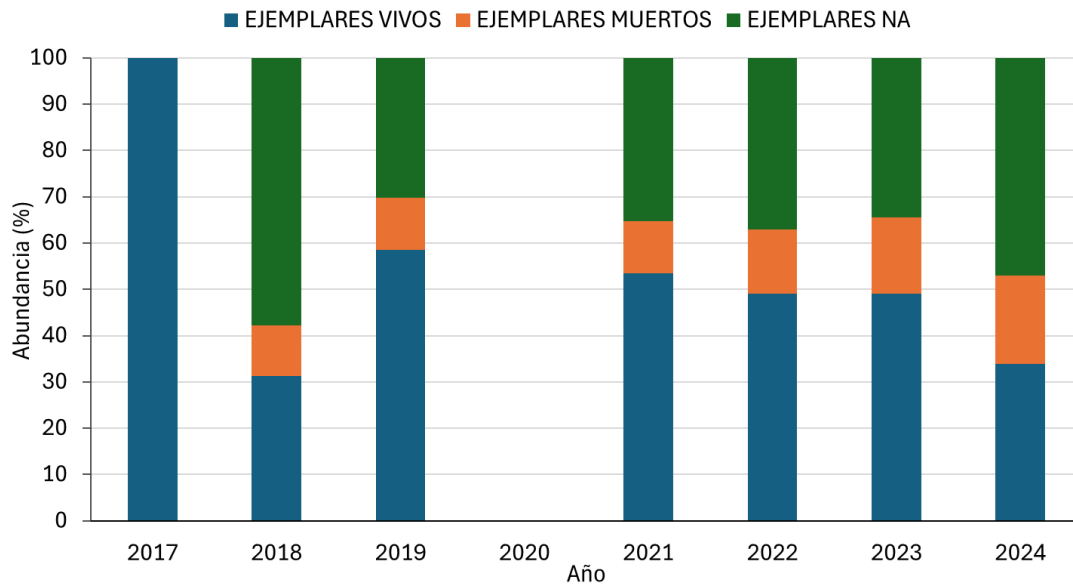
En el caso concreto de Remolinos, los datos de abundancia de *P. auricularius* muestran una disminución generalizada (Figura 19A), acompañada de un aumento en los porcentajes de individuos muertos y no aparecidos. En el año 2024 hubo un aumento importante de individuos que no aparecen (53%), dejando la supervivencia en un 33,84%.

Esta tendencia es coherente con la baja densidad media de náyades (Figura 19B) registrada en la parcela con una media de 1 ind/m<sup>2</sup>, la cual se mantiene entre 2017 y 2024, con valores máximos puntuales en 2021, registrando la presencia de *P. littoralis* y *U. manicus*.

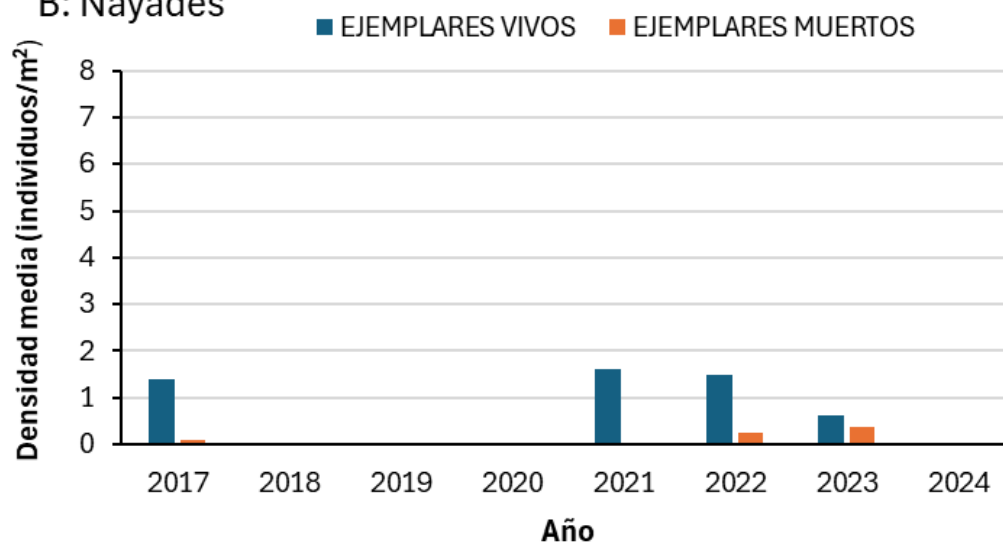
La gráfica correspondiente a *Corbicula* spp. (Figura 19 C) en Remolinos revela un patrón de alta densidad de vivas entre 2021 y 2023, alcanzando, entre 1000 y 1800 individuos/m<sup>2</sup>.

En los años 2018, 2019 2020 y 2024, no se realizaron muestreos de náyades ni almeja asiática.

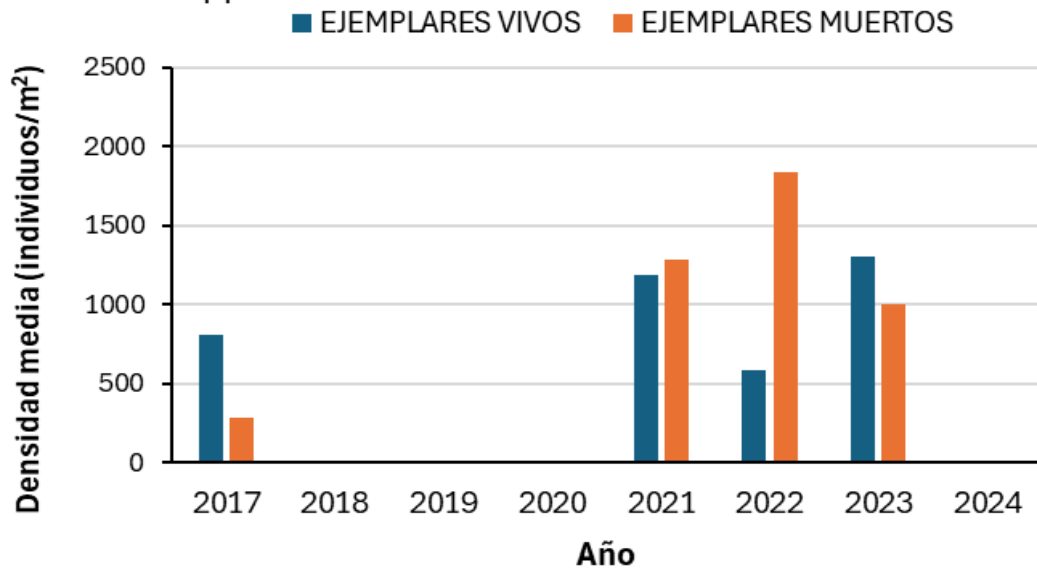
A: *P. auricularius*



B: Náyades



C: *Corbicula* spp.



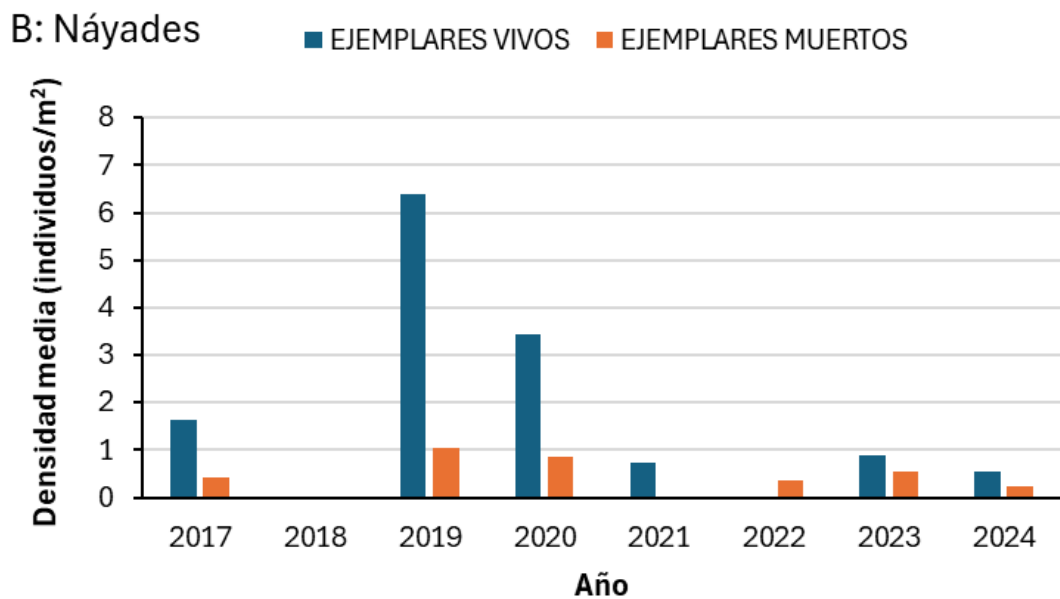
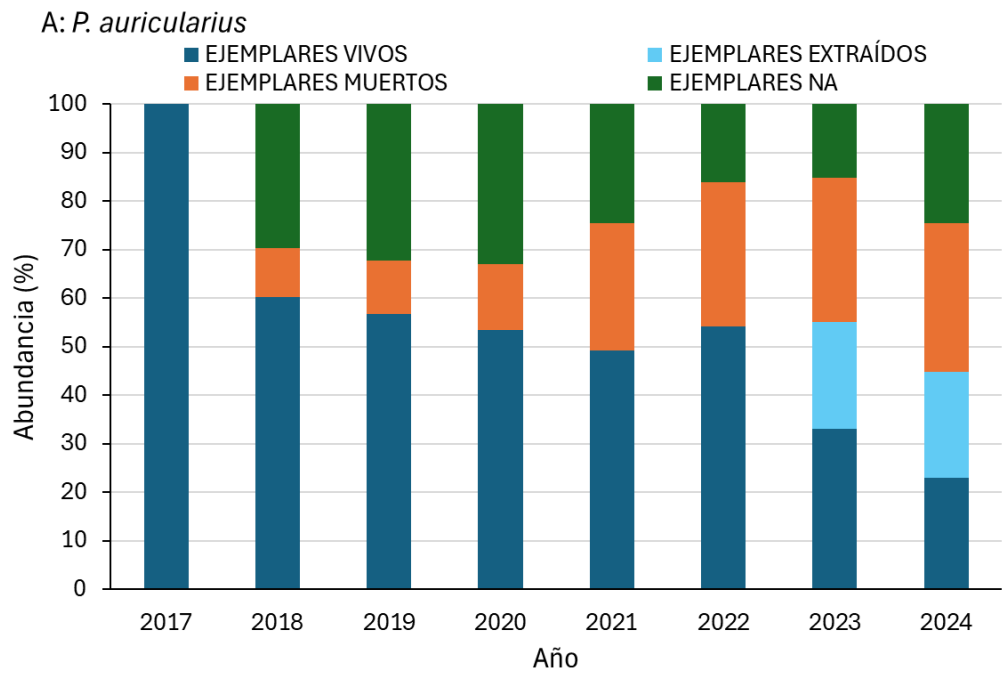
**Figura 19.** Resultados de la parcela Remolinos entre 2017 y 2024. A. Evolución de la abundancia de *P. auricularius* (Ejemplares NA: no recapturados). B: Evolución de la densidad de náyades vivas y muertas. C: Evolución de la densidad *Corbicula* spp. vivas y muertas.

### 5.1.2 JUSLIBOL

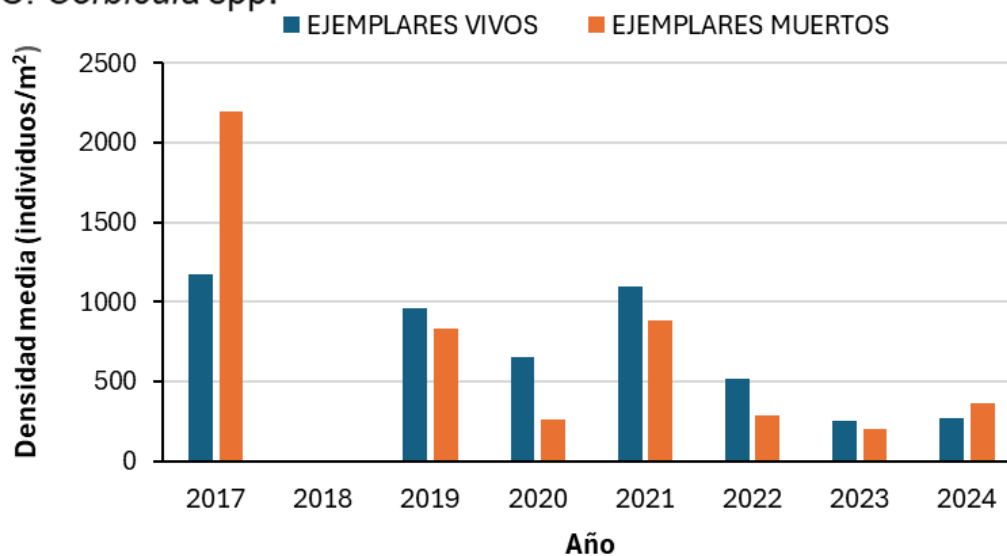
En el caso de Juslibol, los datos evidencian una pérdida progresiva de ejemplares de margaritona entre los años 2017 y 2024 hasta llegar a una supervivencia de apenas el 23%. La gráfica de abundancia relativa (Figura 20A) muestra una disminución sostenida en el porcentaje de individuos vivos, acompañado de un aumento de ejemplares muertos a partir del año 2021. Destaca además la extracción de individuos vivos en 2023, que fueron traslocados a otras parcelas.

La densidad media de náyades vivas destaca por un incremento en 2019, alcanzando los 6 ind/m<sup>2</sup>, estando presentes las especies como *P. littoralis* y *U. manicus*, (Figura 20 B). Sin embargo, en los años posteriores la densidad disminuye drásticamente, quedando a partir del año 2022 con una proporción constante de náyades vivas por debajo de 1 ind/m<sup>2</sup>.

En cuanto a la densidad media de almeja asiática (Figura 20C) se registra una alta densidad de individuos tanto vivos como muertos en el año 2017, alcanzando más de 1000 y más de los 2000 ind/m<sup>2</sup> respectivamente. A partir de 2018 se observa una tendencia descendente general en la densidad de ambos grupos, aunque los vivos presentan una caída más pronunciada hasta estabilizarse siendo una cifra inferior a 500 ind/m<sup>2</sup> en 2023 y 2024.



### C: *Corbicula* spp.



**Figura 20:** Parcela de Juslibol. A: Evolución de la abundancia de *P. auricularius* (ejemplares NA: no recapturados). B: Evolución de la densidad de náyades vivas y muertas desde el año 2017-2024. C: Evolución de la densidad *Corbicula* spp. vivas y muertas desde el año 2017-2024.

#### 5.1.3 MONZALBARBA 1

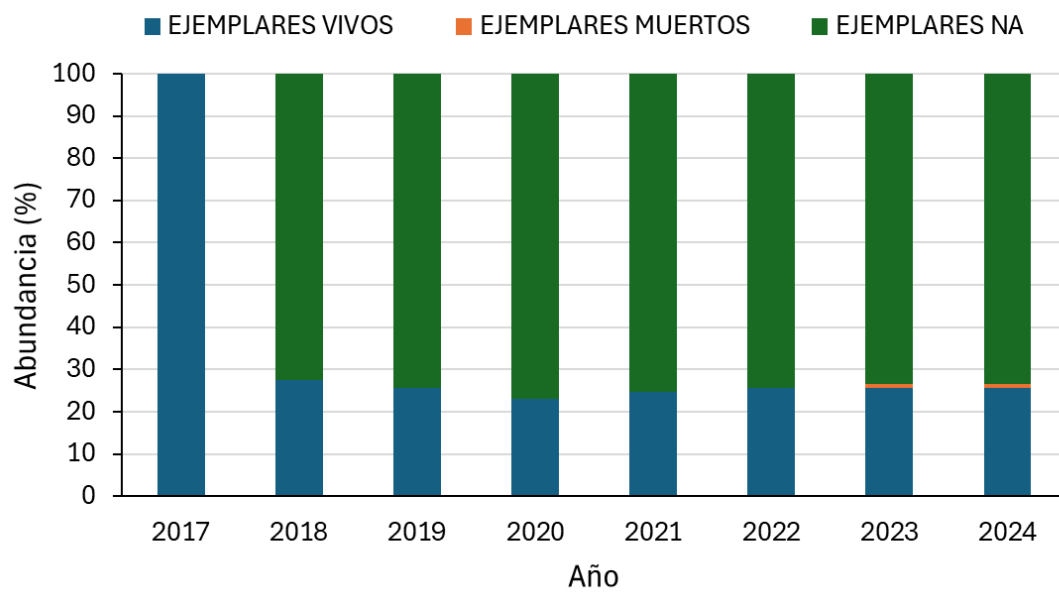
En la parcela de Monzalbarba 1, la tendencia revela una situación de caída abrupta de la abundancia de *P. auricularius* en el primer año y luego se mantiene estable. La gráfica de abundancia (Figura 21A) indica que el porcentaje de individuos vivos se ha mantenido a lo largo de todo el periodo entre un 20–30% y con un alto porcentaje de individuos que no aparecen (NA) (entre el 72 y 77%).

En cuanto a la densidad de náyades (Figura 21B), solo está presente la especie *P. littoralis*. Se observan valores variables, con máximos en 2017 y 2020 de 2,5 ind/m<sup>2</sup>, y mínimos en 2023 y 2024 que no alcanzan 1 ind/m<sup>2</sup>. Resalta la ausencia de ejemplares muertos de náyades en la parcela.

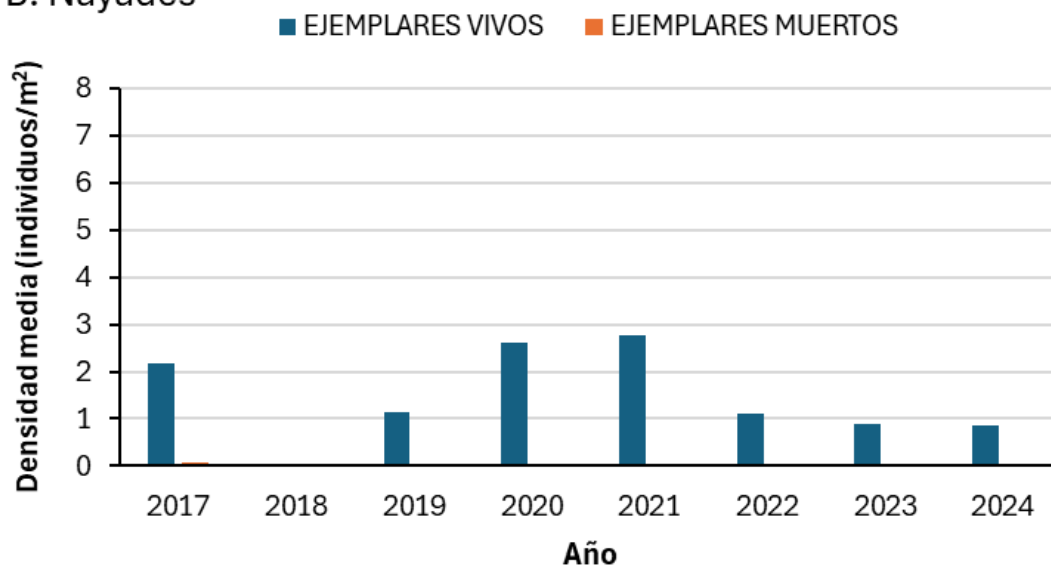
Por su parte, la densidad media de almeja asiática (Figura 21C) muestra un comportamiento irregular, con un aumento significativo de ejemplares vivos en 2021, alcanzando los 1561,89 ind/m<sup>2</sup>.



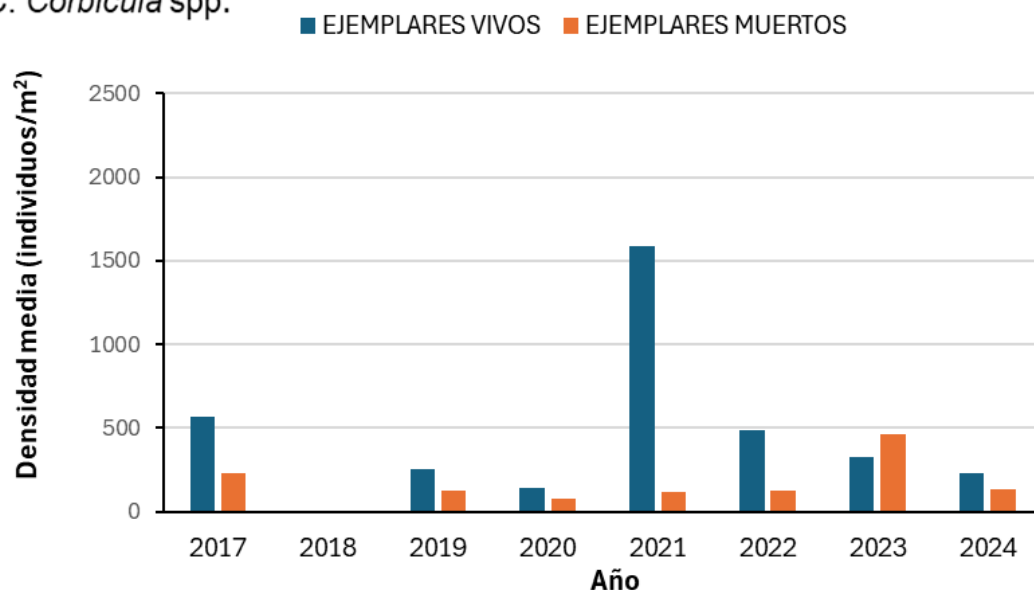
A: *P. auricularius*



B: Náyades



C: *Corbicula* spp.



**Figura 21:** Parcela de Monzalbarba 1. A: Evolución de la abundancia de *P. auricularius* (ejemplares NA: no recapturados). B: Evolución de la densidad de náyades vivas y muertas desde el año 2017-2024. C: Evolución de la densidad *Corbicula* spp. vivas y muertas desde el año 2017-2024.

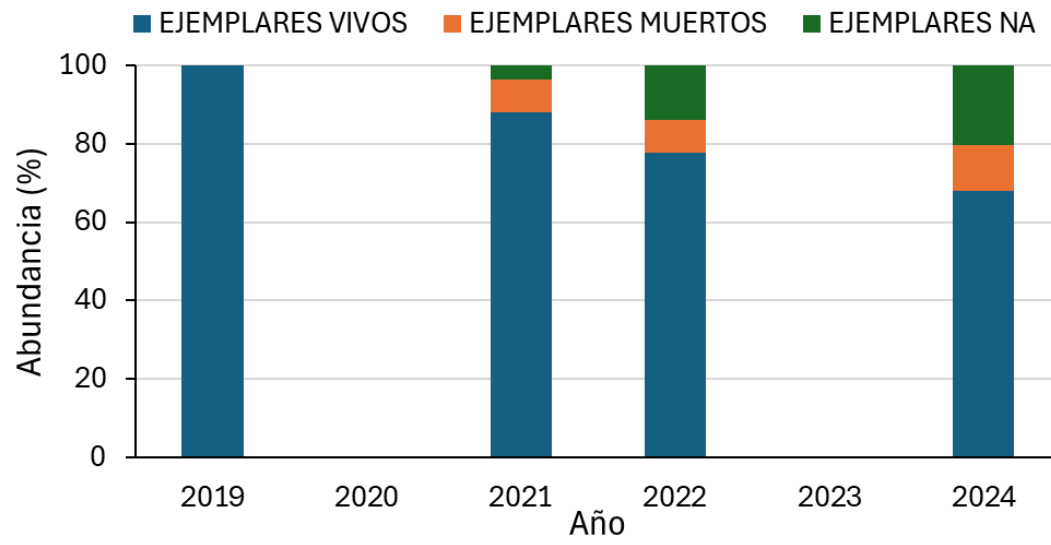
#### 5.1.4 MONZALBARBA 2

En la parcela de Monzalbarba 2, la abundancia de margaritona (Figura 22A) se mantiene a través de los años, aunque cabe destacar un leve incremento de mortalidad acumulada a partir del 2021(8%), alcanzando en 2024 hasta el 11%, año en el cual también aumenta la densidad de individuos desaparecidos (NA) en un 20%.

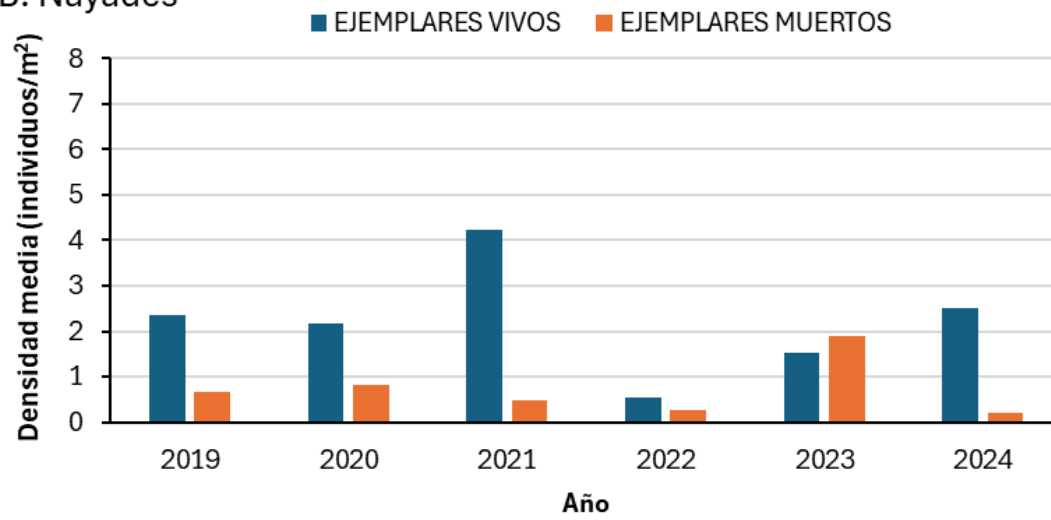
La densidad media de náyades vivas al establecer la parcela en 2019 es de 2 ind/m<sup>2</sup>, se ve un incremento en 2021 alcanzando los 4 ind/m<sup>2</sup> para luego continuar con un brusco descenso en el año siguiente, quedando por debajo de 1 ind/m<sup>2</sup>. Finalmente, en 2024 se recupera la densidad alcanzando los 2,67 ind/m<sup>2</sup>(Figura 22B). En esta parcela se registran las especies de *P. littoralis* y *U. manicus*.

La densidad media de *Corbicula* spp. viva (Figura 22C) en esta parcela por lo general es baja ya que se mantiene por debajo de los 500 ind/m<sup>2</sup>, a excepción del año 2023 en el que la densidad media de individuos vivos alcanza los 567,65 ind/m<sup>2</sup>.

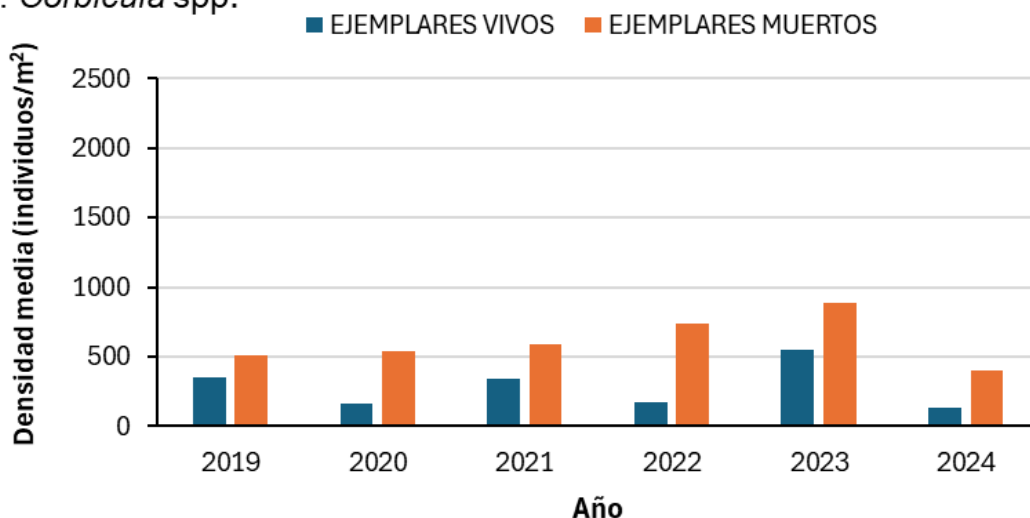
### A: *P. auricularius*



### B: Náyades



C: *Corbicula* spp.



**Figura 22:** Parcela de Monzalbarba 2. A: Evolución de la abundancia de *P. auricularius* (ejemplares NA: no recapturados). B: Evolución de la densidad de náyades vivas y muertas desde el año 2007-2024. C: Evolución de la densidad *Corbicula* spp. vivas y muertas desde el año 2019-2024.

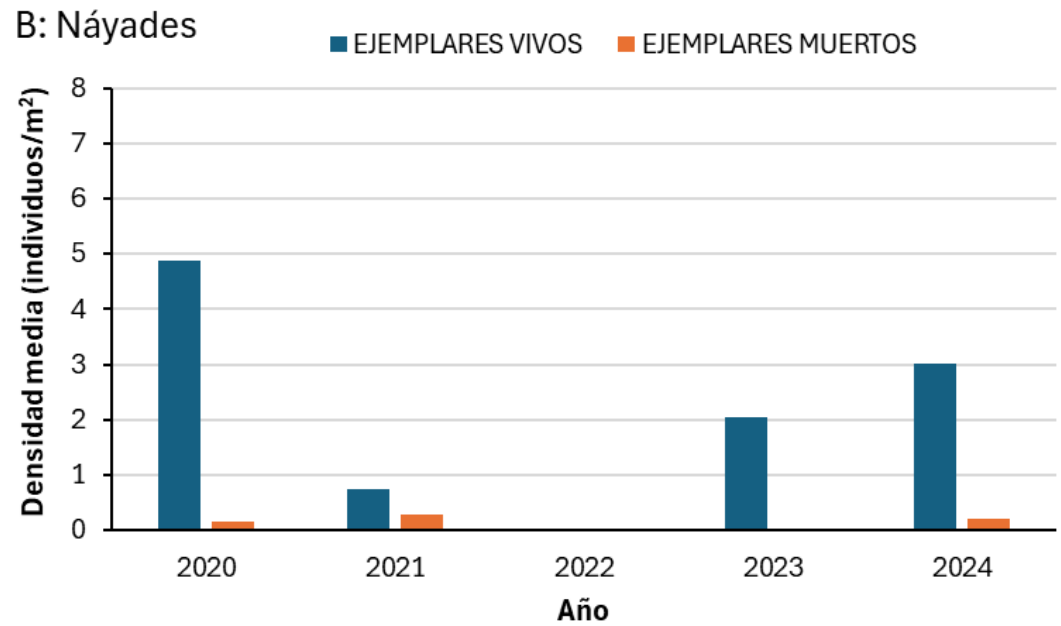
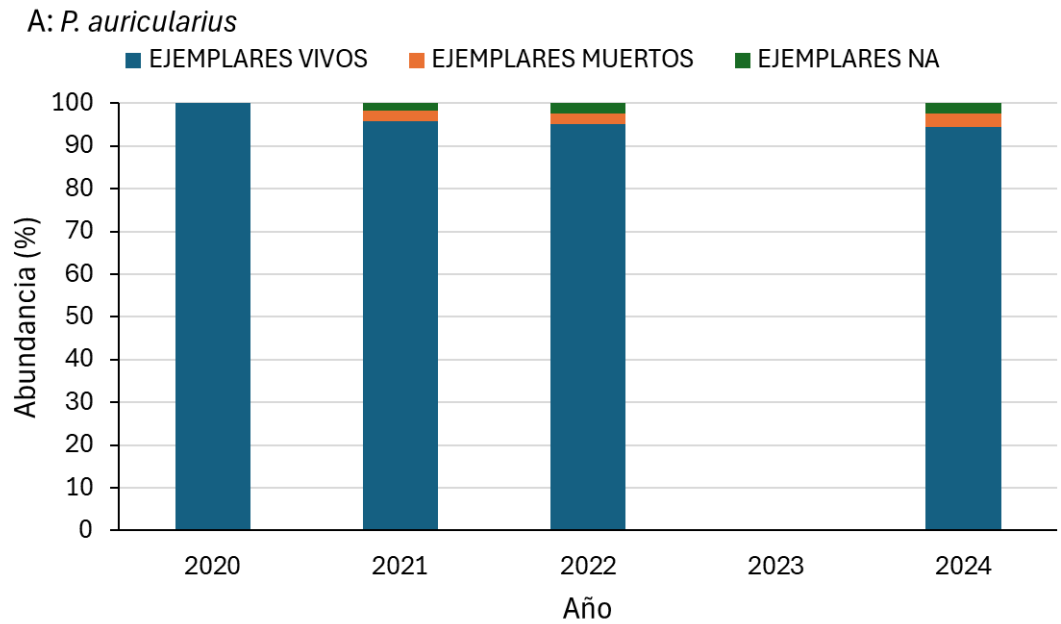
### 5.1.5 MONZALBARBA 3

A pesar de que en esta parcela la margaritona cuenta con una buena estabilidad, la población de náyades y de *Corbicula* spp experimentan dificultades para mantenerse estables.

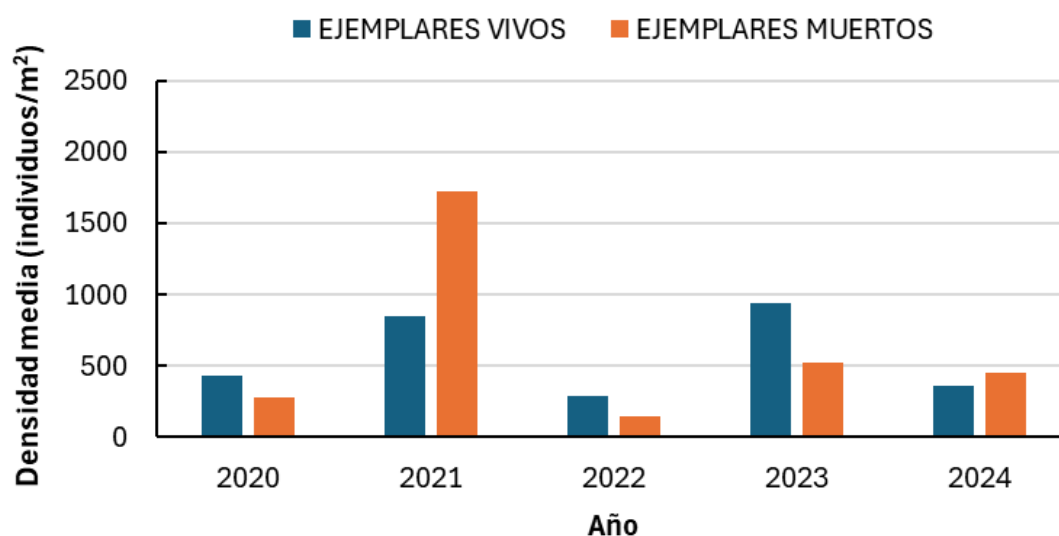
La abundancia de margaritona (Figura 23A) en Monzalbarba 3 revela una parcela estable, con una supervivencia superior al 90% al largo de los años de estudio, y con un ligero aumento de individuos muertos en el año 2024 de 3% y un 2,5% de ejemplares que no se han encontrado (NA) desde el año 2021. En 2023 no se obtuvieron datos para esta localidad.

La densidad media de náyades (*P. littoralis* y *U. manicus*) (Figura 23B) es de casi 5 ind/m<sup>2</sup> en el año 2020, seguida de una disminución importante en 2021 y volviendo a aumentar a medida que avanzan los años hasta 2024 alcanzando los 3 ind/m<sup>2</sup>. En general, muy pocas náyades muertas están presentes en esta parcela.

La última gráfica, referente a la densidad de Corbicula (Figura 23C), refleja fluctuaciones a través de los años, con un aumento de individuos vivos en los años 2021 y 2023, con 852,82 y 942,4 ind/m<sup>2</sup> respectivamente. En el año 2024 descienden a 448,76 ind/m<sup>2</sup>. Los ejemplares muertos en el año 2021 llegan a alcanzar los 1723 individuos/m<sup>2</sup>.



### C: *Corbicula* spp.



**Figura 23:** Parcela de Monzalbarba 3. A: Evolución de la abundancia de *P. auricularius* (ejemplares NA: no recapturados). B: Evolución de la densidad de náyades vivas y muertas desde el año 2020-2024. C: Evolución de la densidad *Corbicula* spp. vivas y muertas desde el año 2020-2024.

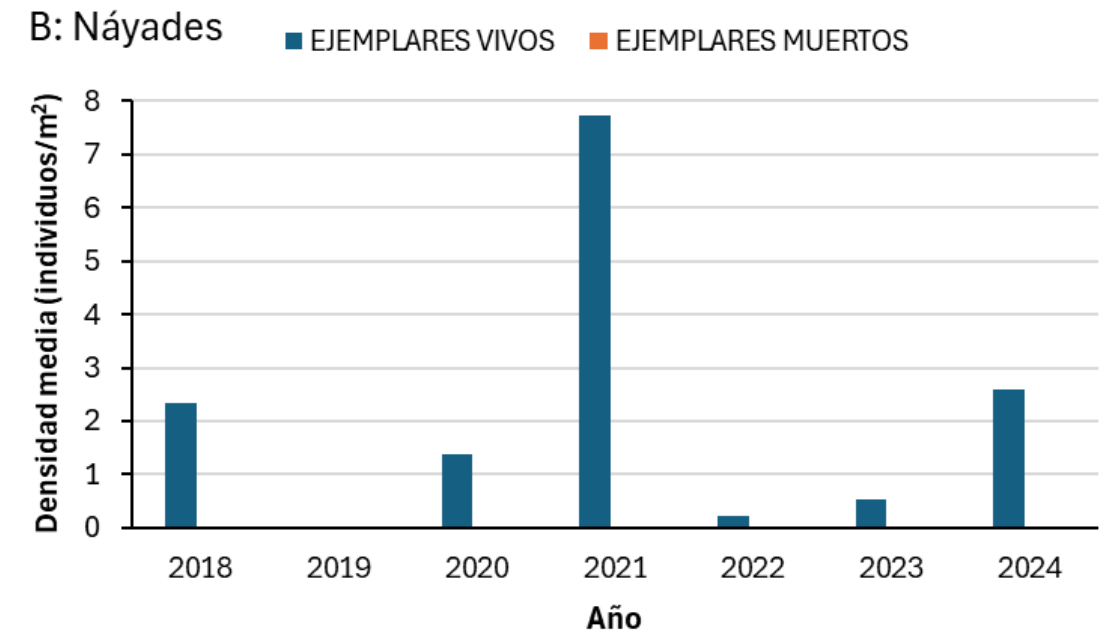
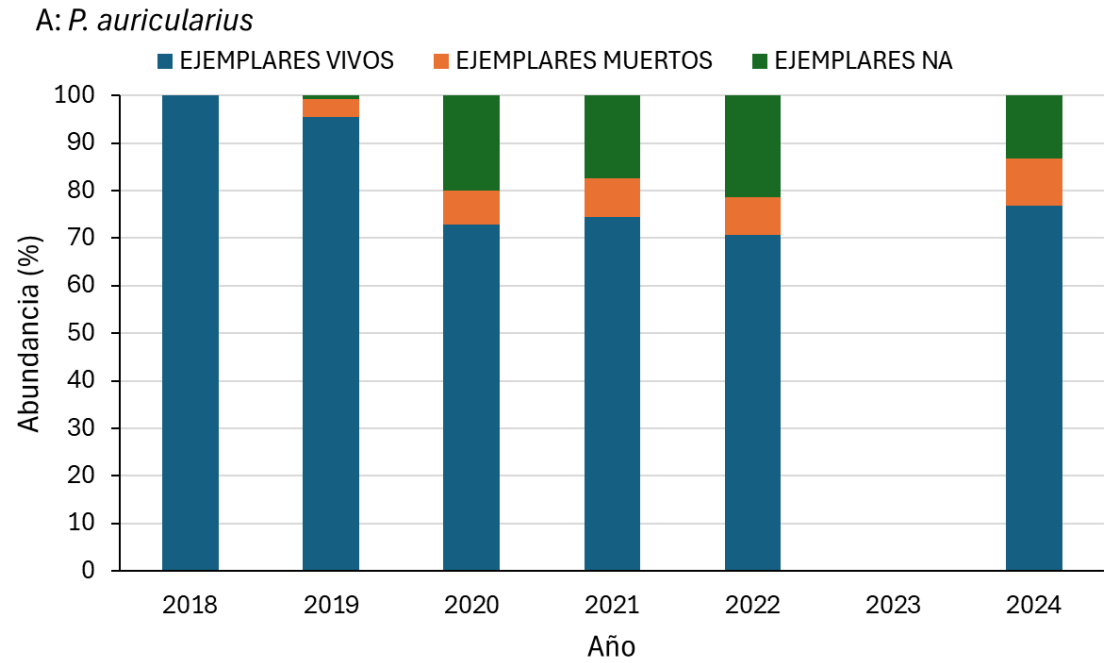
#### 5.1.6 ALMOZARA 1

En Almozara 1, los registros desde 2018 hasta 2024 muestran la siguiente situación: la abundancia relativa de margaritona (Figura 24A) se mantiene alta, con proporciones de individuos vivos superiores al 70% a lo largo de todo el periodo. Sin embargo, a partir de 2020 se registra un ligero aumento progresivo en la proporción de individuos muertos y no recapturados (NA), presentando en 2024 porcentajes de mortalidad acumulada de 9,85% y las que no aparecen de un 13,23%.

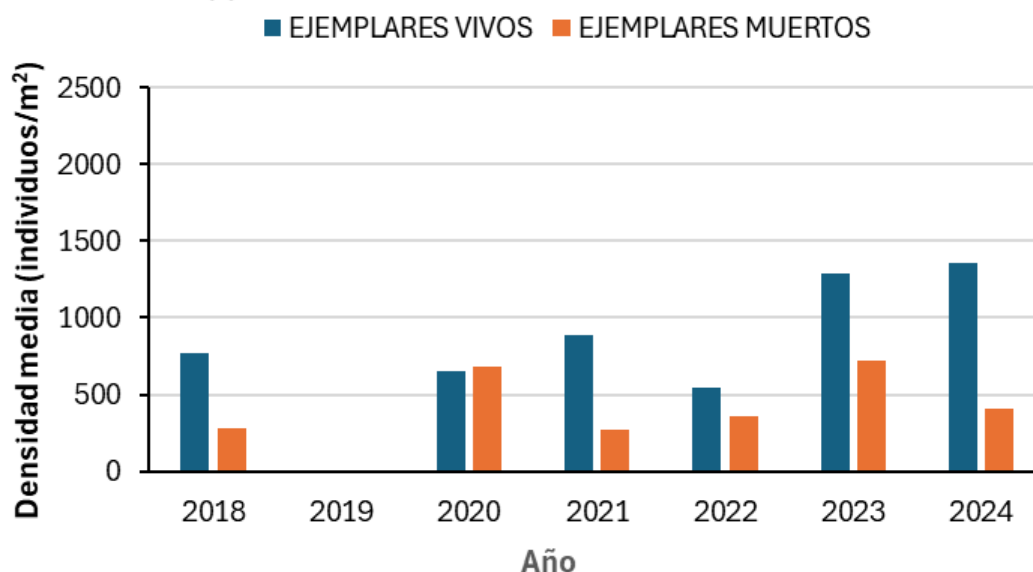
La densidad de náyades (Figura 24B) (*P. littoralis* y *U. manicus*) inicialmente es de 2,34 ind/m<sup>2</sup>, posteriormente se observa un incremento en 2021 de ejemplares vivos con 7,7 ind/m<sup>2</sup>, seguido de una caída brusca en el año 2022, siendo inferior a 1 ind/m<sup>2</sup>. En 2024 se recupera ligeramente hasta alcanzar 2,58 ind/m<sup>2</sup>.

Por otro lado, *Corbicula* spp. muestra una elevada densidad de ejemplares vivos en todos los años evaluados (Figura 24C), con incrementos significativos en 2023 y 2024 especialmente en individuos vivos alcanzando una densidad de 1358 ind/m<sup>2</sup>,

En el año 2019 no se pudo realizar el transecto de muestreo de náyades y almeja asiática en esta parcela.



C: *Corbicula* spp.



**Figura 24:** Parcela de Almozara 1. A: Evolución de la abundancia de *P. auricularius* (ejemplares NA: no recapturados). B: Evolución de la densidad de náyades vivas y muertas desde el año 2018-2024. C: Evolución de la densidad *Corbicula* spp. vivas y muertas desde el año 2018-2024.

### 5.1.7 ALMOZARA 2

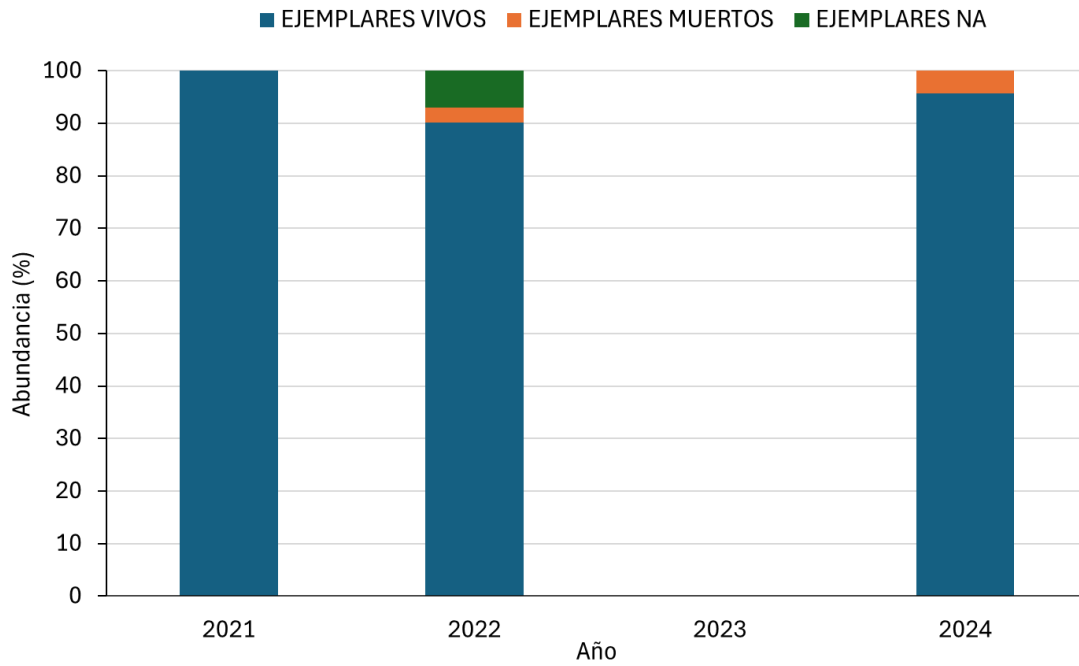
En Almozara 2, los datos disponibles para el periodo 2021–2024 muestran una situación relativamente favorable para *P. auricularius* (Figura 25A). No se registran datos en 2023 para esta parcela en cuanto a ejemplares de *P. auricularius*, mientras que para otras náyades y almeja asiática si se pudo realizar el muestreo y por tanto la toma de datos.

La abundancia relativa se mantiene consistentemente alta, con porcentajes de individuos vivos alrededor del 90% y es la única parcela en la que en 2024 se han encontrado todos los ejemplares. Presenta una presencia mínima de mortalidad acumulada (4,23%) No obstante, la densidad de náyades vivas se mantiene baja y constante en todos los años analizados variando entre 0,55 y 0,66 ind/m² (Figura 25B).

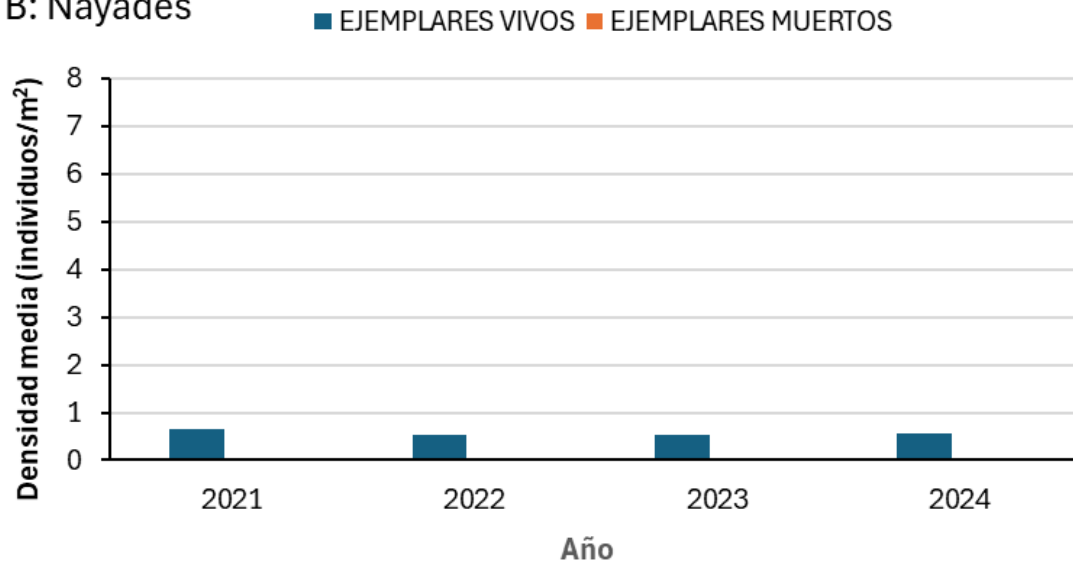
En cuanto a *Corbicula* spp. (Figura 25C), se registra una densidad inicial de individuos vivos en 2021 de 741,74 ind/m² con una drástica reducción en 2022, hasta los 218,58 ind/m² y un posterior incremento en 2023, alcanzado más de 2103,38 ind/m². En 2024 se queda en los 1254,14 ind/m².



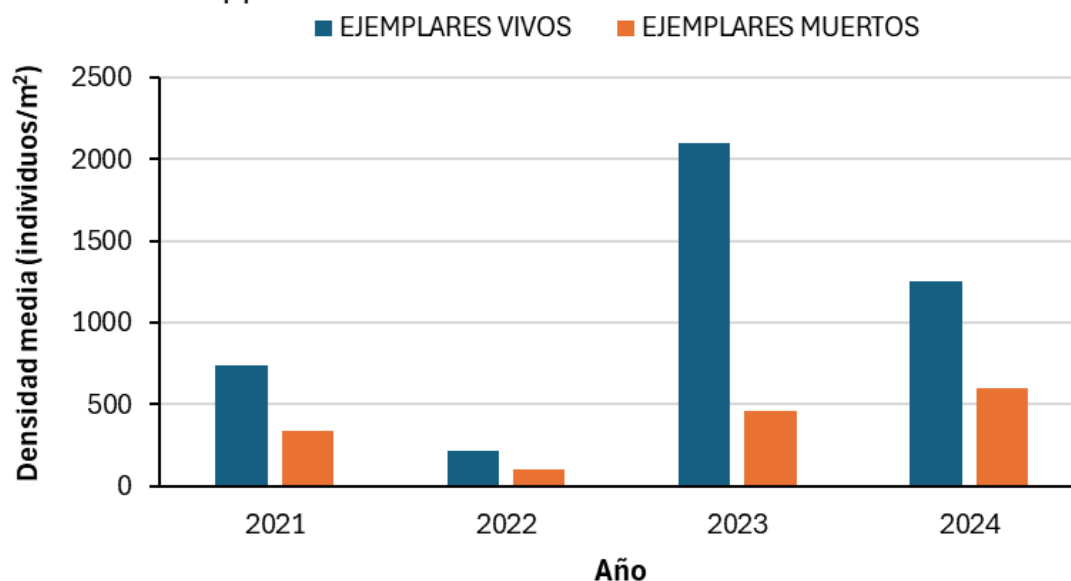
A: *P. auricularius*



B: Náyades



C: *Corbicula* spp.



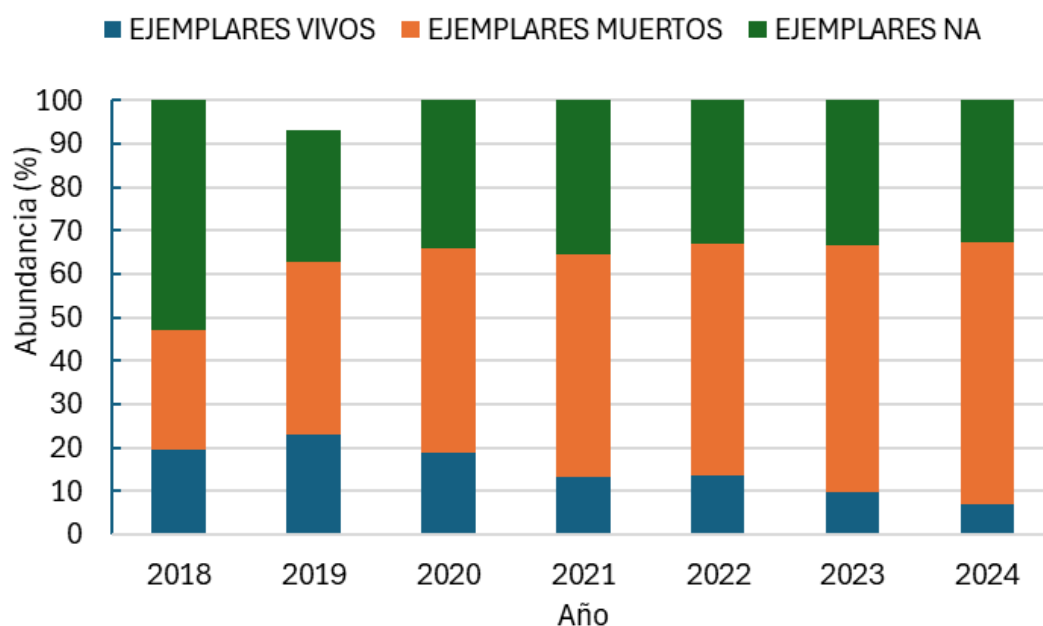
**Figura 25:** Parcela de Almozara 2. A: Evolución de la abundancia de *P. auricularius* (ejemplares NA: no recapturados). B: Evolución de la densidad de náyades vivas y muertas desde el año 2021-2024. C: Evolución de la densidad *Corbicula* spp. vivas y muertas desde el año 2021-2024.

### 5.1.8 GRUPOS CONTROLES EN EL CANAL IMPERIAL DE ARAGÓN

La siguiente figura muestra la abundancia porcentual promedio de los grupos control dejados en el 2017 en el Canal Imperial de Aragón, desde la primera extracción (Figura 26).

Se observa una tendencia alarmante de disminución en la proporción de ejemplares vivos, que pasa de cerca del 20% en 2018 a menos del 10% en 2024. Paralelamente, los ejemplares muertos aumentan de forma sostenida, superando el 60% en los últimos años, a medida que la categoría NA (no recapturados) ha ido disminuyendo.

En el año 2019 faltó por revisar uno de los grupos de control en el canal.

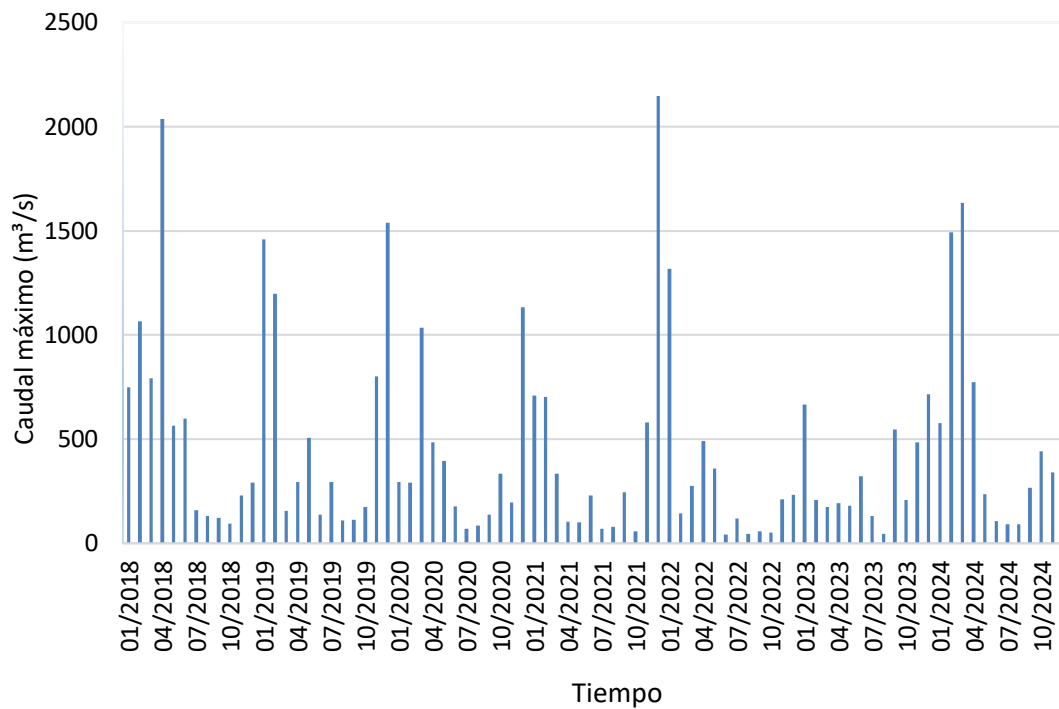


**Figura 26:** Evolución de abundancia de *P. auricularius* en los grupos de control del CIA (ejemplares NA: no recapturados).

## 5.2 Caudal medio mensual del río Ebro (2018-2024)

La evolución del caudal medio mensual del río Ebro entre enero de 2018 y octubre de 2024 (Figura 27) refleja el típico comportamiento de un río mediterráneo como lo es el Ebro, con eventos de crecidas invernales marcados con incrementos pronunciados del caudal y periodos con un caudal más escaso lo que corresponde a las condiciones climáticas secas del periodo estival.

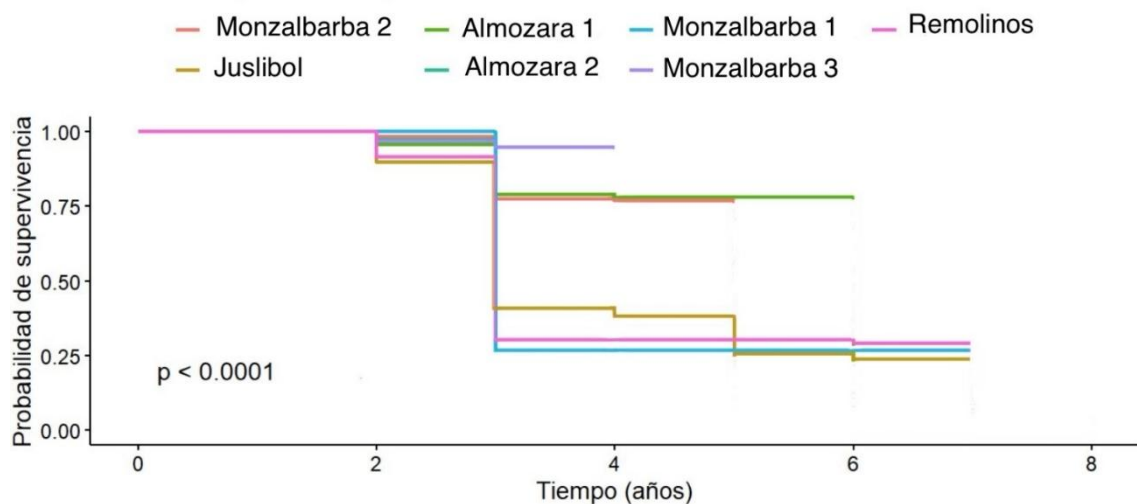
Cabe destacar las crecidas extraordinarias de marzo- abril de 2018 y finales de 2021 (diciembre) en el que el caudal medio del río ascendió a 2037 y 2148m<sup>3</sup>/s respectivamente.



**Figura 27:** Caudal medio mensual ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) del río Ebro periodo 2018-2024. **Fuente:** SAIH  
<https://www.saihebro.com/homepage/estado-cuenca-ebro>

### 5.3 Supervivencia de *P. auricularius*.

Se estimó la supervivencia de cada localidad utilizando el estadístico de Kaplan- Meier (figura 28). Se estimó la probabilidad de que un evento, en este caso la mortalidad o la no aparición de ejemplares (considera datos censurados) ocurra en cada localidad o lo que es lo mismo la probabilidad de que un individuo sobreviva hasta un determinado momento.



**Figura 28:** Curva de supervivencia de Kaplan-Meier para cada parcela con ejemplares de *P. auricularius*.

Cada curva representa la probabilidad de supervivencia de los individuos en cada una de las parcelas de estudio en relación con el tiempo en años. Al inicio (año=0), todas las parcelas tienen una supervivencia del 100%, lo que indica que todos los individuos estaban vivos al momento de traslocarlos. A medida que transcurren los años, se observan descensos en las curvas, indicando pérdida de ejemplares (mortalidad o no recapturados) en diferentes momentos, reflejado en las disminuciones de cada curva. Las curvas que descienden abruptamente indican una mayor pérdida en un menor periodo de tiempo mientras que una curva más horizontal sugiere una mayor supervivencia.

El valor  $p < 0.0001$  indica que hay diferencias significativas en la probabilidad de supervivencia entre las parcelas, es decir que estas diferencias se consideran reales.

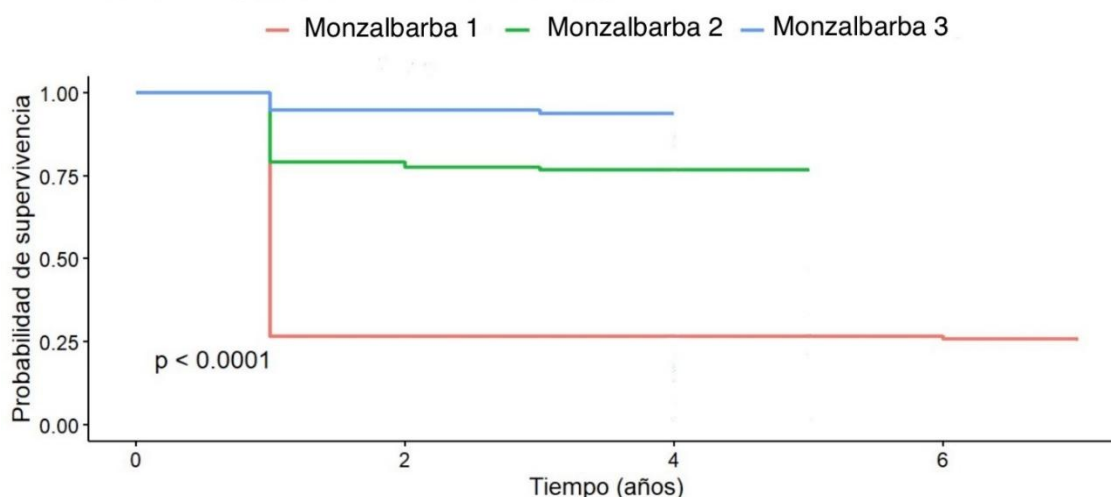
Las parcelas más prometedoras son Monzalbarba 3 y Almozara 2, ya que mantienen una mayor supervivencia  $> 90\%$  al cuarto y tercer año respectivamente, como se pudo constatar en las gráficas anteriores de abundancia (Figuras 23A y 25A). Le siguen las parcelas de Almozara 1 y Monzalbarba 2 con una probabilidad de supervivencia final del 75% al quinto y sexto año. Por el contrario, Juslibol, Remolinos y Monzalbarba 1, son las parcelas menos favorables, ya que las tres están por debajo del 30% de supervivencia al finalizar el séptimo año. (Ver anexo)

Para analizar más detalladamente la relación de las parcelas más similares entre sí o más cercanas geográficamente se repitió el análisis de Kaplan Meier solo entre ellas.

### 5.3.1 Supervivencia de *P. auricularius* en Monzalbarba 1, 2 y 3.

Se agruparon las localidades de Monzalbarba 1 (rojo), Monzalbarba 2 (verde) y Monzalbarba 3 (azul) (Figura 29). Los resultados revelan diferencias significativas en la supervivencia entre las tres localidades, como lo indica el p valor  $<0.0001$ . Se observa en las tres parcelas, que la disminución en la probabilidad de sobrevivir ocurre durante el primer año, aunque en Monzalbarba 1 es la más drástica. En esta parcela la probabilidad de supervivencia disminuye drásticamente el primer año hasta quedarse en un 25%, y después se mantiene constante a lo largo del tiempo. Por otro lado, Monzalbarba 2 presenta una supervivencia más estable de hasta un 76,8% en cinco años.

Monzalbarba 3, la mejor de las tres, cuenta con una excelente supervivencia manteniéndose en 93,6% al final del periodo de observación.

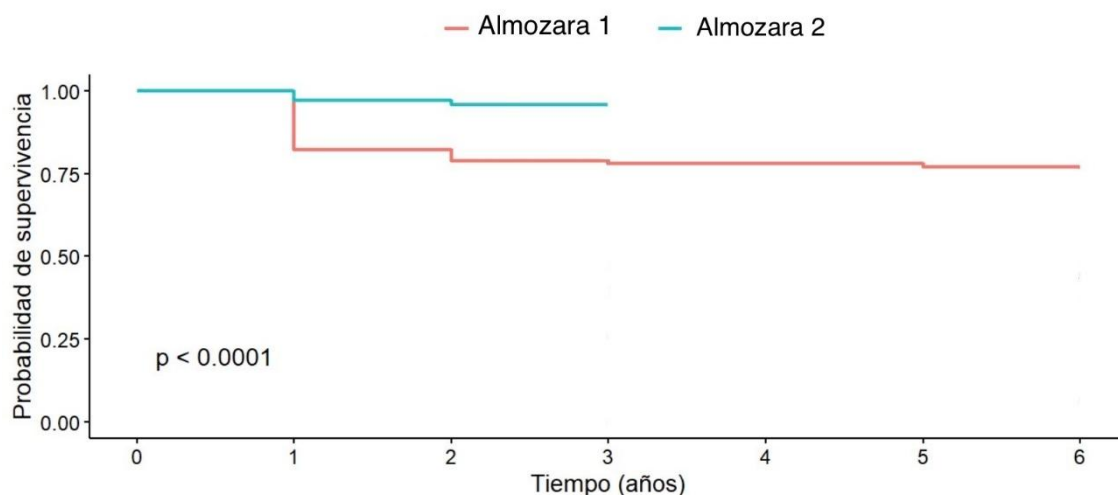


**Figura 29:** Curva de supervivencia de Kaplan-Meier en Monzalbarba 1,2 y 3.

### 5.3.2. Supervivencia de *P. auricularius* en Almozara 1 y 2.

Otro subgrupo que se analizó por separado fueron las parcelas Almozara 1 y 2, muy cercanas entre sí geográficamente.

La siguiente gráfica muestra las curvas de probabilidad de supervivencia de la margaritona en las parcelas de Almozara 1 (rojo), que lleva 6 años y Almozara 2 (azul) que lleva 3 años desde que se translocaron los ejemplares (Figura 30).



**Figura 30:** Curva de supervivencia de Kaplan-Meier en Almozara 1 y 2.

Ambas curvas indican una alta probabilidad de supervivencia, aunque durante el primero año ya se observa un descenso en Almozara 1 aunque se mantiene por encima del 75 % de probabilidad en el año 6.

Mientras que en Almozara 2 la supervivencia se mantiene más estable a lo largo del tiempo con apenas una leve disminución del 10 %.

### 5.3.3. Modelo de regresión de Cox

La regresión de Cox es una herramienta eficaz para evaluar el efecto de las diferentes localidades sobre la probabilidad de supervivencia de *P. auricularius*.

Según los resultados obtenidos en el modelo de Cox (Tabla 1), el modelo toma al azar como factor de referencia la parcela de Monzalbarba 2 que es la que no aparece listada en la tabla 1, lo que quiere decir que los valores obtenidos se interpretan en comparación con ésta.

El coeficiente exponencial ( $\exp(\text{Coef})$ ) explica la medida de la probabilidad, positiva o negativa (dependiendo del signo del coeficiente) de supervivencia perteneciendo a un grupo o a otro. Cuando es mayor que 1, hay mayor probabilidad de supervivencia, sin embargo, cuando es menor, hay menor probabilidad, siempre en comparación con la parcela de referencia.

Almozara 2 tiene el coeficiente exponencial más alto y positivo (1,94), lo que indica que es dos veces más probable sobrevivir perteneciendo a Almozara 2 que a Monzalbarba 2 ( $p = 2,2e-05$ ).

La localidad de Almozara 1 tiene un exp (Coef) de 0,6271 ( $p = 0.0000046$ ), lo que indica que los individuos en esta localidad tienen un 63% menor de probabilidad de supervivencia en comparación con los individuos que se encuentren en la parcela de referencia.

A excepción de Monzalbarba 1, el resto de las localidades no presentan resultados estadísticamente significativos, aunque coinciden con el Kaplan Meier en donde Monzalbarba 3 presentan una mayor probabilidad de supervivencia ( $\exp(\text{Coef})=1,337$ ), y Juslibol, y Remolinos son parcelas donde es menor probable sobrevivir para la margaritona ( $\exp(\text{Coef}) < 1$ ).

Nuevamente y para descartar entre localidades muy similares y cercanas geográficamente se repite el análisis de regresión de Cox para las tres parcelas de Monzalbarba (Tabla 2).

En este caso la parcela de referencia escogida al azar fue Monzalbarba 1, lo que quiere decir que los resultados obtenidos son en comparación con ésta.



**Tabla 1:** Resultados de la Regresión de Cox en las parcelas con presencia de ejemplares de *P. auricularius*, tomando como referencia la parcela de Monzalbarba 2. n= cantidad de individuos, exp (Coef)= Medida de probabilidad, Pr(>|z|) =p valor, lower.95= límite inferior del intervalo de confianza del 95% para exp(Coef), upper. 95= límite superior del intervalo de confianza del 95% para exp(Coef).

n= 718	coef	exp(Coef)	se(coef)	z	Pr(>  z )	exp(-coef)	lower .95	upper .95
Juslibol	-1,0952	0,89626	0,13775	-0,795	0,42659	1,1157	0,6842	1,1741
Almozara 1	-0,46664	0,62711	0,13322	-3,503	0,000046***	1,5946	0,483	0,8142
Almozara 2	0,66506	1,94461	0,15674	4,243	2.2e-05***	0,5142	1,4303	2,6439
Monzalbarba 1	-0,09043	0,91142	0,1343	-0,625	0,000046***	1,0972	0,6896	1,2046
Monzalbarba 3	0,29043	1,337	0,14047	2,068	0,51435	0,7479	1,0152	1,7608
Remolinos	-0,18117	0,8343	0,15179	-1,194	0,23266	1,1986	0,6196	1,1234

**Tabla 2:** Resultados de la prueba de Regresión de Cox de las parcelas de Monzalbarba con presencia de ejemplares de *P. auricularius*, tomando como referencia la parcela de Monzalbarba 1.

n=328	coef	exp(Coef)	se(coef)	z	Pr(>  z )	exp(-coef)	lower .95	upper .95
Monzalbarba 2	-0,115	0,8914	1,1508	-0,763	0,445706	1,1218	0,6634	1,198
Monzalbarba 3	0,6615	1,19378	0,1766	3,747	0,000179***	0,5161	1,3709	2,739

**Tabla 3** Resultados de la de la prueba de Regresión de Cox de las parcelas de Almozara con presencia de ejemplares de *P. auricularius*, tomando como referencia la parcela de Amozara 1.

n=189	coef	exp(Coef)	se(coef)	z	Pr(>  z )	exp(-coef)	lower .95	upper .95
Almozara 2	2,1198	8,3294	0,2489	8,516	<23-16***	0,1201	5,114	13,57

Los resultados muestran una significancia solo para monzalbarba 3 con una mayor probabilidad de supervivencia respecto a Monzalbarba 1, ya que su valor de  $\exp(\text{Coef})$  es DE 1,19 y su p valor es 0,000179.

De la misma forma se repitió el análisis para las parcelas ubicadas en la localidad de Almozara. (Tabla 3) Los resultados sugieren que un individuo en Almozara 2 tiene una probabilidad mucho mayor de supervivencia ( $\exp(\text{Coef}) = 8,33$ ), es decir que los individuos de Almozara 2 tienen 8,33 veces más probabilidad de sobrevivir que en Almozara 1 ( $p = < 23e-16$ ), dato muy significativo.

Con los resultados de los análisis anteriormente explicados y tomando en cuenta tres variables: la probabilidad de supervivencia de la margaritona y la evaluación en el tiempo tanto de la densidad de otras náyades y la de almeja asiática se construyó un “ranking” de las parcelas (tabla 4) como resultado de su estado actual. La valoración final se expresa en términos asignados y un color que varía desde “óptima” para las mejores, pasando por las categorías de favorable, estable, inestable y deteriorada.

**Tabla 4:** Ranking de parcelas en el río Ebro con presencia de individuos de *P. auricularius* traslocados desde el Canal Imperial de Aragón.

Parcela	Año de traslocación	Abundancia de <i>P. auricularius</i>	Densidad de náyades vivas	Densidad de <i>Corbicula</i> spp. vivas	Sugerencias de gestión	Situación global
Monzalbarba 3	2020	Alta y estable (>90%) (↑)	En aumento, hasta 6 ind/m <sup>2</sup> (↑)	Moderada, descenso en 2024	Mantener estrategia actual. Continuar monitoreo anual y evaluar posibles presiones futuras.	Óptima
Almozara 2	2021	Alta (~90%) (→)	Baja y constante (<1 ind/m <sup>2</sup> ) (↓)	Alta, con aumento en 2023 y 2024	Mantener monitoreo periódico. Evaluar posibles amenazas externas para prevenir deterioro.	Favorable
Monzalbarba 2	2019	Media (70-90%) en descenso (↓)	Variable con repunte en 2021	Disminuye en 2024	Reforzar monitoreo. Considerar mejora de hábitat o refuerzo poblacional. Analizar causas del descenso.	Estable con señales de alerta
Almozara 1	2018	Media/Alta (>70%) pero en descenso (↓)	Aumento en 2021, caída y leve repunte	Alta y creciente (1300 ind/m <sup>2</sup> en 2023 y 2024)	Evaluar intervención de control sobre <i>Corbicula</i> . Estudiar causas del repunte en náyades.	Estable con señales de alerta
Monzalbarba 1	2017	Baja (15–25%) estable (→)	Baja y variable (<4 ind/m <sup>2</sup> ) (↓)	Moderada, con aumento en 2021 (1500 ind/m <sup>2</sup> )	Considerar control de <i>Corbicula</i> spp, mejora del hábitat. Si no mejora, valorar cierre o extracción parcial.	Inestable
Juslibol	2017	Disminución sostenida (↓↓)	Aumenta en 2019, luego muy baja	Alta en 2017, descenso posterior	Suspender introducciones. Evaluar cerrar parcela y retirar individuos viables para reubicación o conservación ex situ.	Deteriorada
Remolinos	2017	Muy baja, descenso marcado (↓↓)	Muy baja, sin recuperación	Muy alta (2000+ ind/m <sup>2</sup> entre 2021–23)	Cerrar parcela. Retirar los pocos individuos restantes para conservación o reubicación. Eliminar riesgos de mortandad total.	Deteriorada

## 6 Discusión

La conservación de *Pseudunio auricularius*, constituye un desafío prioritario en el contexto ibérico, dada su extrema sensibilidad a la alteración del hábitat y su compleja biología. Diversos autores han subrayado la importancia de preservar las poblaciones relictas y recuperar hábitats funcionales para evitar su extinción local, siendo el tramo medio del río Ebro uno de los últimos refugios viables para esta especie (Araujo & Ramos, 2001; Araujo et al., 2009; Nakamura et al., 2023).

Este trabajo se enmarca en los esfuerzos del plan de recuperación llevados a cabo en Aragón y con la meta final de establecer poblaciones viables en el hábitat natural mediante traslocaciones, una estrategia recomendada en casos críticos como el de *P. auricularius*, siempre que se base en criterios ecológicos sólidos (UCN/SSC, 2013). El éxito de estas intervenciones depende en gran medida de la idoneidad del hábitat receptor, la estabilidad hidrológica, la calidad del agua, y la ausencia de presiones bióticas como la competencia o la depredación, además de la presencia de peces hospedadores (Lopes-Lima et al., 2017).

El Ebro constituye un ecosistema fluvial complejo, con fuertes fluctuaciones estacionales de caudal, intervención antrópica significativa y presencia de especies exóticas. Las náyades, como *P. auricularius*, poseen un ciclo de vida largo y especializado, con larvas (gloquidios) que parasitan peces hospedadores, lo que añade una capa de dependencia ecológica a su conservación (Araujo et al., 2009). La integridad del hábitat es por tanto crucial para su viabilidad a largo plazo.

Los resultados de este trabajo muestran variabilidad en la supervivencia de *P. auricularius* entre parcelas. Las curvas de Kaplan-Meier y los modelos de regresión de Cox revelan diferencias significativas de las condiciones locales y que afectan de forma diferenciada a la especie.

**Monzalbarba 3 y Almozara 2** destacan como las parcelas más favorables. Presentan una supervivencia estimada alrededor del 90%. Esta estabilidad sugiere que los recursos, las condiciones hidromorfológicas y de calidad del sustrato en estas localidades resultan óptimas para la especie. Son microhábitats estables con baja perturbación antrópica. Aunque registran fluctuaciones de densidad de *Corbicula* spp., de momento, parece no haber afectado significativamente a la supervivencia de los

ejemplares de margaritona. Estas parcelas pueden considerarse hoy en día como núcleos de conservación relevantes para la especie.

La localidad de **Almozara 2** es una parcela que se caracteriza por velocidad de la corriente alta, aunque no parece haber indicios de arrastre del sustrato ni de ejemplares. Presenta un alto porcentaje de supervivencia de margaritona que sugieren estabilidad en la parcela sin olvidar que es una de las parcelas más nuevas, establecida en el año 2021.

La densidad de náyades se mantiene baja, lo que podría indicar una limitada capacidad de reclutamiento o una baja tasa de supervivencia de estas, aspectos clave para evaluar la viabilidad a largo plazo. En cuanto a la almeja asiática, hay un incremento de densidad seguida de un aumento de mortalidad, lo que podría indicar una explosión poblacional seguida de un evento de mortalidad por diversas causas como cambio en las condiciones del hábitat o aumento de la corriente y arrastre de las conchas (Cardim et al., 2021). La fuerte presencia de esta especie invasora representa un riesgo potencial para la margaritona, aunque hasta el momento no parece haber afectado visiblemente su abundancia.

En **Monzalbarba 3**, la supervivencia de margaritona es la más prometedora, ya que cuenta con un alto porcentaje de individuos vivos que se mantiene constante lo que nos indica que esta parcela tiene condiciones óptimas para la especie: se encuentra totalmente en sombra, lo que reduce la temperatura del agua, y no permite la proliferación de las algas entre otros. Es una parcela que está protegida de la corriente fuerte del cauce principal lo que permite una mayor estabilidad del sustrato ideales para el establecimiento de la margaritona y de las náyades en general, aspecto que se observa en la rápida recuperación de la densidad de náyades después de la riada de finales de 2021 inicio del 2022.

Respecto a la densidad de *Corbicula* spp, presenta en general densidades bajas, exceptuando el año 2021, que coincide el aumento de individuos muertos con la riada de dicho año posiblemente debido a arrastre de conchas proveniente de aguas arriba y deposición en la parcela por efecto de la disminución de la corriente en la zona.

Ambas parcelas cuentan con áreas de sombra de las orillas y taludes, donde los peces bentónicos pasan gran parte de su vida, que resultan ser especialmente favorables para las náyades. (Araujo, 2012).

Estas parcelas constituyen un área de interés para el seguimiento continuo, ya que combinan una buena condición de los individuos adultos de margaritona con una baja

presión por parte de especies invasoras y una aparente baja tasa de renovación generacional de la misma.

**Almozara 1 y Monzalbarba 2** presentan condiciones intermedias. Aunque ambas se inician con una buena proporción de individuos vivos, las tendencias apuntan a un deterioro lento pero progresivo, lo que podría estar relacionado con aspectos como el aumento de densidad de *Corbicula* spp. y/o los cambios hidromorfológicos.

**Almozara 1** mantiene una alta supervivencia de margaritona, sin embargo, en el 2020 aumentan los individuos muertos y no aparecidos, lo que podría ser indicativo de un inicio del deterioro en las condiciones iniciales óptimas del hábitat. Se ha registrado durante los últimos años un aumento de la velocidad del corriente bastante significativo lo que puede estar provocando la inestabilidad del sustrato con el consiguiente arrastre. Adicionalmente se detectó un retorno de riego que entra en la parte alta de esta parcela lo que puede estar incorporando nutrientes o fitosanitarios que pueden perjudicar a la supervivencia de la margaritona en la parcela. A pesar de ello y de momento la supervivencia se considera óptima.

La densidad media náyades sufre fluctuaciones a lo largo del tiempo, ya que en año 2021 presenta un valor muy alto, seguido de una brusca caída, lo que sugiere un evento puntual favorable para el reclutamiento que no logró mantenerse en el tiempo por las mismas razones explicadas para la margaritona. Este patrón podría reflejar variabilidad interanual en las condiciones hidrológicas o efectos de perturbaciones temporales.

En conjunto, los datos de Almozara 1 sugieren un escenario de transición: si bien la población de margaritona aún se mantiene fuerte, existen señales de alerta asociadas a la competencia interespecífica y a la variabilidad ambiental que podrían comprometer su sostenibilidad a largo plazo si no se adoptan medidas de manejo adecuadas.

**Monzalbarba 2** cuenta con una buena supervivencia, aunque a lo largo de los años han ido aumentando el porcentaje de individuos que no aparecen, debido principalmente a la turbidez del agua en los últimos veranos, lo que no permite su fácil detección. Tanto en el año 2020 como en el 2023 no se pudo realizar el recuento de margaritona, por dicha causa y por el alto caudal que mantuvo el río en verano, solo se retiraban las conchas de los ejemplares muertos si eran visualizados en el fondo de la parcela.

Salvo en el año 2022, las náyades cuentan con una buena densidad media por lo que esta parcela se considera que mantiene buenas condiciones para su supervivencia, aunque cada vez con mayor cantidad de limos por su constante acumulación. En el año

2023 no se pudo realizar el estudio de estas por las mismas razones antes mencionadas.

La densidad de ejemplares vivos de *Corbicula* spp varía a lo largo de los años, aumenta en el año 2023, y en el año 2024 se registra el dato más bajo de todo el estudio, situación que ocurre igual con la densidad de muertas, va en aumento del 2021 al 2023 posiblemente como consecuencia de la riada del 2021, lo que conlleva al arrastre de conchas.

En ambas parcelas, la almeja asiática parece haber encontrado un nuevo nicho donde prosperar, donde la densidad ha aumentado considerablemente. La alta biomasa de la especie invasora podría estar generando una presión ecológica constante sobre la comunidad nativa, afectando tanto a la supervivencia de otras náyades como la estabilidad de la colonia de ejemplares adultos de *P. auricularius*. La coincidencia temporal entre el aumento de *Corbicula* spp. y la disminución de la abundancia de margaritona podría sugerir una posible relación de competencia entre ambas especies, por ocupar sustratos similares y a la formación de barreras físicas que dificultan la excavación y movimiento de los bivalvos dentro del sustrato. Un estudio realizado por Szarmach et al. (2024) evaluaron como afecta la presencia de *Corbicula* spp al comportamiento de los unionidos, planteando que las invasoras alteran su selección del hábitat, reducen la profundidad a la que se pueden enterrar y afectan a su locomoción.

En el extremo opuesto, se encuentran las parcelas de **Juslibol**, **Remolinos** y **Monzalbarba 1**, las cuales presentan los resultados más desfavorables, con una supervivencia media por debajo de 50-40%, siendo estas las parcelas que primero se instalaron, es decir, las más antiguas.

Araujo & Ramos (2001b) señalan el riesgo de la fragmentación funcional del hábitat fluvial y la competencia por espacio y recursos con bivalvos exóticos como causas del declive de la margaritona. En las tres parcelas mencionadas, la presencia masiva de *Corbicula* spp. ( $>2000$  ind/m<sup>2</sup>) en ciertos años y las alteraciones causadas por eventos hidrológicos extremos (las crecidas de 2018 y finales de 2021, inicio de 2022) coinciden con los descensos poblacionales de *P. auricularius*. Estas parcelas son las que más incertidumbre presentan, ya que las condiciones actuales permiten una persistencia a corto plazo de la especie, pero exigen medidas de manejo específicas para garantizar su viabilidad en el futuro. Por otro lado, la densidad de náyades se mantiene en niveles bajos o presenta oscilaciones significativas, con valores de densidad altos que no logran mantenerse en el tiempo, precisamente por estas alteraciones mencionadas.

Los resultados permiten identificar varios factores determinantes: eventos hidrológicos extremos como las crecidas las cuales afectaron muy negativamente a parcelas como Monzalbarba 1 y Remolinos. Estos dos eventos tuvieron un impacto directo en la desaparición de individuos y el desplazamiento del sustrato y con él, los individuos de margaritona recién traslocados en el otoño de 2017.

La presencia en altas densidades con *Corbicula* spp. indica una posible relación de competencia, como han documentado Sousa et al. (2008) y Araujo et al. (2009), especialmente en sistemas fluviales mediterráneos. La estabilidad del hábitat y tipo de sustrato: parcelas con condiciones más estables (p. ej., gravas firmes, vegetación de ribera) han mostrado mejores resultados, para la selección de hábitats idóneos, los mismos que ocupan las náyades nativas (Nakamura et al., 2023).

Un aspecto clave en la selección inicial de las parcelas fue la presencia previa de ejemplares autóctonos de margaritona en determinadas zonas del río, las cuales se asumieron como buenos tramos para la supervivencia de la especie. Este criterio fue determinante para seleccionar las parcelas de Remolinos, Juslibol y Almozara1, donde ya se habían detectado individuos vivos antes de llevar a cabo las traslocaciones. La existencia de individuos vivos aislados en estos puntos indicaba la idoneidad ambiental intrínseca que justificaba su inclusión en el proyecto desde una perspectiva tanto ecológica como de viabilidad a largo plazo. Esta consideración también explica por qué parcelas como Remolinos se han mantenido en el seguimiento, ya que la continuidad de ejemplares autóctonos, incluso tras las actuaciones realizadas, refuerza su relevancia como núcleo potencial para consolidación y expansión de la especie a lo largo del cauce.

En la parcela de **Remolinos** la abundancia de margaritona disminuyó, lo que se acompaña de un aumento en los porcentajes de individuos muertos e individuos no recapturados. Estos resultados estuvieron relacionados con la crecida extraordinaria ocurrida en marzo del 2018, provocando fuertes arrastres en el sustrato, llevándose no solo a los ejemplares de margaritona sino también a otras náyades, almeja asiática, como se menciona anteriormente.

En conjunto, los datos sugieren que la parcela de Remolinos presenta una de las situaciones más desfavorables dentro del plan de traslocación, con múltiples factores actuando en sinergia que pueden comprometer la viabilidad de la especie, como la presencia de macrófitos que comprometen el flujo del agua impidiendo que llegue el oxígeno y la comida, el riesgo de que el ganado pueda modificar la parcela si se meten en ella y pisan ejemplares o las fuertes corrientes ocasionadas por las crecidas. A pesar



de esto, es la localidad donde se han encontrado recientemente mayor número de ejemplares nativos, incluso ejemplares jóvenes (Gobierno de Aragón, datos inéditos).

En **Juslibol** el aumento de individuos de margaritona no recapturados (NA) fue de manera más paulatina, en parte debido a las crecidas ocurridas durante los años de estudio, aunque de una forma menos directa ya que la parcela de Juslibol está un poco más refugiada del impacto del cauce principal. Sin embargo, la velocidad de la corriente también se vio incrementada y terminó provocando la remoción del sedimento de la “lengua” de arena mencionada. Ante esta situación se realizó la re-traslocación a otras parcelas de los individuos vivos de margaritona en el 2022 para asegurar su supervivencia a largo plazo.

En el año 2018, en Juslibol no fue posible la realización de transectos para el estudio de náyades y *Corbicula* spp. ya que el río no estaba lo suficientemente bajo como para poder revisar sin tener que recurrir al buceo.

En el 2021 hay una disminución significativa en la densidad de almeja asiática, asociado a la riada de ese año. Posteriormente, la fuerte sequía del verano del 2022 pudo tener un efecto negativo ya que esta parcela cuenta con poca profundidad, lo que conlleva a situaciones de más insolación, aumento de la temperatura del agua, mayor crecimiento de macrófitos, lo que puede provocar la muerte de muchos individuos de almeja asiática. Este fenómeno de mortalidades masivas de *Corbicula* spp. está bien documentado en la bibliografía. Varios autores han informado de que los eventos de mortalidad repentina de almejas asiáticas muy abundantes pueden aumentar la concentración de amonio en el agua debido a la descomposición de los tejidos blandos, afectando a toda la comunidad acuática (McDowell & Sousa, 2019). Sin embargo, la almeja asiática tiene la capacidad de recuperar rápidamente sus poblaciones tras experimentar una mortalidad masiva, ya que su capacidad reproductiva es muy elevada (Sousa et al., 2008), siendo probablemente esta la razón por la que acabado sustituyendo a los bivalvos autóctonos en los hábitats naturales.

La recolonización de zonas afectadas por parte de las náyades es especialmente compleja, ya que su ciclo de vida depende estrechamente de la presencia de un pez hospedador. Además, las náyades son organismos longevos y de crecimiento lento (Nakamura et al., 2018), por lo que factores como la alta mortalidad por eventos extremos y la dependencia de hospedadores específicos sugiere una baja capacidad de recuperación y, por tanto, una tendencia hacia la baja de la colonia afectada con el pasar de los años.

La localidad de **Monzalbarba 1** es una parcela ubicada en la orilla del río expuesta, aunque con un sustrato ideal y con una baja densidad de almeja asiática por lo que resultó seleccionada durante el primer año. Pero es una de las parcelas donde se reflejó de manera clara el arrastre que sufrieron los individuos traslocados debido a la crecida del río de marzo del 2018, lo que ha provocado la pérdida del 80% de los ejemplares sin oportunidad de recuperarlos a lo largo de los años, aun realizando continuos esfuerzos de prospección aguas abajo.

En esta parcela las náyades se mantienen constantes hasta el año 2021, aunque luego disminuyen por causa de la riada. Al estar tan expuesta la parcela, las conchas son arrastradas con el aumento del caudal y por eso es difícil encontrar conchas vacías en esta localidad. Las náyades son más longevas, tardan más en morir y cuando mueren es fácil que la riada se las lleve antes de se registren en el muestreo de verano. La baja densidad de *Corbicula* spp. es habitual en esta parcela debido también a la fuerte corriente, aunque se observa un incremento brusco en 2021, posiblemente relacionado con su rápido crecimiento, madurez sexual temprana y capacidad reproductiva continua, lo que podría ser una estrategia adaptativa ante condiciones ambientales inestables (Cardim et al., 2021). Estudios recientes señalan que la reproducción de la almeja asiática está sincronizada con los periodos de inundación, cuando las condiciones limnológicas (como temperatura, oxígeno disuelto y nutrientes) son más favorables, facilitando así la dispersión larval de la especie (Cardim et al., 2021).

La sequía del año 2022 que se alargó hasta mitad del 2023 también afectó a la supervivencia de la almeja asiática en esta parcela ya que, provocó la acumulación de macrófitos y algas que crecieron descontroladamente y tapizaron el sustrato, incluyendo las almejas. A pesar de que en el año 2024 los niveles del río volvieron a la normalidad, de momento no hay señales de recuperación.

Los resultados obtenidos en las parcelas de traslocación del río Ebro, en parcelas como Monzalbarba 1, Monzalbarba 2, Monzalbarba 3, Almozara 1 o Almozara 2, indican que la margaritona atraviesa un periodo crítico de adaptación durante el primer año de su introducción. La supervivencia durante el primer año parece ser determinante, ya que los individuos que lo superan muestran una mayor probabilidad de mantenerse vivos en los años posteriores. Este patrón sugiere que las medidas de manejo y seguimiento deben centrarse especialmente en este periodo inicial para maximizar el éxito de las traslocaciones.

Respecto al grupo de control de margaritona en el CIA, los datos muestran una disminución alarmante de ejemplares vivos acompañada de un aumento sostenido en

la mortalidad, lo que sugiere que el proceso de mortalidad en el canal sigue activo, aunque al parecer ya bastante ralentizado, en parte por la baja presencia de ejemplares que quedan. Esta continua mortalidad puede estar asociada a un deterioro progresivo de las condiciones ambientales o la presencia de factores de estrés como contaminación o abundancia de especies exótica invasoras como la almeja asiática (Nakamura et al. 2023). La proporción estable de ejemplares no recapturados (NA) desde 2020 podría indicar limitaciones en el monitoreo o dificultades en la identificación precisa, aunque las condiciones del canal por lo general son bastantes idóneas para el muestreo. En conjunto, estos resultados evidencian una situación crítica para la especie dentro del CIA.

Esta situación nos permite concluir que las parcelas de estudio del río, tienen una mejor supervivencia en comparación con los grupos control dejados en el CIA, a pesar de que algunas de estas primeras presentan declives de abundancia.

El análisis por localidad de **Kaplan Meier** y la regresión de Cox confirman que la supervivencia de margaritona varía significativamente entre las distintas localidades estudiadas, lo que indica que la mortalidad no ocurre de manera homogénea en el río y por distintos factores.

Algunas parcelas como Monzalbarba 3, presentan una mayor supervivencia a lo largo del tiempo, lo que sugiere condiciones ambientales más favorables como mayor estabilidad del sedimento, buena calidad del agua o una temperatura óptima del agua; mientras que otras como Remolinos muestran descensos abruptos en la curva, reflejando una alta pérdida de ejemplares en periodos cortos por causas ya explicadas anteriormente. Estas diferencias en el patrón temporal de la mortalidad señalan que los factores que afectan la supervivencia (crecidas invernales, competencia, o estrés ambiental) varían entre las parcelas. Este tipo de análisis es fundamental para identificar áreas prioritarias de conservación y diseñar estrategias de manejo adaptadas a las condiciones locales.

La regresión de Cox entre las tres parcelas ubicadas en la localidad de Monzalbarba, concluye que Monzalbarba 3 es la que presenta una supervivencia significativamente mayor lo que nuevamente refuerza que es una de las mejores parcelas que favorecen la supervivencia de la margaritona. Esta evidencia demuestra la importancia de evaluar de manera diferenciada las parcelas dentro de una misma zona geográfica.

A pesar de la cercanía de estas parcelas, existen diferencias notables en las condiciones microambientales que pueden influir en la supervivencia de la margaritona. Monzalbarba 1 se encuentra en una zona más expuesta, con menor cobertura vegetal

y mayor incidencia de luz solar directa, lo que puede provocar temperaturas más elevadas y una mayor variabilidad en las condiciones del hábitat. En contraste, Monzalbarba 3 está situada en un área más protegida y sombreada, con una vegetación de ribera más densa que proporciona un refugio térmico y estabilidad ambiental. Estas diferencias pueden ser determinantes para la especie, lo que hace resaltar la sensibilidad de la especie a variaciones en su entorno.

De la misma forma, entre Almozara 1 y Almozara 2, esta última se perfila como una parcela con condiciones considerablemente más favorables para la supervivencia, lo que podría atribuirse a una mejor calidad del hábitat: sustrato, oxígeno, disponibilidad de alimento, sombreado que regula la temperatura en verano y menor estrés ambiental. Por el contrario, Almozara 1 parece presentar factores más limitantes que afectan negativamente a los individuos. Estos resultados justifican investigar en detalle la posibilidad de replicar las condiciones de Almozara 2 para mejorar la supervivencia en Almozara 1.

Cabe destacar que también influye el origen de los ejemplares traslocados, ya que cada grupo proviene de una zona diferente del CIA, con más o menos mortalidad, lo cual tiene su cuota de explicación en la supervivencia de la especie en el río. La adaptación de la margaritona adulta y las nuevas condiciones en el río tienen un peso importante en la supervivencia durante el primer año, ya que los ejemplares, provenían del canal Imperial, donde la corriente es suave y constante todo el año y no existen variaciones en el nivel del agua, a diferencia de en el río en el que la dinámica es variable y constante, con grandes crecidas y con periodos de sequía.

La reiterada presencia de *Corbicula* spp. en densidades elevadas en la mayoría de las parcelas representa una amenaza constante. Esta especie invasora no solo compite por recursos, sino que podría alterar los procesos ecológicos necesarios para el desarrollo exitoso tanto de los estadios juveniles de *P. auricularius*, así como a los ejemplares adultos. En este sentido, la gestión activa de especies exóticas, junto con la restauración de microhábitats y la mejora de la estabilidad hidrológica, se plantea como una acción prioritaria para favorecer las condiciones de reclutamiento y aumentar la resiliencia de las poblaciones traslocadas.

Estos hallazgos apuntan a la necesidad de un monitoreo ambiental más detallado en las parcelas con menor supervivencia, así como la posibilidad de replicar prácticas o condiciones de Almozara 2 o Monzalbarba 3 en otras zonas. Factores como la calidad del hábitat, la presión antrópica, la estructura vegetal o la disponibilidad de recursos

podrían estar influyendo y deberían considerarse en futuras intervenciones de manejo o conservación.

## 7 Conclusiones

- 1) El Plan de traslocación de la especie *P. auricularius* en Aragón se considera una medida eficaz para el rescate y la supervivencia a mediano/largo plazo de individuos provenientes del CIA.
- 2) El seguimiento en las distintas parcelas evidencia una marcada heterogeneidad entre ellas, a pesar de haber sido todas pre-seleccionadas como buenas candidatas a la recepción de individuos, poniendo en evidencia que el río Ebro es un ente dinámico y cambiante y que la metodología de selección no es 100% precisa.
- 3) La variabilidad de la supervivencia de *P. auricularius* sugiere que el éxito de la estrategia de conservación *in situ* está condicionado por la compleja interacción de factores ecológicos, biológicos y antrópicos específicos de cada localidad.
- 4) Las parcelas de Monzalbarba 3 y Almozara 2, presentan los mejores resultados de supervivencia. En estas parcelas, los individuos adultos de margaritona mantienen una alta supervivencia y estabilidad temporal.
- 5) Juslibol, Remolinos o Monzalbarba 1 reflejan los resultados más desfavorables, caracterizados por un drástico incremento en la pérdida de ejemplares y una fuerte disminución en la densidad de náyades está asociada a condiciones ambientales adversas.
- 6) Almozara 1 y Monzalbarba 2 representan una situación intermedia. Aunque las poblaciones adultas muestran cierta estabilidad, se registra un aumento de la mortalidad e individuos desaparecidos y baja estabilidad en la densidad de náyades, lo que conlleva a estar alertas en el futuro próximo para evaluar su evolución y proponer acciones paliativas.
- 7) La presencia de otras náyades nativas sirve como indicador complementario de la calidad del hábitat. Las parcelas con mayor densidad de náyades coinciden con las de mayor supervivencia de margaritona.
- 8) Estos resultados permiten identificar tanto zonas críticas que requieren la intervención urgente como parcelas que deben ser priorizadas en términos de conservación, monitoreo y manejo adaptativo.
- 9) Esta visión integrada resulta clave para orientar los próximos pasos del programa de cría en cautividad y para optimizar futuras estrategias de reintroducción de *P. auricularius* en el río Ebro.

## 8 Recomendaciones

Se proponen las siguientes orientaciones para la gestión de las parcelas de traslocación de *P. auricularius* en Aragón:

- a. Priorizar parcelas con buenos resultados: Almozara 2 y Monzalbarba 3 deberían considerarse para refuerzos poblacionales, seguimiento intensivo y potencial reproducción *in situ* facilitando el contacto con el pez hospedador por medio de reintroducciones de *Salaria fluviatilis*.
- b. Suspender traslocaciones en las parcelas críticas: Juslibol, Remolinos y Monzalbarba 1. Éstas deberían ser reevaluadas o restauradas antes de cualquier nueva intervención, dada su baja capacidad de acogida actual.
- c. Continuar con el monitoreo y, si es posible, controlar las densidades de la especie exótica invasora *Corbicula* spp: Aunque su erradicación es inviable, un seguimiento específico ayuda a interpretar dinámicas de competencia.
- d. Ampliar el análisis ambiental: Incluir datos de calidad del agua, estructura del sustrato y presencia de peces hospedadores es esencial para ajustar las traslocaciones a las necesidades reales de la especie.

## 9 Agradecimientos

En primer lugar, quería agradecer a Ernesto, por ser un gran profesor y motivar en cada una de sus clases. Ha sido un placer tenerte como tutor.

También quiero agradecerle a Keiko, por haberme enseñado, aconsejado y acompañado desde el inicio de mis prácticas hasta el final de este trabajo, ha sido una suerte haber podido aprender de ti. Y por supuesto, gracias al equipo de cría en cautividad de *Margaritifera auricularia*, Eva, Carlos, Joaquim, Bea y Joaquín, de vosotros también he aprendido mucho.

Gracias a quienes han sido mi familia y hogar durante los años de carrera (tan bonitos como duros) viviendo en Huesca; Álvaro, Diana, Teresa y sobre todo Thais, la mejor amiga y compañera de piso que he podido tener, mi apoyo y mi gran suerte. Y también a todas las personas tan bonitas que se han cruzado en mi camino durante estos años.

A mis amigas y amigos de Zaragoza, que siempre se han alegrado de mis logros como si fueran suyos y se han encargado de recordarme que yo podía con esto y más.

A Rodri, gracias por creer en mí y estar a mi lado en cada paso que doy, y por haberme cogido la mano desde el primer año de carrera y no haberla soltado desde entonces.

Y, sobre todo, quiero agradecer a mi familia, Papi, Mami y Ana. Vosotros sois mi gran motor, sin vuestra ayuda y apoyo, ni la carrera, ni este trabajo, ni muchos logros de mi vida habrían sido posibles. Gracias por creer en mí, por transmitirme todo el amor que tenéis dentro, y por enseñarme que, con dedicación, esfuerzo, actitud, y muchas ganas, puedo conseguir lo que me proponga. Vosotros estaréis orgullosos de mí, pero yo estoy aún más orgullosa de que seáis mi familia. Os quiero y os admiro, muchísimo.

Por último, una mención especial a mi perrito, Furco. Este animalito no se ha separado de mí en sus casi 18 años, no recuerdo ni un solo día estudiando ni haciendo este trabajo sin tenerlo pegado a mí, camuflado en su camita. Ha sido la mejor compañía que podría tener, gracias por no hacerme sentir nunca sola.

Gracias a todos, tengo mucha suerte de teneros.

## 10 Bibliografía

Araujo, R. & Ramos, M.A. (1998a). Description of the glochidium of *Margaritifera auricularia* (Spengler, 1793) (Bivalvia, Unionoidea). *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B*, 353: 1553–1559. <https://doi.org/10.1098/rstb.1998.0309>

Araujo, R. & Ramos MA. (1998b). *Margaritifera auricularia* (Unionoidea, Margaritiferidae), the giant freshwater pearl mussel rediscovered in Spain. *Graellsia*, 54: 129–130

Araujo, R., Bragado, D. & Ramos MA. (2000a). Occurrence of glochidia of the endangered *Margaritifera auricularia* (Spengler, 1793) and other mussel species (Bivalvia: Unionoidea) in drift and on fishes in an ancient channel of the Ebro River, Spain. *Hydrobiology*, 148(1): 147–160.

Araujo, R. & Ramos MA. (2000b). Status and conservation of the giant European freshwater pearl mussel (*Margaritifera auricularia*) (Spengler, 1793) (Bivalvia: Unionoidea). *Biological Conservation*, 96: 233–239.

Araujo, R. & Ramos MA. (2001a). Action plans for *Margaritifera auricularia* and *Margaritifera margaritifera* in Europe. *Nature and Environment*, 117. Council of Europe Publishing. 71 pp.

Araujo R, Ramos MA. (2001b). Conservation of the endangered freshwater mussel *Margaritifera auricularia* (Spengler, 1793) in the Ebro River basin, Spain. *Biological Conservation*, 99(1), 75–84. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(00\)00191-6](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(00)00191-6)



Araujo, R. (2011). *Potomida littoralis* (Cuvier, 1798). En J. Verdú, C. Numa y E. Galante, *Atlas y Libro rojo de los invertebrados amenazados de España. Vol: II (Especies Vulnerables)* (pág. 1314). Madrid.

Araujo, R., Reis, J., Machordom, A., Toledo, C., Madeira, M.J., et al. (2009a). Las náyades de la Península Ibérica. *Sociedad Española de Malacología Iberus*, 27(2): 7-72.

Araujo, R., Gómez, I. & Machordom A. (2009b). *Margaritifera auricularia* (Spengler, 1793): *Biology and conservation status of the most endangered freshwater mussel in Europe*. *Hydrobiologia*, 633(1), 33–40. <https://doi.org/10.1007/s10750-009-9875-2>

Araujo, R. (2012). *Margaritifera auricularia*. Bases ecológicas preliminares para la conservación de las especies de interés comunitario en España: Invertebrados. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid. 54 pp.

Araujo, R., Gómez, I. & Machordom, A. (2005). The identity and biology of *Unio mancus* (Lamarck, 1819) (= *U. elongatulus*) (Bivalvia: Unionidae) in the Iberian Peninsula. *Journal of Molluscan Studies*, 71: 25-31.

Armstrong, D.P. & Seddon, P.J. (2008). Directions in reintroduction biology. *Trends in Ecology and Evolution* 23: 20–25

Cardim, L.L., Almeida, M. J. A., Fernandes, F. C. & Callil, C. T. (2021). Gonadal histology and reproduction of the Asian clam *Corbicula fluminea* (Bivalvia: Cyrenidae) in a tropical floodplain (upper Paraná River, Brazil). *Diversity*, 13(7), 316. <https://doi.org/10.3390/d13070316>

Catalá, C., Nakamura, K., Ginés, E. & Guerrero-Campo J. (2017). Plan de traslocación de *Margaritifera auricularia*. Gobierno de Aragón. Mayo de 2017. Informe inédito.

Confederación Hidrográfica del Ebro. (2024). *La cuenca del Ebro*.  
<https://portal.chebro.es/web/guest/la-cuenca-del-ebro>

Decreto 187/2005, de 26 de septiembre, del Gobierno de Aragón, por el que se establece un Régimen de Protección para la *Margaritifera auricularia* y se aprueba el Plan de Recuperación. Boletín Oficial de Aragón. 120, de 7 de octubre de 2005.

Decreto 129/2022, de 5 de septiembre, del Gobierno de Aragón, por el que se crea el Listado Aragonés de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial y se regula el Catálogo de Especies Amenazadas de Aragón. Boletín Oficial de Aragón, 179, de 14 de septiembre de 2022.

Decreto 33/2024, de 28 de febrero, del Gobierno de Aragón, por el que se establece un régimen de protección para la margaritona (*Margaritifera auricularia*) y se aprueba un nuevo plan de recuperación. Boletín Oficial de Aragón, 51, de 12 de marzo de 2024.

Díaz, S., Settele, J., Brondízio, E. S., Ngo, H. T., Guèze, M., Agard, J. et al. (2019). *Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES)*. IPBES Secretariat. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3831673>

Directiva 92/43/CEE del Consejo, de 21 de mayo de 1992, relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres. Diario Oficial de las Comunidades Europeas, L 206, 7–50. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX:31992L0043>

Gobierno de Aragón. (2007). Proyecto LIFE Conservación de *Margaritifera auricularia* en Aragón. <https://www.aragon.es/-/proyecto-life-conservacion-de-margaritifera-auricularia-en-aragon>. Fecha de consulta: //2024

Grande, C., Araujo, R. & Ramos, M. A. (2001). The gonads of *Margaritifera auricularia* (Spengler, 1793) and *Margaritifera margaritifera* (L. 1758) (Bivalvia: Unionoidea). *Journal of Molluscan Studies* 67: 27–35.

Lopes-Lima, M., Bolotov, I. N., Do, V. T., Aldridge, D. C., Fonseca, M. M., Gan, H. M., Gofarov, M. Y., Kondakov, A. V., Prié, V. et al. (2018). Expansion and systematics redefinition of the most threatened freshwater mussel family, the Margaritiferidae. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 127, 98-118.

McMurray, S. E. & Roe, K. J. (2017). Perspectives on the controlled propagation, augmentation, and reintroduction of freshwater mussels (Mollusca: Bivalvia: Unionoida). *Freshwater Mollusk Biology and Conservation*, 20(1), 1–12.

Modesto, V. M., Ilarri, A. T., Souza, M., Lopes-Lima, K., Douda, M., Clavero & Sousa, R. (2018). Fish and mussels: importance of fish for freshwater mussel conservation. *Fish and Fisheries* 19: 244–259.

Nakamura, K., Cucala, L., Mestre, A., Mesquita-Joanes, F., Elbaile, E., Salinas, C., Muñoz-Yaguas, M. A. (2017) Modelización del crecimiento del mejillón de agua dulce *Margaritifera auricularia* (Spengler, 1793), en peligro crítico de extinción, en la cuenca del Ebro. *Hydrobiologia* 810, 375–391 (2018). <https://doi.org/10.1007/s10750-017-3103-9>

Nakamura, K., Elbaile, E., Muñoz-Yanguas, M. A., Catalá, C. & Salinas, C. (2012). Captive breeding of the endangered peal mussel *Margaritifera auricularia* (Spengler, 1793). Large scale laboratory production of juveniles. In: International Meeting on Conservation and Biology of Freshwater Bivalves. Bragança, Portugal.

Nakamura, K., Guerrero, J., Alcántara, M., Muñoz, M. y Elbaile, E. (2018). Tiempos de incertidumbre para la náyade *Margaritifera auricularia*. *Quercus*, 383, 17-24.

Nakamura, K. (2022). Conservation of the Giant Freshwater Pearl Mussel (*Pseudunio auricularius* = *Margaritifera auricularia* Spengler, 1793) in Spain. PhD Thesis. University of Valencia, 277 p.

Nakamura, K., Guerrero-Campo, J., Ginés, E., Mesquita-Joanes, F., Alcántara, M., & Sousa, R. (2022). Translocation as an ultimate conservation measure for the long-term survival of a critically endangered freshwater mussel. *Hydrobiologia*, 849(15), 3401-3417. <https://doi.org/10.1007/s10750-022-04942-5>

Nakamura K, Sousa R, Mesquita-Joanes F. (2023). *Collapse of native freshwater mussel populations: Prospects of a long-term study*. *Biological Conservation*, 279, 109931. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2023.109931>

Nakamura, K., Wantzen, K. M., Soler, J., Sousa, R., Nagel, K. O., Aldridge, D. C., Prié, V. et al. (2024). Synopsis of the European Freshwater Mussels: *Pseudunio auricularius* (Spengler, 1793), the Giant Freshwater Pearl Mussel. *Hydrobiologia*, 1-17.

Ollero, A. (1993). Los elementos geomorfológicos del cauce en el Ebro de meandros libres y su colonización vegetal. Universidad de Zaragoza, Dpto. de Geografía y Ordenación del Territorio, En *Geographica*, (1993), 30, 295-308.

Ollero, A. (2004). *El comportamiento hídrico del río Ebro en su recorrido por Aragón*. En Peña JL, Longares LA, Sánchez M (Eds.), *Geografía Física de Aragón: Aspectos generales y temáticos* (pp. 243–252). Universidad de Zaragoza e Institución Fernando el católico.

Ollero, A., Frutos L. M. & Sánchez, M. (2004). Caracterización del Ebro y su cuenca y variaciones en su comportamiento hidrológico. En Gil A. (Dir.). *Alteración de los regímenes fluviales peninsulares (1901-2000)*. Cajamurcia.

Prié V., Soler, J., Araujo, R., Cucherat, X., Philippe, J., Patry, N., Wantzen, K.M. et al., (2018). Challenging exploration of troubled waters: a decade of surveys of the giant freshwater pearl mussel *Margaritifera auricularia* in Europe. *Hidrobiología* 810: 157–175.

Prié V. (2024). *Pseudunio auricularius* (versión modificada de la evaluación de 2024). *Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN* 2024: e.T12798A266034242. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2024-2.RLTS.T12798A266034242.en> . Consultado el 4 de junio de 2025.

Quiñonero-Salgado, S. & López Soriano, J. (2016). El género *Corbicula* Mühlfeld, 1811 (Corbiculidae: Bivalvia) en el bajo Ebro (NE de la península Ibérica). *Nemus: revista de l'Ateneu de Natura*, ISSN 1697-2694, Nº. 6, 2016, págs. 9-33

Real Decreto 139/2011, de 4 de febrero, para el desarrollo del Listado de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial y del Catálogo Español de Especies Amenazadas. Boletín Oficial del Estado, Núm.46, de 23 de febrero de 2011, pp. 17308-17322.

Rivas, S. (2013). Biología y Ecología del bivalvo invasor *Corbicula fluminea* (Müller, 1774) (Mollusca, Bivalvia, Veneroidea) en el tramo internacional del río Miño (Galicia, España). Tesis Doctoral. Universidad de Santiago de Compostela. 474 pp.

Sousa, R., Antunes, C., & Guilhermino, L. (2008). Ecology of the invasive Asian clam *Corbicula fluminea* (Müller, 1774) in aquatic ecosystems: An overview. *Annales de Limnologie - International Journal of Limnology*, 44(2), 85–94. <https://doi.org/10.1051/limn:2008017>

Szarmach, D., Wiśniewski, K., Kobak, J., Lichocka, K., Kakareko, T., Sousa, R., & Poznańska-Kakareko, M. (2024). Impact of habitat engineering by invasive *Corbicula* clams on native European unionid mussels. *Science of The Total Environment*, 948, 174764.

UCN/SSC. (2013). Directrices para reintroducciones y otras translocaciones para fines de conservación. Version 1.0. Gland, Switzerland: IUCN Species Survival Commission, viii + 57 pp.

Verdú, J. R., & Galante, E. (Eds.). (2006). *Libro rojo de los invertebrados de España*. Organismo Autónomo Parques Nacionales, Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.

Zapater, M., Araujo, R., Álvarez, R. M. & Nakamura K. (2006). Las almejas de agua dulce en Aragón: *Maragritifera auricularia* y otros bivalvos. Serie: Especies. Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón. 70 pp.

## ANEXOS

Resultados del estudio de Kaplan-Meier para cada una de las parcelas de estudio.

Monzalbarba 2						
tiempo	n	eventos	supervivencia	error estándar	lower95%	upper95%
1	125	26	0.792	0.0363	0.724	0.866
2	99	2	0.776	0.0373	0.706	0.8653
3	97	1	0.768	0.0378	0.697	0.846
5	96	96	0.00	NA	NA	NA

Juslibol						
tiempo	n	eventos	supervivencia	error estándar	lower95%	upper95%
1	118	69	0.415	0.0454	0.335	0.514
2	49	1	0.407	0.0452	0.327	0.506
3	48	3	0.381	0.0447	0.303	0.480
4	45	15	0.254	0.0401	0.187	0.346
5	30	2	0.237	0.0392	0.172	0.328
7	28	28	0.00	Nan	NA	NA

Almozara 1						
tiempo	n	eventos	supervivencia	error estándar	lower95%	upper95%
1	118	21	0.822	0.0352	0.756	0.894
2	97	4	0.788	0.0376	0.718	0.856
3	93	1	0.780	0.0382	0.708	0.858
5	92	1	0.771	0.0387	0.699	0.851
6	91	91	0.00	Nan	NA	NA

Almozara 2						
tiempo	n	eventos	supervivencia	error estándar	lower95%	upper95%
1	71	2	0.972	0.0196	0.934	1
2	69	1	0.958	0.0239	0.912	1
3	68	68	0.00	NaN	NA	NA

Monzalbarba 1						
tiempo	n	eventos	supervivencia	error estándar	lower95%	upper95%
1	109	80	0.266	0.0423	0.195	0.363
6	29	1	0.257	0.0418	0.187	0.354
7	28	28	0.00	NaN	NA	NA

Monzalbarba 3						
tiempo	n	eventos	supervivencia	error estándar	lower95%	upper95%
1	94	5	0.947	0.0231	0.903	0.993
3	89	1	0.936	0.0252	0.888	0.987
4	88	88	0.000	NaN	NA	NA

Remolinos						
tiempo	n	eventos	supervivencia	error estándar	lower95%	upper95%
1	83	53	0.361	0.0527	0.272	0.481
2	30	5	0.301	0.0504	0.217	0.418
5	25	1	0.289	0.0498	0.206	0.405
6	24	1	0.277	0.0491	0.196	0.392
7	23	23	0.000	NaN	NA	NA