



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Estudio de las poblaciones de *Corbicula fluminea* (Müller, 1774)
en el curso medio del río Ebro, tramo Tudela-Zaragoza
(Navarra Aragón).

Study of the populations of *Corbicula fluminea* (Müller, 1774) in the
middle course of the Ebro River, Tudela-Zaragoza section
(Navarra Aragón).



Autor

Mónica Callejón Muñoz

Director

Cristóbal Rubio Millán

Ponente

Ernesto Pérez Collazos

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR
2022

Tabla de contenidos

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	Especies Exóticas Invasoras.....	1
1.2	<i>Corbicula fluminea</i>	4
1.3	Antecedentes.....	12
1.4	Justificación.....	13
1.5	Objetivos generales y específicos.....	14
2.	MATERIAL Y MÉTODOS.....	15
2.1	Área de estudio.....	15
2.1.1	Situación geográfica y dimensiones.....	15
2.1.2	Climatología.....	17
2.1.3	Hidrología.....	18
2.1.4	Geomorfología y geología.....	20
2.1.5	Vegetación.....	20
2.2	Trabajo de campo.....	22
2.3	Análisis de muestras en laboratorio.....	25
2.4	Análisis estadístico de datos.....	26
3.	RESULTADOS.....	29
3.1	Resultados de los estudios realizados en la cuenca del Ebro entre 2019-2022.....	29
3.1.1	Resultados del Estudio de distribución de <i>Corbicula fluminea</i> en el eje del río Ebro en 2019.....	29
3.1.2	Resultados del Estudio de distribución de <i>Corbicula fluminea</i> en los afluentes principales del río Ebro en 2020.....	31
3.1.3	Resultados del estudio de distribución de <i>Corbicula fluminea</i> en el eje del río Ebro en 2021.....	33
3.1.4	Resultados del Estudio de distribución de <i>Corbicula fluminea</i> en los afluentes principales del río Ebro en 2022.....	36
3.2	Resultados de los estudios previos realizados en la cuenca del Ebro en el tramo de Tudela a Zaragoza entre 2019-2021.....	40
3.3	Resultados del estudio realizado en la cuenca del Ebro en el tramo de Tudela a Zaragoza del año 2022.....	43
3.3.1	Caracterización de parámetros fisicoquímicos del agua y del sustrato.....	43
3.3.2	Presencia y densidades.....	55
3.3.3	Distribución de edades y porcentajes vivas-muertas.....	56
3.3.4	Análisis estadístico de variables numéricas y nominales.....	61
4.	DISCUSIÓN.....	65
4.1	Caracterización del hábitat.....	65

4.2 Evolución de las densidades en el eje del río Ebro entre 2019-2021 y afluentes entre 2020-2022.....	66
4.3 Evolución de las densidades en el eje del río Ebro y afluentes principales en el tramo de Tudela a Zaragoza desde 2019 hasta 2022.....	68
4.4 Gestión de <i>Corbicula fluminea</i>	70
5. CONCLUSIONES.....	72
6. AGRADECIMIENTOS.....	74
7. BIBLIOGRAFÍA.....	75

Índice de figuras

Figura 1A. Morfología interior de <i>C. fluminea</i>	4
Figura 1B. Morfología exterior de <i>C. fluminea</i>	4
Figura 2. Distribución mundial de la almeja asiática. Fuente: Paleoymás, 2019b.....	8
Figura 3. Ámbito territorial de la Demarcación Hidrográfica del Ebro. Fuente: Ministerio de Agricultura y Transición Ecológica, 2015.....	14
Figura 4. Distribución de las precipitaciones medias anuales en la Demarcación Hidrográfica del Ebro. Imagen modificada de la original realizada por la CHE.....	17
Figura 5. Caudales de las crecidas históricas estimados hasta 1944 y reales medidos desde 1945. Fuente: Ebro Resilience, 2022.....	18
Figura 6. Cuenca del Ebro dividida por subsistemas. Fuente: Sánchez, 2018.....	19
Figura 7. Río Arba en Gallur con una frondosa vegetación de ribera.....	20
Figura 8. Río Jalón en Plasencia de Jalón con presencia de tamariz en la orilla de enfrente.....	21
Figura 9. Cuadrado de 50x50 cm, pala, criba y bolsa con muestra de almeja asiática.....	22
Figura 10. Etiquetación de las muestras de <i>Corbicula fluminea</i>	23
Figura 11. Bandeja y calibre en la imagen superior derecha, calibre con almeja asiática en la imagen superior derecha y muestra en la báscula para dividir la muestra en la imagen inferior.....	25
Figura 12. Medida de la altura y longitud. Fuente: Paleoymás, 2019.....	25
Figura 13. Mapa de densidades de <i>C. fluminea</i> por estación de muestreo en 2019. Fuente Paleoymás, 2019.....	28
Figura 14A. Distribución de edades, altura y longitud máxima en cada estación en 2019.....	30
Figura 14B. Porcentaje de ejemplares vivos y muertos por estación en 2019.....	30
Figura 15. Mapa de densidades de <i>C. fluminea</i> por estación de muestreo en 2020. Fuente Paleoymás, 2020.....	30
Figura 16A. Distribución de edades, altura y longitud máxima en las estaciones con presencia de <i>C. fluminea</i> en 2020.....	32
Figura 16B. Porcentaje de ejemplares vivos y muertos en las estaciones con presencia de <i>C. fluminea</i> en 2020.....	32
Figura 17. Mapa de densidades de <i>C. fluminea</i> por estación de muestreo en 2021. Fuente Paleoymás, 2021.....	33
Figura 18A. Distribución de edades, altura y longitud máxima en las estaciones con presencia de <i>C. fluminea</i> en 2021.....	35
Figura 18B. Porcentaje de ejemplares vivos y muertos en las estaciones con presencia de <i>C. fluminea</i> en 2021.....	35
Figura 19. Evolución de las densidades de <i>C. fluminea</i> en el eje del río Ebro entre 2019 y 2021.....	35

Figura 20. Mapa de densidades de <i>C. fluminea</i> en los afluentes principales del río Ebro.....	36
Figura 21A. Distribución de edades, altura y longitud máxima en las estaciones con presencia de <i>C. fluminea</i> en 2022.....	38
Figura 21B. Porcentaje de ejemplares vivos y muertos en las estaciones con presencia de <i>C. fluminea</i> en 2022.....	38
Figura 22. Evolución de las densidades de <i>C. fluminea</i> en los afluentes del río Ebro entre 2020 y 2022.....	38
Figura 23A. Temperatura del agua en el tramo Tudela a Zaragoza.....	42
Figura 23B. Caudal, conductividad y TDS del agua en el tramo Tudela a Zaragoza....	42
Figura 24A. Vegetación de ribera del río Ebro en Tudela	44
Figura 24B. Escombros junto al puente de piedra de Tudela.....	44
Figura 25A. Vegetación de ribera del río Queiles en Tudela	44
Figura 25B. Azud con estación de aforo del río Queiles de la CHE	44
Figura 26A. Cauce del río Queiles en Cascante.....	45
Figura 26B. Sedimentos del lecho del río Queiles en Cascante.....	45
Figura 27A. Vegetación de ribera del río Ebro en Novillas.....	46
Figura 27B. Sustrato cubierto por <i>C. fluminea</i> viva y muerta del río Ebro en Novillas....	46
Figura 28A. Vegetación de ribera del río Huecha en Novillas.	46
Figura 28B. Muestra de sedimento del río Huecha en Novillas.....	46
Figura 29A. Vegetación de ribera del río Huecha en Cortes	47
Figura 29B. Muestra de grava gruesa del río Huecha en Cortes.....	47
Figura 30A. Vegetación de ribera del río Arba en Gallur.....	49
Figura 30B. Sustrato con grava del río Arba en Gallur.....	48
Figura 31A. Vegetación de ribera del río Arba en Ejea de los Caballeros.....	48
Figura 31B. Muestra de sedimentos con <i>C. fluminea</i> y una valva de <i>Unio mancus</i> del río Arba en Ejea de los Caballeros.....	48
Figura 32A. Cauce del río del río Ebro en Remolinos.....	49
Figura 32B. Vegetación de ribera del río Ebro en Remolinos	49
Figura 33A. Vegetación de ribera del río Jalón en Torres de Berrellén.....	50
Figura 33B. Cauce del río Jalón.....	50
Figura 34A. Vegetación de ribera del río Jalón en Plasencia de Jalón.....	50
Figura 34B. Muestra de grava gruesa del río Jalón en Plasencia de Jalón.....	50
Figura 35A. Vegetación de ribera del río Ebro en Zaragoza.....	51
Figura 35B. Orilla seca del río Ebro en Zaragoza.....	51
Figura 36A. Vegetación de ribera del río Huerva en Zaragoza.....	52
Figura 36B. Tomando parámetros fisicoquímicos.....	52
Figura 37A. Vegetación de ribera del río Huerva en Botorrita.....	52
Figura 37B. Ejemplares de <i>C. fluminea</i> entre las raíces.....	52
Figura 38A. Cauce del río del río Gállego en Zaragoza	53

Figura 38B. Lecho del río Gállego en Zaragoza.....	53
Figura 39A. Vegetación de ribera del río Gállego en Zuera.....	54
Figura 39B. Muestra de limo negro del río Gállego en Zuera.....	54
Figura 40. Ejemplar de <i>Margaritifera auricularia</i> encontrada durante las prospecciones de <i>C. fluminea</i>	54
Figura 41. Mapa de densidades de <i>C. fluminea</i> en el tramo de estudio en 2022.....	55
Figura 42. Densidades de ejemplares vivos y muertos de almeja asiática por estación de muestreo en 2022.....	56
Figura 43. Distribución de ejemplares vivos por grupo de edad y estación.....	56
Figura 44. Distribución de ejemplares muertos por grupo de edad y estación.....	57
Figura 45. Distribución de alturas y longitudes máximas y mínimas por estación de muestreo.....	60
Figura 46. Diagrama de cajas de parámetros fisicoquímicos.....	61
Figura 47. Análisis PCA de las variables numéricas.....	61
Figura 48. Análisis PCoA con las variables binarias.....	63

Índice de tablas

Tabla 1. Estaciones de muestreo en el tramo de estudio.....	15
Tabla 2. Clasificación del tamaño de materiales sedimentarios simplificada, basada en la clasificación del AGU. Fuente: Ibáñez, 2008.....	26
Tabla 3. Relación de edades de <i>C. fluminea</i> en relación con la longitud de la concha Fuente: Cataldo y Boltovskoy, 1999; McMahon, 1999; McMahon, 2002; Javierre, 2015).....	26
Tabla 4. Estaciones de muestreo y densidades de <i>C. fluminea</i> en el eje del río Ebro en 2019. Fuente Paleoymás, 2019a.....	29
Tabla 5. Estaciones de muestreo y densidades de <i>C. fluminea</i> en los afluentes principales del río Ebro en 2020. Fuente Paleoymás, 2020.....	31
Tabla 6. Estaciones de muestreo y densidades de <i>Corbicula fluminea</i> en el eje del río Ebro en 2021. Fuente Paleoymás, 2021.....	34
Tabla 7. Estaciones de muestreo y densidades de <i>C. fluminea</i> en los afluentes principales del río Ebro en 2022.....	37
Tabla 8. Presencia de <i>Corbicula fluminea</i> , <i>Dreissena polymorpha</i> , náyades y tipo de sustrato.....	43
Tabla 9. Densidades de <i>C. fluminea</i> según tipo de suelo en la estación de Novillas del río Huecha.....	58
Tabla 10. Densidades de <i>C. fluminea</i> según tipo de suelo en la estación de Cortes del río Huecha.....	58
Tabla 11. Densidades de <i>C. fluminea</i> según tipo de suelo en la estación de Gallur del río Arba.....	59
Tabla 12. Densidades de <i>C. fluminea</i> según tipo de suelo en la estación de Plasencia de Jalón del río Jalón.....	59

Resumen

Corbicula fluminea es una especie exótica invasora que ya ha colonizado casi toda la Cuenca del Ebro (CE). Es una especie que ha mostrado una gran capacidad para colonizar diferentes ecosistemas. Para conocer mejor su comportamiento en la CE, la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE), inició una campaña para el control y vigilancia de la almeja asiática en el eje del río Ebro y en sus afluentes principales. El presente trabajo se centra en analizar la zona con mayor concentración de *C. fluminea* de toda la CE. Para ello, se ha delimitado el tramo de la CE entre Tudela y Zaragoza para realizar una caracterización del hábitat y de las poblaciones de almeja asiática distribuidas en 16 estaciones y 7 ríos diferentes. En cuanto a los resultados obtenidos, respecto años anteriores, se observa un declive en las poblaciones del Ebro, con una densidad media actual de 3.054 indiv/m² y un aumento en las poblaciones de los afluentes, con una densidad media actual de 295 indiv/m². Sin embargo, en el contexto global de la CE, las poblaciones tienen una tendencia positiva tanto para el Ebro como para los afluentes. Los datos parecen indicar que las poblaciones más grandes de *C. fluminea* están alcanzando el límite de su capacidad de carga, provocando una cierta mortalidad intraespecífica.

Palabras clave: especie exótica invasora, bivalvos dulceacuícolas, dinámica poblacional, densidad, Cuenca del Ebro.

Abstract

Corbicula fluminea is an invasive exotic species that has already colonized almost the entire Ebro Basin. This species has a great capacity to colonize different ecosystems. To better understand its behavior in the Ebro Basin, the Ebro Hydrographic Confederation launched a campaign to control and monitor the Asian clam in the axis of the Ebro River and its main tributaries. The present study focuses on analysing the area with the highest concentration of *C. fluminea* in the entire Ebro Basin. For this purpose, the section of the Ebro Basin between Tudela and Zaragoza has been delimited to carry out a characterization of the habitat and the populations of the Asian clam distributed in 16 stations and 7 different rivers. Regarding the results obtained, compared to previous years, a decline in the populations of the Ebro is observed, with a current average density of 3.054 individuals/m² and an increase in the populations of the tributaries, with a current average density of 295 individuals. / m².. However, in the global context of the Ebro Basin, the populations have a positive trend for both the Ebro and the tributaries. The data seem to indicate that the larger populations of *C. fluminea* are reaching the limit of their carrying capacity, causing high intraspecific mortality.

Keywords: invasive exotic species, freshwater bivalves, population dynamics, density, Ebro Basin.

1. Introducción

1.1 Especies Exóticas Invasoras (EEIs)

El Real Decreto 630/2013, de 2 de agosto, por el que se regula el Catálogo Español de Especies Exóticas Invasoras, define a una *especie invasora* como una especie y subespecies, incluyendo sus partes, gametos, semillas, huevos o propágulos que pudieran sobrevivir o reproducirse, introducidos fuera de su área de distribución natural y de su área potencial de dispersión, que no hubiera podido ocupar sin la introducción directa o indirecta, o sin el cuidado del hombre. Esta definición se puede matizar cuando se trata de una *especie exótica invasora*, la cual se refiere a especies exóticas que se introducen o establecen en un ecosistema o hábitat, y que es un agente de cambio y amenaza para la diversidad biológica nativa. Además, algunas de estas especies tienen un *potencial invasor*, cuando su rango de dispersión ha alcanzado otros países o regiones.

El mecanismo de invasión consta de tres pasos (Castro *et al.*, 2004):

1. Transporte: una especie es transportada con éxito desde su área de origen hasta un nuevo territorio. Desde ese momento es una *especie exótica*.
2. Asentamiento: si las condiciones son favorables para sobrevivir y formar nuevas poblaciones, consideramos que se ha *naturalizado* en ese ecosistema.
3. Propagación: si además tienen la capacidad de alterar el ecosistema invadido, la calificamos como *especie exótica invasora*.

Las alteraciones que pueden causar las EEIs son (Castro *et al.*, 2004; Pérez, 2013):

- Desplazamiento de especies nativas: debido a que la EEI está mejor adaptada o es más fuerte ante condiciones adversas.
- Hibridación y contaminación genética: el cruce entre especies provoca la pérdida de material genético de especies nativas, amenazando la persistencia de estas últimas.
- Alteraciones de las redes de interacción entre especies de la comunidad: como las cadenas tróficas
- Transmisión de enfermedades
- Alteración de las condiciones del ecosistema nativo y desequilibrios ecológicos: hace referencia a la disponibilidad de recursos (luz, nutrientes, agua, etc)

La globalización, con su inmediatez en vías de comunicación y comercio, y el cambio climático juegan un papel favorable para estas especies (McNeely *et al.*, 2001). Sin

embargo, el éxito de su propagación depende de dos factores: las características del hábitat receptor y las características intrínsecas de la especie.

Las características del hábitat receptor son: (Castro *et al.*, 2004; Pérez, 2013)

1. Condiciones ambientales óptimas, cualquier ecosistema, conservado o no, que tenga unos factores abióticos favorables para la EEIs.
2. Ambientes perturbados, debido a que se crea un desequilibrio en el ecosistema susceptible de ser ocupado por especies colonizadoras, como las EEIs.
3. Ambientes con mucha demografía, implican la presencia de más vectores que favorecen la dispersión de EEIs.
4. Islas, a menudo tienen nichos vacíos que aún no han sido colonizados.

Estas características también se pueden explicar mediante la *hipótesis del nicho vacío* donde, debido a un evento o fenómeno, un espacio queda susceptible de ser colonizado. Otra explicación es la *hipótesis de la ausencia de enemigos*, en este caso la especie no tiene ningún depredador que amenace su supervivencia.

Las características intrínsecas de la especie son: (Castro *et al.*, 2004; Pérez, 2013)

1. Elevada tasa de crecimiento y reproducción
2. Amplio espectro trófico (gran variedad en su alimentación)
3. Euritípica (rango amplio de variables ambientales como la temperatura, pH, humedad, entre otras)
4. Plasticidad fenotípica (capacidad para adaptarse a nuevas condiciones ambientales)
5. Rusticidad (capacidad para soportar condiciones ambientales adversas)
6. Hibridación (les permite tener más variabilidad genética)
7. Producción de toxinas y sustancias alelopáticas
8. Mecanismos de dormancia, semillas longevas (permite desarrollarse cuando las condiciones ambientales sean favorables)
9. Mecanismos de dispersión a corta y larga distancia

La problemática de las EEIs es considerada como el segundo problema ambiental más importante del mundo (Everet, 2000). Sus impactos ecológicos incluyen la pérdida de biodiversidad, tanto a nivel de especie como de paisaje (Capdevila-Argüelles, 2011). Sus efectos también influyen directa o indirectamente en los seres humanos a nivel social, sanitario y económico (McNeely *et al.*, 2001; Pérez, 2013). Por ejemplo, algunas plagas de insectos son vectores portadores de enfermedades infecciosas. Estas plagas

aparte de afectar a los seres humanos, pueden dañar los cultivos y ganado provocando escasez de alimento y, en casos extremos, hambruna (Quiroga, 2015).

Las vías de expansión más comunes son corredores fluviales, canales de riego, proximidad a jardines, viveros, granjas, acuicultura y vías de comunicación, áreas de navegación y zonas de pesca y caza (Pérez, 2013). Algunos ejemplos de las EEIs que más daños han ocasionado son la Perca del Nilo *Lates niloticus* o el mejillón cebrá *Dreissena polymorpha*. En el primer caso, la introducción de la Perca del Nilo en el lago Victoria, en África Oriental, para su explotación y comercialización, produjo un efecto en cascada en la cadena trófica por falta de alimento. Como consecuencia hubo una pérdida de biodiversidad y simplificación de la cadena trófica del lago a nivel ecológico y desencadenó una crisis ambiental de hambruna y pobreza a nivel social (Pérez, 2013). En el segundo caso, tenemos al mejillón cebrá el cual ha provocado importantes pérdidas ecológicas y económicas. Destacamos las afecciones a obras e infraestructuras hidráulicas, donde su presencia de forma masiva causaba la obstrucción de captaciones y conducciones de agua (Araujo, 2006). Por todo ello resulta imprescindible estudiar las EEIs, y así evitar impactos negativos sobre la biodiversidad y la economía.

1.2 Almeja asiática *Corbicula fluminea* (Müller, 1774)

En el presente estudio se va a realizar un estudio de la especie exótica invasora (EEI), almeja asiática *Corbicula fluminea* (Müller, 1774).

Algunos autores consideran que *Corbicula fluminalis* es una especie distinta de *C. fluminea* (Csanyi, 1999; Renard *et al.*, 2000; Pfenninger *et al.*, 2002; Korniuschin y Glaubrecht, 2003; Marescaux *et al.*, 2010). Sin embargo, otros autores la consideran como un morfotipo, ya que las diferencias morfológicas no están tan claras (Pigneur *et al.*, 2011). Dentro de la cuenca del Ebro, concretamente en el bajo Ebro, se ha detectado la coexistencia de estos dos taxa (Quiñonero y López, 2014). Teniendo en cuenta que esa zona no entra dentro de nuestro tramo de estudio se ha considerado a todas las especies de almeja asiática como *C. fluminea*.

Taxonomía

Reino: Animalia

Filo: Mollusca

Clase: Bivalvia
Subclase: Heterodonta
Orden: Veneroida
Superfamilia: Corbiculidae
Familia: Corbiculidae
Género: *Corbicula*
Especie: *Corbicula fluminea* (Müller, 1774)

Morfología

Corbicula fluminea está formada por dos valvas gruesas y pesadas. La forma de la concha es ovalada, equilátera y convexa. El tamaño medio de las valvas es de 39 mm, y pueden alcanzar los 50-65 mm de longitud (Figura 1) (Aguirre y Poss, 1999). La charnela presenta tres dientes cardinales y dos laterales, uno en cada lado de los dientes cardinales.

El color de la concha puede variar bastante. Generalmente adquieren colores marrones amarillentos, pero algunos son más oscuros con colores negros y verdes. La concha también presenta unas estrías concéntricas muy marcadas y separadas entre sí. Estas estrías sirven para calcular la edad del bivalvo y las condiciones ambientales en las que creció la concha (Rivas, 2013). Por dentro la concha adquiere un color blanco y azul perlado (Figura 1).



Figura 1A (izquierda). Morfología interior de *C. fluminea* y **Figura 1B** (derecha). Morfología exterior de *C. fluminea*

Biología y ecología de la especie

La almeja asiática habita en ecosistemas acuáticos epicontinentales (ríos, lagos y estuarios) (Rivas, 2013). Sin embargo, las condiciones ambientales idóneas para esta especie son ríos de agua dulce, sin muchas oscilaciones hidrológicas estacionales, con corrientes rápidas, bien oxigenadas y con baja salinidad, y no tolera ambientes altamente contaminados (Mouthon, 2003; Rivas, 2013). Prefiere sustratos de arenas finas o gruesas y de arcillas (Aguirre y Poss, 1999). Estos materiales les permiten enterrarse en los primeros centímetros de sedimento para protegerse de depredadores y, al mismo tiempo, pueden captar alimentos de las partículas en suspensión del agua (Rivas, 2013).

Respecto a los cambios ambientales, *C. fluminea* es poco tolerante a ambientes de alta salinidad (Morton, 1982). Algunos estudios establecen el límite de tolerancia en 5% de salinidad (Heinsohn, 1958; Díaz, 1974; Carlton, 1992; McMahon, 2000). La tolerancia a la temperatura también es reducida, por debajo de 2°C muere y por encima de 30°C se inhiben sus niveles de filtración (McMahon y Williams, 1986; McMahon, 2000). En cuanto a las concentraciones de oxígeno, presenta una ventaja respecto a los Unidos y Esféricos, ya que su tolerancia es ligeramente mayor (McMahon, 1991; Johnson y McMahon, 1998; Matthews y McMahon, 1999; Ilarri *et al.*, 2011). Respecto a las condiciones de emersión, si se quedan expuestas al aire, pueden sobrevivir 26 días en ambientes húmedos y 13 días en ambientes secos a 20°C. A temperaturas más altas, como 30°C, su supervivencia se reduce a 6-8 días (McMahon, 1979).

Su alimentación está basada en bacterias y fitoplancton que están en suspensión en el agua. Sin embargo, posee unas altas tasas de respiración (300 - 2500 l/h) (McMahon y Bogan, 2001) y metabólica, lo que le permite desarrollar la alimentación pedal. Puede consumir hasta 50 mg/día de materia orgánica particulada (Aldridge y McMahon, 1978; Reid *et al.*, 1992; Way *et al.*, 1990; Hakenkamp y Palmer, 1999; Hakenkamp *et al.*, 2001; Vaughn y Hakenkamp, 2001). Esta estrategia le beneficia en ecosistemas oligotróficos donde hay baja concentración de fitoplancton. (Vaughn y Hakenkamp, 2001).

Su mecanismo natural de dispersión es dejarse llevar por las corrientes de agua. Los hábitats donde mejor se dispersa son los estuarios, ya que las aguas dulces presentan oscilaciones con efecto de marea (Rivas, 2013). Sin embargo, las actividades humanas relacionadas con el transporte de mercancía han sido la consecuencia de que hoy en día encontremos esta especie extendida mundialmente. Algunas de estas actividades involucradas en la dispersión de la almeja asiática son las embarcaciones de uso recreativo, agua de refrigeración de los motores, agua de lastre de grandes barcos, cebo

de pesca y comercio en acuariofilia (Rivas, 2013). Si, además, le añadimos su alta fecundidad y velocidad de crecimiento, podemos considerar que esta especie es un potencial invasor que tiene una capacidad de dispersión muy elevada (McMahon, 1983).

El comportamiento de la almeja asiática se asemeja a especies con estrategias “r”. Algunas características que la sitúan en este grupo es un rápido crecimiento, temprana madurez sexual, alta fecundidad y ciclo de vida corto. Estas características la hacen capaz de colonizar hábitats con condiciones ambientales muy variables (Rivas, 2013). Sin embargo, algunos autores observaron que en ciertas condiciones pueden reducir el tamaño de las puestas y aumentar el cuidado parental, lo cual es típico de las especies con estrategia “k” (Korniushin y Glaubrecht, 2003). Su reproducción es muy singular y los estudios no han llegado a un acuerdo claro sobre su estrategia reproductiva. Según Morton (1983) la estrategia sexual viene condicionada por el medio, de esta forma, en ambientes lénticos encontramos individuos hermafroditas y dioicos y, en ambientes lóticos, individuos hermafroditas y hembras. Respecto a la temporada reproductiva, presenta una reproducción iterópara ligada a la temperatura, donde hay más de un período reproductor en su vida. La liberación de larvas se produce en dos épocas, primavera y otoño (Britton y Morton, 1986; Rajagopal *et al.*, 2000; Mouthon y Parghentanian, 2004). La madurez sexual también varía mucho entre los estudios. De forma general, los individuos que ya presentan gametos de ambos sexos en la gónada suelen superar entre 6,5 a 10 mm (Sinclair y Isom, 1963; Aldridge y McMahon, 1978). Durante la fecundación, los gametos pueden provenir de diferentes ejemplares (fecundación cruzada) o del mismo individuo (autofecundación), siendo esta última la más utilizada (Kraemer, 1978; Kraemer y Galloway, 1986; McMahon, 2000; Jiménez, 2004). La incubación de los embriones y larvas se puede dar al mismo tiempo en el interior del animal, ya que es una especie ovovivípara (Aldridge y McMahon, 1978; McMahon, 2002).

Área de distribución e historia de su expansión

Procede del sureste asiático (Ituarte, 1981), aunque se cree que su área de distribución natural era más amplia, comprendiendo también zonas de Australia, África y Madagascar (McMahon, 1983).

Su primera datación como especie exótica invasora fue en 1924 cuando se encontró en la costa oeste de Estados Unidos (Counts, 1981). Sin embargo, algunas hipótesis indican que en realidad se trata de un proceso de recolonización, debido a que se han

encontrado registros fósiles de antes de la última glaciación (Pequeña Edad de Hielo, 1550-1850) en Norteamérica y Europa (Pfenninger *et al.* 2002). Tras esta glaciación, las condiciones climáticas han ido mejorando hasta el punto de ser idóneas para la expansión de la almeja asiática.

En Norteamérica continuó expandiéndose de manera longitudinal hasta llegar a la costa este en los años setenta (Counts, 1986). Su expansión por Centro y Suramérica se dio entre 1965 y 1975 (Ituarte, 1981) hasta registrarse en su punto más meridional en 1997 en la Patagonia (Cazzaniga, 1997).

Su llegada a Europa, probablemente desde Norteamérica como aguas de lastre en barcos, se dio en los años ochenta (Kinzelbach, 1991). Los primeros puntos registrados con presencia de *Corbicula fluminea* se sitúan en la Baja Dordogne (Francia) y en el estuario del Tajo (Portugal) (Mouthon, 1981).

Su expansión por la península ibérica empezó en 1980 por las costas atlánticas portuguesas, a través del río Tajo. Poco después se empezó a detectar en más cuencas españolas, por orden cronológico: Cuenca del río Duero, Cuenca del río Guadiana, Cuenca del río Miño, Cuenca del río Ebro, diversas cuencas catalanas, Cuenca del río Mero y Cuenca del río Júcar (Rivas, 2013).

En la Cuenca del Ebro se cita por primera vez en 1997 por López y Altaba en el Delta del Ebro. Hasta 2004 no se volvió a saber nada de esta especie en lo que respecta a la cuenca del río Ebro. Fue el científico biólogo Rafael Araujo quien volvió a encontrar y documentar a esta especie en las acequias de riego de Peralta (Navarra) (Araujo, 2004). A partir de ahí, se expandió por los ríos de Navarra y más tarde, se pudo confirmar que esta especie estaba invadiendo toda la cuenca del río Ebro, al encontrar evidencias de su presencia en el río Jalón (Oscóz *et al.*, 2006).

Su historia evolutiva nos demuestra la gran adaptación a diferentes condiciones climáticas que tiene esta especie para colonizar todos los continentes (Figura 2) (Sousa *et al.*, 2006)



Figura 2. Distribución mundial de la almeja asiática. Fuente: Paleoymás, 2019b.

Impactos ecológicos y sociales

Ecológicamente, la presencia de almeja asiática perjudica a otras especies autóctonas, con las que comparte el bentos, como las náyades o bivalvos de agua dulce (Araujo *et al.*, 1993). En la cuenca del río Ebro podemos encontrar 4 especies diferentes: *Margaritifera auricularia*, *Unio mancus*, *Potomida littoralis* y *Anodonta anatina* (Araujo *et al.*, 2009). En el último siglo las poblaciones de estas especies han variado mucho. A grandes rasgos, *M. auricularia* se encuentra en peligro de extinción, *U. mancus* y *P. littoralis* como vulnerables y *A. anatina* en el listado de especies en Régimen de Protección Especial (Decreto 129/2022), todos ellos han sufrido una disminución bastante considerablemente en el río Ebro (Rubio *et al.*, 2016).

Económicamente, puede producir una serie de daños a infraestructuras del medio acuático. Un claro ejemplo de los daños ocasionados es la acumulación de grandes cantidades de individuos en las bocas de las tuberías de circuitos de agua industrial y doméstica bloqueando la salida y entrada de agua (McMahon, 1983).

A pesar de sus efectos negativos, la *Corbicula fluminea* tiene un efecto positivo sobre el río debido a que tiene una tasa de filtración bastante elevada y acelera el reciclaje de nutrientes dentro del río (McMahon, 1991; Correa *et al.*, 1992). El calcio de la descomposición de las conchas también aporta nutrientes al suelo. Además, las conchas abiertas pueden servir de refugio para otras especies ante condiciones abióticas adversas y depredadores (Sousa *et al.*, 2006). También puede servir como

bioindicador bentónico de la concentración de metales pesados en el río (Cataldo y Boltoyskoy, 2001).

Legislación que le afecta

Convenios internacionales

- Convenio sobre la Diversidad Biológica (CBD). 1992.

Art. 8. Conservación *in situ*.

Cada Parte Contratante, en la medida de lo posible y según proceda: h) Impedirá que se introduzcan, controlará o erradicará las especies exóticas que amenacen a ecosistemas, hábitats o especies.

- Convenio internacional para el control y gestión de las aguas de lastre y sedimentos de los buques. 2004.

Normativa europea y estrategias

- Convenio de Berna, del 19 de septiembre de 1979, relativo a la conservación de la vida silvestre y del medio natural de Europa.

Art 11.2: b) controlar estrictamente la introducción de especies no indígenas

- Reglamento (CE) 708/2007, del Consejo, de 11 de junio de 2007, sobre el uso de las especies exóticas y las especies localmente ausentes en la acuicultura.
- Estrategia de la UE sobre la biodiversidad hasta 2020: nuestro seguro de vida y capital natural (CE 2011).

Objetivo 5: Determinar y jerarquizar por orden de prioridad, no más tarde de 2020, las especies exóticas invasoras y sus vías de introducción, controlar o erradicar las especies prioritarias y gestionar las vías de introducción para impedir la irrupción y establecimiento de nuevas especies.

- Reglamento (CE) 1143/2014, sobre prevención y gestión de la introducción y propagación de las especies exóticas invasoras.

Normativa nacional

- La Directiva Europea 92/43/CE, relativa a la conservación de los hábitats naturales y de fauna y flora silvestres (Directiva Hábitats)
- La Directiva 2000/60/CE, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas (Directiva Marco del Agua)
- Estrategia Nacional de Restauración de ríos (2010). Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.
- Real Decreto 630/2013, de 2 de agosto, por el que se regula el Catálogo Español de Especies Exóticas Invasoras.
- Ley 33/2015, de 21 de septiembre, por la que se modifica la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad.

Art. 64. Catálogo Español de Especies Exóticas Invasoras.

Normativa aragonesa

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

Art. 8: Medidas específicas de protección se indica que:

- Queda prohibida en todas las aguas de la Comunidad Autónoma de Aragón la introducción, repoblación o traslocación de individuos de especies alóctonas de bivalvos dulceacuícolas.
- Quedan prohibidos para el conjunto del territorio aragonés la tenencia y transporte en vivo de bivalvos dulceacuícolas foráneos, así como de sus restos, a excepción de las valvas desecadas. Las excepciones a esta prohibición sólo podrán venir motivadas por el desarrollo de programas de investigación científica, que, en cualquier caso, deberán contar con autorización expresa del Instituto Aragonés de Gestión Ambiental.
- Listado de especies invasoras de fauna de Aragón (2014). Departamento de Desarrollo Rural y Sostenibilidad (Guerrero y Jarne, 2014).

1.3 Antecedentes

La almeja asiática se encuentra entre la lista de las 100 especies invasoras más dañinas del mundo (Lowe *et al.*, 2004). Hay muchos estudios que respaldan la capacidad de adaptación a distintos ambientes (McMahon, 1983; McMahon y Williams, 1984; Sousa *et al.*, 2006; Viergutz *et al.*, 2012; Giglio *et al.*, 2012; Modesto *et al.*, 2013). Así como, también hay estudios que demuestran su alta tasa de crecimiento y reproducción, lo cual la hace idónea para tener un gran potencial invasor (McMahon, 1983; Araujo *et al.*, 1993; Cataldo y Boltovskoy, 2001; McMahon, 2000, 2002; Darrigran, 2002; Sousa *et al.*, 2008b).

Debido a los impactos ocasionados sobre fauna autóctona, la almeja asiática también ha sido objeto de muchos estudios. En concreto, se ha relacionado con la disminución de las poblaciones de náyades (Javierre, 2015; Gimeno, 2017; Campos, 2019).

Algunos autores que han contribuido en gran medida a ampliar los conocimientos de la almeja asiática en la península ibérica son Rafael Araujo y Ronaldo Sousa. Araujo, dentro de los proyectos de investigación de las náyades, ha aportado información científica sobre la ecología, morfología y anatomía de la *C. fluminea* (Araujo *et al.*, 1993, 1994). Por otra parte, Sousa tiene varios estudios sobre los impactos de la almeja asiática como especie invasora (Sousa *et al.*, 2008b, 2009).

La Confederación Hidrográfica del Ebro, inició por primera vez en 2019, una campaña para el control y vigilancia de las masas de aguas superficiales de la Cuenca del Ebro. Los datos de esta campaña son los que se utilizan en el presente estudio para establecer la evolución de sus poblaciones. Esta campaña servirá para tomar medidas que traten de controlar y reducir los impactos de las *C. fluminea*, pues aún no se han tomado medidas al respecto. Sin embargo, sí que hay estudios que han desarrollado una serie de propuestas para mejorar su gestión (Álvarez y Javierre, 2015; Gómez y Nakamura, 2019).

La presencia de esta especie invasora en otras cuencas de España, también ha promovido el desarrollo de estrategias para su gestión. Por ejemplo, se desarrolló un estudio sobre la *Determinación experimental de técnicas para el control y eliminación de las poblaciones de almeja asiática en la Cuenca del Guadiana* en el año 2018 (GTA, 2018). A nivel mundial, se han llevado a cabo medidas de gestión para el control de la especie. Un estudio realizado en un lago ultra oligotrófico de California, usó una barrera bentónica impermeable a los gases que producía condiciones de anoxia consiguiendo la muerte de almeja asiática de forma efectiva a corto y largo plazo (Wittmann *et al.*,

2012). Otro estudio desarrollado *ex situ* aplica gránulos de hielo seco para disminuir la temperatura ambiental de forma local obteniendo una mortalidad de *C. fluminea* a corto plazo. Sin embargo, este estudio requiere de experimentos *in situ* y con corrientes de agua (Coughlan *et al.*, 2018).

1.4 Justificación

La almeja asiática representa una amenaza para el ecosistema fluvial español, ya que se encuentra en casi todas las cuencas hidrográficas de España (MITECO, 2013). Teniendo en cuenta su capacidad para colonizar nuevos ambientes, resulta imprescindible estudiar la evolución de las poblaciones en la Cuenca del Ebro. Entre sus impactos más estudiados están las afecciones, a la especie autóctona, margaritona *Pseudunio auricularis*, antiguamente conocida como *Margaritifera auricularia*, una náyade catalogada como especie amenazada y en peligro de extinción (UICN, 2022; RD 139/2011; Decreto 129/2022). Otros daños a considerar son los producidos sobre los sistemas hidráulicos, ya que tiene un efecto directo negativo sobre la economía (MITECO, 2013).

Por tanto, este estudio pretende profundizar en los conocimientos que se tienen sobre esta especie. Contribuyendo en 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
- 15. Vida submarina

1.5 Objetivos generales y específicos

El objetivo principal es caracterizar y analizar cuantitativa y cualitativamente la evolución de las poblaciones de almeja asiática en 4 puntos del río Ebro y 12 puntos de 6 afluentes diferentes de dicho río en el tramo Tudela-Zaragoza (Navarra-Aragón), desde 2019 hasta 2022.

Los objetivos específicos incluyen:

- Conocer la distribución y densidad poblacional
- Establecer la estructura de edades

- Caracterizar el hábitat en el que vive
- Determinar sus preferencias bióticas y abióticas
- Valorar cómo afecta al resto del ecosistema.

2. Material y métodos

2.1 Área de estudio

2.1.1 Situación geográfica y dimensiones

La cuenca hidrográfica del río Ebro tiene una extensión de 85.534 km², y se sitúa en el nordeste de la Península Ibérica. Limita al norte con los Pirineos y los Montes Cantábricos, al sureste con el Sistema Ibérico y por el este con la Cordillera Costero-catalana (CHE, 2022). La cuenca abarca 9 comunidades autónomas, de oeste a este, Cantabria, Castilla y León (Burgos y Soria), La Rioja, País Vasco, Navarra, Aragón, Cataluña (Lérida, Gerona y Tarragona), Comunidad Valenciana (Castellón) y Castilla-La Mancha (Guadalajara). Entre todas ellas las que más superficie abarcan son Aragón (49,2%), Cataluña (18,3%) y Navarra (10,8%) (Figura 3) (CHE, 2015).

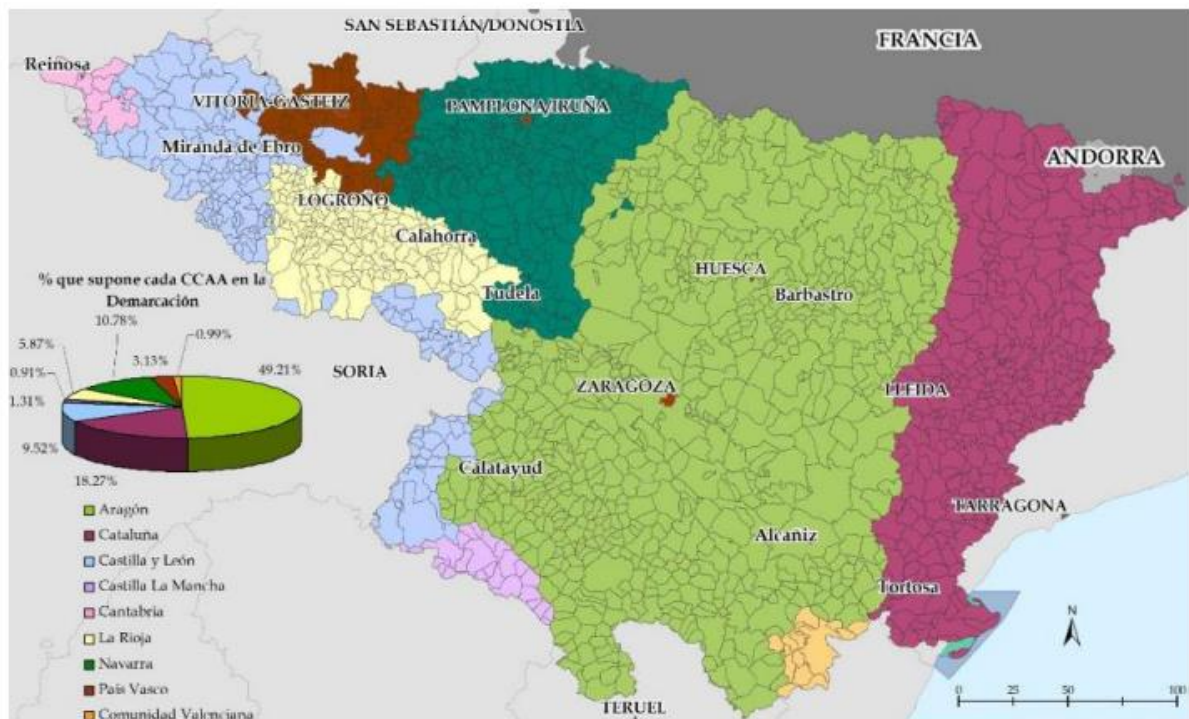


Figura 3. Ámbito territorial de la Demarcación Hidrográfica del Ebro. Fuente: Ministerio de Agricultura y Transición Ecológica, 2015.

Por su eje central pasa el río Ebro. Se trata del río más caudaloso de España, sin tener en cuenta el Duero en su paso por Portugal (Ollero *et al.*, 2004). Tiene una longitud de 950 km desde su nacimiento en el pico Tres Mares (Cantabria) hasta su desembocadura en el Delta del Ebro (Tarragona, Cataluña). Este río tiene un papel muy importante a nivel ambiental y territorial, por la diversidad de ecosistemas que alberga y su dependencia a nivel socioeconómico y cultural (Ollero, 1996). Por una parte, ofrece

varios servicios ecosistémicos a la sociedad tales como el abastecimiento de agua a núcleos urbanos, agricultura, ganadería e industria y energía hidráulica. También da servicios de regulación como la purificación del agua y por último, pero no menos importante, proporciona servicios culturales por su uso recreativo y turístico (CHE, 2022).

El tramo de estudio se concentra en el eje del río Ebro y sus afluentes, excluyendo los humedales y meandros abandonados del río, desde Tudela hasta Zaragoza. Los puntos elegidos del eje del río Ebro se trataron de coger lo más equidistantes posibles entre ellos, de forma que entre cada punto hay una distancia de 25-30 km. Respecto a los afluentes, se han escogido dos puntos de muestreo por cada afluente (uno en la desembocadura, con al menos 500 metros de distancia al río Ebro, y otro, aguas arriba). La elección de los lugares exactos de muestreo se estableció en campo siguiendo criterios de accesibilidad, profundidad y representatividad de la zona. En el Anexo 1 se puede observar la distribución de los puntos. A continuación, en la tabla 1, se indican los ríos y puntos de muestreo elegidos.

Tabla 1. Estaciones de muestreo en el tramo de estudio.

Estación de muestreo		Río	Provincia	Coord. ETRS89 Huso	
				X	Y
Estación 1	Tudela	Ebro	Navarra	615590	4658027
Estación 2	Tudela'	Queiles	Navarra	614485	4657341
Estación 3	Cascante	Queiles	Navarra	609466	4650188
Estación 4	Novillas	Ebro	Zaragoza	634351	4642749
Estación 5	Novillas'	Huecha	Zaragoza	632894	4644219
Estación 6	Cortes	Huecha	Zaragoza	631366	4641861
Estación 7	Gallur	Arba	Zaragoza	640220	4637790
Estación 8	Ejea de los Caballeros	Arba	Zaragoza	648000	4657085
Estación 9	Remolinos	Ebro	Zaragoza	651124	4632084

Estación 10	Torres de Berrellén	Jalón	Zaragoza	660317	4626474
Estación 11	Plasencia de Jalón	Jalón	Zaragoza	646867	4616382
Estación 12	Zaragoza	Ebro	Zaragoza	674661	4614979
Estación 13	Zaragoza'	Huerva	Zaragoza	673713	4609050
Estación 14	Botorrita	Huerva	Zaragoza	664370	4597364
Estación 15	Zaragoza''	Gállego	Zaragoza	679218	4614192
Estación 16	Zuera	Gállego	Zaragoza	682561	4626784

La longitud total del tramo de estudio consta de 116 km, por el río Ebro, desde Tudela hasta Zaragoza (medido con Google Earth, 2022).

2.1.2 Climatología

La depresión del Ebro se caracteriza por tener un clima continental seco (CHE, 2015). Las precipitaciones son escasas e irregulares. A nivel de cuenca son más abundantes en el norte (Figura 4) y durante el año, se concentran en primavera y otoño. La precipitación media anual en Tudela es de 388 l/m² (calculado con datos de 1986-2021) y en Zaragoza (calculado de 1981-2010) de 322 l/m² (Navarra.es, 2022; AEMET, 2022).

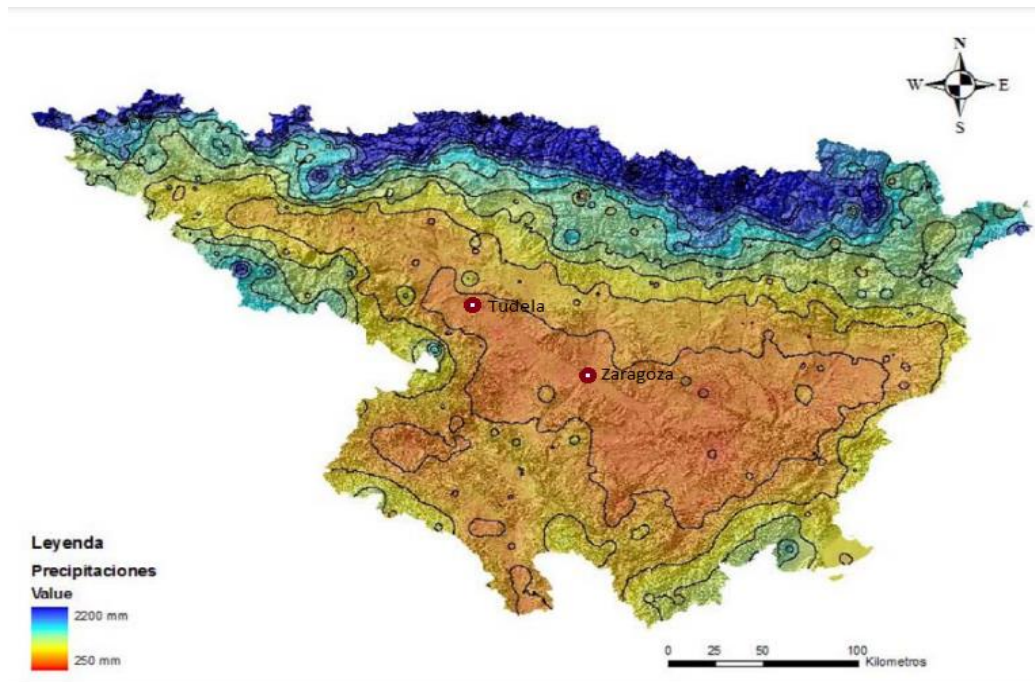


Figura 4. Distribución de las precipitaciones medias anuales en la Demarcación Hidrográfica del Ebro. Imagen modificada de la original realizada por la CHE.

Las temperaturas de la depresión del Ebro son bastante variables a lo largo del año. Comparando los datos de Tudela y Zaragoza las temperaturas medias en invierno, son en torno a los 6°C y en verano en torno a los 25°C (Navarra.es, 2022; AEMET, 2022).

2.1.3 Hidrología

El río Ebro sufre bastantes variaciones de caudal a lo largo del año. El tramo medio en su paso por Zaragoza, es propenso a las crecidas con riesgo de inundación. Estas crecidas se han producido siempre, pero en las últimas décadas han sido más frecuentes. Destacamos las de 1961, 1966, 1978, 1980, 1981, 1993, 2003, 2007, 2015 y 2018 (Figura 5) (Ebro Resilience, 2021).

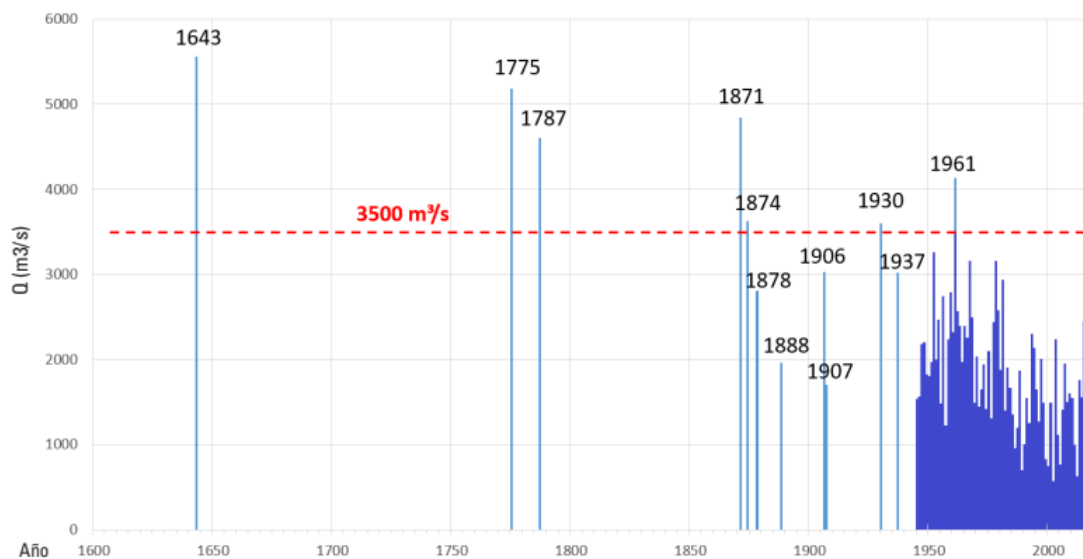


Figura 5. Caudales de las crecidas históricas estimados hasta 1944 y reales medidos desde 1945. Fuente: Ebro Resilience, 2022.

En los últimos 4 años el caudal medio por su paso por Zaragoza ha estado en torno a los 200 m³/s. Los máximos se alcanzan en invierno con caudales entre 1500-2000 m³/s. En cambio, los mínimos se dan en verano con valores en torno 30-40 m³/s (SAIH, 2022). Respecto a los afluentes, los ríos del margen izquierdo tienen un aporte de agua mucho mayor que los del derecho. Esto se debe a la influencia de las precipitaciones del norte de la cuenca. En el Trabajo Fin de Máster sobre el *Análisis de la Gestión de los Recursos Hídricos en la Cuenca del Río Ebro* (Sánchez, 2018), se plantea un balance hídrico del funcionamiento de la Cuenca del Ebro, donde divide el territorio en subsistemas para analizar por partes la cuenca. Los resultados indican que hay un desequilibrio por falta de regulación de los recursos hídricos en varios subsistemas. Estas zonas críticas corresponden al subsistema 4, 7, 8, 10 y 15 (Figura 6).



Figura 6. Cuenca del Ebro dividida por subsistemas. Fuente: Sánchez, 2018.

En este trabajo los subsistemas que conciernen son 1 (Eje del Ebro), 4 (afluentes Cidacos Queiles y Huecha), 5 (Jalón), 6 (Huerva), 14 (Gállego) y 15 (Arba).

2.1.4 Geomorfología y geología

La cuenca del Ebro se configuró entre el Terciario y Cuaternario durante la orogenia alpina. Se trata de una cuenca de antepaís que se formó cuando la subplaca ibérica, empujada por la placa africana, chocó con la placa euroasiática, formando los Pirineos. En consecuencia, los materiales que forman esta cuenca proceden de la orogenia pirenaica (CHE, 2015).

En el tramo de estudio, como podemos observar en el Anexo 2, los principales materiales que encontramos son areniscas, conglomerados, arcillas, calizas y evaporitas en color mostaza; y gravas, conglomerados, arenas y limos en beige (IGME, 2022).

2.1.5 Vegetación

Las plantas que encontramos en la depresión del Ebro se caracterizan por estar adaptadas a duras condiciones climáticas como sequías, insolación y suelos salinos. Además, la acción humana a lo largo de la historia también ha influenciado en la vegetación que podemos encontrar hoy en día. Las formaciones vegetales principales que encontramos en esta zona son la sabina albar (*Juniperus thurifera*), estepas dominadas por gramíneas como el esparto (*Lygeum spartum*) y el fenal (*Brachypodium retusum*) y pequeñas matas leñosas de romero (*Salvia rosmarinus*), tomillo (*Thymus*

vulgaris) y aliaga (*Genista scorpius*); y pinares de pino carrasco (*Pinus halepensis*) (Domínguez y Puente, 2008).

Entre la vegetación acuática más común encontramos plantas flotantes como la lenteja de agua (*Lemna minor*), plantas sumergidas enraizadas al lecho del río como *Ceratophyllum demersum*, *Potamogeton* sp. y otras con la raíz sumergida y la mayor parte del tallo fuera del agua, como el carrizo (*Phragmites australis*), aneas (*Typha* sp.) y lirio amarillo (*Iris pseudacorus*). El sotobosque está formado por árboles de gran envergadura como el álamo blanco (*Populus alba*), el chopo negro (*Populus nigra*), el fresno (*Fraxinus angustifolia*), el olmo (*Ulmus minor*) y el sauce blanco (*Salix alba*), entre otros. En niveles inferiores del sotobosque encontramos madreselva (*Lonicera etrusca*), hiedra (*Hedera helix*), zarzas (*Rubus ulmifolius*) y rosales silvestres (*Rosa* sp.), entre una gran variedad de plantas que dan frondosidad a la ribera del río (Figura 7) (Domínguez y Puente, 2008).



Figura 7. Río Arba en Gallur con una frondosa vegetación de ribera.

También es muy común la presencia de tamarices (*Tamarix* sp.) que sustituyen al sotobosque en suelos de grava o salinos (Figura 8). En zonas propensas a inundarse varios meses o donde el sotobosque ha sido talado suelen establecerse juncales (Domínguez y Puente, 2008).



Figura 8. Río Jalón en Plasencia de Jalón con presencia de tamariz en la orilla de enfrente.

Los cultivos son una parte muy importante de la cuenca del Ebro ya que requieren gran parte de la demanda de agua. Se pueden diferenciar dos tipos de cultivos: herbáceos y leñosos. Los cultivos herbáceos más representativos son la alfalfa, la cebada, el maíz, el trigo y el arroz; y los cultivos leñosos más abundantes son el melocotonero, choperas, el viñedo de uva para vino, el peral y el olivar para aceite (CHE, 2015).

2.2 Trabajo de campo

Para la elaboración de este trabajo lo primero que se hizo fue un análisis exhaustivo de la bibliografía relativa a estudios sobre la biología, el área de distribución histórica y resultados de trabajos y/o prospecciones anteriores de *Corbicula fluminea* tanto en la cuenca de estudio como en otros ríos.

Los trabajos de muestreo de *C. fluminea* se realizaron tanto en el eje del río Ebro como en los afluentes. Para dividir el trabajo de campo, se realizó el muestreo del río en los años 2019 y 2021 y el muestreo de los afluentes en los años 2020 y 2022. La época del año elegida fue en los meses de verano (julio-agosto), debido a que el caudal y las condiciones meteorológicas nos permiten realizar mejor el trabajo. La autora de este TFG participó en los muestreos de los dos últimos años.

Para que los datos sean comparables entre diferentes años y se puedan apreciar las tendencias, se seleccionaron los puntos georreferenciados de los estudios de distribución de *C. fluminea* realizados anteriormente por la empresa Paleoymás.

En el estudio realizado este año (2022) en el tramo de Tudela a Zaragoza, las estaciones de muestreo que se han elegido han sido tanto del eje del río Ebro como de los afluentes principales con el objetivo de enriquecer la información aportada de los años anteriores.

Las muestras se intentaron tomar de la manera más representativas posibles, para que extrapolar los resultados fuesen representativos de todo el lecho del río. Debido a que la distribución de la almeja asiática no es homogénea y tiene más afinidad por suelos arenosos (Aguirre y Poss, 1999), se recogieron muestras de cada tipo de sustrato (grava, arena y limo). De esta forma, podríamos comprobar su afinidad por cada tipo de suelo y calcular las densidades relativas y totales por m² en el lecho del río. En el momento de la toma de muestras se establecieron los tipos de sustratos existentes y, a continuación, se tomaron 3 réplicas aleatorias en diferentes puntos del río por cada tipo de sustrato. El área de muestra fue un cuadrado de 50x50 cm (Figura 9), la profundidad depende de los ejemplares, de tal forma que se profundizará con la pala hasta que no queden ejemplares en ese cuadrado.



Figura 9. Cuadrado de 50x50 cm, pala, criba y bolsa con muestra de almeja asiática.

De forma excepcional, en los puntos donde fue necesario adentrarse en zonas más profundas del río debido al caudal o estructura del río, se realizaron los muestreos con ayuda de buzos.

Además de la toma de ejemplares de almeja asiática, se tomaron medidas de los parámetros fisicoquímicos del agua en el momento del muestreo. Los parámetros medidos son la temperatura del agua del río, la conductividad, los sólidos totales disueltos del agua y el pH. Los primeros tres parámetros se miden con una sonda multiparamétrica y el pH se mide con tiras reactivas de pH 6 - 8,1.

Las muestras se introdujeron en bolsas de plástico etiquetadas con agua para mantenerlas vivas (Figura 10). Una vez terminada la jornada de campo, se trasladaron a los laboratorios y se introdujeron en cubos con agua nueva, de esta forma sobreviven hasta el análisis de muestras en laboratorio. Se ha comprobado por experiencia propia que la supervivencia en los cubos, sin renovación del agua, es de 1 día. Debido a este motivo los trabajos de laboratorio se hicieron al día siguiente del muestreo en campo.



Figura 10. Etiquetación de las muestras de *Corbicula fluminea*.

El procedimiento y los materiales necesarios para llevar a cabo los trabajos de campo son los siguientes:

1º En las instalaciones de Paleoymás se recogió todo el material que va a ser utilizado: vadeadores, cuadrado metálico, pala, criba, bolsas de plástico, bridas para cerrar las bolsas, pegatinas para etiquetar las bolsas, bolígrafo permanente, sonda, cámara de fotos y carpeta con las fichas para apuntar las características ambientales de cada estación. En el Anexo 3 se incluyen las fichas de campo completadas para cada estación.

2º Con el vehículo de la empresa ya cargado, nos dirigimos a los puntos de muestreo. En una jornada se suelen hacer 6 estaciones de muestreo aproximadamente. El procedimiento para muestrear consiste en inspeccionar la zona. Primero, se observa los tipos de sustratos existentes y se establecen 3 puntos distintos por tipo de sustrato donde se va a muestrear. Segundo, se clava el cuadrado en el primer punto de muestreo y se empieza a cavar con la pala para sacar los ejemplares de *C. fluminea*. En el caso

que encontremos su presencia, se sigue excavando hasta que se recojan todos los ejemplares de ese cuadrado. Para evitar llevarnos un exceso de sedimento se va cribando al mismo tiempo que se excava y se meten las almejas con parte del sedimento en las bolsas. En el caso contrario de que no haya almeja asiática, se excava a una profundidad de 5 cm todo el cuadrado y se repite el procedimiento 3 veces para asegurarse de que su presencia no se encuentra en ningún punto del río. Por último, una vez fuera del agua, se etiquetan las bolsas para que no haya confusión y se cierran con brindas.

3º Una vez terminada la jornada, se descargó todo el material en Paleoymás. Las bolsas con ejemplares de *C. fluminea* se depositan en cubos con agua nueva y el material utilizado se limpiará según el protocolo de la CHE para evitar la difusión de especies invasoras.

Debido a que el río Ebro es hábitat de varias especies invasoras, como el mejillón cebrado se tuvo en cuenta en todo momento el protocolo de desinfección de la CHE para evitar la dispersión de estas especies (CHE, 2011). El protocolo seguido es el que hace referencia a equipos y complementos de pesca, muestreos o actividades acuáticas. El primer paso del procedimiento fue el vaciado de agua, inspección visual y eliminación de restos, después se llevó a cabo la limpieza y desinfección con agua destilada, en el caso de las canoas y equipos de buzo se llevó a la estación de lavado más próxima. Finalmente, se realizó el secado para que no quede ningún resto de humedad donde refugiarse las larvas.

2.3 Análisis de muestras en laboratorio

Las muestras de los cubos se pasaron a bandejas previamente cribadas y limpias de los sedimentos del río. En el laboratorio se midió la altura y la longitud de cada ejemplar. Dado que los datos de campo estaban representados en 50x50 cm. Para obtener las densidades por metro cuadrado, se multiplicaron por 4.

Por otra parte, también se clasificaron los ejemplares en vivos, muertos o una valva, considerándose en cada caso como un ejemplar completo de almeja asiática.

En aquellas muestras con un elevado número de ejemplares, se dividió la muestra en cuatro partes y se midió sólo un cuarto, posteriormente, estos resultados se multiplicaron por 4. Para que la muestra fuese homogénea, se pesó la muestra entera y se tomó una cuarta parte del peso total, tratando de separar una muestra lo más representativa posible. Finalmente, se midieron todos los ejemplares que contenía la muestra reducida (Figura 11).

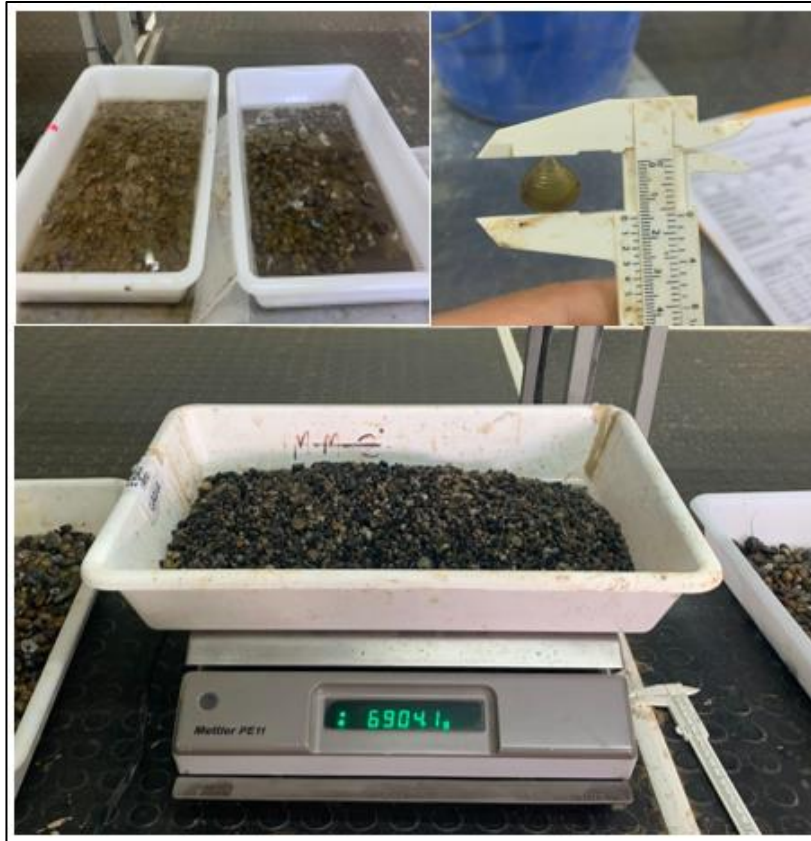


Figura 11. Bandeja y calibre en la imagen superior derecha, calibre con almeja asiática en la imagen superior derecha y muestra en la báscula para dividir la muestra en la imagen inferior.

Al igual que el material de campo, una vez realizadas las medidas, se desinfectó el material utilizado y se depositaron en los contenedores de residuos de la empresa todos los ejemplares de almeja asiática previamente sacrificados con lejía.

2.4 Análisis estadístico de datos

Las variables numéricas que se analizaron fueron la densidad, la altura y longitud de las valvas, la temperatura, pH, conductividad, caudal y sólidos disueltos totales. Además, se analizaron las variables binarias (0 = ausencia y 1 = presencia): presencia de *C. fluminea*, presencia de *D. polymorpha*, presencia de náyades y tipos de sustrato.

La denominación de grava, arena y limo se ha realizado en base a la clasificación del American Geophysical Union (Ibáñez, 2008). En la Tabla 2, se puede ver los tamaños de los sedimentos que se van a mencionar a continuación.

Tabla 2. Clasificación del tamaño de materiales sedimentarios simplificada, basada en la clasificación del AGU. Fuente: Ibáñez, 2008

Clasificación del tamaño de los sedimentos	
Grava gruesa	>16 mm
Grava mediana	8-16 mm
Grava fina	2-8 mm
Arena	2-0,125 mm
Limo	<0,125 mm

En primer lugar, se realizó la estadística descriptiva con las variables altura y longitud (Figura 12). Con ellas se han calculado los máximos y mínimos de cada población. No se ha calculado las alturas y longitudes medias debido a que solo se anotó el valor de “<10 mm” para los ejemplares de menos de 10 mm. Esta medida se tomó así para facilitar la medición, puesto que valores menores de 10 mm no eran relevantes para calcular las edades de los ejemplares.



Figura 12. Medida de la altura y longitud. Fuente: Paleoymás, 2019a.

La longitud se relaciona con la edad de la almeja tal como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Relación de edades de *C. fluminea* en relación con la longitud de la concha (Cataldo y Boltovskoy, 1999; McMahon, 1999, 2002; Javierre, 2015)

Longitud (mm)	<10	10-23	24-30	31-37	>37
Edad (meses)	<6	6-15	16-25	26-36	>36

Puesto que hubo que analizar un gran volumen de datos la clasificación tanto de edades como del estado viva/muerta se realizó con ayuda de Excel (Microsoft Excel, 2021).

Para analizar las posibles relaciones entre las variables se realizó un análisis de componentes principales (PCA) para las variables numéricas y un análisis de coordenadas principales (PCoA) para las variables binarias. Estos análisis permiten determinar que variables podrían estar relacionadas, y seleccionarlas para realizar un test de correlación.

A continuación, se realizó un test de normalidad para conocer la distribución de las variables. Lo que permitió determinar si en las siguientes pruebas teníamos que aplicar estadísticos paramétricos o no paramétricos.

El Test de normalidad que se utilizó fue el Test Shapiro-Wilk, puesto que la muestra no era superior a 50 ($N < 50$). La hipótesis nula planteaba que la muestra tiene una distribución normal y la hipótesis alternativa que no es normal. El nivel de significancia se estableció en 0,05. Por tanto, si p-valor era menor a 0,05 se aceptaba la hipótesis nula que indicaba normalidad en la muestra, pero si p-valor era superior a 0,05 la muestra no tenía una distribución normal. El análisis estadístico se realizó con el software PAST (Hammer *et al.*, 2001).

Los test de correlación aplicados fueron dos, en función de la normalidad de las variables.

- Estadístico paramétrico (para distribuciones normales):
 - o Correlación de Pearson: el coeficiente de correlación tiene un valor entre 0 y ± 1 , si es igual a 0 significa ausencia de relación y si se acerca a +1 y -1 indica que si que hay correlación. A partir de .85 podemos considerar que la relación entre las variables es bastante grande. Por otra parte, valoramos el nivel de significancia con p-valor, es decir, cuando $p < 0,05$ podremos decir que los resultados son estadísticamente significativos. (Morales, 2011).
- Estadístico no paramétrico (para distribuciones no normales):
 - o Correlación de Spearman: sigue los mismos criterios que la correlación de Pearson.

3. Resultados

En este apartado se van a tratar los estudios realizados entre 2019-2022 por Paleoymás S.L, encargados por la CHE, para tener una visión general de la evolución de la almeja asiática. Además, la autora de este TFG ha participado en los muestreos de 2021, como alumna en prácticas y en los de 2022 para realizar su Trabajo de Fin de Grado (TFG). Por ellos, los resultados se presentan de manera general la distribución de *Corbicula fluminea* a nivel de la cuenca del Ebro, y posteriormente de manera específica en el tramo de estudio.

3.1 Resultados de los estudios realizados en la cuenca del Ebro entre 2019-2022.

3.1.1 Resultados del Estudio de distribución de *Corbicula fluminea* en el eje del río Ebro en 2019.

En el estudio de distribución de *C. fluminea* en el eje del río Ebro de 2019 se muestrearon 22 puntos, entre el embalse del Ebro (Cantabria) hasta el Puente del Estado de Tortosa (Tarragona) (Figura 13).

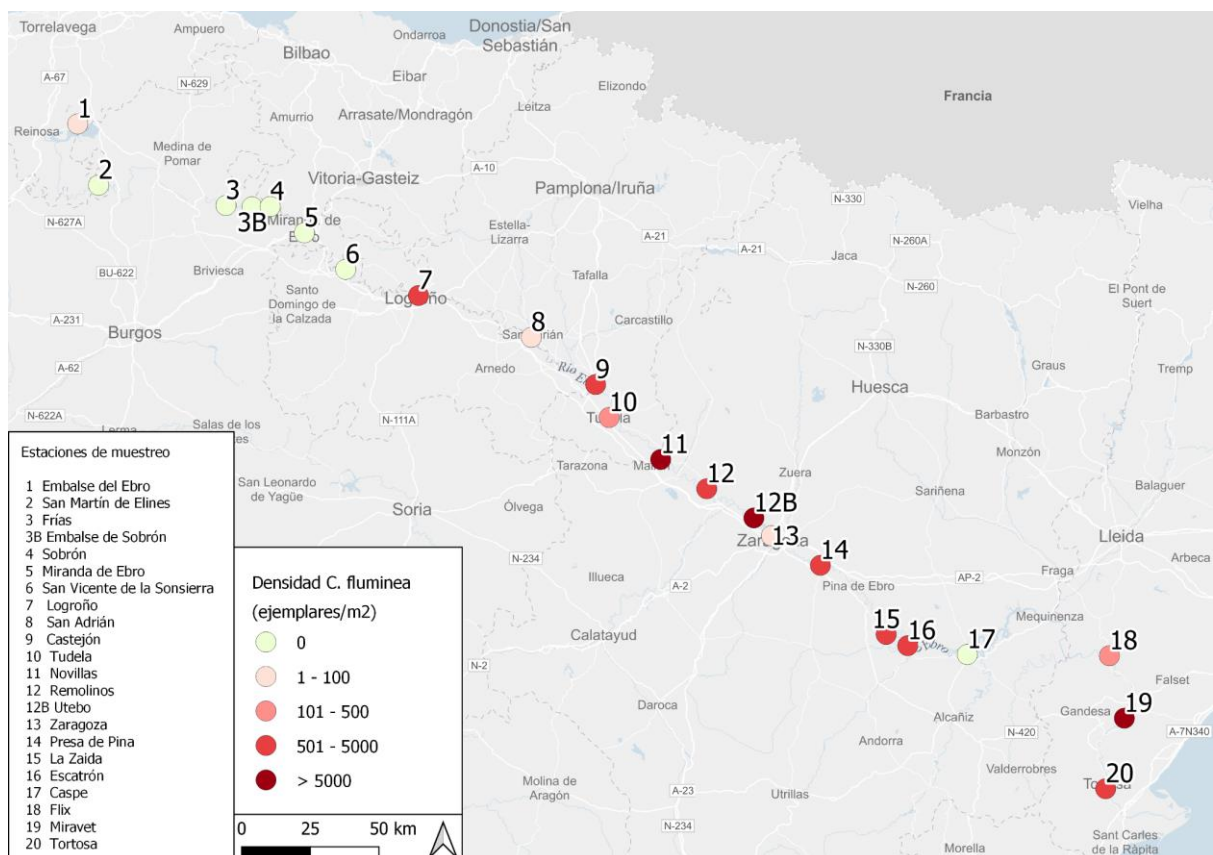


Figura 13. Mapa de densidades de *C. fluminea* por estación de muestreo en 2019. Fuente Paleoymás, 2019a.

En la siguiente tabla (Tabla 4) aparecen todas las estaciones que se muestrearon dicho año, sus ubicaciones ordenadas siguiendo el curso del Ebro y las densidades resultantes calculadas para 2019. En dicho estudio se obtuvieron un total de 53.112 ejemplares repartidos en 15 estaciones. La densidad media fue de 2.414 indiv/m².

Tabla 4. Estaciones de muestreo y densidades de *C. fluminea* en el eje del río Ebro en 2019.
Fuente Paleoymás, 2019a.

Estación de muestreo	Provincia	Coord. ETRS89 Zona 30		Densidad (ejemplares/m ²)
		X	Y	
1 Embalse del Ebro	Cantabria	422076	4764904	4
2 San Martín de Elines	Cantabria	429673	4742612	0
3 Frías	Burgos	476068	4735223	0
3B Embalse de Sobrón	Burgos	492190	4734823	0
4 Sobrón	Álava	504609	4725278	0
5 Miranda de Ebro	Burgos	519651	4711960	0
6 San Vicente de la Sonsierra	La Rioja	546174	4702448	0
7 Logroño	La Rioja	587261	4687226	604
8 San Adrián	La Rioja	610675	4670037	80
9 Castejón	Navarra	615590	4658027	584
10 Tudela	Navarra	634351	4642749	196
11 Novillas	Zaragoza	651124	4632084	31392
12 Remolinos	Zaragoza	674661	4614979	556
12B Utebo	Zaragoza	692512	4604213	7408
13 Zaragoza	Zaragoza	716472	4579043	44
14 Presa de Pina	Zaragoza	724309	4574952	504
15 La Zaida	Zaragoza	745977	4571749	640
16 Escatrón	Zaragoza	294918	4568081	3904
17 Caspe	Zaragoza	298763	4545023	0
18 Flix	Tarragona	290240	4519911	292
19 Miravet	Tarragona	485552	4734717	5600
20 Tortosa	Tarragona	668291	4621456	1304

La distribución de las edades indica que 89,14% de los ejemplares tenía una edad igual o inferior a 15 meses y el 0,85% superan los 26 meses de edad (Figura 14A). De los 13.231 ejemplares, el 40,62% estaban vivos y el 59,38% estaban muertos (Figura 14B). La altura y longitud máxima que se midió fue de 38 y 42 mm, respectivamente.

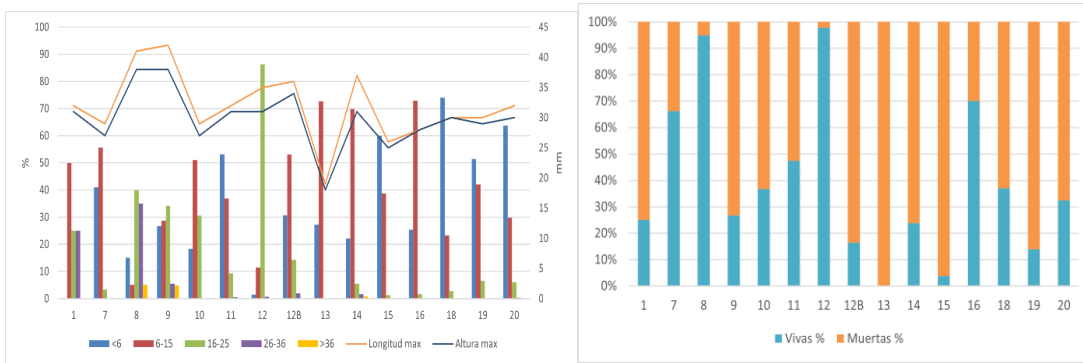


Figura 14A (izquierda). Distribución de edades, altura y longitud máxima en cada estación en 2019 y **Figura 14B** (derecha). Porcentaje de ejemplares vivos y muertos por estación en 2019.

3.1.2 Resultados del Estudio de distribución de *Corbicula fluminea* en los afluentes principales del río Ebro en 2020.

En el estudio de distribución de *C. fluminea* en los afluentes principales del río Ebro de 2020 se muestrearon 44 puntos, desde el río Zadorra a su paso por Miranda de Ebro (Burgos) hasta el río Canaleta en Benifallet (Tarragona) (Figura 15).

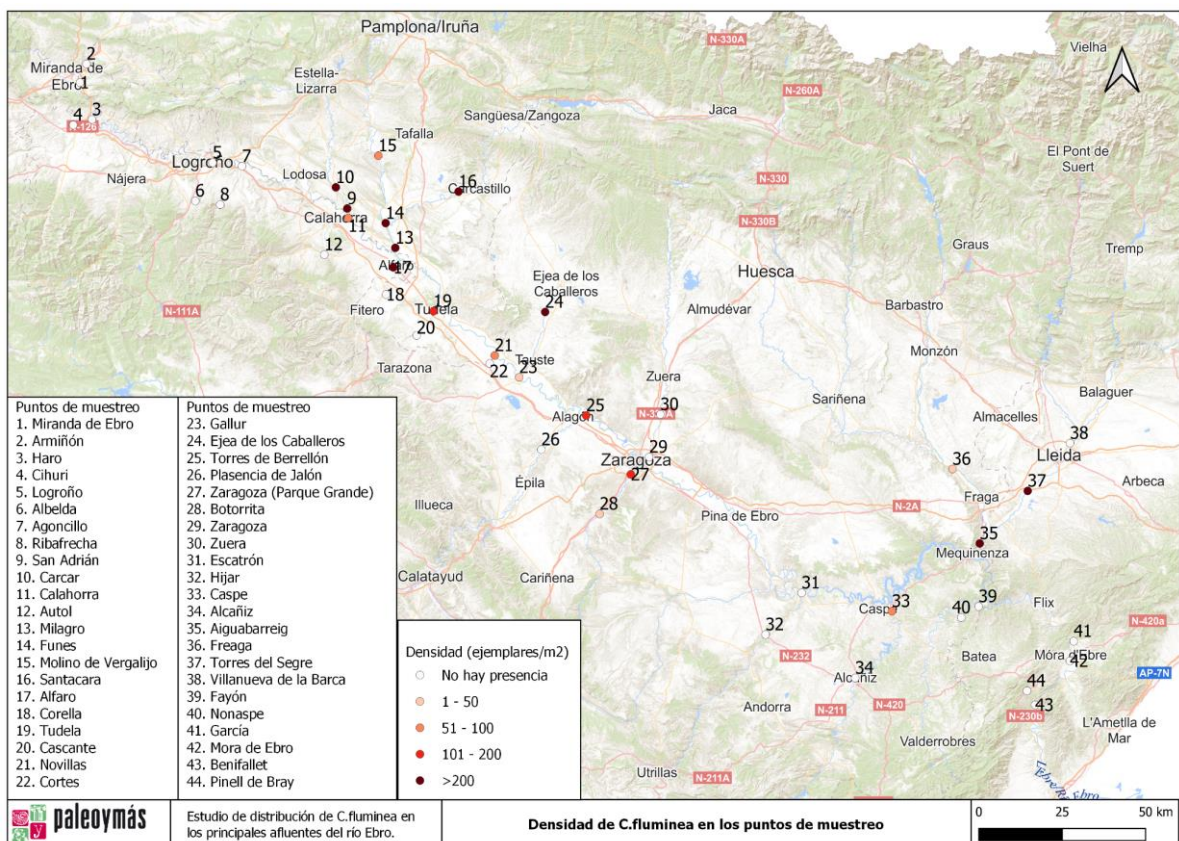


Figura 15. Mapa de densidades de *C. fluminea* por estación de muestreo en 2020. Fuente Paleoymás, 2020.

En la siguiente tabla 5 aparecen todas las estaciones que se muestrearon dicho año, sus ubicaciones ordenadas siguiendo el curso del Ebro y las densidades resultantes calculadas para 2020. En dicho estudio se obtuvo una densidad total de 4.396 indiv/m² repartidos en 19 estaciones. La densidad media fue de 100 indiv/m².

Tabla 5. Estaciones de muestreo y densidades de *C. fluminea* en los afluentes principales del río Ebro en 2020. Fuente Paleomás, 2020.

Estación de muestreo	Río	Provincia	Coord. ETRS89 Zona 30		Densidad (ejemplares/m ²)	
			X	Y		
1	Miranda de Ebro	Zadorra	Burgos	508451	4724967	0
2	Armiñón	Zadorra	Álava	510401	4730455	0
3	Haro	Tirón	La Rioja	512058	4714001	0
4	Cihuri	Tirón	La Rioja	506426	4712411	0
5	Logroño	Iregua	La Rioja	548222	4701244	0
6	Albelda	Iregua	La Rioja	543061	4689968	0
7	Agoncillo	Leza	La Rioja	557045	4700211	0
8	Ribafrecha	Leza	La Rioja	550500	4688860	0
9	San Adrián	Ega	Navarra	588618	4687703	224
10	Carcar	Ega	Navarra	585214	4693974	280
11	Calahorra	Cidacos	Navarra	588922	4684879	56
12	Autol	Cidacos	La Rioja	581744	4674066	0
13	Milagro	Aragón	Navarra	603054	4676071	596
14	Funes	Arga-Aragón	Navarra	600153	4683382	200
15	Molino de Vergalijo	Arga	Navarra	597959	4703332	52
16	Santacara	Aragón	Navarra	622022	4692720	252
17	Alfaro	Alhama	La Rioja	602409	4670296	1132
18	Corella	Alhama	Navarra	600255	4662271	0
19	Tudela	Queiles	Navarra	614485	4657341	112
20	Cascante	Queiles	Navarra	609466	4650188	0
21	Novillas	Huecha	Zaragoza	632894	4644219	72
22	Cortes	Huecha	Zaragoza	631366	4641861	0
23	Gallur	Arba	Zaragoza	640220	4637790	8
24	Ejea de los Caballeros	Arba	Zaragoza	648000	4657085	560
25	Torres de Berrellén	Jalón	Zaragoza	660317	4626474	104
26	Plasencia de Jalón	Jalón	Zaragoza	646867	4616382	0
27	Zaragoza (Parque Grande)	Huerva	Zaragoza	673713	4609050	100
28	Botorríta	Huerva	Zaragoza	664370	4597364	8
29	Zaragoza	Gállego	Zaragoza	679218	4614192	0
30	Zuera	Gállego	Zaragoza	682561	4626784	0
31	Escatrón	Martín	Zaragoza	724968	4574034	0
32	Hijar	Martín	Zaragoza	714132	4561672	0
33	Caspe	Guadalope	Zaragoza	752045	4568570	80
34	Alcañiz	Guadalope	Zaragoza	741035	4548814	0
35	Aiguabarreig	Cinca	Lleida	778409	4588628	228
36	Fraga	Cinca	Huesca	770228	4610644	32
37	Torres del Segre	Segre	Lleida	792788	4604162	300
38	Villanueva de la Barca	Segre	Lleida	805504	4618294	0
39	Fayón	Matarraña	Zaragoza	778070	4569987	0
40	Nonaspe	Algás	Zaragoza	772869	4566711	0
41	García	Ciurana	Tarragona	806604	4559708	0
42	Mora de Ebro	Sec	Tarragona	805446	4553873	0
43	Benifallet	Canaleta	Tarragona	795045	4540869	0
44	Pinell de Bray	Canaleta	Tarragona	792580	4545027	0

La distribución de las edades indica que el 91,9% de los ejemplares tenía una edad igual o inferior a 15 meses y el 1,27% superan los 26 meses de edad (Figura 16A). De los 1.099 ejemplares, el 52,1% estaban vivos y el 47,9% estaban muertos. Sin embargo, cabe destacar que el 45,67% de los ejemplares muertos tienen igual o menos de 6 meses, mientras que los ejemplares vivos que tienen igual o menos de 6 meses son el 3,96% (Figura 16B). La altura y longitud máxima que se midió fue de 31 y 33 mm, respectivamente.

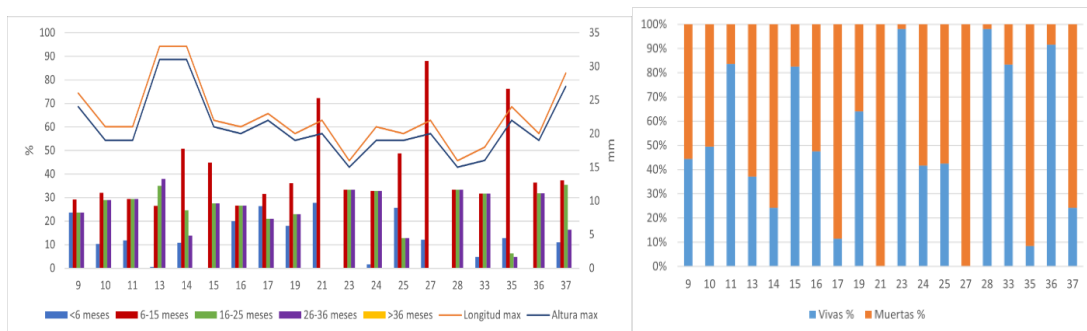


Figura 16A (izquierda). Distribución de edades, altura y longitud máxima en las estaciones con presencia de *C. fluminea* en 2020 y **Figura 16B** (derecha). Porcentaje de ejemplares vivos y muertos en las estaciones con presencia de *C. fluminea* en 2020.

3.1.3 Resultados del estudio de distribución de *Corbicula fluminea* en el eje del río Ebro en 2021.

El año pasado (2021) se repitió el muestreo realizado en el cauce principal del río Ebro de 2019 (Figura 17).

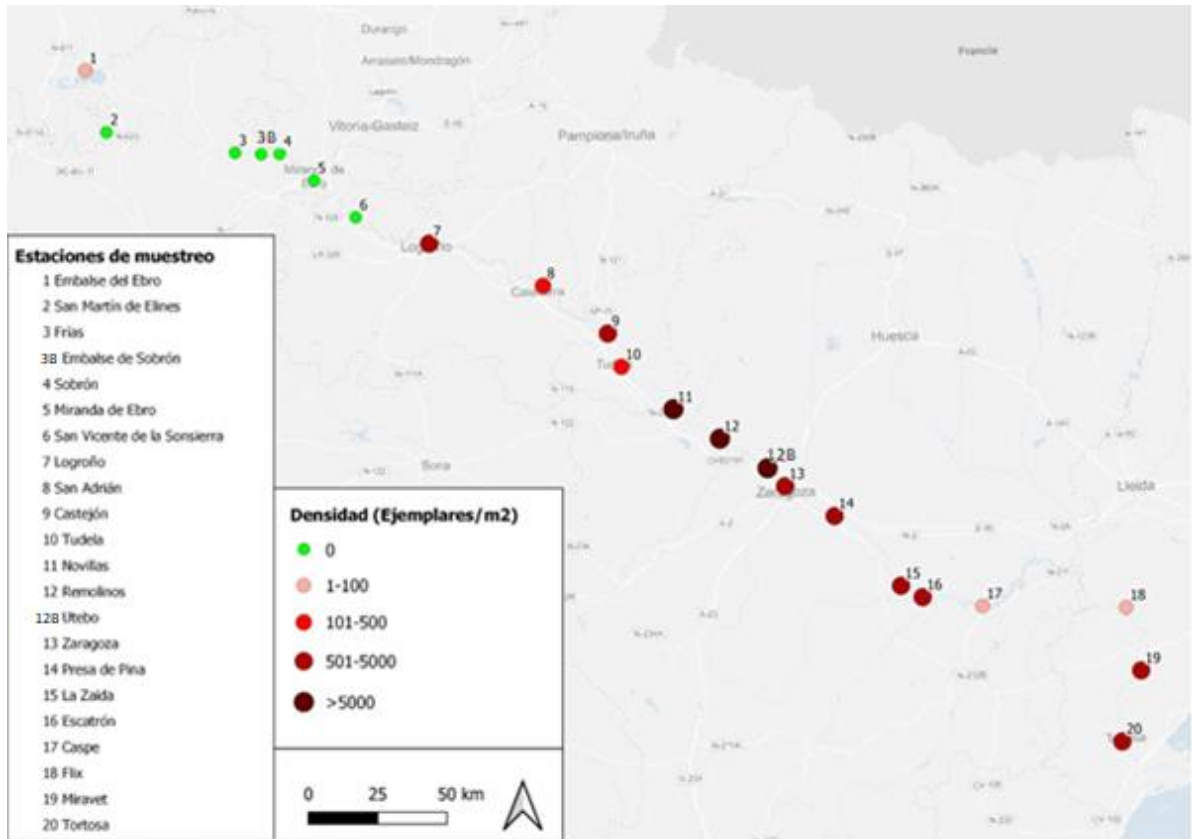


Figura 17. Mapa de densidades de *C. fluminea* por estación de muestreo en 2021. Fuente Paleomás, 2021.

En la siguiente tabla 6 aparecen todas las estaciones que se muestrearon dicho año y las densidades resultantes calculadas para 2021. En dicho estudio se obtuvo una densidad total de 64.467 indiv/m² repartidas en 16 estaciones (una estación más que en 2019). La densidad media fue de 2.930 indiv/m².

Tabla 6. Estaciones de muestreo y densidades de *Corbicula fluminea* en el eje del río Ebro en 2021. Fuente Paleoymás, 2021.

Estación de muestreo	Provincia	Coord. ETRS89 Zona 30		Densidad (ejemplares/m ²)
		X	Y	
1 Embalse del Ebro	Cantabria	422076	4764904	92
2 San Martín de E lines	Cantabria	429673	4742612	0
3 Frías	Burgos	476068	4735223	0
3B Embalse de Sobrón	Burgos	492190	4734823	0
4 Sobrón	Álava	504609	4725278	0
5 Miranda de Ebro	Burgos	519651	4711960	0
6 San Vicente de la Sonsierra	La Rioja	546174	4702448	0
7 Logroño	La Rioja	587261	4687226	1444
8 San Adrián	La Rioja	610675	4670037	316
9 Castejón	Navarra	615590	4658027	768
10 Tudela	Navarra	634351	4642749	372
11 Novillas	Zaragoza	651124	4632084	33136
12 Remolinos	Zaragoza	674661	4614979	9852
12B Utebo	Zaragoza	692512	4604213	8403
13 Zaragoza	Zaragoza	716472	4579043	1432
14 Presa de Pina	Zaragoza	724309	4574952	608
15 La Zaida	Zaragoza	745977	4571749	572
16 Escatrón	Zaragoza	294918	4568081	4120
17 Caspe	Zaragoza	298763	4545023	28
18 Flix	Tarragona	290240	4519911	64
19 Miravet	Tarragona	485552	4734717	984
20 Tortosa	Tarragona	668291	4621456	2276

La distribución de las edades indica que el 95,15% de los ejemplares tenía una edad igual o inferior a 15 meses y el 1,06% superan los 26 meses de edad (Figura 18A). De los 1.099 ejemplares, el 24,97% estaban vivos y el 75,03% estaban muertos (Figura 18B). La altura y longitud máxima que se midió fue de 32 y 35 mm, respectivamente.

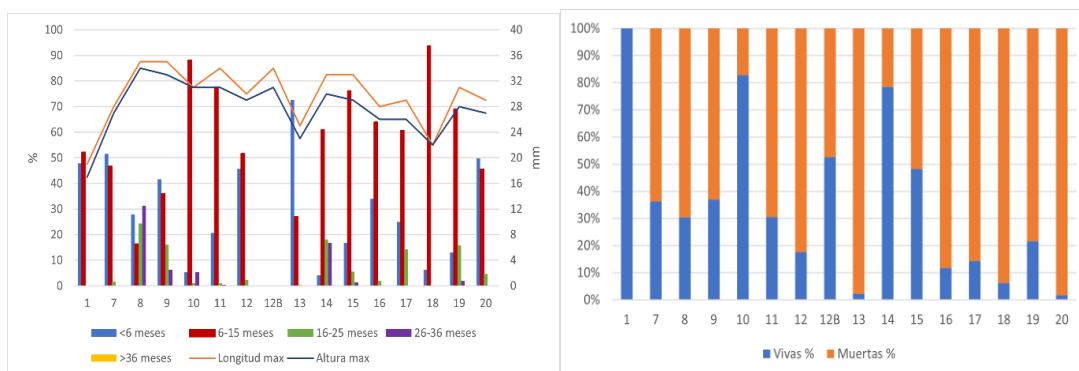


Figura 18A (izquierda). Distribución de edades, altura y longitud máxima en las estaciones con presencia de *C. fluminea* en 2021 y **Figura 18B** (derecha). Porcentaje de ejemplares vivos y muertos en las estaciones con presencia de *C. fluminea* en 2021.

La evolución de las poblaciones entre 2019 a 2021 se puede apreciar en la figura 19.

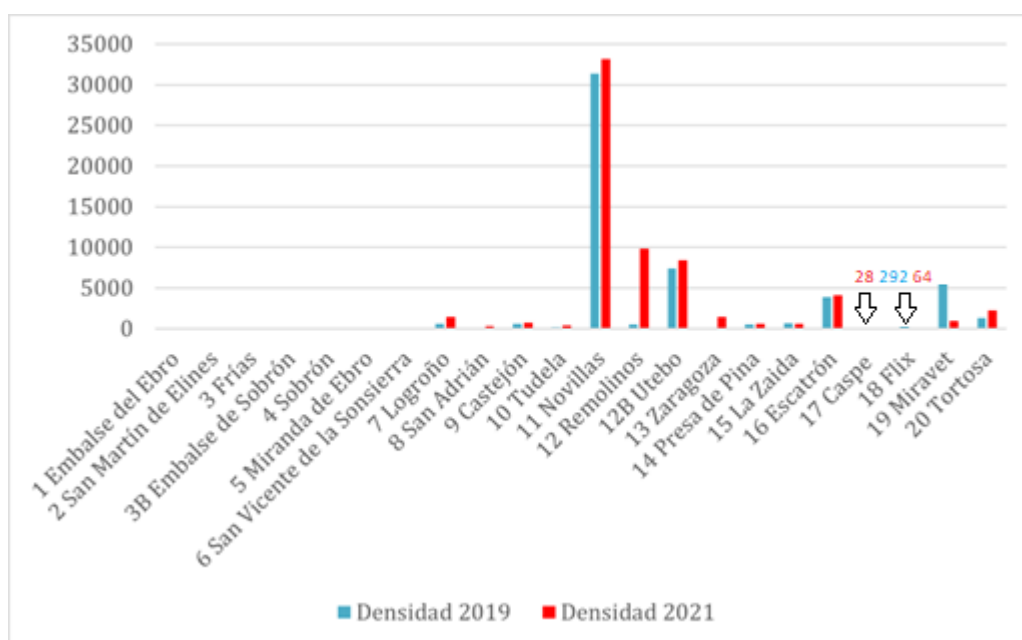
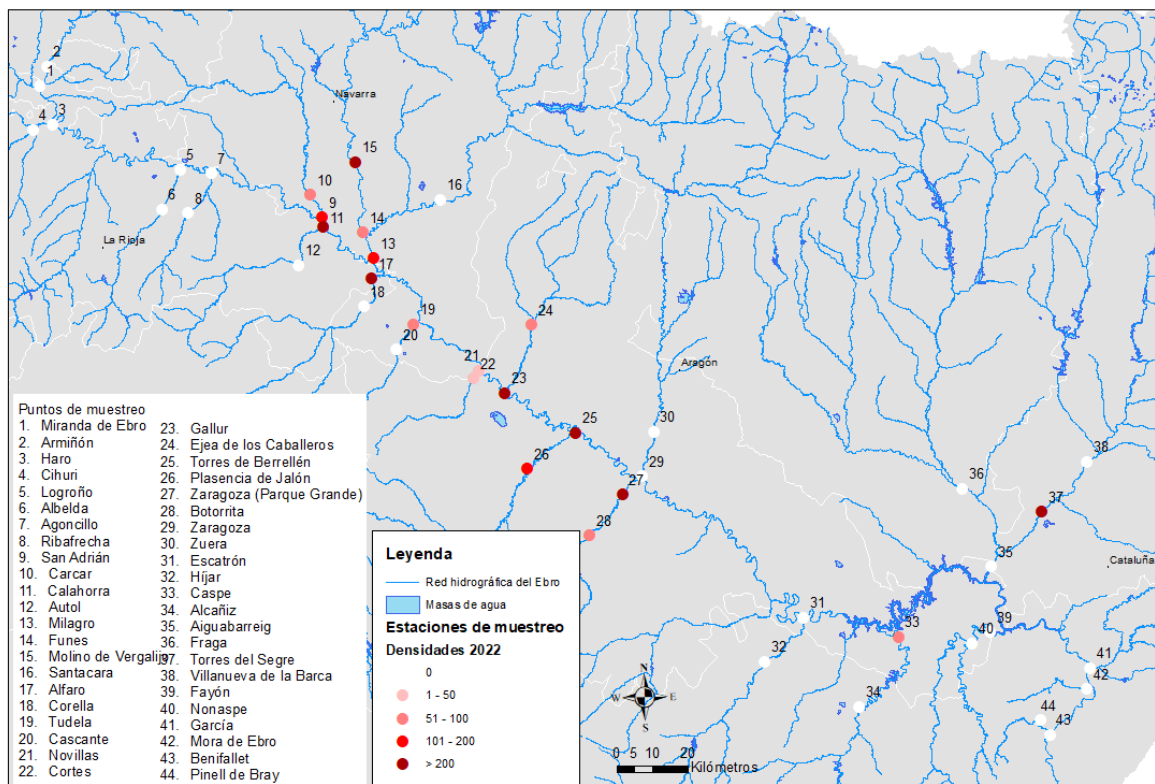


Figura 19. Evolución de las densidades de *C. fluminea* en el eje del río Ebro entre 2019 y 2021.

3.1.4 Resultados del Estudio de distribución de *Corbicula fluminea* en los afluentes principales del río Ebro en 2022.

Este año se realizó el estudio de distribución de *C. fluminea* en los afluentes principales del río Ebro, siguiendo la misma metodología que en 2020 (Figura 20).



Autor: Mónica Callejón Muñoz
Fecha: 02/09/2022

Figura 20. Mapa de densidades de *C. fluminea* en los afluentes principales del río Ebro en el año 2022.

En la siguiente tabla 7 aparecen todas las estaciones que se muestrearon dicho año y las densidades resultantes calculadas para 2022. Se obtuvo una densidad total de 5.753 ejemplares repartidos en 18 estaciones (una estación menos que en 2021). La densidad media por estación fue de 134 indiv/m².

Tabla 7. Estaciones de muestreo y densidades de *C. fluminea* en los afluentes principales del río Ebro en 2022.

Estación de muestreo	Río	Provincia	Coord. ETRS89 Zona 30		Densidad (ejemplares/m ²)	
			X	Y		
1	Miranda de Ebro	Zadorra	Burgos	508451	4724967	0
2	Armiñón	Zadorra	Álava	510401	4730455	0
3	Haro	Tirón	La Rioja	512058	4714001	0
4	Cihuri	Tirón	La Rioja	506426	4712411	0
5	Logroño	Iregua	La Rioja	548222	4701244	0
6	Albelda	Iregua	La Rioja	543061	4689968	0
7	Agoncillo	Leza	La Rioja	557045	4700211	0
8	Ribafrecha	Leza	La Rioja	550500	4688860	0
9	San Adrián	Ega	Navarra	588618	4687703	173
10	Carcar	Ega	Navarra	585214	4693974	73
11	Calahorra	Cidacos	Navarra	588922	4684879	340
12	Autol	Cidacos	La Rioja	581744	4674066	0
13	Milagro	Aragón	Navarra	603054	4676071	109
14	Funes	Arga-Aragón	Navarra	600153	4683382	73
15	Molino de Vergalijo	Arga	Navarra	597959	4703332	240
16	Santacara	Aragón	Navarra	622022	4692720	-
17	Alfaro	Alhama	La Rioja	602409	4670296	821
18	Corella	Alhama	Navarra	600255	4662271	0
19	Tudela	Queiles	Navarra	614485	4657341	83
20	Cascante	Queiles	Navarra	609466	4650188	0
21	Novillas	Huecha	Zaragoza	632894	4644219	16
22	Cortes	Huecha	Zaragoza	631366	4641861	22
23	Gallur	Arba	Zaragoza	640220	4637790	379
24	Ejea de los Caballeros	Arba	Zaragoza	648000	4657085	63
25	Torres de Berrellén	Jalón	Zaragoza	660317	4626474	1082
26	Plasencia de Jalón	Jalón	Zaragoza	646867	4616382	186
27	Zaragoza (Parque Grande)	Huerta	Zaragoza	673713	4609050	1664
28	Botorrita	Huerta	Zaragoza	664370	4597364	52
29	Zaragoza	Gállego	Zaragoza	679218	4614192	0
30	Zuera	Gállego	Zaragoza	682561	4626784	0
31	Escatrón	Martín	Zaragoza	724968	4574034	0
32	Hijar	Martín	Zaragoza	714132	4561672	0
33	Caspe	Guadalope	Zaragoza	752045	4568570	77
34	Alcañiz	Guadalope	Zaragoza	741035	4548814	0
35	Aiguabarreig	Cinca	Lleida	778409	4588628	0
36	Fraga	Cinca	Huesca	770228	4610644	0
37	Torres del Segre	Segre	Lleida	792788	4604162	300
38	Villanueva de la Barca	Segre	Lleida	805504	4618294	0
39	Fayón	Matarraña	Zaragoza	778070	4569987	0
40	Nonaspe	Algás	Zaragoza	772869	4566711	0
41	García	Ciurana	Tarragona	806604	4559708	0
42	Mora de Ebro	Sec	Tarragona	805446	4553873	0
43	Benifallet	Canaleta	Tarragona	795045	4540869	0
44	Pinell de Bray	Canaleta	Tarragona	792580	4545027	0

La distribución de las edades indica que el 76,38% de los ejemplares tenía una edad igual o inferior a 15 meses y el 2,16% superan los 26 meses de edad (Figura 21A). De los 5.753 ejemplares, el 28,87% estaban vivos y el 71.13% estaban muertos (Figura 21B). La altura y longitud máxima que se midió fue de 32 y 36 mm, respectivamente.

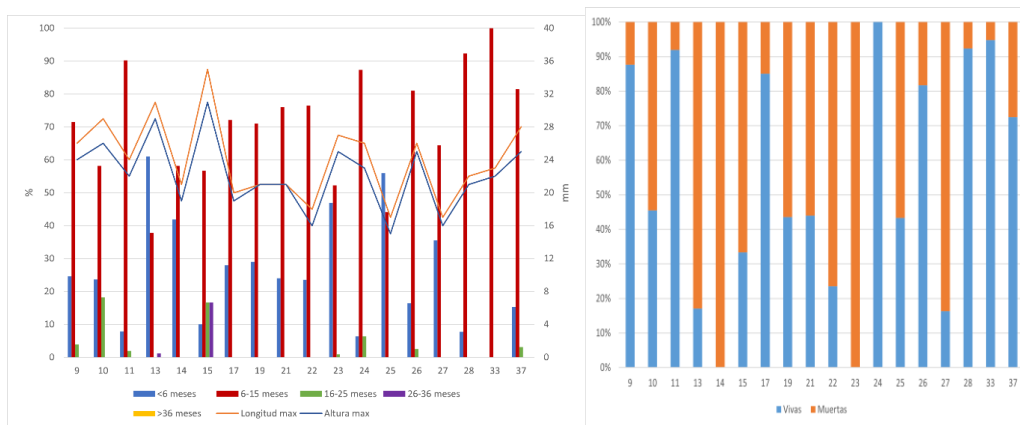


Figura 21A (izquierda). Distribución de edades, altura y longitud máxima en las estaciones con presencia de *C. fluminea* en 2022 y **Figura 21B** (derecha). Porcentaje de ejemplares vivos y muertos en las estaciones con presencia de *C. fluminea* en 2022.

La evolución de las poblaciones entre 2020 a 2022 se puede apreciar en la figura 22.

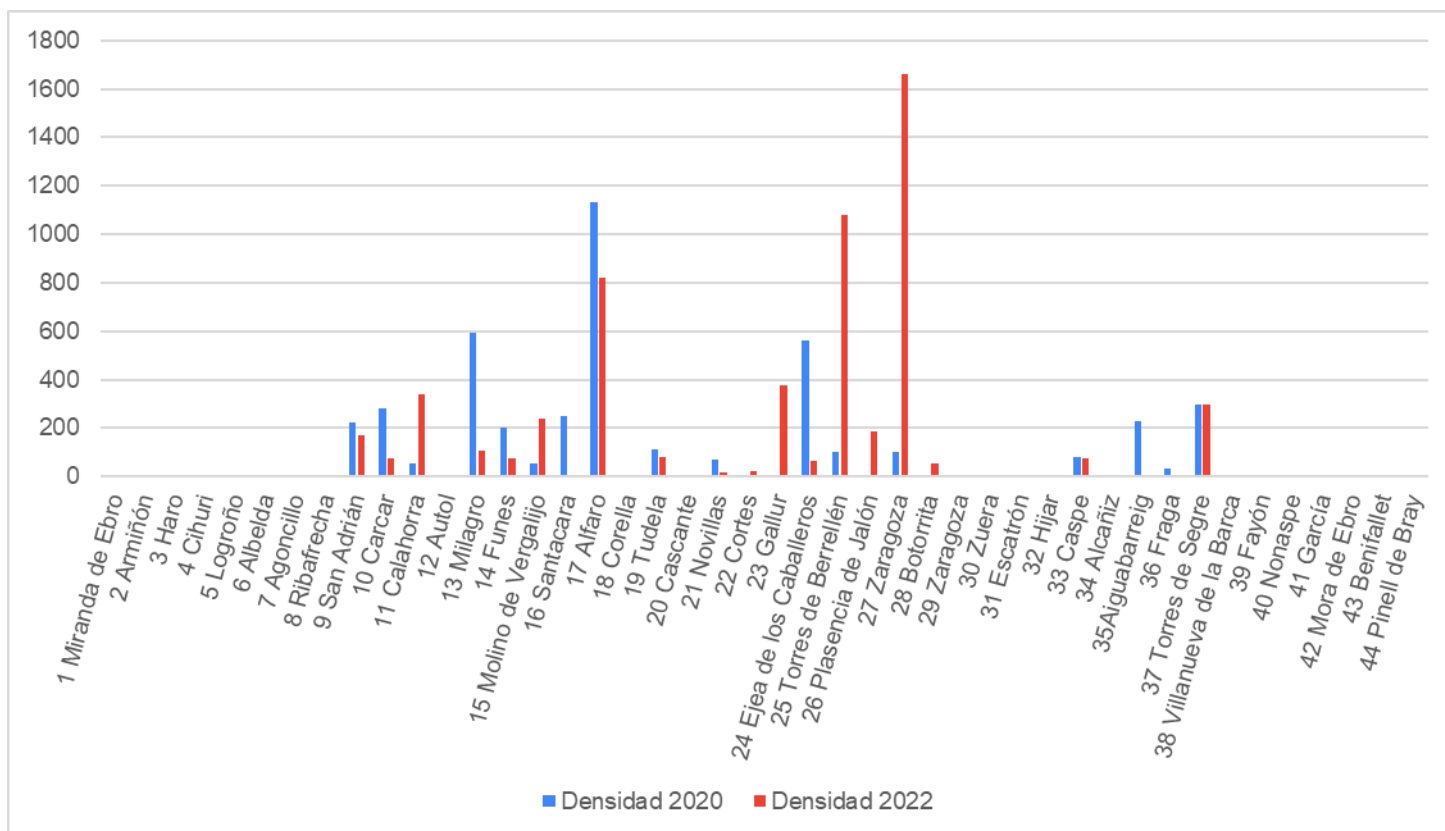


Figura 22. Evolución de las densidades de *C. fluminea* en los afluentes del río Ebro entre 2020 y 2022.

3.2 Resultados de los estudios previos realizados en la cuenca del Ebro en el tramo de Tudela a Zaragoza entre 2019-2021.

En este apartado se presentan los resultados de los estudios anteriores de forma más detallada en el tramo de Tudela a Zaragoza, tanto del río Ebro como de afluentes. Para ello, se van a presentar los resultados de los años 2019-2021 en cada una de las estaciones. Las densidades medias de este tramo indican que el río Ebro tenía 8.047 indiv/m² y 11.198 indiv/m² en 2019 y 2021, respectivamente. Los afluentes tenían una densidad media en 2020 de 80 indiv/m². El año 2022 se detalla en el siguiente apartado (3.3) dado que el objetivo central de este trabajo está realizado en los trabajos de campo de este año.

1. Estación de muestreo de Tudela del río Ebro

En el muestreo de 2019, esta estación tenía una densidad de 196 ejemplares/m². De los cuales 18,37% tenían menos de 6 meses, 51,02% tenían entre 6-15 meses y 30,61% tenían entre 16-25 meses. El porcentaje de ejemplares vivos y muertos era de 36,73% y 63,27%, respectivamente.

En el muestreo de 2021, esta estación tenía una densidad de 372 ejemplares/m². De los cuales 5,38% tenían menos de 6 meses, 88,17% tenían entre 6-15 meses, 1,08% tenían entre 16-25 meses y 5,38% tenían entre 26-36 meses. El porcentaje de ejemplares vivos y muertos era de 82,8% y 17,2%, respectivamente.

2. Estación de muestreo de Tudela del río Queiles

En el muestreo de 2020, esta estación tenía una densidad de 112 ejemplares/m². De los cuales 39,39% tenían menos de 6 meses y, 60,71% tenían entre 6-15 meses. La relación entre ejemplares vivos y muertos era 1:1.

3. Estación de muestreo de Cascante del río Queiles

Esta estación no tenía presencia de *C. fluminea* en el año 2020.

4. Estación de muestreo de Novillas del río Ebro

En el muestreo de 2019, esta estación tenía una densidad de 31.392 ejemplares/m². De los cuales 53,21% tenían menos de 6 meses, 36,9% tenían entre 6-15 meses, 9,28% tenían entre 16-25 meses y el 0,61% tenían entre 26-36 meses. El porcentaje de ejemplares vivos y muertos era de 47,5% y 52,5%, respectivamente.

En el muestreo de 2021, esta estación tenía una densidad de 33.136 ejemplares/m². De los cuales 20,65% tenían menos de 6 meses, 77,76% tenían entre 6-15 meses, 1,1%

tenían entre 16-25 meses y el 0,49% tenían entre 26-36 meses. El porcentaje de ejemplares vivos y muertos era de 30,57% y 69,43%, respectivamente

5. Estación de muestreo de Novillas del río Huecha

En el muestreo de 2020, esta estación tenía una densidad de 72 ejemplares/m². De los cuales 27,78% tenían menos de 6 meses y 72,22% tenían entre 6-15 meses. Todos los ejemplares estaban muertos.

6. Estación de muestreo de Cortes del río Huecha

Esta estación no tenía presencia de *C. fluminea* en el año 2020.

7. Estación de muestreo de Gallur del río Arba

En el muestreo de 2020, esta estación tenía una densidad de 8 ejemplares/m². De los cuales todos tenían entre 6-15 meses. Todos los ejemplares estaban vivos.

8. Estación de muestreo de Ejea de los Caballeros del río Arba

En el muestreo de 2021, esta estación tenía una densidad de 560 ejemplares/m². De los cuales 5% tenían menos de 6 meses y 95% tenían entre 6-15 meses. Todos los ejemplares estaban vivos.

9. Estación de muestreo de Remolinos del río Ebro

En el muestreo de 2019, esta estación tenía una densidad de 556 ejemplares/m². De los cuales 1,44% tenían menos de 6 meses, 11,51% tenían entre 6-15 meses y 72,73% tenían entre 16-25 meses. El porcentaje de ejemplares vivos y muertos era de 97,84% y 2,16%, respectivamente.

En el muestreo de 2021, esta estación tenía una densidad de 9.852 ejemplares/m². De los cuales 45,68% tenían menos de 6 meses, 51,7% tenían entre 6-15 meses, 2,4% tenían entre 16-25 meses y 0,23% tenían entre 26-36 meses. El porcentaje de ejemplares vivos y muertos era de 17,66% y 82,34%, respectivamente.

10. Estación de muestreo de Torres de Berrellén del río Jalón

En el muestreo de 2020, esta estación tenía una densidad de 104 ejemplares/m². De los cuales 38,46% tenían menos de 6 meses y 61,54% tenían entre 6-15 meses. El porcentaje de ejemplares vivos y muertos era de 19,23% y 80,77%, respectivamente.

11. Estación de muestreo de Plasencia de Jalón del río Jalón

Esta estación no tenía presencia de *C. fluminea* en el año 2020.

12. Estación de muestreo de Zaragoza del río Ebro

En el muestreo de 2019, esta estación tenía una densidad de 44 ejemplares/m². De los cuales 27,27% tenían menos de 6 meses y 72,73% tenían entre 6-15 meses. Todos los ejemplares encontrados estaban muertos.

En el muestreo de 2021, esta estación tenía una densidad de 1.432 ejemplares/m². De los cuales 72,63% tenían menos de 6 meses, 27,03% tenían entre 6-15 meses, 0,28% tenían entre 16-25 meses y 0,07% tenían entre 26-36 meses. El porcentaje de ejemplares vivos y muertos era de 2,23% y 97,77%, respectivamente.

13. Estación de muestreo de Zaragoza del río Huerva

En el muestreo de 2020, esta estación tenía una densidad de 100 ejemplares/m². De los cuales 12% tenían menos de 6 meses y 88% tenían entre 6-15 meses. Todos los ejemplares encontrados estaban muertos.

14. Estación de muestreo de Botorrita del río Huerva

En el muestreo de 2020, esta estación tenía una densidad de 8 ejemplares/m². Todos tenían entre 6-15 meses y estaban vivos.

15. Estación de muestreo de Zaragoza del río Gállego

Esta estación no tenía presencia de *C. fluminea* en el año 2020.

16. Estación de muestreo de Zuera del río Gállego

Esta estación no tenía presencia de *C. fluminea* en el año 2020.

3.3 Resultados del estudio realizado en la cuenca del Ebro en el tramo de Tudela a Zaragoza del año 2022.

Este apartado se centra en los trabajos que la autora ha realizado para el TFG en el tramo de estudio.

3.3.1 Caracterización de parámetros fisicoquímicos del agua y del sustrato.

En el Anexo 3 se indican los resultados obtenidos en cada una de las estaciones de muestreo. A continuación, se describirán estación por estación los parámetros fisicoquímicos del agua, el tipo de sustrato y las poblaciones de almeja asiática, así como otros tipos de información de interés. En la figura 23 y tabla 8 se representan gráficamente los datos anteriores.

No se va a hacer mención a la vegetación de ribera y acuática puesto que en todas las estaciones se encuentra la misma vegetación característica. La vegetación de ribera más abundante que se ha observado fue *Populus alba*, *Populus nigra*, *Arundo donax*, *Rubus* sp, *Salix babylonica*, *Phragmites australis* y *Tamarix gallica*. La vegetación acuática más presente fue “Pan de rana” (algas verdes), *Chara* sp., *Potamogeton* sp. y cola de zorro (*Ceratophyllum demersum*).

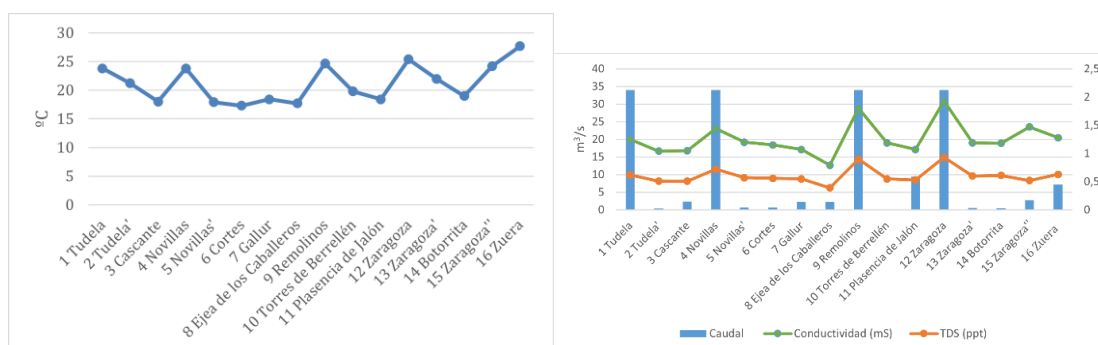


Figura 23A (izquierda). Temperatura del agua en el tramo Tudela a Zaragoza y **Figura 23B** (derecha). Caudal, conductividad y TDS del agua en el tramo Tudela a Zaragoza.

Tabla 8. Presencia de *Corbicula fluminea*, *Dreissena polymorpha*, náyades y tipo de sustrato.

	Presencia de <i>Corbicula fluminea</i>	Presencia de <i>Dreissena polymorpha</i>	Presencia de náyades	Tipo de sustrato		
				Grava	Arena	Limo
1 Tudela	1	0	0	0	1	1
2 Tudela'	1	0	0	1	0	1
3 Cascante	0	0	0	1	1	1
4 Novillas	1	0	1	0	1	1
5 Novillas'	1	0	0	1	1	0
6 Cortes	1	0	0	1	0	1
7 Gallur	1	0	0	1	0	1
8 Ejea de los Caballeros	1	0	1	1	0	1
9 Remolinos	1	0	1	0	1	1
10 Torres de Berrellén	1	0	0	1	0	1
11 Plasencia de Jalón	1	0	0	1	0	1
12 Zaragoza	1	0	0	1	1	0
13 Zaragoza'	1	0	0	1	0	1
14 Botorrita	1	0	0	1	0	1
15 Zaragoza''	0	0	0	1	0	0
16 Zuera	0	0	0	1	0	1
Presencia=1; Ausencia=0						

1. Estación de muestreo de Tudela del río Ebro

Esta estación es el punto más alto del tramo estudiado. Se trata del río Ebro a su paso por Tudela. El día de la prospección había un caudal de 34 m³/s y los parámetros físico-químicos del agua indicaban una temperatura del agua de 23,8°C, un pH neutro, una conductividad de 1,25 milisiemens por centímetro (mS/cm) y unos sólidos disueltos totales de 0,62 partes por trillón (ppt).

El sustrato está compuesto por limo y arena a partes iguales. Hay que destacar que las condiciones ambientales habían sido modificadas debido a unas obras de restauración del puente de piedra, justo bajo el punto de muestreo. Por esta razón el sustrato contaba con más limo y fango que años anteriores (Figura 24).

No se observó ningún rastro de ictiofauna ni *Dreissena polymorpha*. Aunque, sí que había presencia del macroinvertebrado *Procambarus clarkii* y de *Corbicula fluminea*.

Hay que destacar que se encontraron muchos restos de basura en el sustrato (bolsas de plástico, vidrio, cuerdas, etc)



Figura 24A (izquierda). Vegetación de ribera del río Ebro en Tudela y **Figura 24B** (derecha). Escombros junto al puente de piedra de Tudela

2. Estación de muestreo de Tudela del río Queiles

El río Queiles por su paso por Tudela se encuentra próximo a la desembocadura en el río Ebro (Figura 25). El día de la prospección tenía un caudal de $0,4 \text{ m}^3/\text{s}$ y los parámetros fisicoquímicos indicaban una temperatura del agua de $21,2^\circ\text{C}$, un pH neutro, conductividad de 1040 mS y $0,51 \text{ ppt}$ de sólidos disueltos.

El sustrato es bastante homogéneo y está formado por grava de tamaño medio con limo. No se detectó ningún tipo de ictiofauna, macroinvertebrados ni *D. polymorpha*. La presencia de *C. fluminea* es positiva.



Figura 25A (izquierda). Vegetación de ribera del río Queiles en Tudela y **Figura 25B** (derecha). Azud con estación de aforo del río Queiles de la CHE.

3. Estación de muestreo de Cascante del río Queiles

Este punto está cogido aguas arriba del río Queiles, a unos 12 km del punto anterior. El día de la prospección había un caudal de $2,36 \text{ m}^3/\text{s}$ y los parámetros fisicoquímicos

indicaban una temperatura del agua de 18°C, un pH neutro, conductividad de 1050 mS y 0,51 ppt de sólidos disueltos.

El sustrato está formado por los tres tipos de suelo, distribuidos de manera agregada. En el caso del limo estaba mezclado con materia orgánica y producía olores de descomposición (Figura 26).

No se detectaron macroinvertebrados ni *D. polymorpha*, pero sí había renacuajos. La presencia de *C. fluminea* es negativa.



Figura 26A (izquierda). Cauce del río Queiles en Cascante y **Figura 26B** (derecha). Sedimentos del lecho del río Queiles en Cascante.

4. Estación de muestreo de Novillas del río Ebro

Esta estación es la segunda más alta del río Ebro. El punto se encuentra en una barra de arena separado del cauce principal por una isleta. El agua pasa continuamente por este punto, pero la profundidad es mucho menor que en el cauce principal. El caudal registrado más cercano es el de Tudela por lo que se considera este dato para el caudal en Novillas, dicho dato es 34 m³/s. Los parámetros fisicoquímicos del agua indicaban una temperatura del agua de 23,8°C, un pH neutro, una conductividad de 1,44 mS y unos sólidos disueltos totales de 0,72 ppt.

El sustrato estaba formado por limo con arena, sin embargo, hay que destacar que apenas se aprecia a simple vista puesto que las almejas asiáticas recubren todo el sustrato (Figura 27).

Este punto es muy abundante en náyades. Se encontraron cuatro *Potomida littoralis* vivas y seis muertas. No se pudo apreciar ninguna especie de ictiofauna, pero sí de macroinvertebrados como *P. clarkii*, *Trichoptera* e *Hirudo medicinalis*. La presencia de mejillón cebra era negativa y la de *C. fluminea*, como se ha nombrado anteriormente, positiva.



Figura 27A (izquierda). Vegetación de ribera del río Ebro en Novillas y **Figura 27B** (derecha). Sustrato cubierto por *C. fluminea* viva y muerta del río Ebro en Novillas.

5. Estación de muestreo de Novillas del río Huecha

Esta estación se encuentra en la desembocadura del río Huecha con el río Ebro. Se ha considerado el caudal del Cortes ya que es el punto más cercano que el SAIH tiene datos, dicho caudal es 0,72 m³/s. Los parámetros fisicoquímicos indicaban una temperatura del agua de 17,9°C, un pH neutro, una conductividad de 1,20 mS y 0,57 ppt de sólidos disueltos.

En el sustrato se podía diferenciar por un lado gravas de tamaño medio y por otro lado arenas (Figura 28). Como se observaron a simple vista densidades de almeja asiática distintas en grava y arena, se tomaron 3 réplicas por cada tipo de suelo.

No se detectó ictiofauna ni *D. polymorpha*, pero sí que había muchos macroinvertebrados del orden *Trichoptera* y la presencia de otra especie invasora *P. clarkii*. La presencia de *C. fluminea* es positiva.

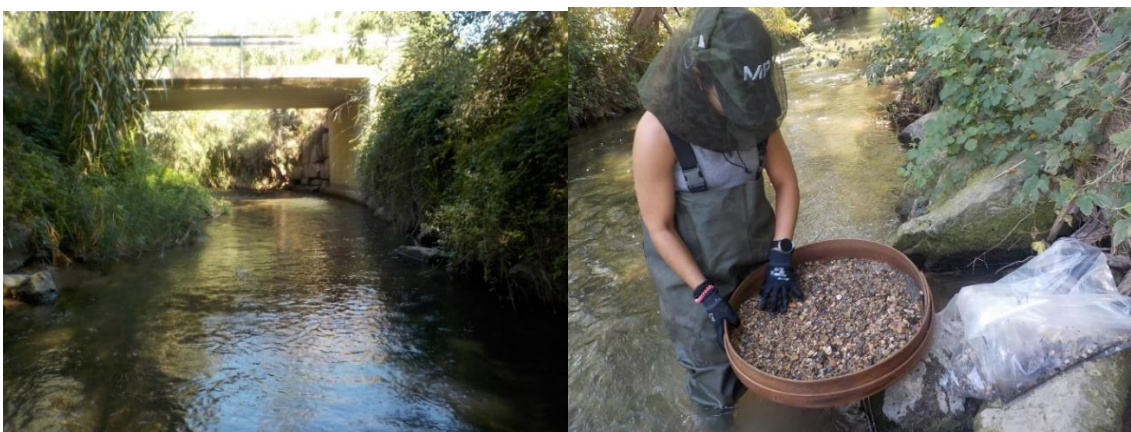


Figura 28A (izquierda). Vegetación de ribera del río Huecha en Novillas y **Figura 28B** (derecha). Muestra de sedimento del río Huecha en Novillas.

6. Estación de muestreo de Cortes del río Huecha

Este punto se encuentra a 4 km aguas arriba del punto anterior. El caudal era de 0,72 m³/s y los parámetros fisicoquímicos indicaban una temperatura del agua de 17,3°C, un pH neutro, una conductividad de 1,15 mS y 0,56 ppt de sólidos disueltos.

El sustrato estaba formado por grava gruesa en el centro del cauce y limo en las orillas (Figura 29). Entre los tipos de sustrato se vieron diferencias significativas de densidades de almeja asiática por lo que se tomaron 3 réplicas por tipo de sustrato.

No se detectó ictiofauna ni *D. polymorpha*, pero sí que encontramos muchos macroinvertebrados como *Artemia sp.* e *Hirudo medicinalis*. La presencia de *C. fluminea* es positiva.



Figura 29A (izquierda). Vegetación de ribera del río Huecha en Cortes y **Figura 29B** (derecha). Muestra de grava gruesa del río Huecha en Cortes

7. Estación de muestreo de Gallur del río Arba

Esta estación se encuentra próxima a la desembocadura del río Arba con el río Ebro. No tenemos datos del SAIH de ese punto a tal fecha por lo que se considera el caudal en Tauste, 2,24 m³/s. Los parámetros fisicoquímicos indicaban una temperatura del agua de 18,4°C, un pH neutro, una conductividad de 1,07 mS y 0,55 ppt de sólidos disueltos.

El sustrato estaba formado por grava y limo con algo de grava (Figura 30). Se hace diferenciación entre estos dos tipos de sustrato porque la densidad de almeja asiática se apreciaba diferente ellos. Por este motivo, se tomaron dos muestras con tres réplicas cada una.

No se detectó ictiofauna ni *D. polymorpha*, pero había abundancia de zapateros (*Gerris lacustris*). La presencia de *C. fluminea* es positiva.



Figura 30A (izquierda). Vegetación de ribera del río Arba en Gallur y **Figura 30B** (derecha).
Sustrato con grava del río Arba en Gallur

8. Estación de muestreo de Ejea de los Caballeros del río Arba

Este punto se encuentra aguas arriba del río Arba, próximo a la población de El Sabinar, a 23 km de Gallur. El caudal era de 2,25 m³/s y los parámetros fisicoquímicos indicaban una temperatura del agua de 17,7°C, un pH neutro, una conductividad de 0,79 mS y unos sólidos disueltos de 0,39 ppt.

El sustrato está formado por limo con grava pequeña de forma homogénea (Figura 31). El cauce tenía la misma profundidad en toda la sección transversal y el limo tenía un color negro que nos da indicios de condiciones anóxicas.

Se encontraron dos ejemplares de las náyades autóctonas *Unio mancus* vivos y dos ejemplares de *Anodonta anatina* muertos. No se pudo apreciar ninguna especie de ictiofauna. La presencia de *D. polymorpha* es negativa y la de *C. fluminea* positiva.



Figura 31A (izquierda). Vegetación de ribera del río Arba en Ejea de los Caballeros y **Figura 31B** (derecha). Muestra de sedimentos con *C. fluminea* y una valva de *Unio mancus* del río Arba en Ejea de los Caballeros.

9. Estación de muestreo de Remolinos del río Ebro

Esta estación se trata del tercer punto muestreado del río Ebro. Se encuentra próximo a Remolinos (Figura 32). El caudal que se ha considerado es el de Tudela, puesto que es el punto más cercano aguas arriba que el SAIH tiene datos. Por tanto, el caudal es de 34 m³/s. Los parámetros fisicoquímicos del agua indicaban una temperatura del agua de 24,7°C, un pH neutro, una conductividad de 1,80 mS y unos sólidos disueltos totales de 0,90 ppt.

El sustrato estaba formado por arena con limo de forma homogénea.

Se identificó varios individuos de *Gambusia affinis* como ictiofauna, pero no se detectaron macroinvertebrados ni *D. polymorpha*. La presencia de náyades era bastante abundante. Se encontraron náyades autóctonas: cuatro *Potomida littoralis* vivas y tres muertas, y un ejemplar muerto de *Unio mancus*.



Figura 32A (izquierda). Cauce del río del río Ebro en Remolinos y **Figura 32B** (derecha).

Vegetación de ribera del río Ebro en Remolinos.

10. Estación de muestreo de Torres de Berrellén del río Jalón

Esta estación se encuentra próxima a la desembocadura del río Jalón con el río Ebro. El caudal era de 0,15 m³/s y los parámetros fisicoquímicos indicaban una temperatura del agua de 19,8°C, un pH neutro, una conductividad de 1,19 mS y 0,55 ppt de sólidos disueltos.

El sustrato era principalmente grava de tamaño medio, aunque encontramos limo entre las gravas en cantidades justas para favorecer el asentamiento de almejas asiáticas (Figura 33).

No se detectó ningún tipo de ictiofauna, macroinvertebrados ni presencia de *D. polymorpha*. La presencia de *C. fluminea* es positiva en dicho punto.



Figura 33A (izquierda). Vegetación de ribera del río Jalón en Torres de Berrellén y **Figura 33B** (derecha). Cauce del río Jalón

11. Estación de muestreo de Plasencia de Jalón del río Jalón

Este punto se encuentra aguas arriba del río Jalón, a 25 km del punto anterior. El caudal era bastante abundante, 9,42 m³/s. Los parámetros fisicoquímicos indicaban una temperatura del agua de 18,4°C, un pH neutro, una conductividad de 1,07 mS y unos sólidos disueltos de 0,53 ppt.

El sustrato estaba formado por grava por el centro del cauce y limo en las orillas (Figura 34). Se tomaron dos muestras con tres réplicas cada una puesto que las densidades de almeja asiática se distinguían claramente.

Se pudieron apreciar peces como *Parachondrostoma miegii* y macroinvertebrados como *Theodoxus sp.* La presencia de *D. polymorpha* fue negativa y la de *C. fluminea* positiva.



Figura 34A (izquierda). Vegetación de ribera del río Jalón en Plasencia de Jalón y **Figura 34B** (derecha). Muestra de grava gruesa del río Jalón en Plasencia de Jalón.

12. Estación de muestreo de Zaragoza del río Ebro

Esta estación es el último punto muestreado del tramo de estudio. Se trata del río Ebro a su paso por Zaragoza, concretamente bajo el Pabellón Puente del margen izquierdo. A la hora de muestrear dicho punto, encontramos que el nivel del agua había bajado

tanto que el punto de muestreo estaba seco. Por esta causa desplazamos el punto de muestreo 250 m, río abajo (Figura 35). El caudal del Ebro en Zaragoza era de 34 m³/s. Los parámetros fisicoquímicos daban una temperatura del agua de 25,4°C, un pH neutro, una conductividad de 1,93 mS y unos sólidos disueltos totales de 0,93 ppt.

El sustrato estaba formado por grava muy fina con arena.

Se pudieron ver ejemplares de *Gambusia affinis* y *Parachondrostoma miegii*. No se observó *D. polymorpha*, aunque no se descarta su presencia (SITEbro, 2022). La presencia de *C. fluminea* es positiva.



Figura 35A (izquierda). Vegetación de ribera del río Ebro en Zaragoza y **Figura 35B** (derecha). Orilla seca del río Ebro en Zaragoza.

13. Estación de muestreo de Zaragoza del río Huerva

Esta estación se encuentra próximo a la desembocadura en el río Ebro. El punto se tomó en el río Huerva en su paso por el Parque Grande (Figura 36). El caudal el día de la prospección era de 0,55 m³/s. Los parámetros físico-químicos indicaban una temperatura del agua de 22°C, un pH neutro, una conductividad de 1,19 mS y unos sólidos disueltos totales de 0,60 ppt.

El sustrato estaba formado por grava con un poco de limo.

No se detectó ningún tipo de ictiofauna ni macroinvertebrados. La presencia de *D. polymorpha* es negativa y la de *C. fluminea* es positiva.



Figura 36A (izquierda). Vegetación de ribera del río Huerva en Zaragoza y **Figura 36B** (derecha). Tomando parámetros fisicoquímicos.

14. Estación de muestreo de Botorrita del río Huerva

El río Huerva a su paso por Botorrita se encuentra a 21 km de Zaragoza. El caudal es muy reducido, de hecho, el punto está cogido próximo a un camino de maquinaria agrícola que cruza el río. El caudal es de $0,51 \text{ m}^3/\text{s}$ y los parámetros fisicoquímicos dan una temperatura del agua de 19°C , un pH neutro, una conductividad de $0,47 \text{ mS}$ y unos sólidos disueltos de $0,60 \text{ ppt}$.

El sustrato es principalmente grava, pero encontramos algo de limo en las paredes del cauce donde se agarran las raíces. Solo se encuentran ejemplares en esta zona de limo, arraigados a las raíces más profundas, ya que a esta altura no se llega a secar la orilla (Figura 37).

No se observó ictiofauna ni macroinvertebrados. La presencia de *D. polymorpha* es negativa y la de *C. fluminea* es positiva.



Figura 37A (izquierda). Vegetación de ribera del río Huerva en Botorrita y **Figura 37B** (derecha). Ejemplares de *C. fluminea* entre las raíces.

15. Estación de muestreo de Zaragoza del río Gállego

Este punto se encuentra en el centro urbano de Zaragoza, aunque el acceso hasta la orilla requiere atravesar una zona arbolada de 100 metros de anchura. El caudal fue de 2,76 m³/s y los parámetros fisicoquímicos indicaban una temperatura del agua de 24,2°C, pH neutro, conductividad de 1,47 mS y unos sólidos disueltos de 0,52 ppt.

El sustrato estaba formado por gravas de tamaños grande y medio (Figura 38).

Se pudieron apreciar ictiofauna como *Gambusia affinis* y renacuajos. No se detectaron macroinvertebrados ni *D. polymorpha*. La presencia de *C. fluminea* fue negativa.



Figura 38A (izquierda). Cauce del río del río Gállego en Zaragoza y **Figura 38B** (derecha).
Lecho del río Gállego en Zaragoza.

16. Estación de muestreo de Zuera del río Gállego

El último punto muestreado se encuentra aguas arriba del río Gállego, un poco antes de llegar a Zuera, en el municipio de Peñaflores de Gállego. Entre el punto de la desembocadura del Gállego y este hay una distancia de 16 km aproximadamente. El caudal era de 7,15 m³/s y los parámetros fisicoquímicos daban una temperatura del agua de 27,7°C, un pH neutro, una conductividad de 1,28 mS y unos sólidos disueltos de 0,56 ppt.

El sustrato estaba compuesto por grava pequeña mezclada con limo. El cauce tenía aproximadamente la misma profundidad en todo el transecto, además se detectaron condiciones anóxicas del lecho por el color negro del limo (Figura 39).

No se detectó ictiofauna ni macroinvertebrados. La presencia de *D. polymorpha* y *C. fluminea* fue negativa.



Figura 39A (izquierda). Vegetación de ribera del río Gállego en Zuera y **Figura 39B** (derecha). Muestra de limo negro del río Gállego en Zuera.

Durante los muestreos de corbícula mi compañero de prospección, técnico y educador ambiental, Ismael Sanz, encontró un ejemplar sin marcar de *Margaritifera auricularia* en el tramo medio del Ebro. Se trata de un ejemplar adulto de 15,6 cm de largo, 0,72 cm de alto, 0,40 cm de ancho y un peso de 400g (Figura 40).



Figura 40. Ejemplar de *Margaritifera auricularia* encontrada durante las prospecciones de *C. fluminea*.

3.3.2 Presencia y densidades

La presencia de *Corbicula fluminea* ha sido positiva en 13 de los 16 puntos de muestreo. La densidad total ha sido de 15.763 indiv/m². En las densidades medias por estación se ha dividido la del río Ebro y la de afluentes, siendo 3.054 indiv/m² en el Ebro y 295 indiv/m² en los afluentes.

Las densidades más bajas se dan en Novillas', Cortes, Botorrita, Ejea de los Caballeros y Tudela', con densidades por debajo de los 100 ejemplares por metro cuadrado. Con

densidades entre 101 y 500 ejemplares por metro cuadrado están Tudela, Gallur y Plasencia de Jalón. Con densidades entre 501-5000 están Torres de Berrellén, Remolinos, Zaragoza y Zaragoza'. Por último, las densidades más grandes, mayores de 5000 ejemplares por metro cuadrado, se encuentran en Novillas (Figura 41).

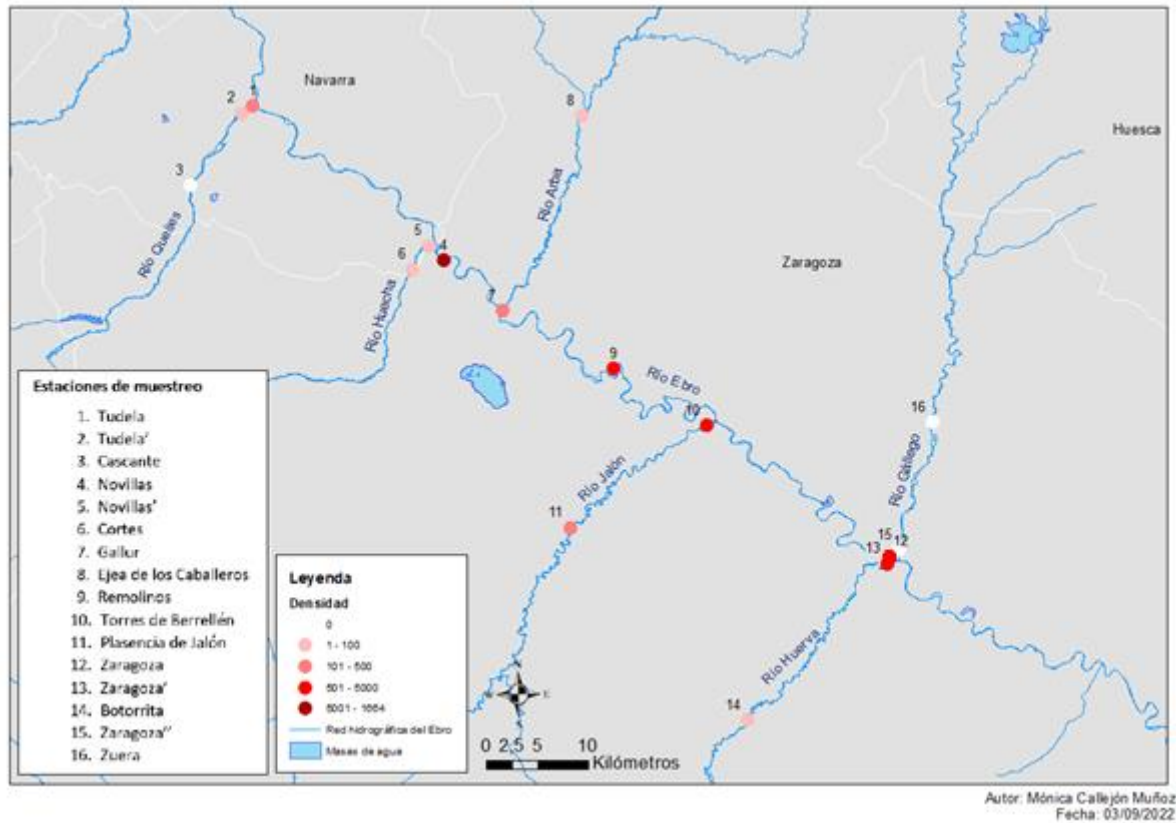


Figura 41. Mapa de densidades de *C. fluminea* en el tramo de estudio en 2022.

3.3.3 Distribución de edades y porcentajes vivos-muertos

Respecto a la relación de ejemplares vivos y muertos, se obtuvo que el 28,87% de los ejemplares estaban vivos y el 71,13% estaban muertos, siendo Novillas la estación donde más ejemplares muertos salieron (Figura 42).

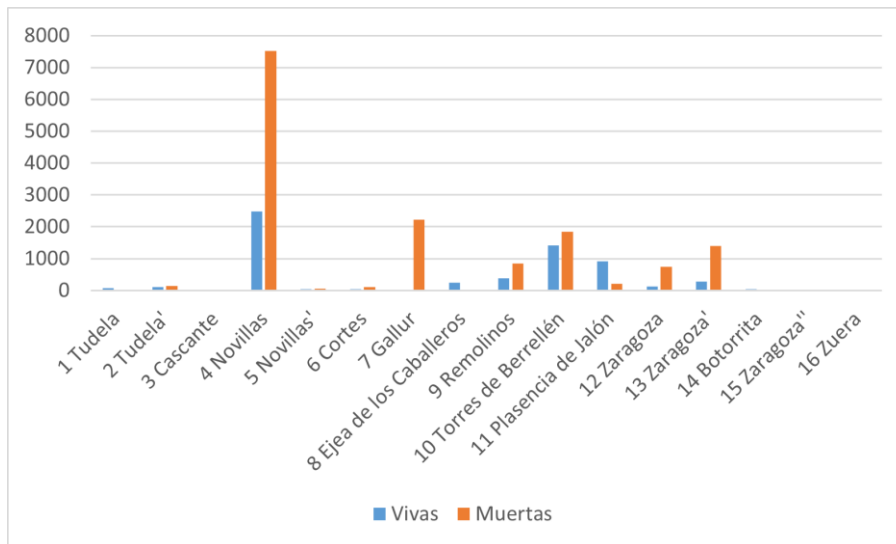


Figura 42. Densidades de ejemplares vivos y muertos de almeja asiática por estación de muestreo en 2022.

La clasificación de las edades dio como resultado las siguientes gráficas, una para los ejemplares vivos (Figura 43) y otra para los muertos (Figura 44).

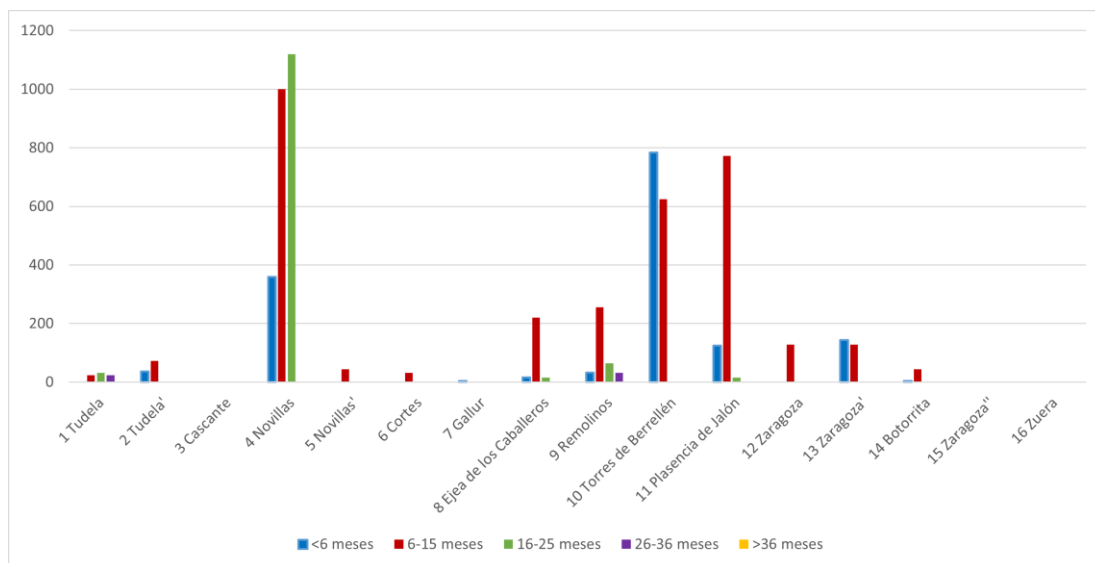


Figura 43. Distribución de ejemplares vivos por grupo de edad y estación

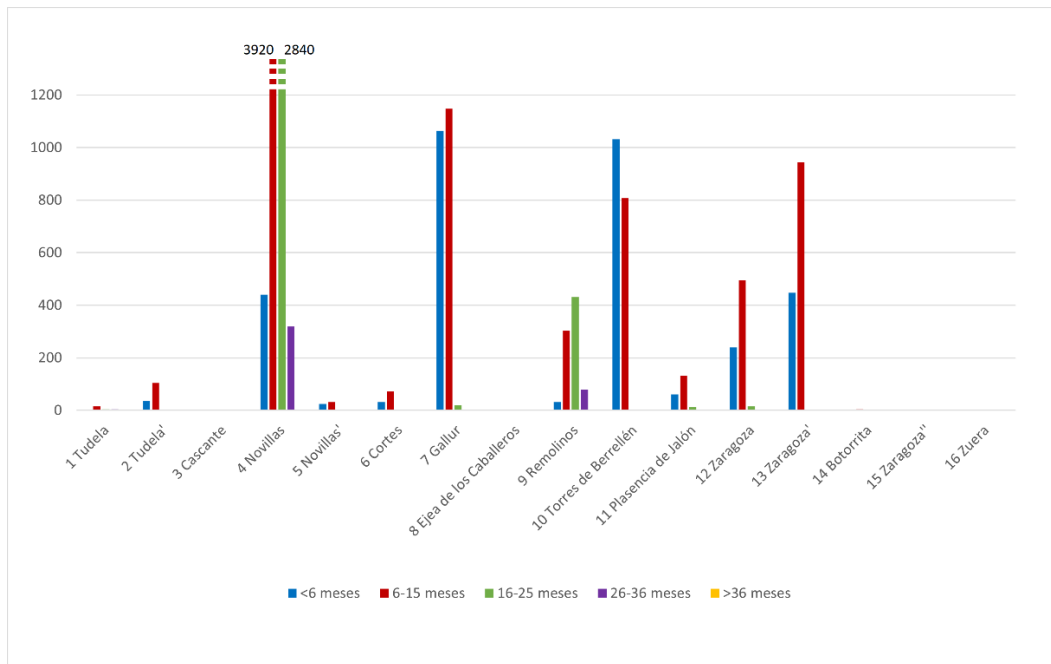


Figura 44. Distribución de ejemplares muertos por grupo de edad y estación.

La mayor concentración de individuos se encuentra en edades hasta 15 meses, con porcentajes globales de 29,28% hasta los 6 meses y 68,76% entre 6 y 15 meses. Solo el 1,74% alcanza los 16 meses y el 0,22% tiene más de 26 meses. A continuación, se describe la estructura poblacional estación por estación.

1. Estación de muestreo de Tudela del río Ebro

Esta estación tenía una densidad de 104 ejemplares/m². De los cuales 38,46% tienen entre 6-15 meses, 34,62% tienen entre 16-25 meses y 26,92% tienen entre 26-36 meses.

De los 104 ejemplares, 76,92% estaban vivos y 23,08% estaban muertos.

2. Estación de muestreo de Tudela del río Queiles

Esta estación tiene una densidad de 83 ejemplares/m². De los cuales 29,03% tiene menos de 6 meses y 70,97% tiene entre 6-15 meses.

De los 83 ejemplares, 43,55% estaban vivos y 56,45% estaban muertos.

3. Estación de muestreo de Cascante del río Queiles

Esta estación no tiene presencia de *C. fluminea*.

4. Estación de muestreo de Novillas del río Ebro

Esta estación tiene una densidad de 10.000 ejemplares/m². De los cuales 8% tiene menos de 6 meses, 49,2% tiene entre 6-15 meses, 39,6% tiene entre 16-25 meses y 3,2% tiene entre 26-36 meses.

De los 10.000 ejemplares, 24,8% estaban vivos y 75,2% estaban muertos.

5. Estación de muestreo de Novillas del río Huecha

Esta estación tiene una densidad de 16 ejemplares/m². De los cuales 24% tiene menos de 6 meses y 76% tiene entre 6-15 meses.

De los 16 ejemplares, 44% estaban vivos y 56% estaban muertos.

En esta estación se tomaron muestras de grava y de arena por separado. Los resultados indican que el 88% de las almejas asiáticas se encontraban en las arenas (Tabla 9).

Tabla 9. Densidades de *C. fluminea* según tipo de suelo en la estación de Novillas del río Huecha.

	Nº ejemplares vivos	Nº ejemplares muertos	Total
11 Plasencia de Jalón (grava)	0	12	12
	0%	100%	12,0%
11 Plasencia de Jalón (limo)	44	44	88
	50,0%	50,0%	88,0%

6. Estación de muestreo de Cortes del río Huecha

Esta estación tiene una densidad de 22 ejemplares/m². De los cuales 23,53% tienen menos de 6 meses y 76,47% tienen entre 6-15 meses

De los 22 ejemplares, 24,8% estaban vivos y 75,2% estaban muertos.

En esta estación se tomaron muestras de grava y limo por separado. Los resultados indican que el 71% de los ejemplares se encontraban en el limo (Tabla 10).

Tabla 10. Densidades de *C. fluminea* según tipo de suelo en la estación de Cortes del río Huecha.

	Nº ejemplares vivos	Nº ejemplares muertos	Total
11 Plasencia de Jalón (grava)	4	36	40
	10%	90%	29,4%
11 Plasencia de Jalón (limo)	28	68	96
	29,2%	70,8%	70,6%

7. Estación de muestreo de Gallur del río Arba

Esta estación tiene una densidad de 379 ejemplares/m². De los cuales 46,92% tienen menos de 6 meses, 52,2% tienen entre 6-15 meses y 0,88% tienen entre 16-25 meses.

De los 379 ejemplares, 0,18% estaban vivos y 99,82% estaban muertos.

En esta estación se tomaron muestras de grava y limo con algo de grava por separado. Los resultados indican que el 79% de los ejemplares se encontraban en la grava (Tabla 11).

Tabla 11. Densidades de *C. fluminea* según tipo de suelo en la estación de Gallur del río Arba.

	Nº ejemplares vivos	Nº ejemplares muertos	Total
7 Gallur (grava)	0	472	472
	0%	100%	20,7%
7 Gallur (limo)	4	1800	1804
	0,2%	99,8%	79,3%

8. Estación de muestreo de Ejea de los Caballeros del río Arba

Esta estación tiene una densidad de 63 ejemplares/m². De los cuales 6,35% tienen menos de 6 meses, 87,3% tienen entre 6-15 meses y 6,35% tienen entre 16-25 meses. De los 63 ejemplares, todos los ejemplares estaban vivos.

9. Estación de muestreo de Remolinos del río Ebro

Esta estación tiene una densidad de 1232 ejemplares/m². De los cuales 5,19% tienen menos de 6 meses, 45,45% tienen entre 6-15 meses, 40,26% tienen entre 16-25 meses y 9,09% tienen entre 26-36 meses.

De los 1232 ejemplares, 31,17% estaban vivos y 68,83% estaban muertos.

10. Estación de muestreo de Torres de Berrellén del río Jalón

Esta estación tiene una densidad de 1082 ejemplares/m². De los cuales 55,91% tienen menos de 6 meses y 44,09% tienen entre 6-15 meses.

De los 1082 ejemplares, 43,35% estaban vivos y 56,65% estaban muertos.

11. Estación de muestreo de Plasencia de Jalón del río Jalón

Esta estación tiene una densidad de 186 ejemplares/m². De los cuales 16,49% tienen menos de 6 meses, 81% tienen entre 6-15 meses y 2,51% tienen entre 16-25 meses.

De los 186 ejemplares, 81,72% estaban vivos y 18,28% estaban muertos.

En esta estación se diferenciaron dos muestras (grava y limo), los resultados indicaron que el 94% de los ejemplares de *C. fluminea* se encontraban en el limo (Tabla 12).

Tabla 12. Densidades de *C. fluminea* según tipo de suelo en la estación de Plasencia de Jalón del río Jalón.

	Nº ejemplares vivos	Nº ejemplares muertos	Total
11 Plasencia de Jalón (grava)	32	40	72
	44%	56%	6,5%
11 Plasencia de Jalón (limo)	880	164	1044
	84,3%	15,7%	93,5%

12. Estación de muestreo de Zaragoza del río Ebro

Esta estación tiene una densidad de 880 ejemplares/m². De los cuales 27,27% tienen menos de 6 meses, 70,91% tienen entre 6-15 meses y 1,82% tienen entre 16-25 meses.

De los 880 ejemplares, 14,55% estaban vivos y 85,45% estaban muertos.

13. Estación de muestreo de Zaragoza del río Huerva

Esta estación tiene una densidad de 1664 ejemplares/m². De los cuales 35,58% tienen menos de 6 meses y 64,42% tienen entre 6-15 meses

De los 1664 ejemplares, 16,35% estaban vivos y 83,65% estaban muertos.

14. Estación de muestreo de Botorrita del río Huerva

Esta estación tiene una densidad de 52 ejemplares/m². De los cuales 7,69% tienen menos de 6 meses y 92,31% tienen entre 6-15 meses.

De los 52 ejemplares, 92,31% estaban vivos y 7,69% estaban muertos.

15. Estación de muestreo de Zaragoza del río Gállego

Esta estación no tiene presencia de *C. fluminea*.

16. Estación de muestreo de Zuera del río Gállego

Esta estación no tiene presencia de *C. fluminea*.

3.3.4 Análisis estadístico de variables numéricas y nominales

En primer lugar, se presentan los resultados de la estadística descriptiva. Las alturas y longitudes máximas y mínimas que se obtuvieron por estación de muestreo se muestran en la figura 45.

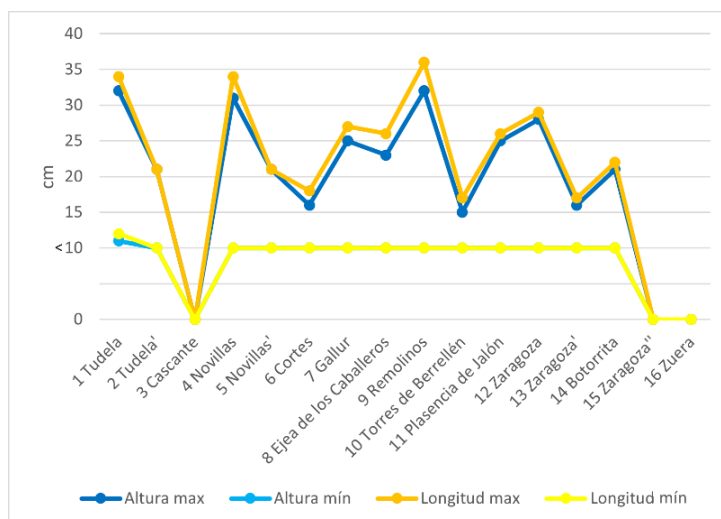


Figura 45. Distribución de alturas y longitudes máximas y mínimas por estación de muestreo.

También se analizaron los parámetros fisicoquímicos, cuyos datos se han presentado en las figuras 23A y 23B, y las densidades, los estados vivos-muertas y las edades,

cuyos resultados se representan en las figuras 42, 43 y 44. En la figura 46 se representa el diagrama de bigotes para los parámetros fisicoquímicos.

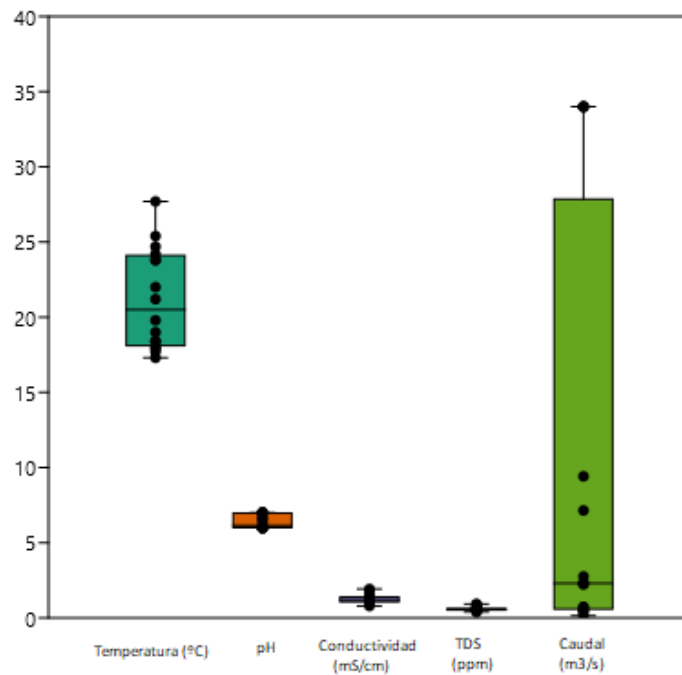


Figura 46. Diagrama de cajas de parámetros fisicoquímicos.

El análisis PCA muestra que las variables Temperatura, Conductividad, TDS y Caudal podrían tener cierta relación. Las variables longitud y altura medias están estrechamente relacionadas. El pH no tiene relación con ninguna variable y la densidad podría estar relacionada con el caudal y con las medidas de las valvas (Figura 47).

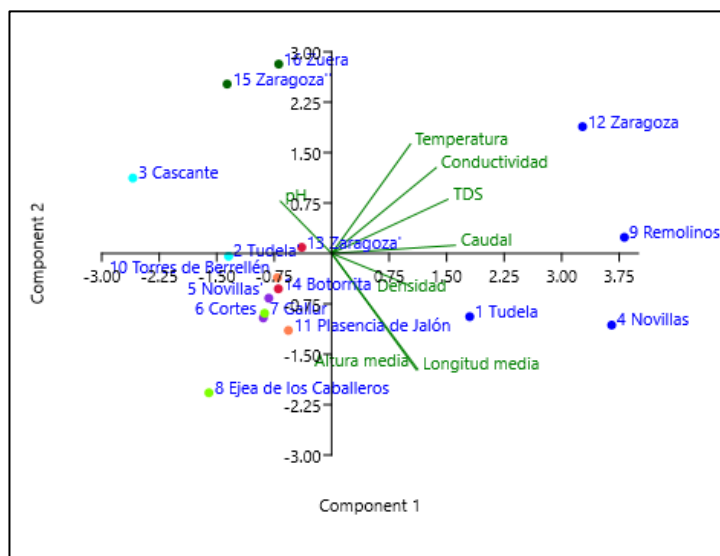


Figura 47. Análisis PCA de las variables numéricas.

Una vez, se ha analizado la gráfica se realizó el test de normalidad para todas las variables. Dicho test no fue significativo para la altura, la longitud y la temperatura, indicando que estas variables tienen una distribución normal, mientras que las otras (densidad, pH, conductividad, TDS, caudal, presencia de *C. fluminea*, presencia de *D. polymorpha*, presencia de náyades y tipo de sustrato) tienen una distribución que no se ajusta a una distribución normal. Posteriormente, se calcularon las correlaciones.

La correlación entre la altura y la longitud nos permite comprobar si las edades se podían calcular indistintamente con cualquiera de las dos variables. En el test de correlación de Pearson obtuvimos un índice de correlación (IC) de 0,99 y un p-valor de 1,79E-20, por lo que podemos confirmar que existe una alta correlación entre ambas variables.

Se realizó el test de correlación para la Conductividad con los Sólidos Disueltos Totales. Las variables presentaron una correlación considerable en el test de Spearman, IC igual a 0,80 y p-valor igual 1,93E-04. También se relacionó, la conductividad con la temperatura. El IC se aleja un poco más que en el caso anterior (IC=0,77; p-valor= 0,0004), pero concluimos que tienen cierta correlación.

La variable más interesante que nos relaciona a *C. fluminea* con el resto de las variables es la densidad. En el análisis PCA (Figura 47), las únicas variables con posible relación a la densidad fueron las medidas de las valvas y el caudal. El test de correlación entre la densidad y el caudal no fue significativo dado que obtuvimos un IC igual a 0,48 y un p-valor igual a 0,057. En cambio, el test de correlación de la densidad con las medidas de las valvas sí que fue ligeramente significativo tanto para la altura (IC = 0,54; p-valor = 0,031) como para la longitud (IC = 0,53; p-valor = 0,036).

Por otra parte, se procedió a analizar las variables binarias. Para ello, se realizó el análisis PCoA (Figura 48).

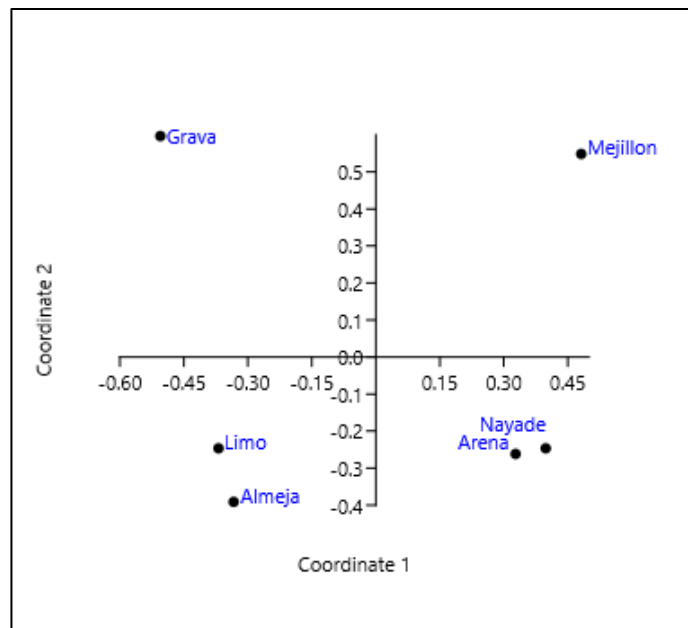


Figura 48. Análisis PCoA con las variables binarias.

El análisis PCoA muestra que las variables que están más relacionadas son el limo con la presencia de almejas y, la presencia de náyades con las arenas.

4. Discusión

La dispersión de las EEI, es cada vez más común y ocupa el segundo lugar entre las problemáticas ambientales más importantes (Everet, 2000). En gran medida esta expansión se ha favorecido gracias a las actividades humanas (McNeely *et al.*, 2001). Sin embargo, los dos factores que aseguran la supervivencia de estas especies son las características del hábitat receptor y las características intrínsecas de la especie (Castro *et al.*, 2004; Pérez, 2013). Con este estudio se ha intentado comprender la evolución de la EEI *Corbicula fluminea* en la Cuenca del Ebro, describiendo los hábitats y las características de las poblaciones en el tramo de Tudela a Zaragoza. Para ello también se analiza el contexto de su evolución en toda la CE en los últimos cuatro años.

4.1 Caracterización del hábitat

La Cuenca del Ebro (CE) es un escenario idóneo como foco de invasión para especies exóticas. Cumple con unas condiciones climáticas tolerables, recursos libres que no estén acaparados por las especies autóctonas y baja presión de enemigos y depredadores (Sol, 2014). Algunas de las EEI más conocidas de la CE son el mejillón cebrá, el cangrejo rojo americano, el caracol manzana o la almeja asiática.

Para conocer mejor las características de la CE y su influencia en la almeja asiática se han establecido estaciones de muestreo a lo largo de toda la cuenca y en distintos hábitats, puesto que se ha demostrado que puede desarrollarse en estuarios, lagos y corrientes de aguas (GTA, 2009). Los resultados corroboran este dato puesto que la presencia de *C. fluminea* ha estado presente tanto en el Embalse del Ebro como en el cauce principal del río Ebro y sus afluentes. Podríamos decir que su punto débil se encuentra en las variaciones de los factores abióticos como afirma McMahon (2002), pues tiene poca resistencia a cambios de temperatura, salinidad, emersión, pH, concentración de calcio y cambios en el oxígeno disuelto (GTA, 2009). La temperatura idónea para su crecimiento se encuentra entre 20-30°C, aunque sobrevive en rangos de 2°C a 37°C (McMahon *et al.*, 1983). En el estudio realizado del tramo de Tudela a Zaragoza, las temperaturas donde estaba presente *C. fluminea* variaban entre 17,3°C y 27,2°C (Figura 46), el valor medio de todos los datos de temperatura era $21,21 \pm 3,33^\circ\text{C}$ (Figura 46). Respecto al pH, todas las estaciones tenían un pH neutro, con un valor medio de $6,4 \pm 0,45$ (Figura 46). Los valores de la conductividad y los TDS eran bastante similares, con una media de $1,26 \pm 0,29$ mS/cm y $0,61 \pm 0,14$ ppm, respectivamente (Figura 46). También se recogieron los datos del caudal registrados por la CHE del día del muestreo, en el río Ebro el caudal fue constante con un valor de $34 \text{ m}^3/\text{s}$ y en los afluentes el caudal era menor, con una media de $2,44 \pm 2,92 \text{ m}^3/\text{s}$ (Figura 46).

Comparando estos valores con los obtenidos en los estudios de años anteriores, los valores están dentro del rango que se vienen detectando (Paleoymás, 2019a; 2020; 2021).

4.2 Evolución de las densidades en el eje del río Ebro entre 2019-2021 y afluentes entre 2020-2022

Hoy en día, la presencia de *C. fluminea* ha alcanzado todos los continentes. Según Lucy *et al.* (2012) la tasa de propagación de esta especie es considerablemente mayor que la propagación de *D. polymorpha* debido a que tiene una capacidad de reproducción mayor. De hecho, la introducción de un individuo es suficiente para que se cree una población (McMahon, 1999; McMahon y Bogan, 2001). En el río Ebro, las densidades de esta especie aumentaron un 21,38%, entre 2019 a 2021 (Paleoymás, 2021). El promedio por estación de la densidad de *C. fluminea* en el río Ebro en 2021 fue de 2.930 ejemplares/m² (Figura 19), respecto 2.414 indiv/m² en 2019 (Figura 19). Este dato es mucho mayor que en otros ríos de la península ibérica, como el río Miño con 1.320 ejemplares/m² (Sousa *et al.*, 2008a) o el río Guadiana con un máximo de 837 ejemplares/m² en un punto de muestreo (GTA, 2009). Así mismo, las densidades en ríos de otros países son menores al río Ebro. Por ejemplo, en el río Althrein y Rhine (en el norte de Europa) se reportan densidades de 200-600 y de 1-200 individuos/m², respectivamente (Schmidlin y Baur, 2006). Otros ejemplos son el río Mechums en EEUU con una densidad media de 677 ejemplares/m² (Hornbach, 1992) y el río Negro en Sudamérica con una densidad media máxima de 109 individuos/m² en el mes de septiembre (Hünicken, 2018).

El vector principal de propagación es la actividad humana (Lucy, 2012), eso explica que en la estación del Embalse del Ebro en Cantabria se haya encontrado una población pequeña siendo que hasta 170 km río abajo no hay presencia. Dicha población aumentó de 4 ejemplares/m² a 92 ejemplares/m² en dos años. Desde Logroño hasta Tortosa encontramos la presencia de *C. fluminea* en todas las estaciones (Figura 19).

La evolución de las densidades ha ido en auge en 13 de las 16 estaciones con presencia de *C. fluminea* positiva (Figura 19). Una estación más con presencia de almeja asiática que en 2019 puesto que la estación de Caspe, donde hace tres años no se encontró presencia de almeja asiática, en 2021 se estimó una densidad de 28 ejemplares/m² (Figura 19). Las únicas estaciones donde encontramos una disminución en la densidad son en La Zaida, Flix y Miravet (Figura 19). Los cambios más bruscos se dan en la estación de Miravet con una diferencia de 4.616 ejemplares/m² entre dos años y en Flix, con una diferencia de 228 ejemplares/m². En La Zaida se dan unas densidades de 640

en 2019 a 572 ejemplares/m² en 2021. Esta disminución se puede atribuir a un sustrato principalmente formado por gravas que no favorece el asentamiento de la población. Sin embargo, hay que considerar que el río es un medio en continuo cambio y hay factores de la dinámica del río como el caudal, la dirección de las corrientes o la deposición de sedimentos que provoca variaciones temporales en las densidades de *C. fluminea* sobre puntos concretos del río.

En las edades de las poblaciones se puede apreciar dos trayectorias distintas entre 2019 y 2021. En aquellas estaciones donde había altas densidades de almejas el número de ejemplares menores de 10 mm descendió y el de individuos entre 10-30 mm aumentó (Figura 19), en otras palabras, se observa un envejecimiento de la población. Por otro lado, en estaciones con una densidad baja (<100 ejemplares/m²) el porcentaje de individuos pequeños era mayor, lo cual indica que se sigue dando un reclutamiento para la dinámica de colonización (Paleoymás, 2021).

En los estudios de prospección de la CE realizados por la CHE las longitudes máximas que se han encontrado han sido de 42 mm en 2019 y 35 mm en 2021 (Figuras 14A y 18A). Es muy poco común que alcancen dimensiones cercanas a los 50 mm, pues por encima de los 23 mm de longitud ya se consideran que están en la edad adulta. Aun así, bajo condiciones de temperatura, nutrientes y sustrato muy concretos pueden seguir creciendo (Sousa *et al.*, 2005; 2008b). En otros ríos se han registrado dimensiones de 46 mm en Texas (Williams y McMahon, 1986) y 48,6 mm en Tennessee (Mattice y Wright, 1986).

En los afluentes, las densidades aumentaron un 30,87% (Figura 22) con una densidad media por estación, de 100 ejemplares/m² en 2020 a 134 indiv/m² en 2022. Comparando con el río Ebro, las densidades son menores en los afluentes, pero si comparamos otros estudios en canales con caudales similares a los afluentes, se reportan densidades medias de solamente ejemplares vivos de 1.100 indiv/m² en el Canal de Tauste o 1.018 indiv/m² en el Canal Imperial (Gimeno, 2017)

Las densidades en los afluentes siguen un patrón que se da en la mayoría de los ríos, donde estas son mayores en los puntos que se encuentran más cerca de las desembocaduras del río Ebro (Figura 20). Algunos ejemplos de ello son los ríos Cidacos, Aragón, Alhama, Queiles, Huecha, Jalón, Huerva, Guadalupe, Cinca y Segre. La evolución de las densidades entre los años 2020-2022 ha sido bastante distinta entre los afluentes. Las poblaciones han disminuido en Ega, Aragón, Alhama, Queiles, Huecha, Guadalupe y Cinca, se han mantenido en el Segre y han aumentado en Cidacos, Jalón y Huerva. En el río Arga se da un aumento de la densidad en la estación

de Molino de Vergalijo, pero una disminución de la densidad en Funes. En todos los ríos donde las densidades han disminuido uno de los componentes principales del suelo eran gravas. Según Rodríguez *et al.* (2021), la expansión de la almeja asiática se encuentra favorecida en suelos donde el componente principal es arena, siendo el porcentaje de gravas y limos pequeños. El autor explica que esta especie en suelos arenosos tiene un crecimiento lento, donde los individuos se hacen más grandes y la tasa de mortalidad es pequeña, mientras que en suelos gravosos el crecimiento es más rápido, los individuos más pequeños y la tasa de mortalidad más alta. Por tanto, las condiciones granulométricas son un factor importante para limitar la expansión de la especie. También cabe la posibilidad de que las variaciones en las densidades se deban a cambios en la dinámica de los ríos. Por ejemplo, en la estación de Aiguabarreig, se estimó una densidad de 228 ejemplares/m² en 2020 pero en 2022 no se encontró ningún individuo (Figura 22), excepto una valva suelta en la orilla que no se registró puesto que no se encontraba justo en el punto de muestreo. Por tanto, es posible que haya presencia de *C. fluminea*, a pesar de no haberse encontrado en el punto de muestreo.

La estación de Santacara no se muestreó en 2022 puesto que el río Aragón ya contaba con otros dos puntos de muestreo.

La distribución de las edades es mayor en los organismos más pequeños (entre 0-9 mm), pero también hay un porcentaje considerable entre los 10-30 mm. Sin embargo, apenas son el 19,13% los que superan los 26 meses de edad (>31 mm) (Figura 21A).

La longitud máxima que se ha encontrado en 2022 fue de 35 mm (Figura 21A), dos centímetros mayor a la máxima encontrada en el muestreo de los afluentes de 2020. Aunque la mayoría de los ejemplares están entorno 10-23 mm de longitud (6-15 meses) (Figura 21A). El factor principal que podría limitar este crecimiento es la disponibilidad de nutrientes. En ríos pequeños la mayor concentración de nutrientes se encuentra en la parte alta de los ríos. Sin embargo, todos los muestreos realizados han sido en zonas bajas, próximas a las desembocaduras. Estas zonas carentes de nutrientes hacen que las almejas tengan que competir por el alimento, provocando la muerte en ejemplares de tallas pequeñas (Gimeno, 2017).

4.3 Evolución de las densidades en el eje del río Ebro y afluentes principales en el tramo de Tudela a Zaragoza desde 2019 hasta 2022

Como se ha dicho anteriormente, *C. fluminea* presenta más afinidad a arenas con limo y arcillas donde se puede hacer hueco en los primeros centímetros del lecho para refugiarse (Aguirre y Poss, 1999; GTA, 2015). Las estaciones muestreadas presentan composiciones muy heterogéneas a lo largo y ancho de la CE, donde las gravas, arenas

y limos están presentes en distintas proporciones según los procesos de erosión y sedimentación de la dinámica del río. Acorde con los resultados, se han encontrado *C. fluminea* en todo tipo de sustratos. En el eje del río Ebro encontramos las mayores densidades de *C. fluminea*, lo cual coincide con las estaciones donde había mayores proporciones de arenas y limos.

En las estaciones de Cortes, Gallur, Torres de Berrellén, Zaragoza' y Botorrita, es donde se ha dado un aumento de las densidades (Figura 22). Si nos fijamos en las edades, apenas superan los 15 meses la mayoría (Figura 42), lo cual puede significar dos cosas: que se trate de poblaciones jóvenes que se acaban de instalar como en Botorrita, o de poblaciones con una tasa de mortalidad bastante alta como Gallur, Torres de Berrellén o Zaragoza'. Estos resultados cuadran con la teoría de Rodríguez *et al.* (2021), donde explica que la granulometría es el factor que más limita el crecimiento de la especie. También destacar la estación de Gallur, que se trata de una población nueva donde la mayor parte de los ejemplares (79%) se encontraron en grava (Tabla 11) y la relación vivas-muertas era mayor en muertas (75,2%) (Figura 42).

A excepción de la estación de Gallur, en las estaciones (Novillas', Cortes y Plasencia de Jalón) donde se compararon la densidad de almejas en distintos tipos de lechos de una misma estación, la densidad era mayor en sustratos más finos. Por ejemplo, en la estación de Plasencia de Jalón el número de ejemplares encontrados en limos fue 14 veces mayor que en grava (Tabla 12). En Novillas y Cortes fue 7 veces mayor en arena (Tabla 9) y 2,4 veces mayor en limo (Tabla 10), respectivamente.

En las estaciones donde se ha dado una disminución de la población, podríamos atribuir la causa a que el sustrato, dominado por gravas, no era el adecuado para el desarrollo de esta especie. Esto concuerda con el análisis PCoA donde las almejas tenían más afinidad por el limo (Figura 48). Estas estaciones son Tudela', Novillas', Ejea de los Caballeros y todas las del río Ebro.

En las estaciones del río Ebro se ha dado precisamente una disminución muy brusca de las densidades (Figura 42). Hay que tener en cuenta que esta densidad se calcula sumando los ejemplares vivos y muertos que se encuentran en el punto de muestreo, ya que no se puede saber si un ejemplar muerto murió en ese lugar o fue arrastrado por el cauce. Por tanto, este dato no es del todo preciso en aquellas estaciones donde hay un porcentaje de ejemplares muertos muy grande. De hecho, en diciembre de 2021 se dio una avenida en el río Ebro donde el caudal llegó a alcanzar los 2.148 m³/s (SAIH, 2022). Por otro lado, las avenidas pueden modificar la dinámica del río. Esto repercute en los resultados ya que una estación de muestreo puede estar ubicada sobre una barra

de arenas como en el caso de Novillas, pero al retirarse esa barra de arenas el sustrato ya no es igual de bueno para ellas y la dinámica de la población se ve repercutida. Para que los datos fuesen más precisos, habría que muestrear el río de forma más continua tanto en el ámbito espacial como temporal. A pesar de todo eso, es evidente que, en la estación de Novillas, el gran volumen de ejemplares muertos (Figura 42) indica que se podría haber alcanzado el umbral de capacidad de carga y hay una elevada tasa de mortalidad.

Respecto a la distribución de las edades, el 56,2% de los ejemplares tenían entre 6-15 meses y el 24,4% tenían menos de 6 meses (Figura 43 y 44). Además, el porcentaje de ejemplares que alcanzan los 16-25 meses son el 22% y solo el 2% alcanza los 26-36 meses (Figura 43 y 44). Las estaciones donde se da una población más envejecida, hasta los 26-36 meses, son en las estaciones de Tudela, Novillas y Remolinos del río Ebro (Figura 43 y 44). En la estación de Zaragoza, el punto fue desplazado debido al secamiento del lugar de muestreo, pero sí que se encontraron por las orillas ejemplares de gran tamaño. En los afluentes las poblaciones más envejecidas, hasta los 16-25 meses se dan en Gallur, Ejea de los Caballeros y Plasencia de Jalón, aunque el mayor número de ejemplares se dio en edades de 6-15 meses como se ha comentado anteriormente (Figura 43 y 44). La ausencia de ejemplares grandes se debe al sustrato gravoso principalmente y a la limitación de alimento (Gimeno, 2017; Rodríguez *et al.*, 2021).

Por último, comentar los resultados obtenidos entre la presencia de *C. fluminea* y náyades. En este estudio solo se han encontrado náyades en tres estaciones, de las cuales dos estaban en el río Ebro. En el análisis PCoA se mostró que las náyades tenían más afinidad por suelos arenosos (Figura 48), los cuales son más abundantes en el río Ebro. En general, el lecho de los afluentes estudiados no beneficia al asentamiento de náyades, ya que la grava es uno de los elementos principales del suelo.

La tendencia de las poblaciones de náyades tanto en el Ebro como en sus afluentes es negativa (Gimeno, 2017). Este dato concuerda con que la mayoría de las náyades encontradas estén muertas. También he de decir que los datos de náyades han sido fortuitos y no se han muestreado el lecho con la intención de encontrar náyades. El único afluente donde se ha encontrado presencia de náyades fue en el río Arba, con dos ejemplares muertos de *Unio mancus* y dos ejemplares vivos de *Anodonta anatina*. En los otros dos puntos del Ebro se ha encontrado una mayor densidad de náyades. En Novillas se encontraron 10 ejemplares, 4 vivos y 6 muertos de *Potomida littoralis* y en Remolinos 8 ejemplares, 4 vivos y 3 muertos de *Potomida littoralis* y uno vivo de *Unio*

mancus (Tabla 8). Visto desde el otro lado, es lógico pensar que en aquellos lugares donde haya más presencia de náyades por unas mejores condiciones ambientales, también será más probable que la llegada de corbículas y su supervivencia sea mayor (Gimeno, 2017). Sin embargo, la almeja asiática es una EEI y como tal, tiene más capacidad para usar los recursos del medio (Pigneur *et al.*, 2011).

4.4 Gestión de *Corbicula fluminea*

La CHE no ha realizado aún ningún trabajo de gestión de esta especie. Pero sí está investigando la situación actual para tomar medidas en consecuencia (CHE, 2022). En otras cuencas como el Guadiana sí que se llevó a cabo un ensayo con varios métodos para la eliminación de esta especie en la Rivera del Lácara. En los tratamientos no se consigue la erradicación total de la especie puesto que algunos tratamientos están enfocados a individuos adultos y otros requieren un continuo mantenimiento por la entrada constante de larvas o ejemplares adultos (GTA, 2017).

Dicho estudio de la cuenca del Guadiana pone de manifiesto que la mejor gestión de las EEI son las actuaciones de prevención, ya que hoy en día no tenemos la tecnología necesaria para poder erradicar a las EEI sin perjudicar a otras especies. Una de las medidas preventivas que se ha desarrollado para su control es la prohibición de su uso como cebo (MITECO, 2013).

Otras propuestas que expone el Catálogo Español de EEI son el control mecánico mediante la eliminación a mano de ejemplares vivos y muertos o la instalación de filtros que impidan el paso de larvas (MITECO, 2013). Sin embargo, estos controles solo podrían ser efectivos para la erradicación de la especie en aguas confinadas. También proponen la desinfección de embarcaciones, aguas de lastre y artes de pesca mediante productos químicos. Por último, pero no menos importante, proponen la realización de campañas de concienciación y sensibilización a personas y comunidades que más probabilidad tienen de ser medio de propagación (pescadores, regantes y acuariófilos) para que colaboren en evitar la dispersión de la almeja asiática (MITECO, 2013). Este punto es clave para que se tome conciencia sobre la problemática que conllevan las EEI y los conocimientos que tenemos sobre estas especies lleguen a toda la población con el fin de que todos juntos colaboremos en la erradicación de estas especies.

5. Conclusiones

- Las **condiciones climáticas** del tramo de estudio no son un obstáculo para la colonización de la almeja asiática ya que están dentro de su rango de supervivencia.
- La **presencia de *C. fluminea*** ha llegado a 5 Comunidades Autónomas de las 9 que forman la Cuenca del Ebro: Cantabria, La Rioja, Navarra, Aragón y Cataluña. En dos años, las poblaciones han tenido un aumento del 21,38% en el río Ebro, (última densidad media actualizada de 2.930 ejemplares/m²) y del 30,87% en los afluentes (última densidad media actualizada de 134 ejemplares/m²).
- En el **tramo de Tudela a Zaragoza**, las densidades medias han disminuido un 72,7% en el río Ebro entre 2021-2022 (3.054 ejemplares/m²) y han aumentado un 72,8% en los afluentes (295 ejemplares/m²).
- La disminución en el tramo Tudela-Zaragoza del Ebro se ha dado en todas las estaciones y es una posible consecuencia de las fluctuaciones en la dinámica del río (avenidas, dirección de las corrientes, deposición y movimiento de sedimentos, etc.) y de haber alcanzado el umbral de capacidad de carga.
- El balance global de los afluentes en el tramo Tudela-Zaragoza indica un aumento de las poblaciones, aunque no es el caso de todas las estaciones de muestreo, debido probablemente a un reclutamiento característico de la etapa de colonización y a la presencia de un sustrato arenoso que facilita su crecimiento.
- Se han detectado las **densidades más altas** (por encima de 500 ejemplares/m²) del río Ebro en Logroño, Castejón, Novillas, Remolinos, Utebo, Zaragoza, Presa de Pina, La Zaida, Escatrón, Miravet y Tortosa. En los afluentes las densidades más altas (por encima de 100 ejemplares/m²) se encuentran en San Adrián (río Ega), Calahorra (río Cidacos), Milagro (río Aragón), Molino de Vergalijo (río Arga), Alfaro (río Alhama), Gallur (río Arba), Torres de Berrellén (río Jalón), Plasencia de Jalón (río Jalón) y Zaragoza (Parque Grande) (río Huerva).
- En las estaciones de San Adrián y Castejón (Ebro) se han detectado **las mayores longitudes de valvas** (41 y 42 mm). En los afluentes el río Arba (35 mm), y en el tramo de Tudela a Zaragoza en las estaciones de Tudela, Novillas y Remolinos (34-36 mm).
- Respecto a **las edades**, la mayoría de los individuos son jóvenes, con menos de 15 meses (95,15% de los ejemplares del río Ebro y el 76,38% en los afluentes). El tramo de Tudela a Zaragoza presenta un 98,04% de individuos menores de

15 meses y solo el 0,22% alcanza los 26 meses. En ninguno de los casos se ha encontrado ejemplares mayores de 36 meses.

6. Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer a todo el equipo de Paleoymás por haberme facilitado todo el material y herramientas necesarias para poder realizar este trabajo. En especial agradezco a Cristóbal por haberme dado esta oportunidad y ofrecerse como mi director del Trabajo de Fin de Grado, así como toda su implicación y esfuerzo que ha mostrado conmigo. Quiero agradecer a Ismael porque sin él no habría sido posible realizar todas las salidas de campo, además me llevo conmigo todos los buenos ratos que hemos pasado de viaje y todo lo que me ha enseñado. Valoro mucho todo el apoyo recibido por el resto del equipo, María, Rubén y Edu, ya que han puesto todo lo que han podido de su mano y me han aconsejado, como exalumnos, para que mi camino sea más fácil.

Estoy muy agradecida a Ernesto, por su disposición para ser mi ponente. Su ánimo, esfuerzo y disponibilidad ha hecho que este trabajo haya salido adelante con gran fluidez y rapidez. También agradezco su gran labor como profesor para transmitir sus conocimientos, provocar interés y hacer las clases tan amenas.

Se agradece a la Confederación Hidrográfica del Ebro por autorizar la disposición de los datos fruto de sus campañas de trabajo promovidas en estos años.

Por último, agradezco todo el apoyo que he recibido de mi entorno más cercano. A mi familia por facilitarme las horas de estudio y trabajo, así como acompañarme en los buenos y en los malos y estresantes momentos. Gracias por vuestro apoyo incondicional y facilidades que me habéis dado desde que empecé esta carrera hace 4 años. A mi pareja, amigos y compañeros de piso que me han acompañado durante estos 4 años y han hecho de esta etapa un momento inolvidable.

7. Bibliografía

AEMET. 2022. Valores climatológicos normales. Zaragoza, Aeropuerto. Disponible en: <https://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/valoresclimatologicos?l=9434yk=undefined>. Consultado el 05/07/2022.

Aguirre, W, Poss, SG. 1999. Non-indigenous species in the Gulf of Mexico ecosystem: *Corbicula fluminea* (Muller, 1774). Gulf States Marine Fisheries Commission (GSMFC).

Aldridge, D. W., McMahon, R. F. 1978. Growth, fecundity and bioenergetics in a natural population of the Asiatic freshwater clam, *Corbicula manilensis* Philippi, from North Central Texas. *J. Molluscan Studies*, 44: 49-70.

Álvarez, R.M., Javierre, A. 2015. Almeja asiática (*Corbicula fluminea*). Biología, ecología y lucha contra esta especie exótica invasora. Jornada Científica: Especies Exóticas Invasoras en el Ámbito Ripario. *Ripisilva*.

Araujo, R. 2004. Los bivalvos dulceacuícolas de La Rioja. *Zubía*, 22: 29-39.

Araujo, R. 2006. La afección del mejillón cebra y su posible lucha en las infraestructuras, especialmente en los riegos tradicionales y modernizados del Levante Ibérico. Museo Nacional de Ciencias Naturales.

Araujo, R., Madeira M. J., Ayala de Puelles, I. (2009). "Estudio del estado actual de conservación de *Margaritifera auricularia* en las aguas del Ebro". Madrid. Consejo Superior de Investigaciones Científicas/ Asociación para la Conservación y Estudio de la Biodiversidad. Informe inédito de la Confederación Hidrográfica del Ebro, Ministerio de Transición Ecológica y el Reto Demográfico.

Araujo, R., Moreno, M., Ramos, M.A. 1993. The Asiatic clam *Corbicula fluminea* (Müller, 1774) (Bivalvia: Corbiculidae) in Europe. *American Malacological Bulletin*, 10(1): 39-49.

Araujo, R., Ramos, M. A., Bedoya, J. 1994. Microtubules in the shell of the invasive bivalve *Corbicula fluminea* (Müller, 1774) (Bivalvia: Heterodonta). *Journal of Molluscan Studies*, 60: 405-413.

Britton, J. C. y Morton, B. 1986. Polymorphism in *Corbicula fluminea* (Bivalvia: Corbiculoidea) from North America. *Malacological Review*, 19: 1-43.

Campos, V. 2019. Estudio comparativo de la especie exótica invasora *Corbicula* spp. en el río Ebro (tramo medio) y canales asociados (Canal Imperial de Aragón y canal de Tauste) y su relación con las náyades autóctonas. Trabajo de Fin de Grado. Universidad de Zaragoza.

Carlton, J. T. 1992. Introduced marine and estuarine mollusks of North America: An end of 20th century perspective. *J. Shellfish Reseach*, 11: 489-505.

Capdevila-Argüelles L., Zilletti B., Suárez V. A. (GEIB). 2011. Cambio climático y especies exóticas invasoras en España. Diagnóstico preliminar y bases de conocimientos sobre impactos y vulnerabilidad.

Castro-Díez, P, Valladares, F, Alonso, A. 2004. La creciente amenaza de las invasiones biológicas. *Ecosistemas*, 13(3): 61-68.

Cataldo, D.H., Boltovskoy, D. (2001). Dinámica poblaciones y potencial bioindicador de contaminación acuática del molusco bivalvo *Corbicula fluminea* en el Delta del Río Paraná. Tesis Doctoral. Universidad de Buenos Aires. 181 pp.

Cazzaniga, N. J. 1997. Asiatic clam, *Corbicula fluminea*, reaching Patagonia (Argentina). *J. Freshwater Ecology*, 12(4): 629-630.

Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE). 2011. "Protocolos de desinfección y limpieza para evitar la dispersión de la plaga del mejillón cebra (*Dreissena polymorpha*)".

Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE). 2015. Memoria. Plan Hidrológico de la Parte Española de la Demarcación Hidrográfica de Ebro 2015-2021.

Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE). 2022. Descripción de la cuenca del Ebro. Disponible en: <https://www.chebro.es/>. Consultado 05/07/2022.

Correa, N., Petracchi, C., Bordino, P. (1992): Datos preliminares sobre abundancia y estructura de tallas de *Corbicula fluminea* (Mollusca, Bivalvia) en el delta inferior del río Paraná. Com. *Sociedad Malacológica del Uruguay*, 62-63: 290-303.

Coughlan, N., Walsh, D., Caffrey, J., Davis, E., Lucy, F., Cuthbert, R., Dick, J. 2018. Cold as Ice: A novel eradication and control method for invasive Asian clam, *Corbicula fluminea*, using pelleted dry ice. *Management of Biological Invasions*. 9

Counts III, C. L. 1981. *Corbicula fluminea* (Bivalvia: Sphaeriacea) in British Columbia. *Nautilus*, 95(1): 12-13.

Counts III, C. L. 1986. The zoogeography and history of the invasion of the United States by *Corbicula fluminea* (Bivalvia: Corbiculidae). *Bulletin American Malacological Union*, Special edition, 2: 7-39.

Csányi, B. 1999. Spreading invaders along the Danubian highway: first record of *Corbicula fluminea* (O. F. Muller, 1774) and *C. fluminalis* (O. F. Muller, 1774) in Hungary (Mollusca: Bivalvia). *Folia Historico Naturalia Musei Matraensis*, 23: 343-345.

Darrigran, G. 2002. Potential Impact of Filter-feeding Invaders on Temperate Inland Freshwater Environments. *Biological Invasions*, 4. 145-156.

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.

- Domínguez, J. A. y Puente, J. 2008. La vegetación de la Cuenca. Heraldo de Aragón.
- Díaz, R. 1974. Asiatic clam, *Corbicula manilensis* (Philippi), in the Tidal James River, Virginia. *Cheasapeake Science*, 15: 118-120.
- Ebro Resilience. Gobierno de España (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico). 2021. Historia de las Crecidas del Ebro y de su Gestión. Ficha Divulgativa, 5.
- Everett, R. A. 2000. Patterns and pathways of biological invasions. *Trends in Ecology and Evolution*, vol. 15: 177-178.
- Gabinete Técnico Ambiental (GTA). 2009. Estudio sobre la presencia de almeja asiática (*Corbicula fluminea*) en la cuenca hidrográfica del río Guadiana y nuevos datos sobre náyades autóctonas. Confederación Hidrográfica del Guadiana. Mérida.
- Gabinete Técnico Ambiental (GTA). 2015. Determinación experimental de técnicas para el control y eliminación de las poblaciones de almeja asiática en la cuenca del Guadiana. Confederación Hidrográfica del Guadiana. Mérida.
- Gabinete Técnico Ambiental (GTA). 2017. Ensayo y aplicación de varios métodos para la eliminación de las poblaciones de almeja asiática en la rivera del Lácara. Confederación Hidrográfica del Guadiana. Mérida.
- Gabinete Técnico Ambiental (GTA). 2018. Determinación experimental de técnicas para el control y eliminación de las poblaciones de almeja asiática en la Cuenca del Guadiana. Confederación Hidrográfica del Guadiana. Mérida.
- Giglio, M., Maroñas, E., Darrigran, G. 2012. Relación entre la temperatura del hábitat de *Corbicula fluminea* (Müller, 1774) y su resistencia a la exposición al frío. VII Congreso de Medio Ambiente. Asociación de Universidades Grupo Montevideo.
- Gimeno, B. 2017. Presencia y evolución de la almeja asiática (*Corbicula* spp.) y su relación con las náyades autóctonas en canales artificiales asociados al río Ebro en Aragón. Trabajo de Fin de Grado. Universidad de Zaragoza.
- Gómez, I., Nakamura, K. 2019. *Corbicula* spp. Almeja asiática. La Fauna Invasora en Aragón. Invertebrados. Diputación General de Aragón (DGA).
- Google Earth. 2022. Disponible en: <https://www.google.com/intl/es/earth/>. Consultado el 15/10/2022.
- Gurrero, J., Jarne, M. 2014. Las especies exóticas invasoras en Aragón. Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón.
- Hakenkamp, C. C., Palmer, M. A. 1999. Introduced bivalves in freshwater ecosystems: the impact of *Corbicula fluminea* on organic matter dynamics in a sandy stream. *Oecologia*, 119: 445-451.

Hammer, O., Harper, D. A. T., Ryan, P. D. 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. Paleontological Museum. University of Oslo. Disponible en <https://www.nhm.uio.no/english/research/resources/past/> Consultado el 15/10/2022.

Heinsohn, G. E. 1958. Life history and ecology of the freshwater clam, *Corbicula fluminea*. Tesis Doctoral. Universidad de California. Santa Barbara. 64 pp.

Hornbach, D. J. 1992. Life history traits of a riverine population of the Asian clam *Corbicula fluminea*. *American Midland Naturalist*, 127: 248-257.

Hünicken, L. A. 2018. Dinámica poblacional de la almeja asiática, *Corbicula fluminea* (Müller, 1774), en el valle inferior del Río Negro. Tesis de Fin de Grado. Universidad de Buenos Aires.

Ibáñez, J. J. 2008. Clasificación de las Partículas Minerales del Suelo por Tamaño. Disponible en <https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2008/11/01/105541> Consultado el 15/10/2022.

Ilarri, M. I., Antunes, C., Guilhermino, L. y Sousa, R. 2011. Massive mortality of the Asian clam *Corbicula fluminea* in a highly invaded area. *Biological Invasions*, 13: 277-280.

Instituto Geográfico y Minero de España (IGME). 2022. Visor cartográfico. Disponible en: <https://info.igme.es/visor/>. Consultado 11/07/2022.

Ituarte, C. F. 1981. Primera noticia de la introducción de pelecípodos asiáticos en el área Rioplatense (*Mollusca, Corbiculidae*). *Neotropica*, 27(77): 79-82.

Javierre, A. 2015. Caracterización de las poblaciones de almeja asiática *Corbicula fluminea*, Müller, 1774 y evaluación de la calidad y heterogeneidad de los ecosistemas fluviales del Ebro en Navarra. Trabajo de Fin de Grado. Universidad de Zaragoza.

Jiménez, S. 2004. Biología reproductora, desarrollo larvario y dinámica poblacional de *Corbicula fluminea* (Müller, 1774) (Bivalvia: Corbiculidae) en el río Miño (Pontevedra, España). Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid. 203 pp.

Johnson, P. D., McMahon, R. F. 1998. Effects of temperature and chronic hypoxia on survivorship of the zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) and Asian clam (*Corbicula fluminea*). *Canadian J. Fisheries and Aquatic Science*, 55: 1564-1572.

Kinzelbach, R. 1991. Die Körbchenmuscheln *Corbicula fluminalis*, *Corbicula fluminea* und *Corbicula fluviatilis* in Europa (Bivalvia: Corbiculidae). *Mainzer Naturw Archiv.*, 29: 215-228.

Korniushin, A. V., Glaubrecht, M. 2003. Novel reproductive modes in freshwater clams: brooding and larval morphology in Southeast Asian taxa of *Corbicula* (Mollusca, Bivalvia, Corbiculidae). *Acta Zoologica* 84: 293-315.

Kraemer, L. R. 1978. *Corbicula fluminea* (Bivalvia: Sphaeriacea): The functional morphology of its hermaphroditism. *Bulletin American Malacological Union*, 1978: 40-49.

Kraemer, L. R y Galloway, M. 1986. Larval development of *Corbicula fluminea* (Bivalvia: Corbiculacea): An appraisal of its heterochrony. *American Malacological Bulletin*, 4(1): 61-79.

López, M. A., Altaba, C. R. 1997. Présencia de *Corbicula fluminea* (Müller, 1774) (Bivalvia: Corbiculidae) al Delta de L'Ebre. *Bulletin Parc. Nat. Delta l'Ebre*, 10: 20-22.

Lowe, S., Browne, M., Boudjelas, S., De Poorter, M. 2004. "100 of the world's worst invasive alien species. A selection from the global invasive species database". The Invasive Species Specialist Group (ISSG) a specialist group of the Species Survival Commission (SSC) of the World Conservation Union (UICN).

Lucy, F. E., Karatayev, A. Y., Burlakova L. E. 2012. Predictions for the spread, population density, and impacts of *Corbicula fluminea* in Ireland. *Aquatic Invasions* 7: 465-474.

Marescaux, J., Pigneur, L., Van Doninck, K. 2010. New records of *Corbicula* clams in French rivers. *Aquatic Invasions* 5: 35-39.

Matthews, M. A., McMahon, R. F. 1999. Effects of temperature and temperature acclimation on survival of zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) and Asian clam (*Corbicula fluminea*) under extreme hypoxia. *J. Molluscan Studies*, 65: 317-325.

Mattice, J. S., Wright, L. L. 1986. Aspects of growth of *Corbicula fluminea*. *American Malacological Bulletin*, Special edition, 2: 167-178.

McMahon R. F. 1979. Tolerance of aerial exposure in the Asiatic freshwater clam, *Corbicula fluminea* (Müller). *Proceedings of First International Corbicula Symposium*. Britton, J. C. (Ed.), Texas Christian University, Forth Worth, TX. pp 227-241.

McMahon, R. F. 1983. Ecology of an invasive pest bivalve, *Corbicula*. *The Mollusca*, 6. Russel-Hunter, W. D. (Ed.), Academic press Inc., New York. pp. 505-561

McMahon, R. F. 1991. Mollusca: Bivalvia. *Ecology and classification of North American Freshwater Invertebrates*, pp. 315-399.

McMahon, R. F. 1999. Invasive characteristics of the freshwater bivalve *Corbicula fluminea*. *Nonindigenous Freshwater Organisms: Vectors, Biology and Impacts*, 305-313.

McMahon, R. F. 2000. Invasive characteristics of the freshwater bivalve *Corbicula fluminea*. *Nonindigenous Freshwater Organisms: Vectors, Biology and Impacts*, 315-343.

McMahon, R. F. 2002. Evolutionary and physiological adaptations of aquatic invasive animals: r selection versus resistance. *Canadian. J. Fisheries Aquatic Science*, 59: 1235-1244.

McMahon, R. F., Bogan, A. E. 2001. Mollusca: Bivalvia. *Ecology and classification of North American freshwater invertebrates*. 2ª Edición. Thorp, J. H. y Covich, A. P. (Eds.), San Diego, CA: Academic Press. pp. 331-430.

McMahon, R. F., Williams, C. J. 1986. A reassessment of growth rate, life span, life cycles and population dynamics in a natural population and field caged individuals of *Corbicula fluminea* (Müller) (Bivalvia: Corbiculacea). *American Malacological Bulletin*, Special edition, 2: 151-166.

McNeely, J. A., Mooney, H., Neville L., Schei P., Waage J. 2001. Estrategia Mundial sobre Especies Exóticas Invasoras. UICN.

Microsoft Excel. 2021. Disponible en <https://www.microsoft.com/es-es/microsoft-365/excel> Consultado el 15/10/2022

Ministerio de Transición Ecológica y Reto Demográfico (MITECO). 2013. *Corbicula fluminea* (Müller, 1774). Catálogo Español de Especies Exóticas Invasoras.

Modesto, V., Franco, J., Sousa, R., Patrício, J., Marques, J., Neto, J. 2013. Spatial and temporal dynamics of *Corbicula fluminea* (Müller, 1774) in relation to environmental variables in the Mondego Estuary (Portugal). *Journal of Molluscan Studies*, Vol 79 (4): 302–309.

Morales, P. 2011. El coeficiente de correlación. Universidad Rafael Landívar (Guatemala).

Morton, B. 1982. Some aspects of the population structure and sexual strategy of *Corbicula cf. fluminalis* (Bivalvia: Corbiculacea) from the Pearl River, People`s Republic of China. *J. Molluscan Studies*, 48: 1-23.

Morton, B. 1983. The sexuality of *Corbicula fluminea* (Müller) in lentic and lotic waters in Hong Kong. *J. Molluscan Studies*, 49: 81-83.

Mouthon, J. 1981. Sur la présence en France et au Portugal de *Corbicula* (Bivalvia, Corbiculidae) originaire d'Asie. *Basteria*, 45: 109-116.

Mouthon, J. 2003. Longitudinal and temporal variations of density and size structure of *Corbicula fluminea* (Bivalvia) populations in the Saône and Rhône rivers (France). *Annales de Limnologie – International Journal of Limnology*, 39: 15-25.

Mouthon, J., Parghentanian, T. 2004. Comparison of the life cycle and population dynamics of two *Corbicula* species, *C. fluminea* and *C. fluminalis* (Bivalvia: Corbiculidae) in two French canals. *Archiv für Hydrobiologie*, 161(2): 267-287.

Navarra.es. 2022. Tudela MAN. Disponible en: http://meteo.navarra.es/climatologia/fichasclimaticas_estacion.cfm?IDestacion=219. Consultado 08/07/2022.

Ollero, A. 1996. El curso medio del Ebro: geomorfología fluvial, ecogeografía y riesgos. Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón.

Ollero, A., Sánchez M., Losada J.A. y Hernández C. 2004. El comportamiento hídrico del río Ebro a su paso por Aragón. J.L. Peña, L.A. Longares y M. Sánchez (Eds.).

Oscos, J., Acorreta, A., Durán, C., Larnad, M. L. 2006. Aportaciones al conocimiento de algunos bivalvos dulceacuícolas en la cuenca del Ebro. *Naturaleza Aragonesa*, 16: 27-36.

Paleomás. 2019a. Estudio de distribución de *Corbicula fluminea* en el eje del río Ebro. Confederación Hidrográfica del Ebro. Zaragoza.

Paleomás, 2019b. La almeja asiática: una invasora poco conocida. Disponible en <https://www.paleomas.com/almeja-asiatica-invasora-poco-conocida/#:~:text=La%20almeja%20asi%C3%A1tica%20es%20nativa,casi%20todas%20las%20cuenecas%20hidrogr%C3%A1ficas>. Consultado el 19/20/2022.

Paleomás. 2020. Estudio de distribución de *Corbicula fluminea* en los afluentes principales del río Ebro. Confederación Hidrográfica del Ebro. Zaragoza.

Paleomás. 2021. Estudio de distribución de *Corbicula fluminea* en el eje del río Ebro. Confederación Hidrográfica del Ebro. Zaragoza.

Pérez, J. 2013. Problemática y reconocimiento de las especies invasoras. Jornada de Salud Pública: El riesgo de las especies exóticas invasoras. Junta de Extremadura.

Pfenninger, M., Reinhardt, F., Streit, B. 2002. Evidence for cryptic hybridization between different evolutionary lineages of the invasive clam genus *Corbicula* (Veneroidea, Bivalvia). *J. Evolutionary Biology*, 15: 818-829.

Pigneur, L.M, Marescaux, J, Roland, K, Etoundi, E, Descy, JP, Van Doninck, K. 2011. Phylogeny and androgenesis in the invasive *Corbicula* clams (Bivalvia, Corbiculidae) in Western Europe. *BMC Evolutionary Biology*, 11(1):147.

Quiñonero, S, López, J. 2014. Presencia de *Corbicula fluminalis* (O.F. Müller, 1774) (Bivalvia: Corbiculidae) en el bajo Ebro (Cataluña). *Spira*, 5: 139-141

Quiroga, I. A. 2015. Impactos del cambio climático en la incidencia de plagas y enfermedades de los cultivos. CropLife Latin America.

Rajagopal, S., Van Der Velde, G., Vaate, A. 2000. Reproductive biology of the Asiatic clam *Corbicula fluminalis* and *Corbicula fluminea* in the river Rhine. *Archiv für Hydrobiologie*, 149: 403-420.

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.

Real Decreto 630/2013, de 2 de agosto, por el que se regula el Catálogo Español de Especies Exóticas Invasoras se refuerza la protección del medio natural y la biodiversidad en España. Boletín Oficial del Estado núm. 185, de 03 de agosto de 2013. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

Reid, R. G. B., McMahon, R. F., Foighil, D. O., Finnigan, R. 1992. Anterior inhalant currents and pedal feeding in bivalves. *The Veliger*, 35: 93-104.

Renard, E., Bachmann, V., Cariou, M. L., Moreteau, J. C. 2000. Morphological and molecular differentiations of invasive freshwater species of the genus *Corbicula* (Bivalvia, Corbiculidae) suggest the presence of three taxa in French rivers. *Molecular Ecology*, 9: 2009-2016.

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.

Rodríguez, M., Muniz, P., Brazeiro, A., Defeo, O. 2021. Distribución y dinámica poblacional de la almeja asiática *Corbicula fluminea* (Bivalvia, Corbiculidae) en ríos de Uruguay. *Ecología Austral* 31: 328-342.

Rubio, C., Muñoz, C., Sanz, I., Álvarez-Halcón R.M. 2016. Estado de conservación de las náyades en el Ebro medio. *Naturaleza Aragonesa*, Nº53.

Sánchez, H. 2018. Análisis de la gestión de los Recursos Hídricos en la Cuenca del Río Ebro. Trabajo Fin de Máster. Universidad Politécnica de Valencia.

Schmidlin, S., Baur, B. 2007 Distribution and substrate preference of the invasive clam *Corbicula fluminea* in the river Rhine in the region of Basel (Switzerland, Germany, France). *Aquatic Science* 69, 153–161.

Sinclair, R. M., Isom, B. G. 1963. Further studies on the introduced Asiatic clam (*Corbicula*) in Tennessee. *Tennessee Stream Pollution Control Board*. Tennessee Department of Public Health. 78 pp.

Sistema Automático de Información Hidrológica (SAIH). 2022. Datos a la carta. Disponible en. <http://www.saihebro.com/saihebro/index.php?url=/autoservicio/inicio>. Consultado el 08/07/2022.

Sistema de Información Territorial de la Confederación Hidrográfica del Ebro. Confederación Hidrográfica del Ebro (SITEbro) 2022. Disponible en <https://iber.chebro.es/sitebro/sitebro.aspx> Consultado el 15/10/2022.

Sol, D. 2014. Claves del éxito de las especies invasoras. *Ambienta*, 109.

Sousa, R., Dias, S., Antunes, C. 2006. Spatial subtidal microbenthic distribution in relation to abiotic conditions in the Lima estuary, NW of Portugal. *Hydrobiologia*, 559: 135-148.

Sousa, R., Dias, S., Freitas, V. Antunes, C. 2008a. Subtidal macrozoobenthic assemblages along the River Minho estuarine gradient (north-west Iberian Peninsula). *Aquatic Conservation Freshwater Ecosystems*, 18: 1063-1077.

Sousa, R., Guilhermino, L., Antunes, C. 2005. Molluscan fauna in the freshwater tidal area of the River Minho estuary, NW of Iberian Peninsula. *Annales de Limnologie-International Journal of Limnology*, 41(2): 141-147.

Sousa, R., Gutiérrez, J. L., Aldridge, D. C. 2009. Nonindigenous invasive bivalves as ecosystem engineers. *Biological Invasions*, 11: 2367-2385

Sousa, R., Rufino, M., Gaspar, M., Antunes, C., Guilhermino, L. 2008b. Abiotic impacts on spatial and temporal distribution of *Corbicula fluminea* (Müller, 1774) in the River Minho Estuary, Portugal. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 18: 98-110.

UICN. 2022. *Pseudunio auricularis*. The UICN Red List of Threatened Species". Versión online. www.iucnredlist.org. Consultado el 03/10/2022.

Vaughn, C. C., Hakenkamp, C. C. 2001. The functional role of burrowing bivalves in freshwater ecosystems. *Freshwater Biol.*, 46: 1431-1446.

Viergutz, C., Linn, C., Weitere, M. 2012. Intra- and interannual variability surpasses direct temperature effects on the clearance rates of the invasive clam *Corbicula fluminea*. *Marine Biology*, 159: 2379-2387.

Way, C. M., Hornbach, D. J., Miller-Way, C. A., Payne, B. S., Miller, A. C. 1990. Dynamics of filter feeding in *Corbicula fluminea* (Bivalvia: Corbiculidae). *Canadian J. Zoology*, 68 (1): 115-120.

Williams, C. J., McMahon, R. F. 1986. Power station entrainment of *Corbicula fluminea* (Müller) in relation to population dynamics, reproductive cycle and biotic and abiotic variables. *American Malacological Bulletin*, Special edition, 2: 99-111.

Wittmann, M., Sudeep, C., Reuter, J., Schladow, S., Allen, B., Webb, K. 2012. The control of an invasive bivalve, *Corbicula fluminea*, using gas impermeable benthic barriers in a large natural lake. *Environmental management*, 49: 1163-73.