



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Dpto. de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente

Análisis de los microhábitats acuáticos para dos especies de peces en la Reserva de la Biosfera del Valle del Cabriel.

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente

AUTOR/A: Pérez Morcillo, Esther

Tutor/a: Martínez Capel, Francisco

Cotutor/a externo: Muñoz Mas, Rafael

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024

Trabajo Fin de Máster
ANÁLISIS DE LOS MICROHÁBITATS
ACUÁTICOS PARA DOS ESPECIES DE PECES
EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA DEL VALLE
DEL CABRIEL

Intensificación: ORDENACIÓN, RESTAURACIÓN Y GESTIÓN DE CUENCAS

Autor:

ESTHER PÉREZ MORCILLO

Director 1:

DR. FRANCISCO MARTÍNEZ CAPEL

Director 2:

DR. RAFAEL MUÑOZ MAS

JUNIO, 2024



**UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA**

máster en ingeniería
hidráulica y medio ambiente
mihma



AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a mi tutor Francisco Martínez Capel la oportunidad que me brindó para trabajar en esta temática, transmitirme la pasión sobre los ríos y, sobre todo, darme herramientas para seguir luchando por la conservación.

En segundo lugar, quiero agradecer al equipo de Rubén y Roberto por su ayuda. Con especial mención a Álvaro, que ha estado ahí en todo momento para brindarme toda la ayuda que he necesitado en este camino, confiando ciegamente en mí.

No quisiera olvidarme de mi equipo de trabajo, Ricardo y Miguel Ángel, sin ellos la recogida de datos no hubiese sido tan llevadera.

Por último, a mis padres, mi hermana y Mico. Habéis estado a mi lado cuando lo he necesitado.

Esther Pérez Morcillo

En Madrid, a 17 de junio de 2024

Resumen del Trabajo de Fin de Máster

Datos del proyecto

Título del TFM en español: Estudio de los microhábitats acuáticos para dos especies de peces en la Reserva de la Biosfera del Valle del Cabriel.

Título del TFM en inglés: Study of aquatic microhabitats for two species of fish in the Cabriel Valley Biosphere Reserve.

Título del TFM en Valenciano: Estudi dels microhàbitats aquàtics per a dues espècies de peixos en la Reserva de la Biosfera de la Vall del Cabriol.

Alumno: Esther Pérez Morcillo

Tutor 1: Francisco Martínez Capel

Tutor 2.: Rafael Muñoz Más

Fecha de Lectura: JUNIO, 2024

Resumen

En español (máximo 5000 caracteres)

El objetivo de este estudio es analizar las variables determinantes para la idoneidad del hábitat para las especies de loína del Júcar (*Parachondrostoma arrignonis*) y cachuelo valenciano (*Squalius valentinus*) que habitan el Alto Cabriel (Cuenca del Júcar). Se muestrearon un total de veintidós tramos de dos tipos concretos de unidades hidromorfológicas (UHM): poza y tabla. Para cada una de esas unidades o mesohábitats se identificaron cada uno de los microhábitats que lo componían, siendo estas pequeñas áreas con pocos metros cuadrados cuyo calado, velocidad, sustrato y refugio tienden a ser homogéneos.

Para lograr nuestro objetivo, se realizó primero una exploración de los datos, teniendo así un análisis de las relaciones entre la densidad y las características del hábitat. Para ello se usó el test de Mann-Whitney para aquellas variables categóricas, y el Análisis de Correspondencias Canónicas (CCA) para las variables numéricas. En segundo lugar, se estudiaron una serie de índices de fragmentación del paisaje (distribución y características de los microhábitats muestreados) para conocer en profundidad las preferencias de hábitat de estas dos especies amenazadas y en peligro de extinción. A continuación, se desarrollaron curvas de idoneidad para las variables de velocidad, profundidad y refugio. Estas curvas son una serie de modelos matemáticos sencillos que permiten determinar la calidad de los hábitats presentes para una especie determinada y así calcular la cantidad disponible bajo distintos escenarios de gestión o caudales circulantes en estudios de evaluación de caudales ambientales.

Ambas especies mostraron una clara tendencia a estar en microhábitats con recubrimiento vegetal, especialmente por vegetación filamentososa. En las CCA se observó que las variables numéricas no

tienen una gran significación para determinar el hábitat de la especie. Los índices de fragmentación determinaron que el hábitat estaba muy dividido, debido a la falta de conexión entre parches, la dominancia de aquellos en los que no predomina la cobertura vegetal y la gran división que tiene el mesohábitat. Las curvas de idoneidad indican que la loína prefiere zonas con una profundidad y velocidad media, mientras que el cachuelo tiende a zonas de mayor profundidad donde las velocidades sean menores.

Se concluye que esta investigación podría ser decisiva para la aplicación de nuevas prácticas de manejo y gestión, así como orientar en los futuros esfuerzos de conservación. Con ello se podría ayudar a evitar el declive de las poblaciones.

En valenciano (máximo 5000 caracteres)

L'objectiu d'aquest estudi és analitzar les variables determinants per a la idoneïtat de l'hàbitat per a les espècies de loína del Xúquer (*Parachondrostoma arrignonis*) i ablet valencià (*Squalius valentinus*) que habiten l'Alt Cabriol (Conca del Xúquer). Es van mostrejar un total de vint-i-un trams de dos tipus concrets d'unitats hidromorfològiques (UHM): gorg i taula. Per a cadascuna d'aquestes unitats o mesohàbitats es van identificar cadascun dels microhàbitats que els componien, sent aquests petites àrees amb pocs metres quadrats el calat, velocitat, substrat i refugi dels quals tendeixen a ser homogènies.

Per a aconseguir el nostre objectiu, es va realitzar primer una exploració de les dades, tenint així una anàlisi de les relacions entre la densitat i les característiques de l'hàbitat. Per a això es va usar el test de Mann-Whitney per a aquelles variables categòriques, i l'Anàlisi de Correspondències Canòniques (CCA) per a les variables numèriques. En segon lloc, es van estudiar una sèrie d'índexs de fragmentació del paisatge (distribució i característiques dels microhàbitats mostrejats) per a conèixer en profunditat les preferències d'hàbitat d'aquestes dues espècies amenaçades i en perill d'extinció. A continuació, es van desenvolupar corbes d'idoneïtat per a les variables de velocitat, profunditat i refugi. Aquestes corbes són una sèrie de models matemàtics senzills que permeten determinar la qualitat dels hàbitats presents per a una espècie determinada i així calcular la quantitat disponible baix diferents escenaris de gestió o cabals circulants en estudis d'avaluació de cabals ambientals.

Ambdues espècies van mostrar una clara tendència a estar en microhàbitats amb recobriment vegetal, especialment per vegetació filamentosa. En les CCA es va observar que les variables numèriques no tenen una gran significació per a determinar l'hàbitat de l'espècie. Els índexs de fragmentació van determinar que l'hàbitat estava molt dividit, a causa de la falta de connexió entre taques, la dominància d'aquelles en les quals no predomina la cobertura vegetal i la gran divisió que té el mesohàbitat. Les corbes d'idoneïtat indiquen que la loína prefereix zones amb una profunditat i velocitat mitjana, mentre que l'ablet tendeix a zones de major profunditat on les velocitats siguen menors.

Es conclou que aquesta investigació podria ser decisiva per a l'aplicació de noves pràctiques de maneig i gestió, així com orientar en els futurs esforços de conservació. Amb això es podria ajudar a evitar el declivi de les poblacions.

En inglés (máximo 5000 caracteres)

The objective of this study is to analyze the determining variables for habitat suitability for the Júcar nase (*Parachondrostoma arrignonis*) and the Valencian chub (*Squalius valentinus*) species that inhabit the Upper Cabriel (Júcar Basin). A total of twenty-one sections of two specific types of hydromorphological units (HMUs) were sampled: pools and runs. For each of these units or mesohabitats, the microhabitats that composed them were identified, being small areas with a few square meters where depth, velocity, substrate, and cover tend to be homogeneous.

To achieve our objective, data exploration was first performed, thus obtaining an analysis of the relationships between density and habitat characteristics. For this, the Mann-Whitney test was used for categorical variables, and Canonical Correspondence Analysis (CCA) for numerical variables. Secondly, a series of landscape fragmentation indices (distribution and characteristics of the sampled microhabitats) were studied to gain in-depth knowledge of the habitat preferences of these two endangered and threatened species. Subsequently, suitability curves were developed for the variables of velocity, depth, and cover. These curves are a series of simple mathematical models that allow determining the quality of the habitats present for a given species and thus calculating the available amount under different management scenarios or circulating flows in environmental flow assessment studies.

Both species showed a clear tendency to be in microhabitats with vegetative cover, especially filamentous vegetation. The CCA indicated that the numerical variables are not highly significant in determining the habitat of the species. The fragmentation indices determined that the habitat was highly divided due to the lack of connection between patches, the dominance of those where vegetative cover is not predominant, and the high division of the mesohabitat. The suitability curves indicate that the nase prefers areas with medium depth and velocity, while the chub tends towards areas of greater depth where velocities are lower.

It is concluded that this research could be decisive for the implementation of new management and conservation practices, as well as guiding future conservation efforts. This could help prevent the decline of populations.

Palabras clave español (máximo 5): Microhábitat, Fragmentación, Cambio climático, Biodiversidad, Reserva de la Biosfera.

Palabras clave valenciano (máximo 5): Microhàbitat, Fragmentació, Canvi climàtic, Biodiversitat, Reserva de la Biosfera

Palabras clave inglés (máximo 5): Microhabitat, Fragmentation, Climate change, Biodiversity, Biosphere Reserve

Contenido

CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS.....	1
1.1. ANTECEDENTES.....	1
1.2. MODELOS DE IDONEIDAD DE HÁBITAT	2
1.3. ESPECIES OBJETIVO	4
1.4. OBJETIVOS.....	6
CAPÍTULO 2. ÁREA DE ESTUDIO.....	7
2.1. ELECCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	7
2.2. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	8
2.2.1. Localización y situación general	8
2.2.3 Geología y Litología	9
2.2.5 Clima	11
2.2.6 Vegetación.....	12
2.2.7 Espacios protegidos	12
2.2.8. Hidrología	14
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA.....	17
3.1. CONTEO DE LAS ESPECIES OBJETIVO	18
3.2. RECUBRIMIENTO Y REFUGIO	19
3.3. SUSTRATOS.....	21
3.4. CARACTERIZACIÓN DE LOS PARCHES.....	22
3.5. PROCESADO DE DATOS.....	22
3.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	23
3.7. ANÁLISIS DE FRAGMENTACIÓN	24
3.7. ANÁLISIS DE CORRESPONDENCIAS CANÓNICAS (CCA).....	27
3.8. CURVAS DE IDONEIDAD	28
CAPÍTULO 4. RESULTADOS.....	31
4.1. RESULTADOS.....	31
4.1.1. Análisis exploratorio de los datos	31
4.1.2. Análisis de correspondencias canónicas (CCA)	39
4.1.3. Índices de fragmentación.....	42
4.1.4. Curvas de idoneidad de hábitat	47
CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN	55

5.1. Variables clave	56
5.2. Curvas de idoneidad.....	58
CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES.....	62
6.1. CONCLUSIONES.....	62
6.2. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	63
CAPÍTULO 7. REFERENCIAS	65
ANEXOS.....	71
ANEXO 1. IMÁGENES DE DIFERENTES TIPOS DE RECUBRIMIENTO	72
ANEXO 2. EJEMPLOS DE DIGITALIZACIÓN DE LOS TRAMOS.....	75
ANEXO 3. LOCALIZACIÓN DE TRAMOS MÁS AL DETALLE	77
ANEXO 4. HISTOGRAMAS DE VARIABLES NUMÉRICAS.....	79
ANEXO 5. GRÁFICA DE LA MATRIZ DE SPEARMAN PARA LAS VARIABLES NUMÉRICAS	84
ANEXO 6. HISTOGRAMAS DE COLUMNAS DE LAS CURVAS DE IDONEIDAD.....	86
ANEXO 7. GALERIA DE IMAGENES	88

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Variación de los caudales medios para cada etapa del año, en los últimos cinco años hidrológicos. Por tanto, el ciclo hidrológico 2022-2023 precede en su mayor parte a los muestreos realizados en 2023.	16
Tabla 2. Especies de peces observadas durante los muestreos.	19
Tabla 3. Tipo de sustratos según la escala de la American Geophysical Union (AGU) simplificada, empleada por el equipo de la UPV en diversos estudios	21
Tabla 4. Leyenda de las significación según los p - values obtenidos para los test de Mann-Whitney. En rojo las que menos significación tendrán y cuando tiende a verde mayor es la relación.....	24
Tabla 5. Conteo de aparición de cada uno de los sustratos en los microhábitat muestreados.	29
Tabla 6. Matriz de correlaciones cruzadas de Spearman para las variables numéricas de la velocidad, desviación estándar (%), calado y ratio S/P. Los valores que tienden al 1 (relación directa) se hacen cada vez más azules y los que tienden al -1 (relación inversa) se hacen más rojos.	34
Tabla 7. Matriz de p - value entre las variables de la velocidad, desviación estándar (%), calado y ratio S/P con las densidades.....	34
Tabla 8. Resultados del test de Mann-Whitney, el p-value y su correspondiente significación para la variable categórica refugio. Los rojos indican que no hay significación mientras que los verdes con más asteriscos indican una mayor significación.	37
Tabla 9. Resultados del test de Mann-Whitney, el p-value y su correspondiente significación para la variable categórica Rrecubrimiento. Los rojos indican que no hay significación mientras que los verdes con más asteriscos indican una mayor significación.	38
Tabla 10. Resultados para la mediana de las densidades en el caso de parches con vegetación y sin vegetación.....	38
Tabla 11. Resultados del test de Mann-Whitney, el p-value y su correspondiente significación para la variable categórica Vegetación filamentosa. Los rojos indican que no hay significación mientras que el naranja indica una significación débil.....	39
Tabla 12. Valores para evaluar la significación de las diferentes variables ambientales.	42
Tabla 13. Valores promedio para los diferentes tipos de recubrimientos para el índice de parche más grande (LPI).	43
Tabla 14. Valores promedio para los diferentes tipos de recubrimientos para el porcentaje de adyacencias similares (PLA).....	44
Tabla 15. Matriz de correlaciones cruzadas de Spearman para las variables de fragmentación. Los valores que tienden al 1 (relación directa) se hacen cada vez más azules y los que tienden al -1 (relación inversa) se hacen más rojos.....	46

Tabla 16. Matriz de P - value entre las variables de la velocidad, desviación estándar (%), calado y ratio S/P con las densidades.	47
Tabla 17. Valores promedio de la densidad de cachuelo para cada intervalo en la construcción de la curva de idoneidad para la velocidad media.	48
Tabla 18. Valores promedio de la densidad de cachuelo para cada intervalo en la construcción de la curva de idoneidad para la profundidad.	49
Tabla 19. Valores promedio de la densidad para cada tipo de refugio.....	50
Tabla 20. Valores promedio de la densidad de loína para cada intervalo en la construcción de la curva de idoneidad para la velocidad media.	52
Tabla 21. Valores promedio de la densidad de cachuelo para cada intervalo en la construcción de la curva de idoneidad para el calado.	53
Tabla 22. Valores promedio de la densidad para cada tipo de refugio.....	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Individuos de loína del río Cabriel	4
Figura 2. Individuos de cachuelo del río Cabriel.....	5
Figura 3. Imagen de la barrera transversal Presa de Cristinas. Fuente: Blog Pesca Minuta, 2015.....	7
Figura 4. Localización de la Subcuenca del río Cabriel en la Península Ibérica. La flecha negra indica el sentido en el que discurre el flujo de agua.....	8
Figura 5. Localización de los 21 tramos de estudio y de la subcuenca del río Cabriel en la Península Ibérica. La flecha negra indica el sentido en el que discurre el flujo de agua.	9
Figura 6. Geología del Valle del Cabriel. El recuadro en amarillo indica la zona donde se ha realizado el estudio. Fuente: Saiz, J., 2006.	10
Figura 7. Climodiagrama de la zona de Cuenca. Los datos recogen registros desde 1991 hasta 2021. A la izquierda se indica la temperatura registrada (°C), correspondiente con la línea roja. A la derecha indica la precipitación (mm) siendo las columnas azules. El eje horizontal muestra los meses del año de forma numérica. Fuente: Climate-Data	11
Figura 8. Localización de los tramos de estudio con respecto a la Reserva de la Biosfera del Valle del Cabriel. La flecha negra indica el sentido en el que discurre el flujo del agua.	13
Figura 9. Comparativa de caudales para las diferentes etapas de vida durante cinco años. La etapa en azul se refiere a Juveniles y Adultos.	15
Figura 10. Imagen ilustrativa de dos buceadores observando las especies presentes en un microhábitat antes de proceder a los conteos, en el tramo alto del Cabriel.....	17
Figura 11. Ejemplo gráfico para el Índice de parche más grande con el tramo 4. La flecha negra indica el sentido en el que discurre el flujo. Para abreviar la leyenda, los parches del tipo sin vegetación se han etiquetado “matriz”.	25
Figura 12. Ejemplo gráfico para el Porcentaje de adyacencias similares con el tramo 21. La flecha negra indica el sentido en el que discurre el flujo. Para abreviar la leyenda, los parches del tipo sin vegetación se han etiquetado “matriz”.	25
Figura 13. Ejemplo gráfico para el Índice de cohesión del parche con el tramo 10. La flecha negra indica el sentido en el que discurre el flujo. Para abreviar la leyenda, los parches del tipo sin vegetación se han etiquetado “matriz”.	26
Figura 14. Ejemplo gráfico para el Tamaño de malla efectivo con el tramo 19. La flecha negra indica el sentido en el que discurre el flujo. Para abreviar la leyenda, los parches del tipo sin vegetación se han etiquetado “matriz”.	26
Figura 15. Ejemplo gráfico para el Índice de división con el tramo 13. La flecha negra indica el sentido en el que discurre el flujo. Para abreviar la leyenda, los parches del tipo sin vegetación se han etiquetado “matriz”.	27
Figura 16. Localización de los tramos en el río Cabriel. La flecha negra indica el sentido en el que discurre el flujo de agua.....	31

Figura 17. Histograma de diferencias de conteo para el cachuelo con el número de casos (Ncasos) en los que el porcentaje de diferencias (en valor absoluto) se encuentra en el intervalo.....	32
Figura 18. Histograma de diferencias de conteo para la loína con el número de casos (Ncasos) en los que el porcentaje de diferencias (en valor absoluto) se encuentra en el intervalo.....	33
Figura 19. Comportamiento de la abundancia de peces con la superficie. El gráfico superior es para el cachuelo y el inferior para la loína.....	35
Figura 20. Distribución de densidades del cachuelo.	36
Figura 21. Distribución de densidades de la loína.	36
Figura 22. Resultados gráficos del Análisis de Correspondencias Canónicas (CCA) para las variables de caracterización de hábitat.	40
Figura 23. Resultados gráficos del Análisis de Correspondencias Canónicas (CCA) para las variables recubrimiento.....	40
Figura 24. Resultados gráficos del Análisis de Correspondencias Canónicas (CCA) para las variables de Refugio.....	41
Figura 25. Histograma para el Índice de parche más grande (LPI), donde se ha realizado la media para cada uno de los recubrimientos.	43
Figura 26. Histograma para el porcentaje de adyacencias similares (PLA), donde se ha realizado la media para cada uno de los recubrimientos.....	44
Figura 27. Gráfico de dispersión para el índice de cohesión del parche (PCI). Nparche es el número de identificación de cada parche, desde el 1 al 179.	45
Figura 28. Gráfico de dispersión para el tamaño de malla efectivo (EMS).	45
Figura 29. Gráfico de dispersión para el índice de división (SI).....	46
Figura 30. Curva de idoneidad para la velocidad media para el cachuelo.	48
Figura 31. Curva de idoneidad de calado para el cachuelo.	49
Figura 32. Densidad media e idoneidad para el cachuelo para cada uno de los tipos de refugios presentes en los tramos estudiados.	50
Figura 33. Curva de idoneidad para la velocidad media para la loína.....	51
Figura 34. Curva de idoneidad del calado para la loína.....	53
Figura 35. Densidad media e idoneidad para la loína para cada uno de los tipos de refugios presentes en los tramos estudiados.	54
Figura 36. Comparativa de gráficas entre las obtenidas en el informe de Martínez-Capel et al., 2009 (columna izquierda) y las obtenidas en el presente estudio (columna derecha). En el caso del informe se realizaron con un tamaño muestral de 40 microhábitats y en este caso de 179 microhábitats.....	58
Figura 37. Comparativa de gráficas entre las obtenidas en el artículo de Muñoz-Mas et al., 2018 (fila superior) y las obtenidas en el presente estudio (fila inferior).	60

CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS

1.1. ANTECEDENTES

El cambio climático representa uno de los mayores retos ambientales actuales, suponiendo impactos significativos en el medio ambiente, la sociedad y la economía. Uno de los factores que se está viendo afectado son los recursos hídricos.

Estudios, como el realizado por Garrote *et al.* (2015), han demostrado que las cuencas mediterráneas serán unas de las más afectadas por el cambio climático, proyectando disminuciones significativas de los recursos debido a un descenso de las precipitaciones y a un aumento de las tasas de evapotranspiración causada por el incremento generalizado de la temperatura. Esto se ve reflejado en estudios basados en observaciones y modelización de sistemas fluviales y su biota (Gedney *et al.*, 2006; Hauer *et al.*, 2013). En este sentido, la situación de los recursos hídricos en España es compleja y variable según la región y las condiciones climáticas específicas, siendo la escasez de agua en zonas determinadas, la dependencia de la agricultura, la infraestructura hídrica y los desafíos ambientales algunos de los aspectos más relevantes a tener en cuenta.

El agua es un recurso ampliamente utilizado para satisfacer una gran variedad de demandas, como el consumo humano, la agricultura, la industria, los ecosistemas y la energía hidroeléctrica. Sin embargo, para cubrir estas necesidades se genera un gran impacto en los ecosistemas ribereños (Tharme, 2003). Entre dichos impactos destacan la alteración de caudales, la fragmentación del hábitat, los cambios en la calidad del agua, las invasiones biológicas y la pérdida de biodiversidad.

Por ello, la conservación de los valores ecológicos de los ríos es reconocida en diferentes políticas de legislación donde se destaca el mantenimiento de un caudal suficiente en un río para permitir que las diferentes especies que lo conforman completen sus diferentes etapas de desarrollo (Ahmadi-Nedushan *et al.*, 2006). En el caso de la legislación española, se favorece el desarrollo de estudios de simulación del hábitat físico para determinar la cantidad y calidad del hábitat que se puede dar en los diferentes escenarios de gestión y así determinar el régimen de caudales ecológicos (Muñoz-Mas *et al.*, 2012). Por ello, el régimen de caudal ecológico es una de las formas principales de gestión integrada de los recursos hídricos (Arthington *et al.*, 2018).

Así mismo, la fragmentación del hábitat por infraestructuras hídricas de regulación como embalses y presas, provocan el aislamiento de las diversas especies de peces. A esta disgregación se le suman otros factores que afectan a la supervivencia de las especies de peces autóctonas o nativas, como son la regulación fluvial, la contaminación,

la sobreexplotación de los recursos hídricos, la alteración del entorno ribereño y la presencia de especies invasoras.

En la cuenca del río Júcar, donde se enmarca este proyecto, se encuentran dos especies singulares: la loína del Júcar (*Parachondrostoma arrigonis*) en peligro crítico de extinción y el Cachuelo valenciano (*Squalius valentinus*) en situación vulnerable. Las causas del declive de sus poblaciones no se han determinado con exactitud, pues son múltiples. A pesar de ello, los distintos autores han señalado a la regulación del caudal, cambios en las condiciones fisicoquímicas del agua (*e.g.* temperatura, calidad), a la fragmentación del río y la presencia de especies invasoras (Martíne-Capel *et al.*, 2009; Alcaraz *et al.*, 2015). Por lo tanto, es importante mejorar el conocimiento de la ecología y la biología para así comprender las causas de la disminución de estas poblaciones y favorecer la toma de decisiones en su manejo y conservación

A pesar de los análisis detallados de hábitats acuáticos, incluidos aquellos en los que ha participado el equipo de la Universitat Politècnica de València (Valencia, España), como los realizados por Muñoz-Mas *et al.* (2018) sobre idoneidad de microhábitat para el cachuelo, el de Muñoz-Mas *et al.* (2017) sobre competencia de microhábitat con la loína, el de Aramburú-Paucar *et al.* (2024) sobre la importancia de las inundaciones para la conectividad y el de Muñoz-Mas *et al.* (2024) sobre medidas de adaptación global en los ríos, se precisan más proyectos científicos para analizar y proponer regímenes ecológicos de caudales más fiables y representativos en toda la cuenca del Júcar, así como para recomendar medidas de conservación de los hábitats acuáticos ante el cambio climático

Por ello, una de las tareas para poder mejorar la aplicación de dichos estudios es el desarrollo de modelos de idoneidad de hábitat. Estos son herramientas para predecir la idoneidad relativa de un microhábitat para una especie en particular, en una etapa de su ciclo vital (o en un intervalo de tamaño). Se considera, en el ámbito de los caudales ecológicos, que un microhábitat es una zona de hábitat acuático en la cual se dan unas condiciones de flujo aproximadamente homogéneas (caracterizadas mediante velocidad, profundidad, sustrato y refugio), y que es ocupada por una especie, en una etapa de desarrollo, durante algún período de su ciclo vital.

1.2. MODELOS DE IDONEIDAD DE HÁBITAT

El desarrollo de modelos de idoneidad de hábitat se usa como una herramienta eficaz de evaluación y predicción de la calidad de un hábitat para una especie en particular

Dichos modelos se pueden basar en una multitud de variables ambientales y biológicas con el fin de determinar el o las áreas más adecuadas para la supervivencia, reproducción y persistencia de una especie, en función de los objetivos y recursos de

estudio, así como los tipos de variables ambientales y de respuesta medidas (Ahmadi-Nedushan *et al.*, 2006).

Modelos univariantes

Normalmente las relaciones físico-biológicas son no lineales, tienen óptimos en valores intermedios. Algunos de los modelos utilizados para este fin, por ejemplo, son: Modelos Aditivos Generalizados (GAM), Árboles de Clasificación y Regresión (CART) y Redes Neuronales Artificiales (RNA).

Los GAMs son la extensión natural de las curvas univariantes de idoneidad del hábitat. Este tipo de modelos usa curvas no paramétricas para matematizar el efecto de las variables en la idoneidad del hábitat. Utiliza una función de enlace para ajustar y restringir las predicciones del modelo al rango de la variable modelada. Se da en estudios de idoneidad del hábitat normalmente binomial (0-1) (Ahmadi-Nedushan *et al.*, 2006).

Los CART son métodos no paramétricos que se basan en dividir los datos de entrenamiento de forma dicotómica para crear una serie de reglas que determinan la idoneidad bajo unas condiciones determinadas por esta partición (Veza *et al.*, 2015). Esa segmentación binaria va a depender de la variable dependiente para crear su árbol de representación característico.

Las RNA son técnicas muy utilizada basadas en el funcionamiento del cerebro humano. Estas son analizar asociaciones no lineales e interacciones de las variables (Ahmadi-Nedushan *et al.*, 2006; Muñoz-Ma, *et al.*, 2014)

Técnicas multivariantes

Cuando el objetivo del estudio es exploratorio y, en menor medida predictivo, otros métodos multivariados, como son los de ordenación, pueden ayudar a analizar conjuntos de datos multiespecie que según Jongman *et al.* (1995) *“fueron diseñados para analizar conjuntos de datos ecológicos de presencia de especies y variables ambientales en numerosos sitios, ordenando entidades ambientales como las especies, de tal manera que entidades similares se coloquen cerca unas de otras y entidades disímiles más separadas”*. De este modo, como una exploración previa a la modelización, para conocer los patrones de los datos, éstas u otras técnicas multivariantes pueden ser muy útiles.

Uno de estos métodos es el Análisis de Correspondencias Canónicas (CCA, por sus siglas en inglés). Este método relaciona la abundancia de especies con la variación medida en

diversas variables ambientales, creando unos ejes de ordenación que son combinaciones lineales de las variables ambientales (Ter Braak & Verdonschot, 1995). Los resultados se presentan mediante un gráfico, en la que las especies se representan mediante puntos o letras y las variables ambientales mediante vectores. Las direcciones y longitudes relativas de los vectores representan las contribuciones de las variables ambientales a la ordenación (AhmadiNedushan *et al.*, 2006).

1.3. ESPECIES OBJETIVO

La loína del Júcar, *Parachondrostoma arrigonis* (Steindachner, 1866), de ahora en adelante denominado por su nombre abreviado loína, es una especie de pez perteneciente a la familia Cyprinidae, que se considera endémica en la Península Ibérica. Los datos sobre la biología y ecología de esta especie son escasos, y la poca información que se encuentra disponible se basa en observaciones puntuales o en extrapolaciones realizadas sobre especies similares (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2021).

La loína es un pez de tamaño intermedio, que alcanza una longitud de alrededor de 25 centímetros (Martínez Capel *et al.*, 2009). Tiene un cuerpo alargado y esbelto, con una coloración plateada brillante en el vientre y plateada más oscura en el dorso, con una línea de escamas más oscuras. Sus aletas son translúcidas (Figura 1). Se trata de una especie con costumbres gregarias que se reproduce en los tramos altos de los ríos entre los meses de marzo y mayo (Martínez Capel *et al.*, 2009).



Figura 1. Individuos de loína del río Cabriel

Respecto al estado de conservación en el que se encuentra es preocupante, estando bajo peligro crítico de extinción (CR). Uno de los factores de amenaza que han influido en la regresión de sus poblaciones es el trasvase Tajo – Segura, el cual ha facilitado la traslocación de potenciales competidores como es la boga de río (*Pseudochondrostoma polylepis*) (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2021).

El cachuelo valenciano, *Squalius valentinus* (Doadrio & Carmona, 2006), de ahora en adelante denominado por su nombre abreviado cachuelo, es una especie de pez perteneciente a la familia Cyprinidae, que se encuentra en la península ibérica. Al igual que con la loína, los datos que se tienen de esta especie son escasos, por lo que la información que se encuentra disponible se basa en observaciones puntuales en extrapolaciones realizadas sobre especies similares.

El cachuelo es un pez de tamaño moderado, que alcanza una longitud de entre 10 centímetros a 30 centímetros. Tiene un cuerpo alargado y con la boca prácticamente terminal. Cuenta con unas escamas grandes pardo-grisáceas y bien definidas, con una línea lateral completa y visible. Con una coloración plateada brillante (Mediterranea.org, s.f.) (Figura 2). Respecto a su ciclo reproductivo, sus fases son desconocidas, pero se han observado alevines recién nacidos entre los meses de abril y junio (Mediterranea.org, s.f.).



Figura 2. Individuos de cachuelo del río Cabriel.

Respecto al estado de conservación en el que se encuentra es preocupante pero no tan grave como la loína, dado que se encuentra en situación vulnerable (VU). Uno de los factores de amenaza que han influido en la regresión de sus poblaciones es que su hábitat se ha reducido por la disminución del nivel de agua debido a la demanda agrícola, urbana, presas y por la introducción de especies exóticas (Doadrio, 2003).

1.4. OBJETIVOS

El objetivo principal de este proyecto es esclarecer las variables más determinantes y su influencia sobre la densidad de las dos especies objetivo a escala de microhábitat. Para alcanzar este punto, se han abordado los siguientes objetivos parciales:

1. Determinar qué variables son relevantes para las densidades de las dos especies estimadas en cada microhábitat, y qué correlaciones existen entre dichas variables del hábitat y las densidades.
2. Determinar si puede demostrarse alguna relación entre variables de fragmentación y configuración de los microhábitats y la densidad de las especies.
3. Realizar curvas de idoneidad de microhábitat de dichas especies, en función de las variables hidráulicas y el refugio. Dichas curvas son esenciales para los estudios del régimen de caudales ecológicos en diversas sub-cuencas de la Demarcación Hidrográfica del Júcar.

Para ello, en 2023 se aplicó un nuevo protocolo de conteo de peces y estudio detallado de los microhábitats, diseñado por el tutor del trabajo, en veintiún tramos escogidos dentro de la Reserva de la Biosfera del Valle del Cabriel, donde están presente una o las dos especies de peces objetivo (loína del Júcar y cachuelo valenciano).

El presente trabajo de investigación se encuentra dentro de las ayudas públicas en la Reserva de la Biosfera del Valle del Cabriel y en la Reserva de la Biosfera del Alto Turia en Castilla-La Mancha en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (financiado por la Unión Europea-Next Generation EU y se procede a su convocatoria en el año 2023. Extracto BDNS: 675169 [2023/1073]).

Referente a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), este proyecto está enfocado en el ODS número 15: Vida de ecosistemas terrestres. Debido a que vela por la conservación de los ecosistemas interiores de agua dulce, como lo es el río Cabriel, donde se sitúan ambas especies objetivo de este proyecto.

CAPÍTULO 2. ÁREA DE ESTUDIO

2.1. ELECCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

La zona a la que se va a referir el presente estudio es sobre el río Cabriel, específicamente en la parte alta de la Reserva de la Biosfera del Valle del Cabriel, localizada en la provincia de Cuenca (Castilla-La Mancha, España). Esta elección se basa en que las especies de peces objetivo de este proyecto, es decir, la loína del Júcar (*Parachondrostoma arrigonis*) en peligro crítico de extinción y el cachuelo valenciano (*Squalius valentinus*) que es vulnerable, encuentran en sus aguas un hábitat que podría considerarse natural por no estar modificado ni regulado, al ubicarse aguas arriba del embalse de Contreras (Cuenca, España).

Se debe tener en cuenta la presencia en la zona de una barrera importante, la presa de Cristinas (Figura 3), una barrera artificial transversal al flujo del agua que frena el avance hacia aguas arriba de la boga de río (*Pseudochondrostoma polylepis*), lo que está evitando una fuerte competencia de esta especie con la loína, el cachuelo y otras especies de la cabecera del Cabriel. Aguas arriba de ésta, también se encuentra la cascada de Troqueadero, lo que también supone una barrera, pero natural, para la migración de los peces.

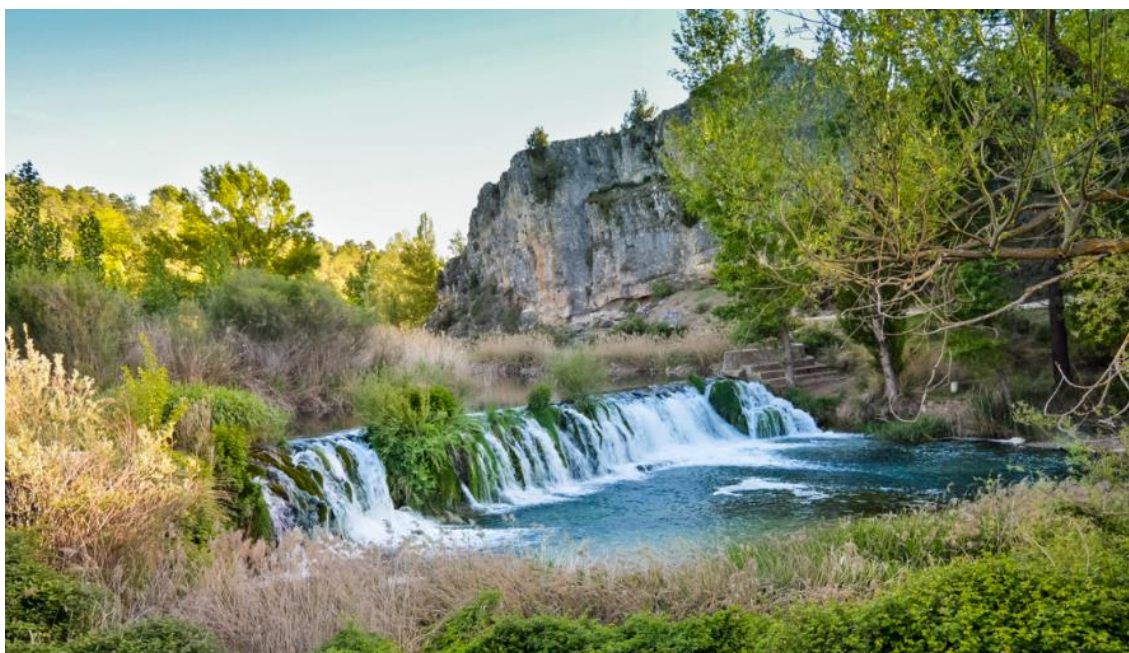


Figura 3. Imagen de la barrera transversal Presa de Cristinas. Fuente: Blog Pescata Minuta, 2015.

2.2. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

2.2.1. Localización y situación general

La región de Castilla-La Mancha se encuentra en la zona centro de España, siendo la tercera comunidad más grande por su superficie de 79409 Km² (Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, 2016a). Situada en la franja central de la Península Ibérica posee un relieve muy diverso y complejo, donde se encuentran una gran riqueza en espacios naturales valiosos. Uno de ellos es el que bañan las aguas del río Cabriel (Figura 4).

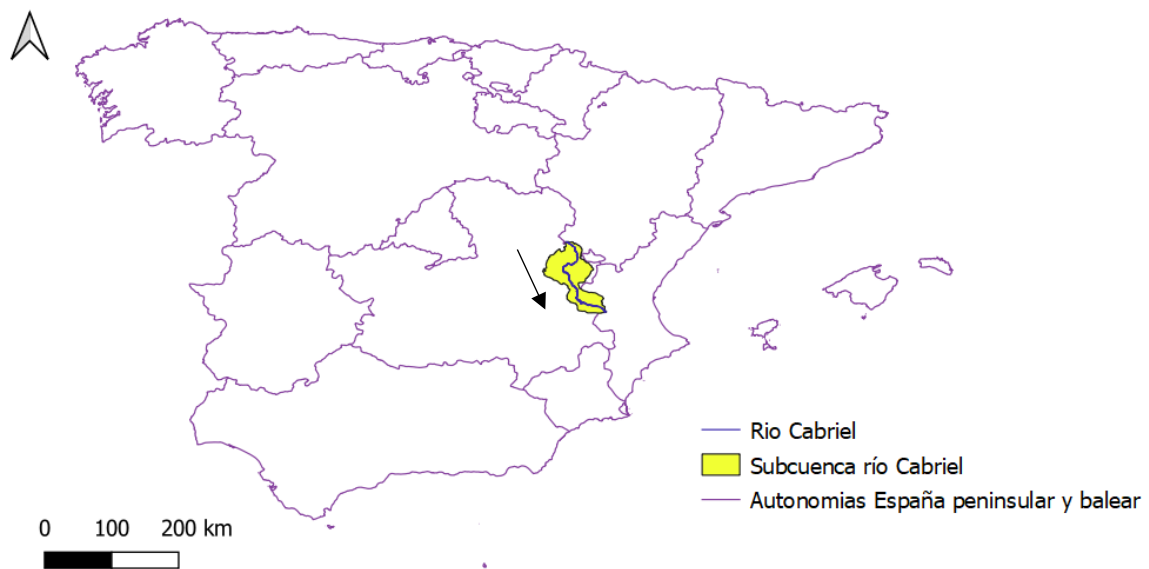


Figura 4. Localización de la Subcuenca del río Cabriel en la Península Ibérica. La flecha negra indica el sentido en el que discurre el flujo de agua.

El río Cabriel, principal afluente del río Júcar por su margen izquierda, tiene una longitud aproximada de 227 km desde su nacimiento en los Montes Universales en la provincia de Teruel, hasta su incorporación al Júcar en Cofrentes en la provincia de Valencia, atravesando territorios variados y de gran interés naturalístico (Figura 5).

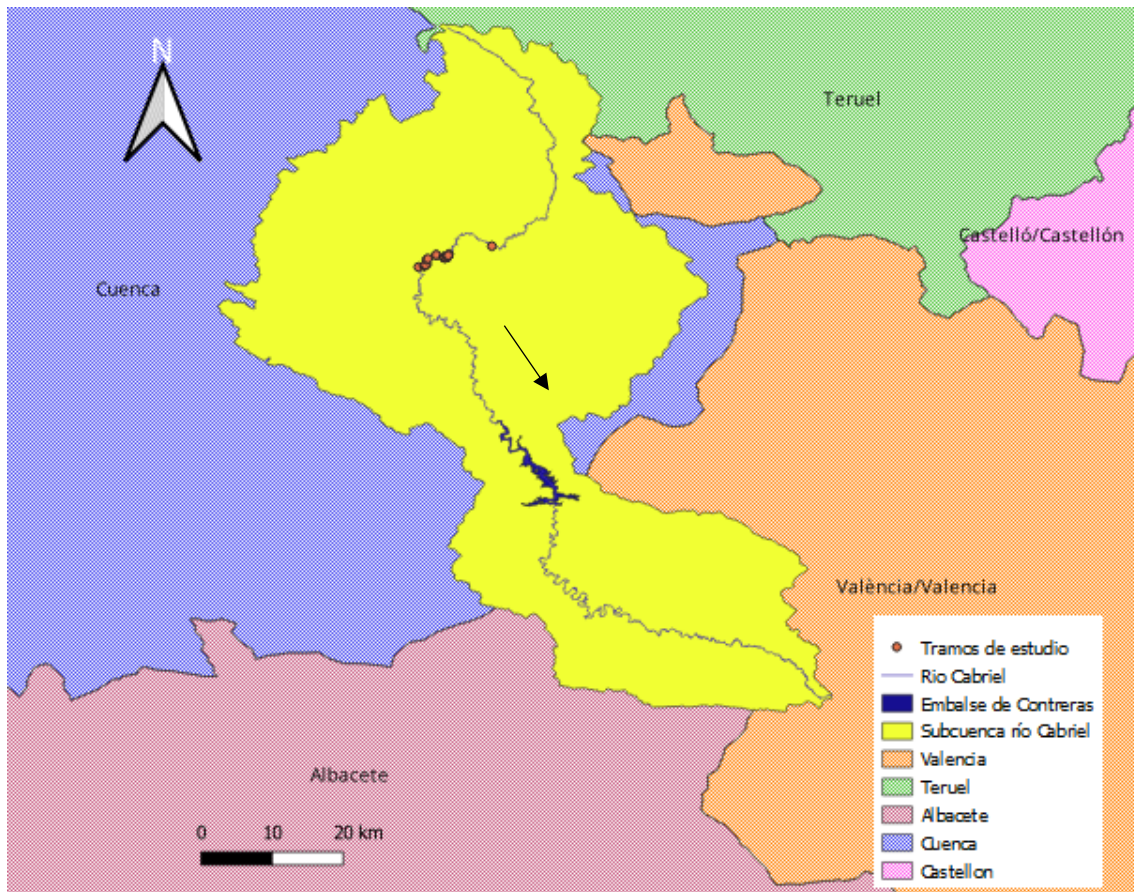


Figura 5. Localización de los 21 tramos de estudio y de la subcuenca del río Cabriel en la Península Ibérica. La flecha negra indica el sentido en el que discurre el flujo de agua.

El área de estudio se localiza en el alto Cabriel, el cual se encuadra en el extremo oriental de la Serranía de Cuenca, incluida dentro de la Cordillera Ibérica. La característica que define este sector del Sistema Ibérico es la presencia de un gran número de valles surcados por ríos y arroyos.

El estudio excluye las aguas que están aguas abajo de la presa de Cristinas, donde solo se ha realizado un tramo de estudio, ya que se pretende que los datos puedan servir en el futuro para comparar la evolución temporal de la boga, la loína y el cachuelo.

2.2.3 Geología y Litología

El Sistema Ibérico se ha interpretado como una estructura alpina de zócalo y cobertera, con reflejo de la influencia de dos orogénias diferentes (Mayoral, O., 2011). Los fondos de sus ríos están constituidos por areniscas y conglomerados del Terciario o del Cretácico inferior, arcillas y yesos del Triásico y también presentan un recubrimiento peculiar por acción del hielo-deshielo (Alonso, F., 1991).

El río Cabriel y sus afluentes atraviesan terrenos con estratos de diferentes períodos geológicos (Figura 6). En el curso alto se encuentra mayoritariamente los materiales secundarios del Triásico y Jurásico. Sin embargo, en la zona de estudio se encuentran afloramientos en modo aislado y escaso de materiales primarios (conglomerados, pizarras y cuarcitas). Los materiales plásticos pertenecientes al Triásico (arcillas y margas abigarradas) han permitido el encajamiento de las corrientes de agua en cañones.

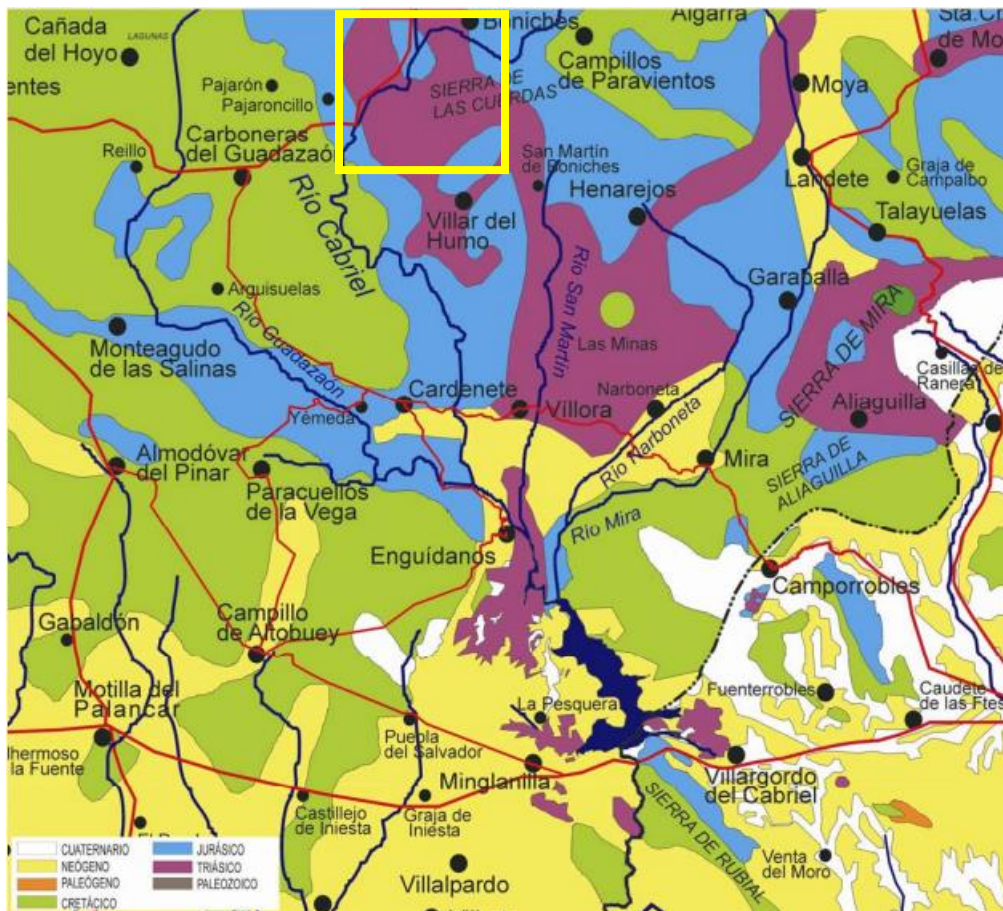


Figura 6. Geología del Valle del Cabriel. El recuadro en amarillo indica la zona donde se ha realizado el estudio. Fuente: Saiz, J., 2006.

Las litologías dominantes son de carácter básico, calizas, dolomías, margas o calcarenitas derivadas de rocas mesozoicas (Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, 2016b).

2.2.5 Clima

El clima presente en la cuenca del río Cabriel es mediterráneo, pero debido a su localización, sufre una ligera continentalización. Aun así, el clima ha sido clasificado por Köppen-Geiger como Csa (mediterráneo típico) en la zona del alto Cabriel donde se localiza el estudio. Se caracteriza por tener los inviernos lluviosos y fríos, con veranos secos y templados, así como otoños y primaveras variables en precipitación y temperatura.

Como se observa en el climodiagrama de la Figura 7 la temperatura media anual en la zona se encuentra en torno a los 11.9 °C y el nivel anual de precipitaciones sobre los 582mm según registros meteorológicos hasta la fecha de 2021.

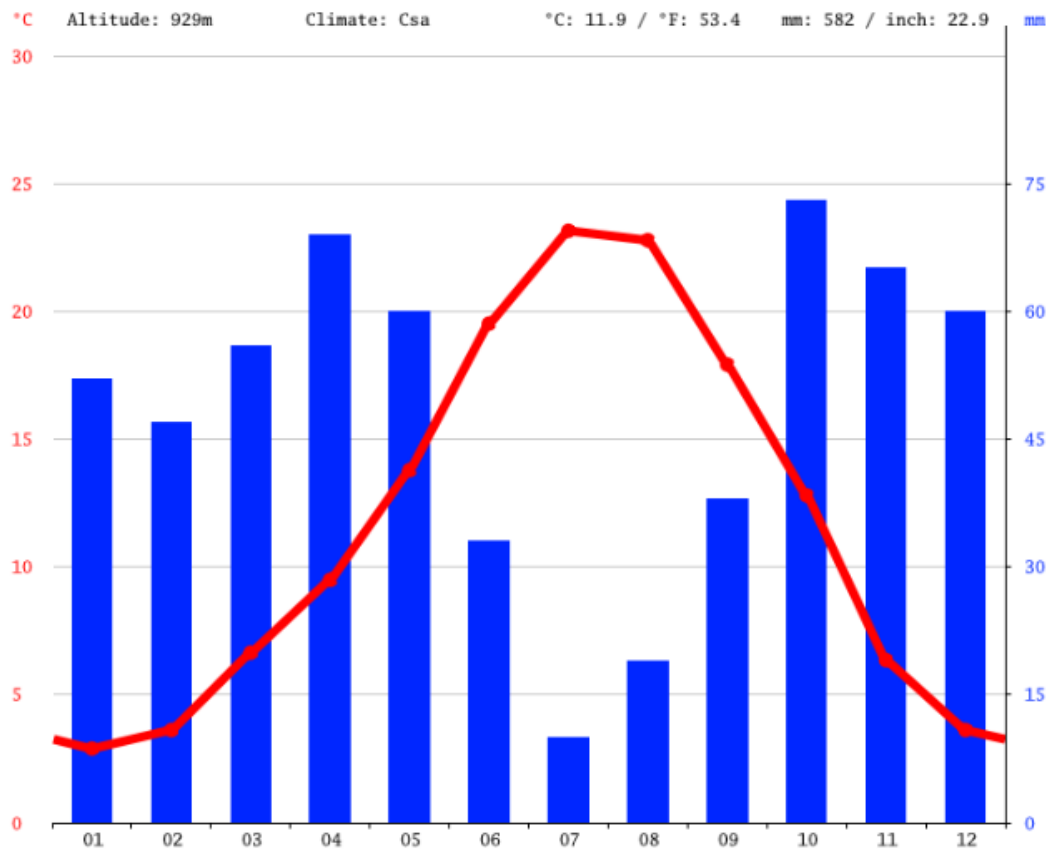


Figura 7. Climodiagrama de la zona de Cuenca. Los datos recogen registros desde 1991 hasta 2021. A la izquierda se indica la temperatura registrada (°C), correspondiente con la línea roja. A la derecha indica la precipitación (mm) siendo las columnas azules. El eje horizontal muestra los meses del año de forma numérica. Fuente: Climate-Data

2.2.6 Vegetación

La vegetación que se encuentra en la zona de estudio es una combinación entre cultivos de aprovechamiento maderero, en su gran mayoría choperas, y un bosque de coníferas, donde se identificaban las especies de *Pinus pinaster* y de *Pinus nigra*.

En las proximidades de los tramos de estudio, se pueden observar plantas herbáceas, arbustivas y arbóreas, y en diferentes tallajes, lo que hace que se configure un ambiente heterogéneo dando así lugar a una gran diversidad tanto biológica como estructural y funcional. Esta vegetación tiene, entre otras funciones, la estabilización de las orillas, favorecer la recarga de acuíferos, la regulación del flujo del agua y la acogida de la fauna. Algunas de las especies que se han identificado son *Phragmites australis*, individuos de los género *Salix* y *Quercus*, *Schoenoplectus tabernaemontani* y *Juncus*.

2.2.7 Espacios protegidos

La Reserva de la Biosfera del Valle del Cabriel es un espacio natural protegido que se encuentra al este del país, en la cuenca del río Cabriel. Cuenta con una superficie de más de 421 mil hectáreas formadas por heterogéneos paisajes donde se mezclan las montañas con formaciones rocosas y tierras cultivadas en llanuras aluviales. Los amplios gradientes altitudinal (1840 m en la cabecera y 340 m en la confluencia con el Júcar) y climáticos, combinados con la variedad de litologías y geomorfologías, conforman un territorio con una elevada biodiversidad (Consejería de Desarrollo Sostenible, Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, s.f.).

La zona de estudio del presente trabajo se localiza en la parte alta de la Reserva de la Biosfera del Valle del Cabriel, fuera del área protegida pero dentro del curso fluvial que da nombre al espacio protegido (Figura 8).

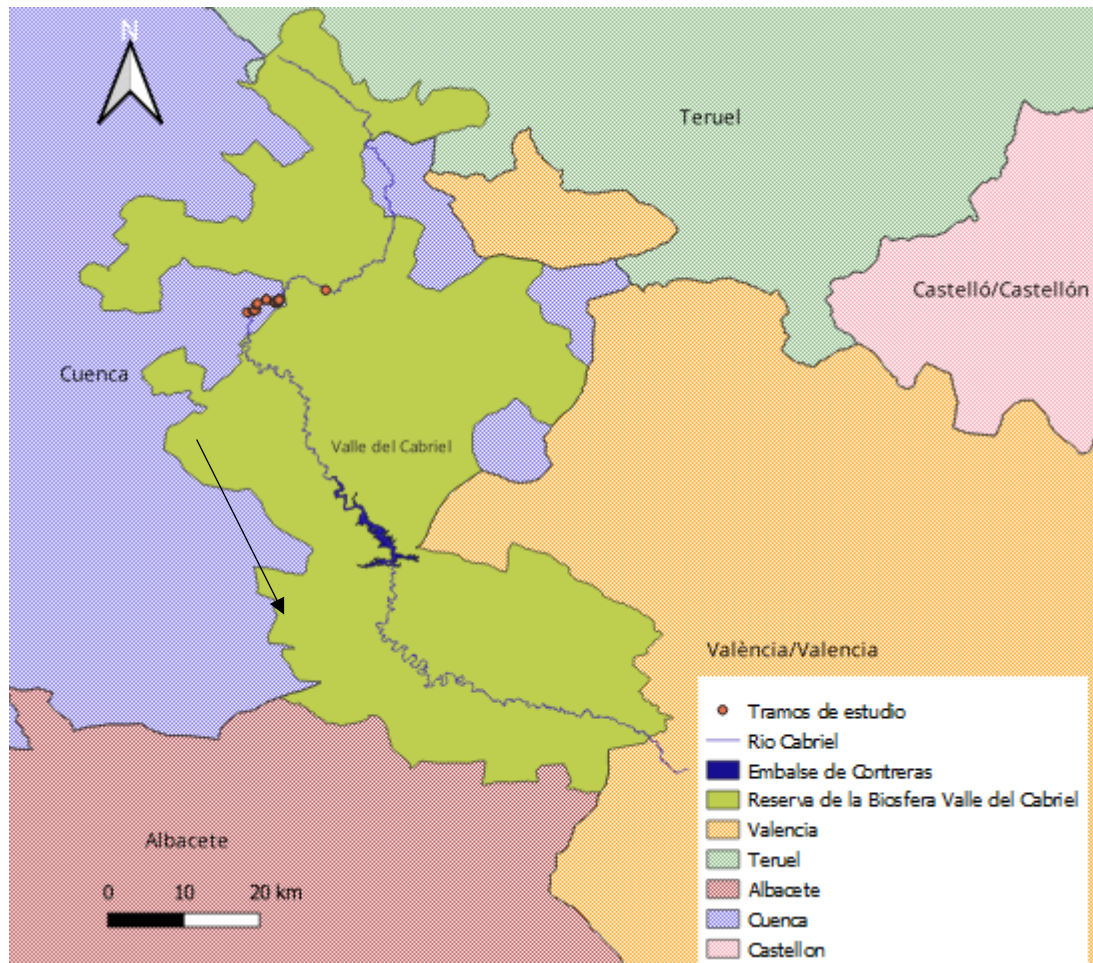


Figura 8. Localización de los tramos de estudio con respecto a la Reserva de la Biosfera del Valle del Cabriel. La flecha negra indica el sentido en el que discurre el flujo del agua.

Por otro lado, el Espacio Red Natura 2000 “Hoces del Cabriel, Guadazaón y Ojos de Moya” se sitúa al este de las provincias de Albacete y Cuenca, en las comarcas de La Manchuela, Serranía Alta y Media. Se trata de un extenso territorio formado principalmente por el río Cabriel y sus afluentes, a lo largo de un recorrido de casi 200 km (Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, 2016b). Es una ZEC – ZEPa (Zona de Especial Conservación y Zona de Especial Conservación Para las Aves respectivamente) por los sustratos calizos en los que se originan cortados que permiten la nidificación de las aves rupícolas, cumpliendo así fines conservacionistas de especies el águila azor perdicera (*Aquila fasciata*), águila real (*Aquila chrysaetos*), halcón peregrino (*Falco peregrinus*), búho real (*Bubo bubo*) y águila culebrera (*Circaetus gallicus*) (Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, 2016c).

2.2.8. Hidrología

Respecto al régimen hidrológico del Alto del Cabriel, hablamos de un tipo pluvio-nival (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, s.f.). Este tipo de régimen es el que describe a los caudales de un río que está influenciado por la precipitación y el deshielo. Por ello, el comportamiento del flujo del río varía en función de las estaciones y las condiciones climáticas.

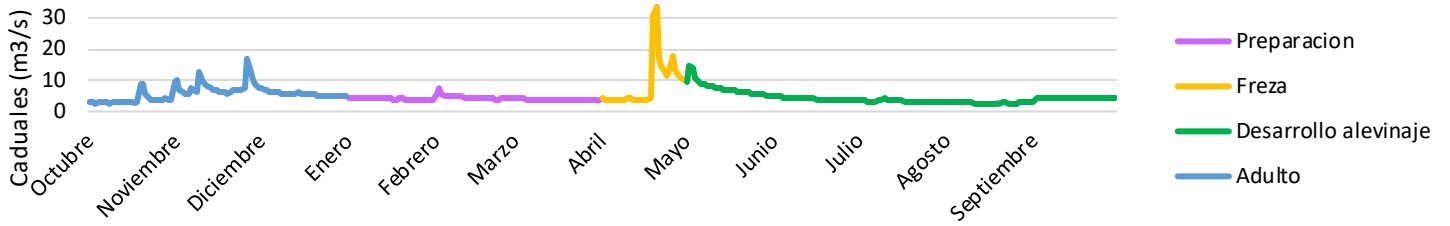
Para hacer el estudio de los caudales en la zona se descargaron los datos correspondientes a la estación de aforos (EA) de Pajaroncillo, con código 08090 y cuyas coordenadas ETRS89 huso 30 son UTM X: 610120.62; UTM Y: 4421931.49. La elección de la estación ha sido en base a situarse en la zona de estudio.

Se descargaron los datos de cinco años hidrológicos, comenzando el 1 de octubre de 2018 y finalizando con el 30 de septiembre de 2023. Además, los caudales que se van a mostrar se han dividido en cuatro etapas, correspondientes a cuatro etapas básicas del ciclo de vida de la loína y del cachuelo (tomando unos periodos aproximados promedio):

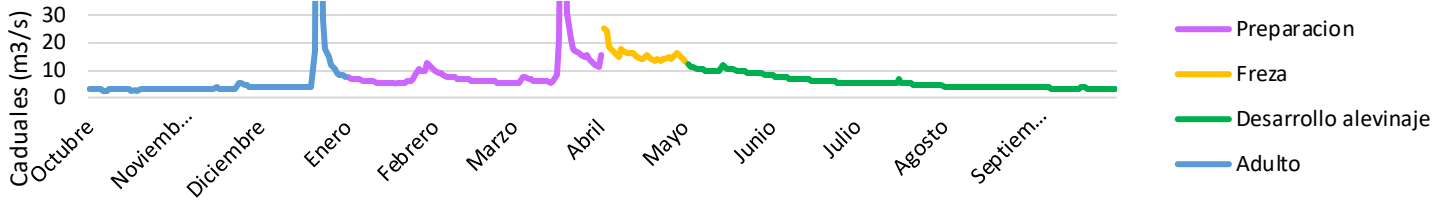
- Preparación del medio acuático. Esta etapa abarca los meses de enero hasta marzo. En ella, los caudales determinan la posibilidad de arrastre del sedimento del lecho y por tanto la proporción de arcillas y limos que perjudican la supervivencia de los huevos.
- Freza. Se establece un único mes que abarca ambas especies, siendo este abril.
- Desarrollo de alevinaje. Se establece que esta etapa abarca de mayo a septiembre. Coincidiendo con otras especies del mismo género, los días de incubación se han estimado entre 5 y 10 días. En los primeros meses los alevines serán mucho más sensibles a caudales punta y caudales muy bajos.
- Juvenil y Adulto. En otoño e invierno los alevines han pasado a la fase juvenil y los adultos se mantienen y preparan para la freza. Puede ser una época limitante para unos u otros según la temperatura, disponibilidad de alimentos, etc.

No se ha establecido unas etapas estrictas, sino que los factores críticos para las dos poblaciones se van sucediendo de modo solapado y según cada año. En la Figura 9 se observa de manera gráfica como varían los caudales en la época de freza para cinco años consecutivos. Para obtener una información más precisa se observa la Tabla 1 donde se observa la variación del caudal medio de manera numérica. En ella se ve que ha habido una reducción de casi el 42% en los caudales para la época de freza entre el 2022 y el 2023, siendo una reducción muy significativa. En la época crítica para el alevinaje, cuando la tasa de mortalidad suele ser mayores, el caudal de 2023 registró valores ligeramente inferiores a la media de 5 años (-17%). Ambos cambios pueden suponer efectos tanto negativos como positivos para el tamaño de la población.

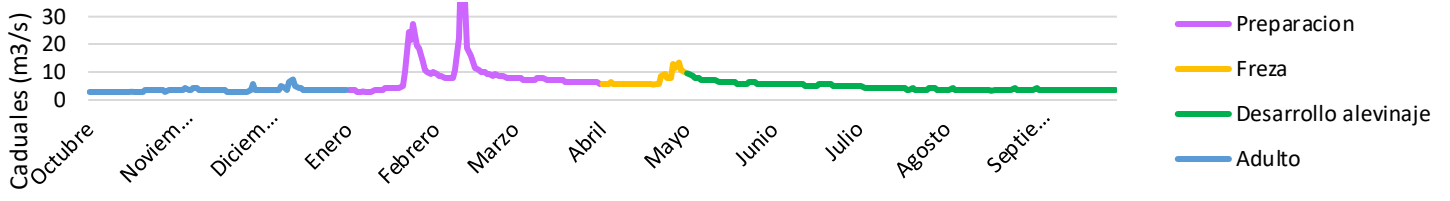
Ciclo hidrológico 2019



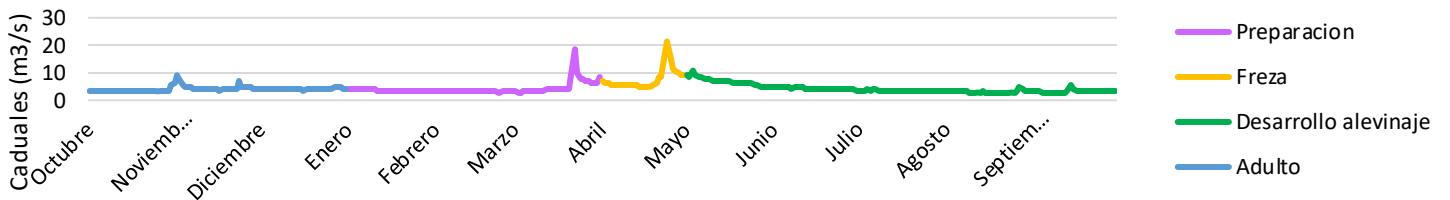
Ciclo hidrológico 2020



Ciclo hidrológico 2021



Ciclo hidrológico 2022



Ciclo hidrológico 2023

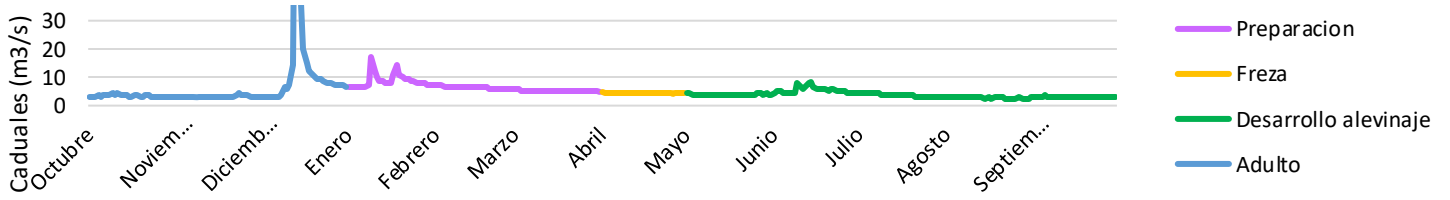


Figura 9. Comparativa de caudales para las diferentes etapas de vida durante cinco años. La etapa en azul se refiere a Juveniles y Adultos.

Tabla 1. Variación de los caudales medios para cada etapa del año, en los últimos cinco años hidrológicos. Por tanto, el ciclo hidrológico 2022-2023 precede en su mayor parte a los muestreos realizados en 2023.

	2019	2020	2021	2022	2023
Juvenil y Adulto	5.70	7.00	3.55	4.10	7.26
Preparación	4.15	9.84	9.12	4.07	6.80
Freza	8.97	15.74	7.20	7.71	4.49
Desarrollo alevinaje	4.34	5.64	4.70	4.24	3.77

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

Se hizo un estudio de las poblaciones de loína y cachuelo valenciano en diferentes localizaciones de la cabecera del río Cabriel. La recogida de datos incluyó el conteo de las diferentes especies de peces presentes en el tramo y la caracterización del hábitat con variables de diversos tipos, sean continuas (velocidad, calado) o categóricas (refugio, sustrato).



Figura 10. Imagen ilustrativa de dos buceadores observando las especies presentes en un microhábitat antes de proceder a los conteos, en el tramo alto del Cabriel.

El equipo de trabajo estaba compuesto por tres miembros. Lo primero que se hacía era seleccionar un tramo de estudio de entre 30 - 50 m de largo que encajara con las necesidades de las especies objetivo. Para ello el proyecto se centró en dos unidades hidromorfológicas (HMU) concretas: pozas y tablas.

- *“Las pozas son zonas de pendiente escasa, generalmente profundas (> 0.6 m), con velocidades del agua inferiores a la media del tramo. El sustrato puede ser*

muy variable, existiendo con frecuencia acumulaciones de sedimentos finos. En las zonas más profundas su sección transversal es típicamente asimétrica." (Martínez-Capel *et al.*, 2009).

- *"Las tablas son zonas de pendiente moderada a baja, generalmente poco profundas, con velocidades del agua media a baja y sin turbulencias apreciables. El sustrato está compuesto mayoritariamente por gravas, gravillas y arenas. La profundidad no alcanza los 0.6 m (salvo puntualmente) y es aproximadamente homogénea en la dimensión transversal."* (Martínez-Capel *et al.*, 2009).

3.1. CONTEO DE LAS ESPECIES OBJETIVO

La toma de datos para cada microhábitat se llevó a cabo por muestreos subacuáticos de observación directa bajo el agua (buceo). Dicho método está ampliamente extendido debido a su utilidad para observar a los peces en su medio natural (Martínez-Capel *et al.*, 2009) y tiene una larga historia de desarrollo metodológico, especialmente en Norteamérica (Hankin & Reeves, 1988; Dolloff *et al.*, 1993). Gracias a ella podemos observar en qué punto de la columna de agua se encuentra el pez (punto focal), observar a peces en zonas de baja visibilidad (cornisas, vegetación, restos de madera) y dar una mayor seguridad a los datos al tener una observación directa del comportamiento del pez.

Además, esta técnica tiene menos limitaciones que otras, como es la pesca eléctrica, y arrojan un mayor número de resultados y observaciones de calidad por unidad de esfuerzo (Martínez-Capel *et al.*, 2009). Sin embargo, trae como inconvenientes la subestimación de individuos de pequeño tamaño y que se puede espantar a los peces si no se trabaja adecuadamente y con mucha paciencia. Aun así, no hay referencias científicas donde se establezca un error debido a las molestias en el agua por parte del buceador, ya que éste se debe mover despacio y con mucho cuidado. Por ello, para realizar los conteos se estableció el buceo con tubo. Además, se contabilizaron los individuos que eran juveniles y adultos, teniendo estos un tamaño mayor a los 5 cm. Los peces menores de 5 cm de longitud estándar fueron excluidos del conteo, ya que la especie no es identificable con fiabilidad bajo el agua.

Las inmersiones para recogida de datos se empezaban siempre desde el límite inferior y yendo a contracorriente, intentando no espantar a los peces. Dos buceadores realizan conteos individualmente, en cada microhábitat, dejando un tiempo prudencial entre uno y otro de 15 minutos. Cada buceador realizaba el conteo en microhábitats individuales que representan parches de hábitat individuales, según la metodología diseñada expresamente para este proyecto. Para la toma de datos *in situ* de la observación directa, el buceador lleva una tablilla subacuática en el antebrazo. En esos buceos se recogían los siguientes datos: número de especies, tipo de refugio, sustrato y

recubrimiento; posteriormente, una vez el conteo se ha terminado esta primera fase de toma de datos, se realizaba la caracterización hidráulica (datos de velocidad y calado) del microhábitat individual. En este trabajo microhábitat equivale a parche de hábitat en el paisaje fluvial.

Se contabilizan todas aquellas especies de peces presentes en el río (Tabla 2) durante al menos 15 minutos por cada parche. Adicionalmente se anotaron las interacciones de los individuos con el entorno (*e.g.* alimentación, descanso, zona como paso). El procedimiento se basa en dos conteos, de modo que a posteriori se analiza la distribución de la diferencia entre los dos conteos antes de proceder al análisis de las relaciones entre variables y otros resultados.

Tabla 2. Especies de peces observadas durante los muestreos.

Especie	Localización
Cachuelo (<i>Squalius valentinus</i>)	En todos los tramos
Loína (<i>Parachondrostoma arrigonis</i>)	En todos los tramos salvo en el primero
Trucha (<i>Salmo trutta</i>)	En todos los tramos
Barbo (<i>Barbus barbus</i>)	En todos los tramos
Boga (<i>Pseudochondrostoma polylepis</i>)	Únicamente en el primer tramo, bajo la presa de Cristinas
Gobio (<i>Gobio lozanoi</i>)	En todos los tramos
Bermejuela (<i>Achondrostoma arcasii</i>)	En todos los tramos

3.2. RECUBRIMIENTO Y REFUGIO

La distribución de las plantas acuáticas dentro de un río es clave como refugio para la ictiofauna. Este trabajo pretende ser un punto de partida en la exploración de los microhábitats acuáticos del alto Cabriel en relación con las especies que pueden servir de refugio.

Una vez el tramo es seleccionado, se hace un visionado general desde fuera del agua donde se busca ver la distribución de los microhábitats, parches a partir de ahora, dentro del agua. Estos parches se van a diferenciar en función del *tipo de recubrimiento*, según siete tipos (Ver Anexo 1):

- Vegetación acuática de hoja filamentososa (código “VFIL”): se refiere a plantas acuáticas que tienen hojas delgadas y largas, con una estructura similar a filamentos. Estas plantas pueden desempeñar un papel importante en la salud de los ecosistemas acuáticos al ayudar a filtrar el agua, proporcionar oxígeno y estabilizar los sedimentos. Se tuvieron en cuenta dos géneros, *Myriophyllum* y *Ceratophyllum*.
- Vegetación acuática de hoja plana (código “VPLA”): se refiere a plantas acuáticas cuyas hojas tienen una estructura más plana en comparación con las hojas filamentosas. Al igual que las anteriores, estas plantas pueden desempeñar un papel importante en la salud de los ecosistemas acuáticos al ayudar a filtrar el agua, proporcionar oxígeno y estabilizar los sedimentos. Algunos de los ejemplares que se observaron pertenecían al género *Elodea*.
- Vegetación helófito (código “HEL”): son un tipo de plantas acuáticas adaptadas a crecer en suelos inundados o en agua poco profunda, cuyos tallos emergen del agua. Esta vegetación desempeña un papel muy importante en estos ecosistemas ya que, aparte de proporcionar hábitat, alimento y filtrar contaminantes, su presencia puede ayudar a reducir la erosión de las orillas de los cuerpos de agua y a mantener la calidad del agua al absorber nutrientes en exceso. Las especies que se encontraron fueron el carrizo (*Phragmites australis*), juncuales mixtos con *Scirpus holoschoenus* y la caña común (*Arundo donax*), esta última invasora.
- Madera (código “WOD”): se trata de dos tipos de madera. Por un lado, se tiene la madera viva, es decir, aquellas ramas y raíces de los árboles que por erosión de las orillas o por tener un gran follaje, están parcial o totalmente sumergidas; y por otro lado está la madera muerta, que son ramas o trozos de tronco que han caído o han sido arrastrados por la corriente. Para simplificar, en este trabajo no hemos separado las raíces del resto, aunque tienen gran importancia como refugio en las orillas para los alevines (Martínez Capel, 2000)
- Algas (código “ALGAS”): se trata de organismos fotosintéticos cuyas funciones principales son la producción de oxígeno y el control de nutrientes. Este tipo de organismos unicelulares o pluricelulares son la base de la cadena alimenticia.
- Toba (código “TOBA”): se refiere a una roca sedimentaria compuesta principalmente de carbonato de calcio (calcita), que se forma en y alrededor de las rocas, la vegetación y ramas muertas (Con sus típicas formas naturales, etc. Se desarrolla a partir de la precipitación de carbonato de calcio disuelto en el agua, que se deposita gradualmente sobre superficies sumergidas y se va solidificando.
- Sin vegetación (código “NO_veget”): parches que no tienen ninguno de los recubrimientos descritos anteriormente.

Los diferentes tipos de recubrimiento pueden proporcionar diferentes tipos de refugio y alimento para las diversas formas de vida acuática, como peces, insectos y otros

organismos acuáticos. Los tipos de refugio que se tuvieron en cuenta en el estudio, teniendo a la ictiofauna como objetivo, son:

- Sin cobertura (código “NOcover”): parches que carecen de elementos que proporcionen refugio.
- Vegetación (código “Veget”): este apartado va referenciado a los diferentes tipos de recubrimiento.
- Cornisas (código “Cornisas”): zonas (usualmente alargadas) a lo largo y debajo de los taludes de una o ambas orillas.
- Madera (código “Madera”): madera muerta y/o ramas de los árboles que tocan el agua.
- Bloques (código “Bloques”): sustrato granular del río de tamaño mayor de 256 mm de diámetro nominal. En esta clase hemos incluido grandes bloques juntos.

3.3. SUSTRATOS

Para nombrar cada uno de los parches y tener un boceto de ellos, se realizaba una primera observación subacuática, para registrar el tipo de sustratos en cada parche, información básica sobre el recubrimiento y refugio, y se colocaban dos cámaras GoPro. Los tipos de sustratos y su clasificación los encontramos en la Tabla 3.

Tabla 3. Tipo de sustratos según la escala de la American Geophysical Union (AGU) simplificada, empleada por el equipo de la UPV en diversos estudios

Tipo de sustrato	Diámetro (mm)
Roca madre	-
Bloques	>256
Cantos	64-256
Grava	8-64
Gravilla	0.2-8
Arena	0.006-0.2
Limo	<0.006

3.4. CARACTERIZACIÓN DE LOS PARCHES

La caracterización de los parches se llevó a cabo junto con un tercer miembro del equipo, el cual cartografió cada parche con ayuda de la estación total (marca FOIF) y prismas, para posteriormente hacer los mapas digitales. Una vez se tiene la forma se sacan los datos de velocidad y calado de cada parche. La velocidad se registra al 20% y al 80% de profundidad (o, igualmente, 20 y 80% del calado sobre el lecho) con la ayuda de un molinete electromagnético (marca Valeport®). Dado que los parches eran de diferentes tamaños, se cogió un mínimo de dos mediciones por parche (Ver Anexo 2).

3.5. PROCESADO DE DATOS

Una vez obtenidos los datos de todos los tramos seleccionados para el estudio, se formaron dos bases de datos. La primera de ellas almacenó los datos a nivel de microhábitat o parche, y la segunda los datos a nivel mesohábitat o tramo. En el presente trabajo solo se hizo uso de los datos pertenecientes al primer grupo, el microhábitat.

Para poder realizar el análisis de los datos, se siguió el artículo "*A Protocol for Data Exploration to Avoid Common Statistical Problems*" de A. F. Zuur *et al.*, (2010), el cual ofrece una guía para la exploración de datos en estudios ecológicos y ambientales. El objetivo principal del protocolo es ayudar a los investigadores a identificar y evitar errores estadísticos comunes que pueden comprometer la validez de sus análisis.

Un paso básico en la exploración de los datos es analizar las variables según su naturaleza:

- Numérica: es un tipo de variable en estadística que representa cantidades numéricas. En este caso encontramos las densidades de cachuelo y loína, las distintas velocidades, la desviación estándar, el calado, la superficie, el perímetro, el ratio de superficie/perímetro y los sustratos. Aquí se incluyen los índices de fragmentación calculados.
- Categórica: es un tipo de variable en estadística que representa cualidades o características que no pueden ser medidas numéricamente, sino que se pueden clasificar en categorías o grupos. En nuestro caso indicaran la presencia (1) o ausencia (0) del refugio, recubrimiento y vegetación.

Durante esta etapa se buscaron valores atípicos, así como cálculo y procesamiento de todas las variables que se van a utilizar en fases posteriores.

3.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El primer paso fue analizar las posibles relaciones entre la densidad de cada una de las 2 especies y las variables ambientales del hábitat, para saber si podrían resultar relevantes para las especies: calado, velocidad, sustrato, recubrimiento y refugio. Como se ha indicado antes, esto requiere análisis de distinto tipo según el tipo de variable.

Para ello, lo primero que hicimos fue la prueba de Shapiro-Wilk para evaluar la normalidad de los datos ($P < 0.05$) con el software GraphPad Prism 9.0.0 (Graphpad Software, San Diego, CA, EE. UU.). Cabe señalar que se comprobó la normalidad y homogeneidad de cada variable por separado. La variable que nos interesa estudiar y predecir es densidad de cada una de las dos especies, en términos de individuos por metro cuadrado (ind./m²).

Para el cálculo de las densidades se usaron los conteos de los individuos y la superficie de cada microhábitat. Los conteos por especie y parche eran dobles e independientes, ya que cada buceador hacía un conteo. Para establecer un único valor de conteo, se realizó un histograma de porcentaje de diferencias de conteo para cada especie siguiendo la siguiente fórmula:

$$\text{Porcentaje de diferencia} = \frac{\text{Conteo buceador 2} - \text{Conteo buceador 1}}{\text{Conteo buceador 1}}$$

Con esta diferencia entre conteos, en porcentaje, se tomó la decisión de qué valor final de conteo (y qué ecuación) sería más adecuado utilizar para la densidad de cada microhábitat.

Con las variables numérica se realizó una matriz de correlaciones de Spearman, que muestra los coeficientes de correlación de Spearman entre todas las posibles combinaciones de variables. Además, se obtuvo el $P - value$ para esas correlaciones. Para evaluar la posible relevancia de las variables categóricas, se decidió usar el test de Mann-Whitney para comparar los valores de la densidad con y sin presencia de cada tipo de elemento. Es decir, test de densidad de loína en microhábitats con refugio *versus* sin refugio, con y sin bloques, etc. Y lo mismo para el cachuelo. Los valores de $P - value$ se ajustaron mediante la corrección de Bonferroni, un procedimiento común que controla la probabilidad general de un error de tipo I (falso positivo) para múltiples pruebas de hipótesis. Esta corrección implica dividir el nivel de significación para una prueba individual por el número de pruebas. La forma en la que se establecerán la fuerza de las significación se establece en la Tabla 4.

Tabla 4. Leyenda de las significación según los p - values obtenidos para los test de Mann-Whitney. En rojo las que menos significación tendrán y cuando tiende a verde mayor es la relación.

LEYENDA
No
Si*
Si**
Si***
Si****

3.7. ANÁLISIS DE FRAGMENTACIÓN

Para el estudio de la fragmentación del hábitat se utilizó el plugin LecoS - Landscape Ecology Statistics en QGIS. Para este tipo de análisis se ha utilizado el atributo del parche que llamamos tipo de recubrimiento, es decir que se dividen en: vegetación filamentososa, vegetación hoja plana, helófitas, madera, algas, toba y sin vegetación. Esta última se nombrará en los mapas como “matriz” para abreviar. Se calcularon los siguientes índices numéricos de fragmentación:

- Índice de parche más grande (Largest Patch Index): a nivel de clase cuantifica el porcentaje del área total del paisaje comprendido por el parche más grande, es decir, mide la dominancia (Fragstats, 2000b). Para entender mejor este índice se trae como ejemplo la Figura 11 donde se tiene la cartografía del tramo 4. En él se pueden observar cuatro tipos de parches: helófitas, vegetación filamentososa, restos de madera y sin vegetación (para abreviar “matriz”). Cada uno de ellos tiene un porcentaje de área ocupada respecto al total del tramo, por lo que el parche con mayor presencia es la matriz, teniendo así una mayor dominancia respecto al resto.

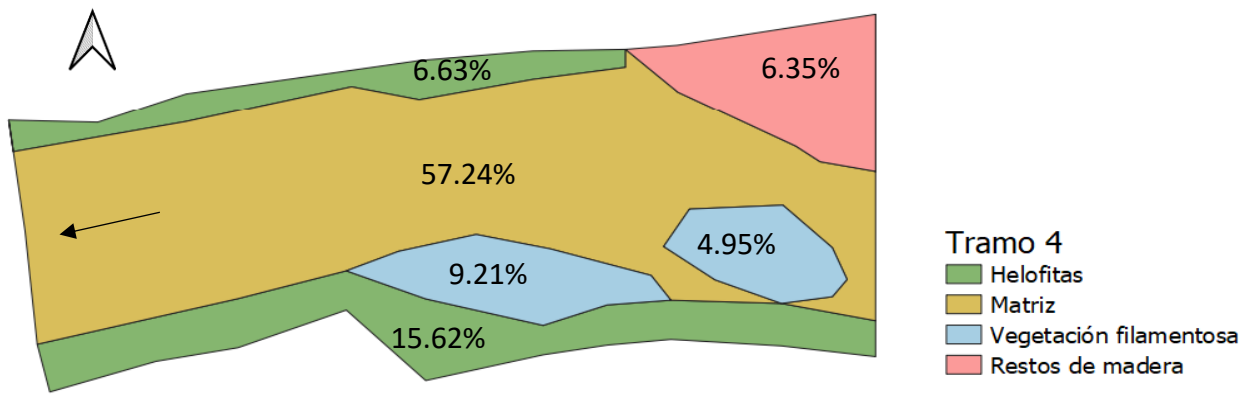


Figura 11. Ejemplo gráfico para el Índice de parche más grande con el tramo 4. La flecha negra indica el sentido en el que discurre el flujo. Para abreviar la leyenda, los parches del tipo sin vegetación se han etiquetado “matriz”.

- Porcentaje de adyacencias similares (Percentage of Like Adjacencies): se calcula a partir de la matriz de adyacencia, que muestra la frecuencia con la que diferentes pares de tipos de parches (incluidas las adyacencias similares entre el mismo tipo de parche) aparecen uno al lado del otro en el mapa (Fragstats, 2000a). Es decir, mirando la Figura 12 observamos que los porcentajes oscilan entre el 99% y el 100%, lo que indica que hay poca variación entre los parches que están uno al lado del otro ya que casi siempre se observan parches de helófitas junto a los parches de matriz o de vegetación filamentososa.

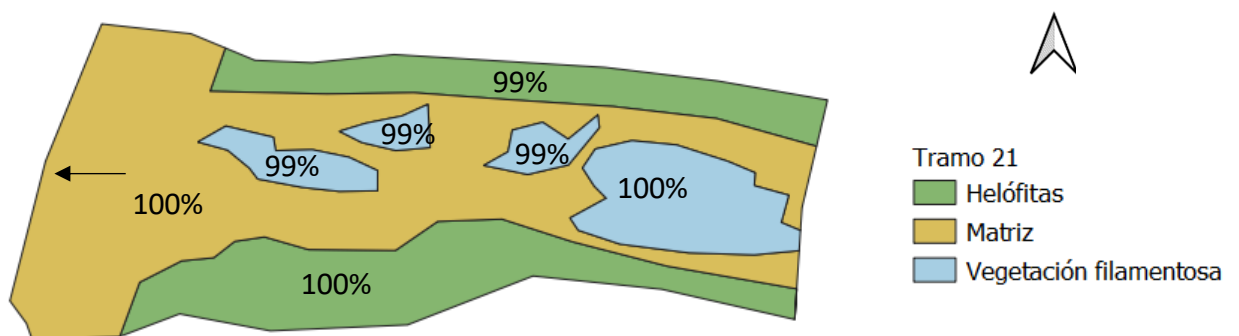


Figura 12. Ejemplo gráfico para el Porcentaje de adyacencias similares con el tramo 21. La flecha negra indica el sentido en el que discurre el flujo. Para abreviar la leyenda, los parches del tipo sin vegetación se han etiquetado “matriz”.

- Índice de cohesión del parche (Patch cohesion index): mide la conexión física de cada tipo de parche. La cohesión del parche aumenta a medida que el tipo de parche se vuelve más agrupado o agregado en su distribución; por lo tanto, más

conectados físicamente (Fragstats, 2000c). Para entenderlo mejor observamos la Figura 13, sabiendo que es un porcentaje y que cuanto más cercano a 100% más conexión existe, se puede observar cuanto de fragmentado está el paisaje.

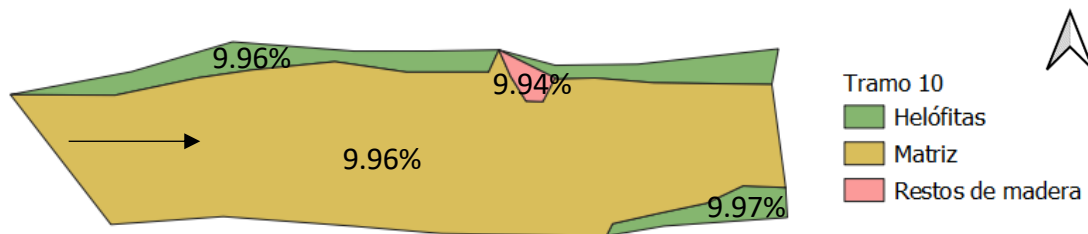


Figura 13. Ejemplo gráfico para el Índice de cohesión del parche con el tramo 10. La flecha negra indica el sentido en el que discurre el flujo. Para abreviar la leyenda, los parches del tipo sin vegetación se han etiquetado "matriz".

- Tamaño de malla efectivo (Effective mesh size): se basa en la probabilidad de que dos puntos elegidos aleatoriamente en una región estén conectados. Cuantas más barreras haya en el paisaje, menor será la probabilidad de que los dos puntos estén conectados y menor será el tamaño efectivo de la malla (Jaeger *et al.*, 2006). Para comprenderlo mejor tenemos la Figura 14 donde se puede ver que, a valores más altos, la probabilidad de que esos dos puntos estén conectados es mayor.

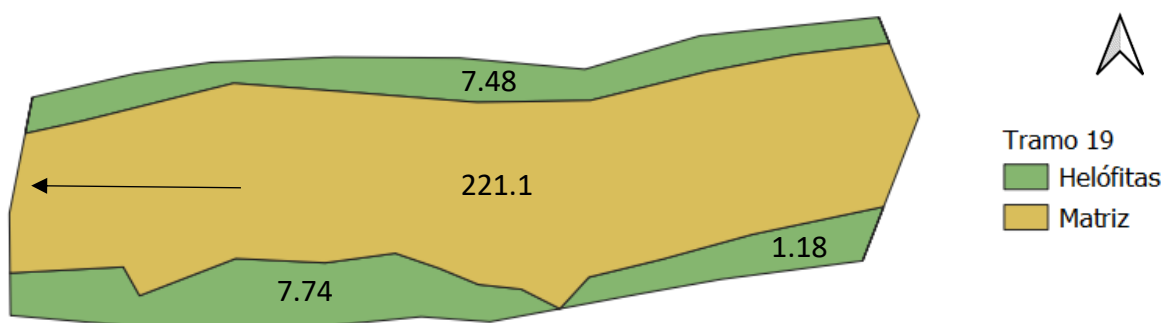


Figura 14. Ejemplo gráfico para el Tamaño de malla efectivo con el tramo 19. La flecha negra indica el sentido en el que discurre el flujo. Para abreviar la leyenda, los parches del tipo sin vegetación se han etiquetado "matriz".

- Índice de división (Splitting index): es una medida utilizada para evaluar la diversidad de un hábitat o comunidad en función de la distribución de los

individuos entre diferentes categorías o clases. Es decir, cuanto más dividido está el paisaje mayores son sus valores, como se puede observar en la Figura 15.

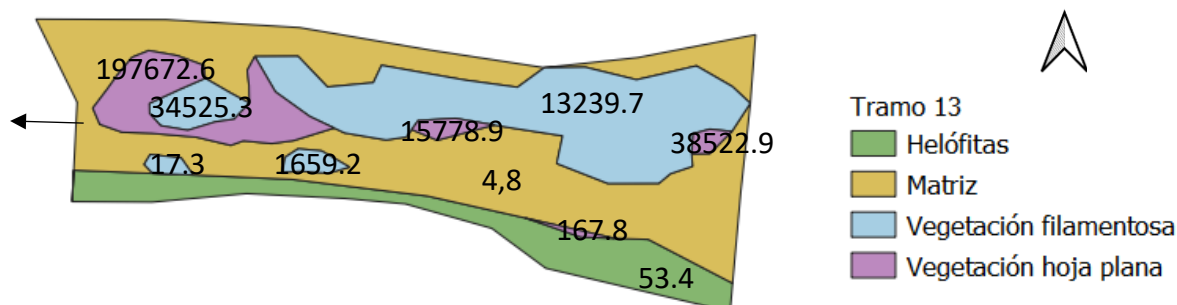


Figura 15. Ejemplo gráfico para el Índice de división con el tramo 13. La flecha negra indica el sentido en el que discurre el flujo. Para abreviar la leyenda, los parches del tipo sin vegetación se han etiquetado "matriz".

Con los resultados del análisis estadístico, se evalúa si estos son significativos, ya que lo que se busca son variables que afecten a la mayor o menor densidad de la loína y el cachuelo.

3.7. ANÁLISIS DE CORRESPONDENCIAS CANÓNICAS (CCA)

El Análisis de Correspondencias Canónicas (CCA) es una técnica estadística multivariante utilizada principalmente en ecología para relacionar la composición de comunidades biológicas (por ejemplo, especies de plantas o animales) con variables ambientales. Este método combina aspectos del análisis de correspondencias y regresión canónica para entender cómo las variaciones en las variables ambientales influyen en la distribución de especies.

Es objetivo del CCA relacionar la matriz de abundancia de sendas especies con la matriz de variables ambientales, para así poder identificar los patrones en la distribución de las especies. Por ello, lo primero que se definió fueron los datos de entrada:

- La matriz de Abundancia de Especies (Y): se trata de una matriz donde las filas representan los diferentes parches y las columnas la densidad de especies.
- La matriz de variables Ambientales (X): se trata de una matriz donde las filas representan los mismos parches que la matriz anterior y las columnas representan las diferentes variables ambientales. En este caso las variables categóricas se convirtieron a forma numérica estableciendo una forma binaria (0 ausencia y 1 presencia).

La implementación práctica de este análisis se realizó en Rstudio con el paquete “vegan” donde se escogió la función ‘cca’. El programa aporta tres grupos de resultados (Borcard *et al.*, 2011):

- ✓ **Análisis de Inercia (Varianza):** se descompone en restringida y no restringida. La que nos interesa es la primera, representada en el mapa de ordenación, ya que da la cantidad de varianza de la matriz explicada por las variables explicativas. Expresado como proporción, es equivalente a un R^2 en regresión múltiple (Borcard *et al.*, 2011).
- ✓ **Componentes Canónicos:** son combinaciones lineales de las variables ambientales. Estos componentes maximizan la correlación entre la matriz de especies y las variables ambientales. Los valores propios dan medidas de la importancia (varianza) de los ejes. Se pueden expresar como proporciones explicadas y se clasifican en orden decreciente de la variación que representan.
- ✓ **Escalado:** proceso interno del programa donde los datos se centran y escalan para que las diferentes unidades de las variables no influyan desproporcionalmente en el análisis. Con esto se obtienen las proyecciones de los resultados en un espacio reducido de visualización gráfica.

Si las variables tienen un ángulo pequeño entre sus vectores, estas estarán fuertemente correlacionadas positivamente; si el ángulo entre las variables oscila entre vectores de 90 a 270 grados, estos no están correlacionados; y las variables con ángulos de 180 grados están fuertemente correlacionadas negativamente (Kindt & Coe, 2005)

Además, es posible aplicar un test de permutación para descartar la hipótesis de ausencia de relación lineal entre especies y variables (Borcard *et al.*, 2011). El resultado de este análisis es un valor de significación o *p - value*. Si el resultado es un valor significativo ($p < 0.001$), se puede asegurar que existe una relación lineal entre componentes del análisis. Pero si el resultado del test no es significativo, estos no serán interpretados. Este test se hace con la función “anova” del mismo paquete, “vegan”.

3.8. CURVAS DE IDONEIDAD

Los modelos de idoneidad, de modo genérico, son funciones matemáticas que indican la conveniencia, para cada especie y etapa de desarrollo, de los distintos valores que toma una variable del hábitat (Martínez-Capel, 2011). Su cálculo se basa generalmente en un conjunto de datos sobre el uso del hábitat por una especie, es decir datos tomados en campo, localizando los puntos donde una especie se sitúa. Al procesar estos datos se obtiene al final una función que relaciona los distintos valores de cada variable con un “Índice de Idoneidad” que varía entre 0 (valoración mínima, no aceptables) y 1 (máxima idoneidad).

Las curvas de idoneidad de hábitat son un caso particular de dichos modelos, utilizados en ecología y gestión de recursos naturales. En este caso hablamos de curvas univariantes, donde cada curva indica cómo la idoneidad de un hábitat para una especie particular varía en función de una variable concreta. Otra manera de reflejar los requerimientos de hábitat son los modelos multivariantes, donde una sola función o modelo matemático nos aporta un valor de idoneidad en función de varias variables al mismo tiempo. Para este tipo de curvas se deben integrar variables de dos tipos de naturaleza: biológicas (abundancia, alimento, vegetación) y físicas (velocidad, calado, temperatura). En principio se consideraron las variables de refugio, sustrato, calado y velocidad media de la columna de agua.

En el caso del sustrato se tienen los datos en porcentaje de presencia por cada microhábitat. A la hora de analizar los datos se hizo un conteo de presencia - ausencia de cada uno de los tipos de sustratos, donde se observó que el sustrato más fino (limos/arcillas) etiquetado como “finos” tenía presencia en el 99% de los microhábitats muestreados, es decir, que fue el tipo dominante al observarse una colmatación de finos encima de la mayor parte del lecho y en todos los tramos (Tabla 5). Por ello no se realizó la curva de idoneidad para esta variable, ya que es una variable que no es capaz de discriminar la presencia ni la abundancia de estas especies, al menos en el marco espacial y temporal de este trabajo.

Tabla 5. Conteo de aparición de cada uno de los sustratos en los microhábitat muestreados.

Tipo Sustrato	Conteo de aparición
Finos (limos y arcillas)	178
Limo	34
Arena	18
Gravilla	2
Grava	6
Cantos	4
Bloques	1
Roca madre	0

Hay que tener en cuenta que el presente estudio se muestrean individuos que se encuentran manteniendo la posición, en descanso o alimentándose. Si se observan individuos huyendo, esta no es una actividad que deba registrarse, ya que se busca el comportamiento que relaciona directamente a la especie con las características del flujo, y no cuando se ve forzada a elegir otros hábitats menos beneficiosos debido a que esté huyendo.

Los datos se analizan por medio de las distribuciones de frecuencias relativas de uso para cada variable (Martínez-Capel *et al.*, 2009). Es decir, se calcula el promedio del

número de registros que pertenecen a cada uno de los intervalos en que se divide la variable numérica y los tipos en los que se hayan establecido para la categórica. Posteriormente, se aplica un suavizado con una línea polinómica de tendencia con el objeto de evitar huecos debidos a falta de datos y evitar sucesivas subidas y bajadas de las curvas sin sentido ecológico (Martínez-Capel *et al.*, 2009). Para el caso del refugio no se sometió a ningún suavizado, pues se trata de una variable categórica.

Las tres curvas de idoneidad de hábitat univariante que se van a realizar son:

- Curva de idoneidad para la velocidad
- Curva de idoneidad para el calado
- Curva de idoneidad para el refugio

CAPÍTULO 4. RESULTADOS

4.1. RESULTADOS

El proyecto recoge un total de veintiún tramos con una longitud total buceada de 743.5m (Figura 16, Ver Anexo 3) y que tenían una longitud entre 21.2 m y 51.5 m. Se trataba de segmentos escogidos dentro de dieciocho pozas y tres tablas. Los datos fueron recogidos entre el 27 de junio de 2023 y el 22 de septiembre de 2023.

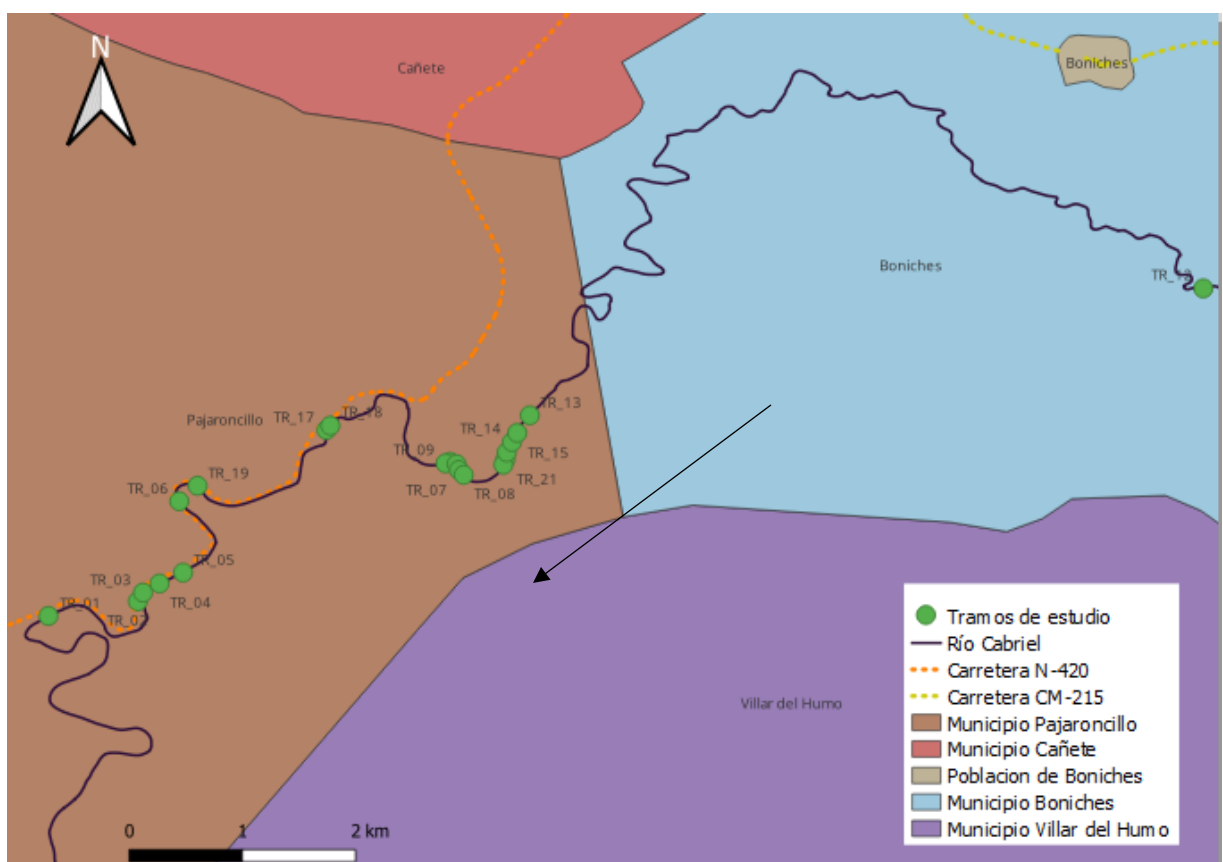


Figura 16. Localización de los tramos en el río Cabriel. La flecha negra indica el sentido en el que discurre el flujo de agua.

4.1.1. Análisis exploratorio de los datos

Siguiendo las directrices del protocolo de A. F. Zuur *et al.*, (2010) se comenzó con el trabajo con la exploración de los datos. Lo primero que se hizo fue eliminar las variables que no van a ser objeto de estudio en este proyecto, de esta manera se descartan los datos correspondientes a aquellas especies que no son ni loína ni cachuelo. El segundo

paso fue organizar las variables en dos grupos: por un lado, las variables dependientes que queremos modelar, las densidades, y por otro lado las independientes, que son el resto.

4.1.1.1. Variables numéricas

Estas variables son aquellas que se representan de forma numérica y que no representan variables cualitativas o estados. Las variables, como se ha explicado, se midieron en cada microhábitat que identificamos como un parche del paisaje. Las variables numéricas que se tienen son: densidad de cada especie (ind/m^2), velocidad media del flujo en cada parche al 20% de la altura sobre el lecho (m/s), velocidad media del parche al 80% de altura (m/s), velocidad media de la columna de agua promedio en el parche (media de los dos anteriores en cada punto) (m/s), desviación estándar de la velocidades medidas en el parche (%), calado medio, superficie (m^2), perímetro (m) y ratio de superficie/perímetro (ratio S/P, en m).

En primer lugar, se observaron las diferencias de conteos entre los dos buceadores, como se explicó en Métodos. De este modo se obtuvieron las Figuras 17 y 18, donde se concluye que al ver una diferencia menor al 10% entre los conteos de ambos buceadores en el 99% de los parches muestreados, el valor del conteo real considerado va a ser el promedio entre los dos valores de cada parche.

Histograma de diferencias de conteo cachuelo

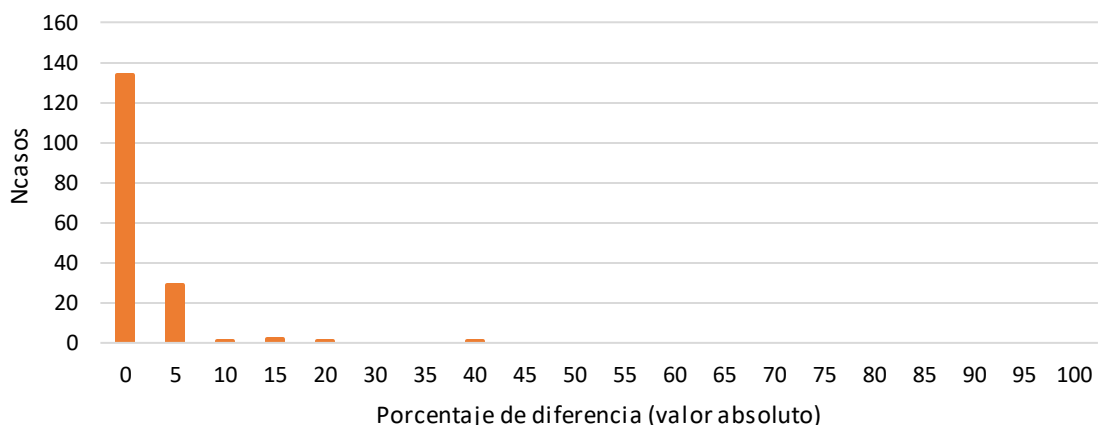


Figura 17. Histograma de diferencias de conteo para el cachuelo con el número de casos (Ncasos) en los que el porcentaje de diferencias (en valor absoluto) se encuentra en el intervalo.

Histograma de diferencias de conteo en loína

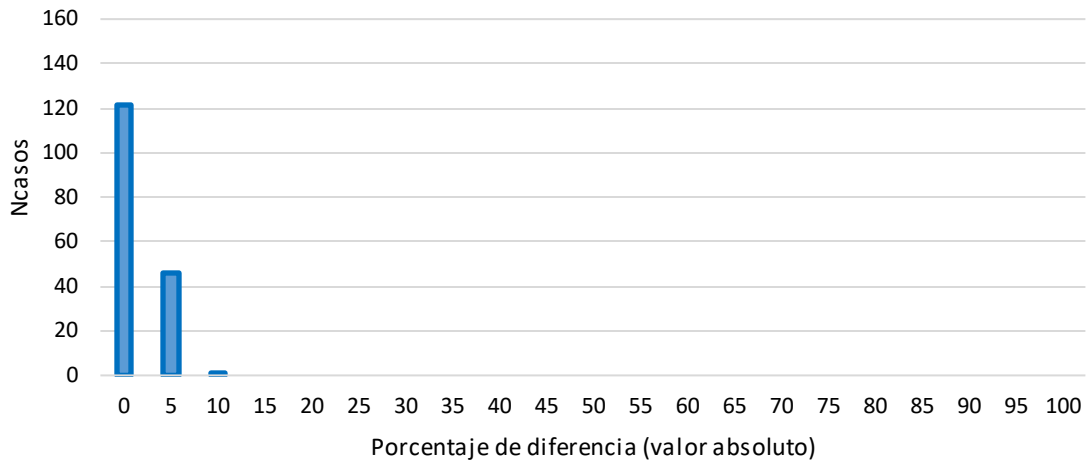


Figura 18. Histograma de diferencias de conteo para la loína con el número de casos (Ncasos) en los que el porcentaje de diferencias (en valor absoluto) se encuentra en el intervalo.

Para la exploración de todas ellas se realizaron histogramas, para ver el tipo de distribución (ver Anexo 4). De esta manera se clasificaron en dos grupos diferentes:

- Distribución asimétrica positiva: se encuentran en este grupo las tres variables de velocidad y el calado.
- Distribución geométrica: se encuentran en este grupo las densidades de ambas especies, desviación estándar, superficie y perímetro.

En ninguna de las variables se detectaron valores atípicos ni fallos en la transcripción.

El ratio superficie/perímetro es la medida que se utiliza para analizar la forma y las características de un área. Este ratio se calculó dividiendo la superficie del parche entre el perímetro del mismo. Es una herramienta útil en ecología del paisaje, planificación urbana y geografía para entender la compactación, regularidad y forma del paisaje.

Para saber la colinealidad de las variables, se realizó una matriz de correlaciones cruzadas de Spearman entre las densidades y las variables numéricas (Tabla 6 y ver Anexo 5).

Tabla 6. Matriz de correlaciones cruzadas de Spearman para las variables numéricas de la velocidad, desviación estándar (%), calado y ratio S/P. Los valores que tienden al 1 (relación directa) se hacen cada vez más azules y los que tienden al -1 (relación inversa) se hacen más rojos.

	Velocidad 20%	Velocidad 80%	Velocidad media	SD Velocidad media	Calado	Ratio S/P
Densidad cacho	-0.42	-0.34	-0.40	0.11	0.17	-0.08
Densidad loína	-0.36	-0.16	-0.24	0.04	-0.06	-0.20

Ninguna de las variables tiene una correlación determinante para la presencia de loína y cachuelo. Sin embargo, existe cierta relación con las velocidades. Para poder ver la significación de estas variables sobre las densidades, se obtuvo el *P-value* (Tabla 7). Las relaciones son significativas cuando el *P-value* < 0.0001, por lo que se observa que las velocidades son importantes, principalmente para el cachuelo.

Tabla 7. Matriz de *p-value* entre las variables de la velocidad, desviación estándar (%), calado y ratio S/P con las densidades.

	Velocidad 20%	Velocidad 80%	Velocidad media	SD Velocidad media	Calado	Ratio S/P
Densidad cacho	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.153	0.027	0.297
Densidad loína	<0.0001	0.036	0.001	0.573	0.468	0.008

Además, se buscó una relación de la abundancia de loína y cachuelo con la superficie de parche muestreado (Figura 19). De esta manera se observa que con el cachuelo existe una zona óptima situada en torno a los 20 m² y que la loína tiende a aumentar su población cuando el parche abarca una mayor superficie.

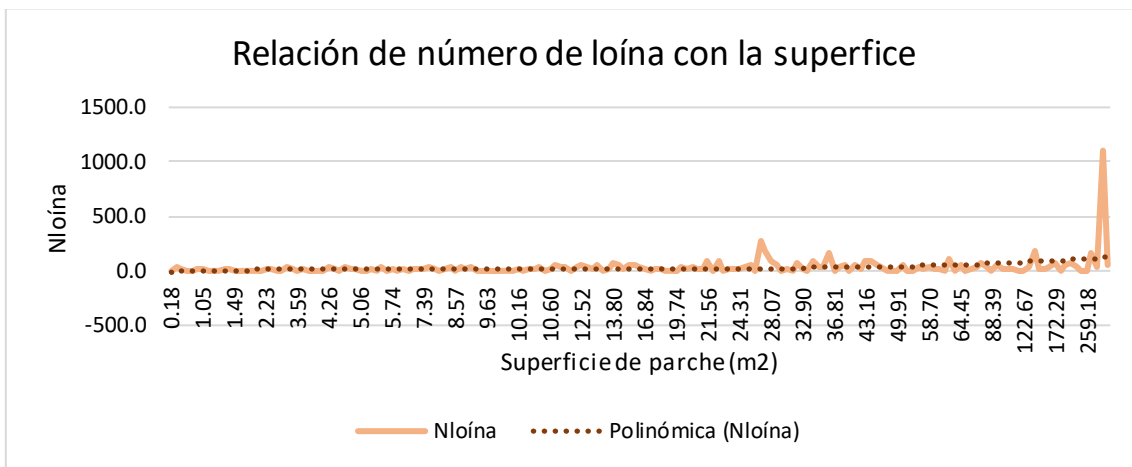
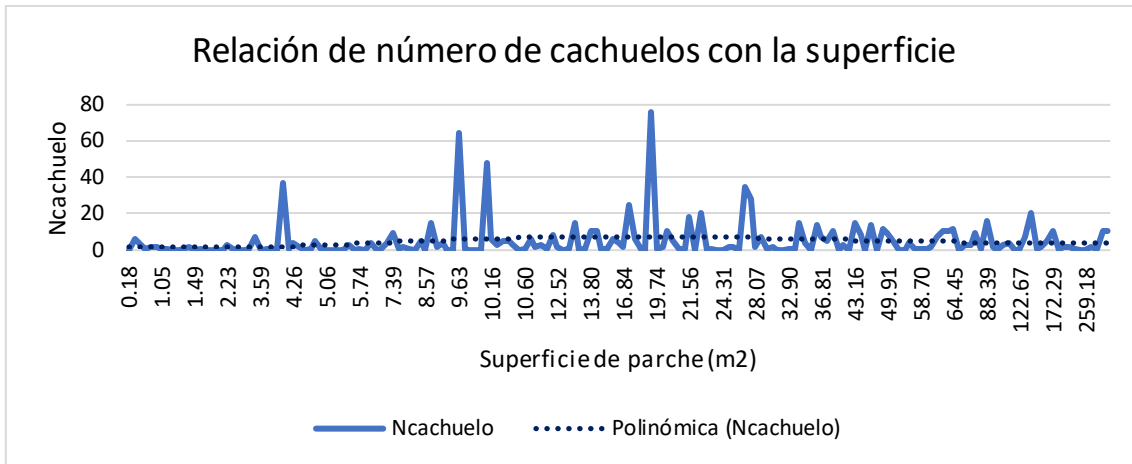


Figura 19. Comportamiento de la abundancia de peces con la superficie. El gráfico superior es para el cachuelo y el inferior para la loína.

4.1.1.2. Variables categóricas

Las variables categóricas representan la presencia o ausencia de unos determinados elementos en los microhábitats. De este modo tenemos tres variables: refugio, recubrimiento y, como complemento, el tipo de vegetación filamentosa. Para establecer bajo qué método se iban a analizar los datos, primero se comprueba el tipo de distribución que siguen las densidades (Figura 20 y 21). En ellas se observa que en ninguno de los dos casos sigue una distribución normal.

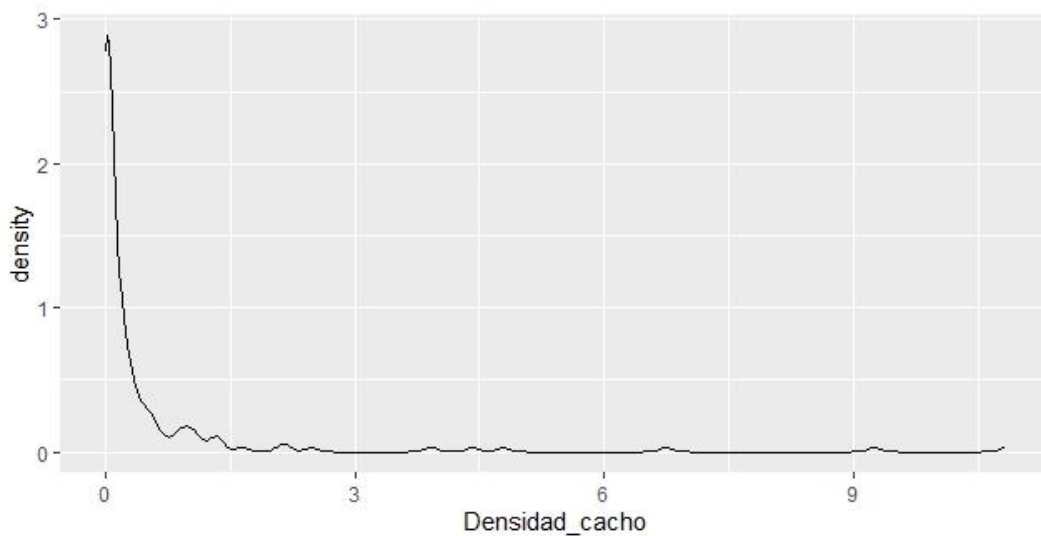


Figura 20. Distribución de densidades del cachuelo.

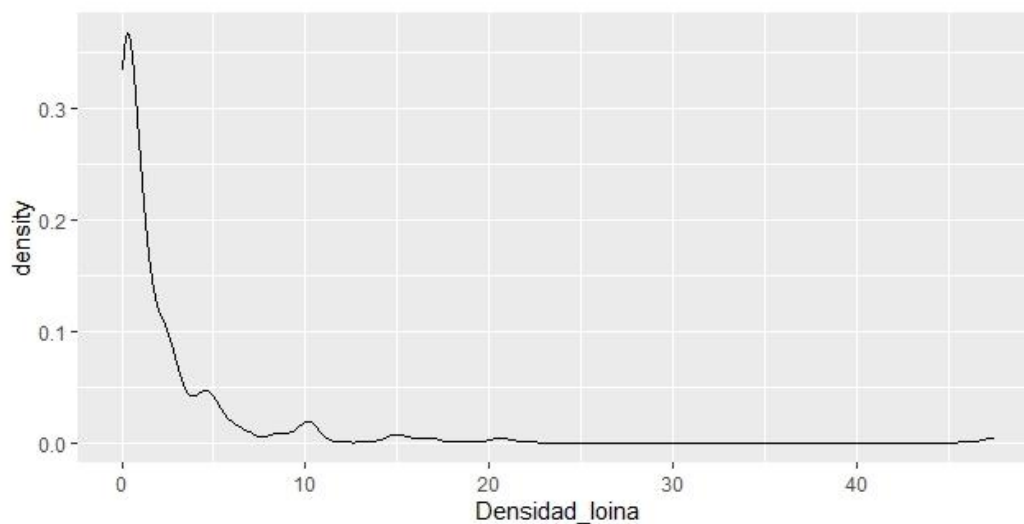


Figura 21. Distribución de densidades de la loína.

Por ello se decidió utilizar test estadísticos sencillos no paramétricos, concretamente el test de Mann-Whitney para comparar los resultados de densidad de cada especie en parches de microhábitat donde hay un determinado elemento *versus* donde no lo hay. Los resultados se han dividido en dos tablas (Tabla 8 y 9) donde se visualiza el valor del test, el *p - value* y su correspondiente significación. Como ya se ha mencionado, el programa utilizado para este análisis realiza una corrección de Bonferroni para la clasificación del *p - value* y, por tanto, su significación.

Tabla 8. Resultados del test de Mann-Whitney, el p-value y su correspondiente significación para la variable categórica refugio. Los rojos indican que no hay significación mientras que los verdes con más asteriscos indican una mayor significación.

			Cachuelo	Loína
REFUGIO	Sin cobertura	Mann-Whitney U	1512	1244
		p-value	0.0043	<0.0001
		Significación	Si **	Si ****
	Vegetación	Mann-Whitney U	2119	2070
		p-value	0.0037	0.0023
		Significación	Si **	Si **
	Cornisas	Mann-Whitney U	174	113.5
		p-value	0.9687	0.4161
		Significación	No	No
	Madera	Mann-Whitney U	1100	1303
		p-value	0.1688	0.7166
		Significación	No	No
	Bloques	Mann-Whitney U	299	386
		p-value	0.0742	0.2946
		Significación	No	No

En la tabla superior se observa la importancia que tiene para ambas especies la presencia o ausencia de cobertura vegetal. El resto de los refugios (cornisas, madera y bloques) no es determinante para la presencia de individuos.

Tabla 9. Resultados del test de Mann-Whitney, el p-value y su correspondiente significación para la variable categórica Recubrimiento. Los rojos indican que no hay significación mientras que los verdes con más asteriscos indican una mayor significación.

			Cachuelo	Loína
RECUBRIMIENTO	Vegetación filamentosa	Mann-Whitney U	2448	2370
		p-value	<0.0001	<0.0001
		Significación	Si ****	Si ****
	Vegetación plana	Mann-Whitney U	730	552
		p-value	0.1134	0.0081
		Significación	No	Si **
	Helófitos	Mann-Whitney U	2325	2388
		p-value	0.0001	0.0003
		Significación	Si ***	Si ***
	WOD	Mann-Whitney U	1163	1135
		p-value	0.7258	0.6243
		Significación	No	No
	Algas	Mann-Whitney U	1127	779
		p-value	0.1188	0.001
		Significación	No	Si ***
	Toba	Mann-Whitney U	830,5	884.5
		p-value	0.0057	0.0143
		Significación	Si **	Si *
Sin vegetación	Mann-Whitney U	1335	887	
	p-value	0.0238	<0.0001	
	Significación	Si *	Si ****	

Los resultados han indicado que a este nivel de detalle el uso de microhábitats con vegetación supone una diferencia significativa para la densidad de loína y cachuelo. Para dicha afirmación, se ha calculado la mediana para las densidades en dos casos: con vegetación y sin vegetación. Así, en la Tabla 10 se observar que la presencia de vegetación supone un aumento en la densidad de ambas especies, con un mayor efecto en la loína.

Tabla 10. Resultados para la mediana de las densidades en el caso de parches con vegetación y sin vegetación.

	Mediana con vegetación	Mediana sin vegetación
Densidad cachuelo	0.10	0.03
Densidad loína	0.95	0.18

Como se observa que la vegetación filamentososa tiene una significación muy elevada para ambas especies, se realiza otro test de Mann-Whitney de la densidad con las dos especies de vegetación filamentososa que se han estudiado (Tabla 11). En el caso del *Ceratophyllum* tiene una mediana mayor en la presencia de la loína (valor de 0.81 para la loína y valor de 0.05 para el cachuelo) y en el caso del *Myriophyllum* es mayor la de la loína también (valor de 0.63 para la loína y valor de 0.09 para el cachuelo)

Tabla 11. Resultados del test de Mann-Whitney, el p-value y su correspondiente significación para la variable categórica Vegetación filamentososa. Los rojos indican que no hay significación mientras que el naranja indica una significación débil.

			Cachuelo	Loína
VEGETACIÓN	Myriophyllum	Mann-Whitney U	154.5	28
		p-value	0.7512	0.0414
		Significación	No	Si *
	Ceratophyllum	Mann-Whitney U	467.5	598
		p-value	0.0456	0.275
		Significación	Si *	No

4.1.2. Análisis de correspondencias canónicas (CCA)

Se aplicó el Análisis de Correspondencias Canónicas a todas las variables ambientales, tanto numéricas como categóricas, con el fin de hacer un análisis exploratorio de los datos más profundo y buscando relaciones entre variables. Para una mayor claridad en los resultados, se hicieron tres mapas CCA: para variables de caracterización del hábitat, recubrimiento y refugio (Figuras 22, 23, 24). Antes de la elaboración del mapa se normalizaron los datos para las numéricas.

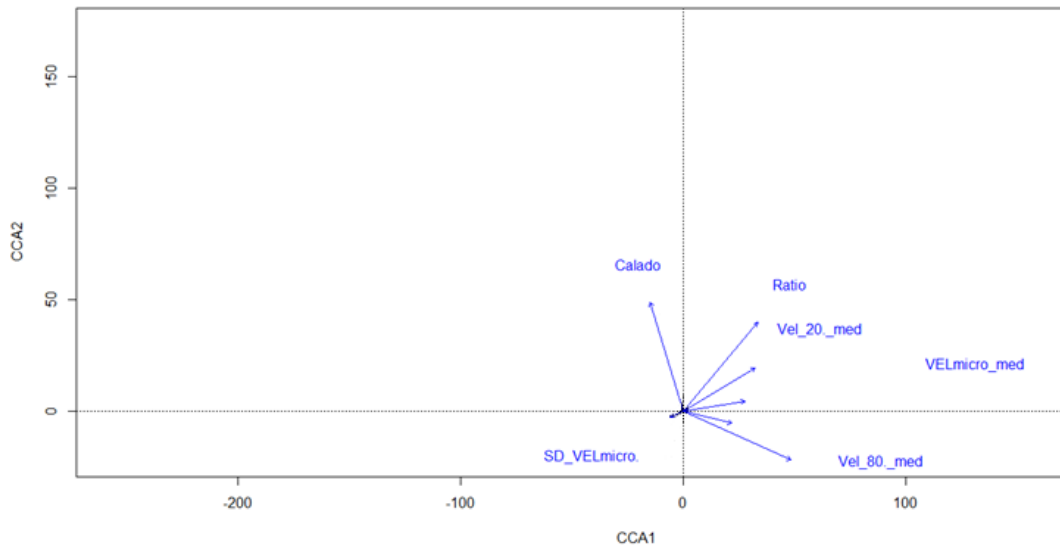


Figura 22. Resultados gráficos del Análisis de Correspondencias Canónicas (CCA) para las variables de caracterización de hábitat.

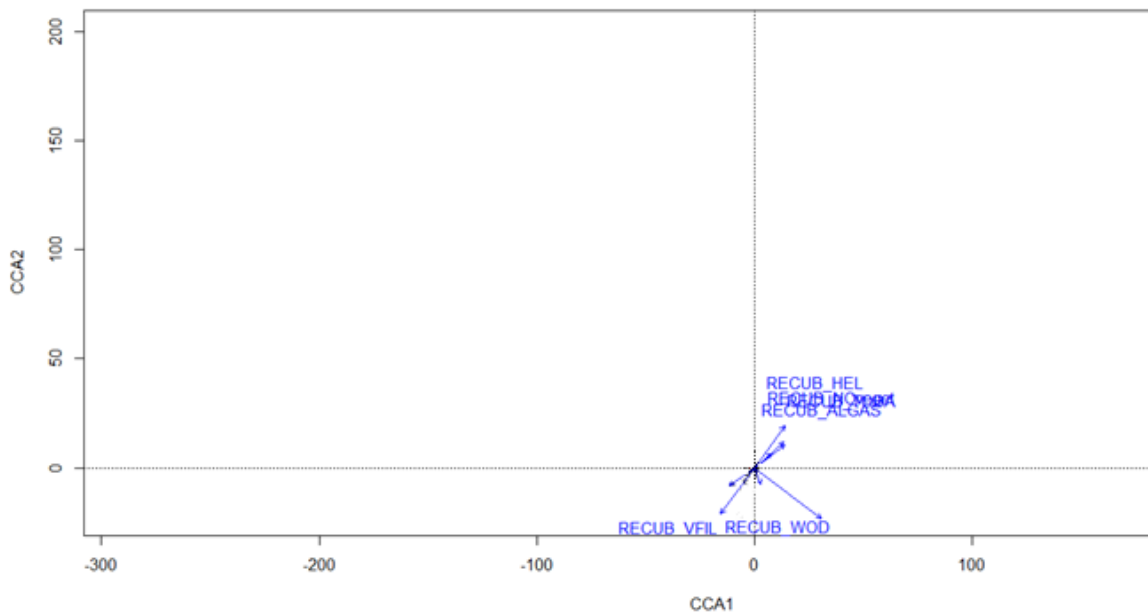


Figura 23. Resultados gráficos del Análisis de Correspondencias Canónicas (CCA) para las variables recubrimiento

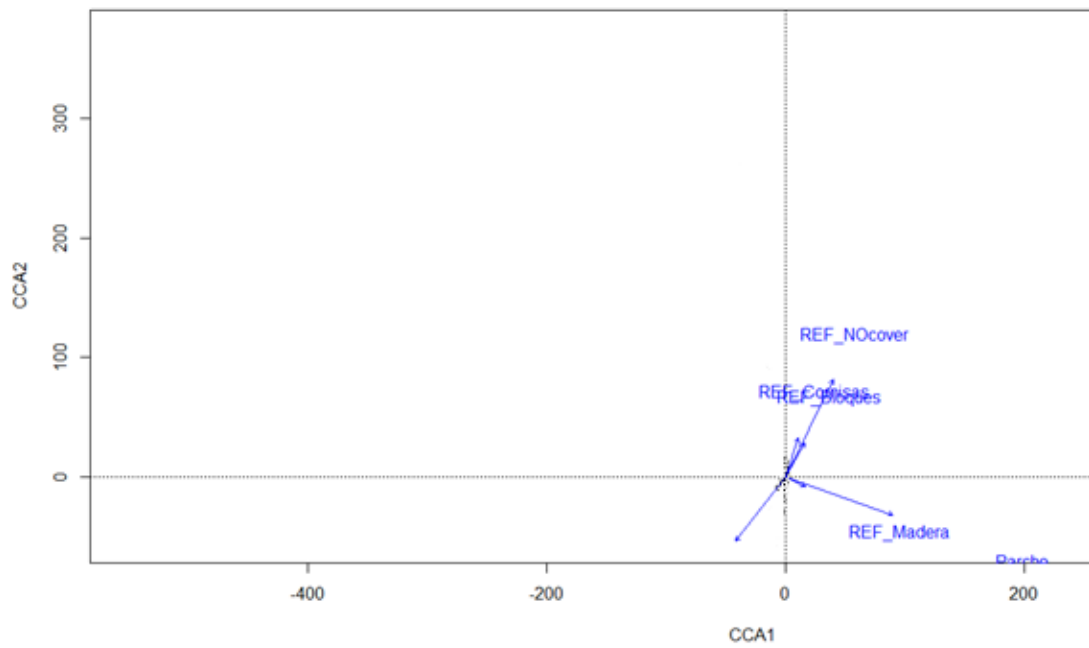


Figura 24. Resultados gráficos del Análisis de Correspondencias Canónicas (CCA) para las variables de Refugio.

Adicionalmente, se aplicó el test de permutación a los resultados para conocer su nivel de significación (Tabla 12). En nuestro caso, al tener todos los valores $p > 0,001$ se establece que el patrón observado puede ser simplemente aleatorio.

Tabla 12. Valores para evaluar la significación de las diferentes variables ambientales.

	Df	ChiSquare	F	<i>p_value</i>
Vel_20%_med	1	0.008	5.29	0.033
Vel_80%_med	1	0.000	0.28	0.724
VELmicro_med	1	0.000	0.17	0.385
SD_VELmicro.	1	0.000	0.03	0.948
Calado	1	0.001	0.91	0.362
Ratio	1	0.004	2.84	0.079
REF_NOcover	1	0.000	0.33	0.703
REF_Veget	1	0.001	0.39	0.657
REF_Cornisas	1	0.000	0.08	0.747
REF_Madera	1	0.001	0.33	0.406
REF_Bloques	1	0.000	0.04	0.911
RECUB_VFIL	1	0.000	0.32	0.714
RECUB_VPLA	1	0.004	2.60	0.074
RECUB_HEL	1	0.001	0.92	0.349
RECUB_WOD	1	0.000	0.09	0.774
RECUB_ALGAS	1	0.001	0.83	0.342
RECUB_TOBA	1	0.000	0.18	0.723
RECUB_NOveget	1	0.001	0.61	0.403
Residual	159	0.238		

4.1.3. Índices de fragmentación

El índice de parche más grande (en adelante LPI) se expresa en porcentaje, donde más próximos a 100% indican una mayor dominancia. Como se puede observar en la Figura 25, el microhábitat más dominante era la matriz (parches sin vegetación; Tabla 13), zona que carecía de cobertura y tenía las menores densidades. Eran estas zonas donde se observaban a los individuos alimentarse en la columna de agua ya que, al no tener obstáculo, la velocidad del flujo era mayor.

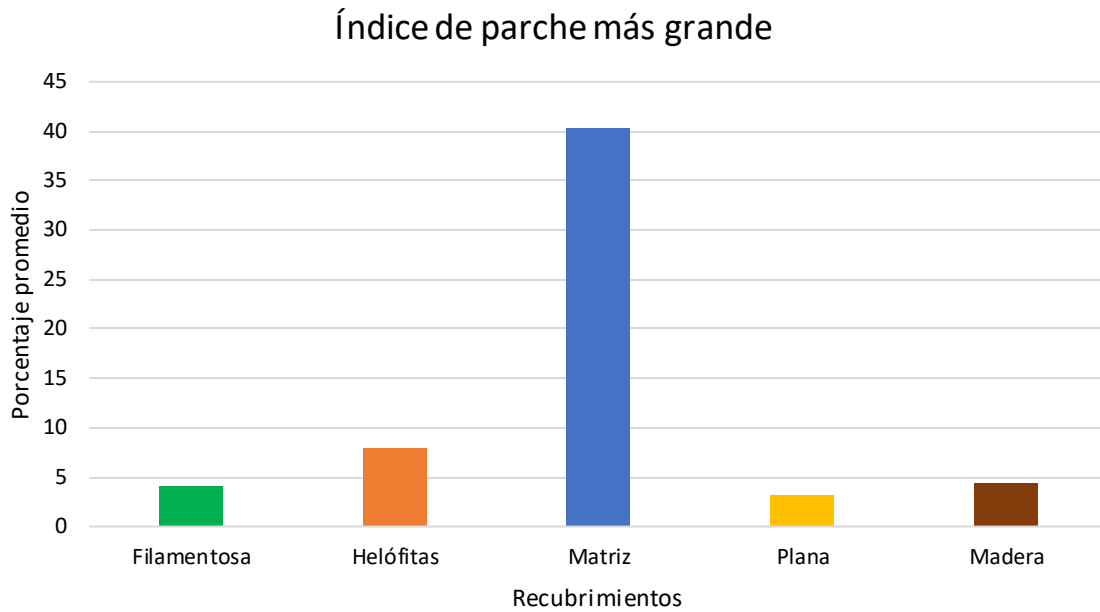


Figura 25. Histograma para el Índice de parche más grande (LPI), donde se ha realizado la media para cada uno de los recubrimientos.

Tabla 13. Valores promedio para los diferentes tipos de recubrimientos para el índice de parche más grande (LPI).

Tipo de recubrimiento	Promedio (%)
Filamentosa	4.06
Helófitas	7.90
Matriz	40.41
Plana	3.19
Madera	4.36

En el siguiente índice, el porcentaje de adyacencias similares (en adelante PLA) indica una mayor desagregación entre los parches si los valores son próximos a cero. En nuestro caso, al tener digitalizados los parches de manera individual y con formas complejas, el valor para este porcentaje nos da valores cercanos al 100% (Tabla 14) (Figura 26).

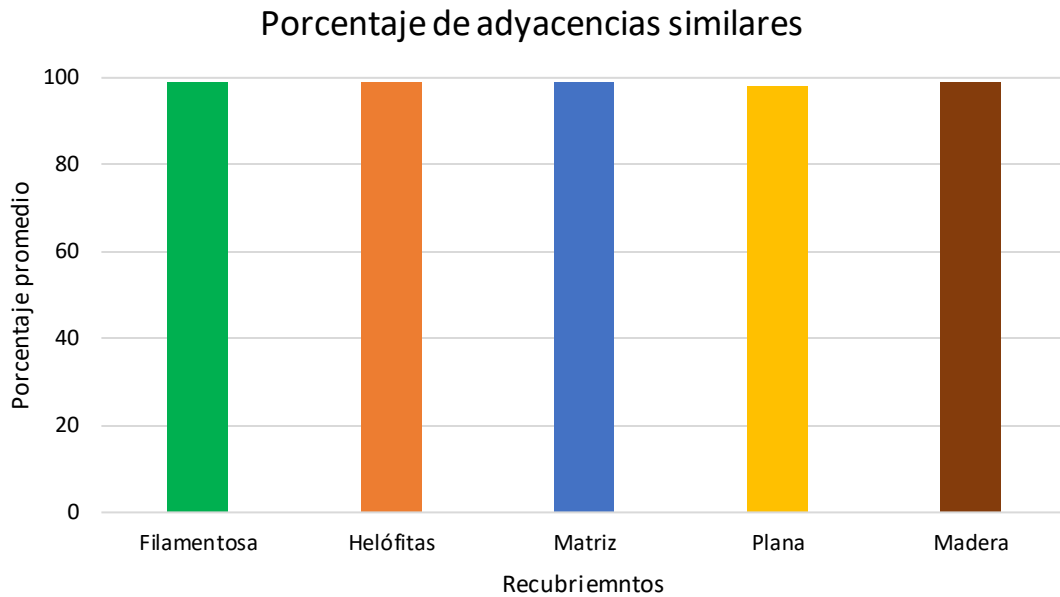


Figura 26. Histograma para el porcentaje de adyacencias similares (PLA), donde se ha realizado la media para cada uno de los recubrimientos.

Tabla 14. Valores promedio para los diferentes tipos de recubrimientos para el porcentaje de adyacencias similares (PLA).

Tipo de recubrimiento	Promedio (%)
Filamentosa	99
Helófitas	99
Matriz	99
Plana	98
Madera	99

El índice de cohesión del parche (en adelante PCI) mide la conexión física entre parches en tanto por ciento. Para nuestro caso, los datos varían entre 9.56% y 9.99% lo que indica una cohesión entre parches bastante baja, luego la fragmentación es alta (Figura 27).

Índice de cohesión

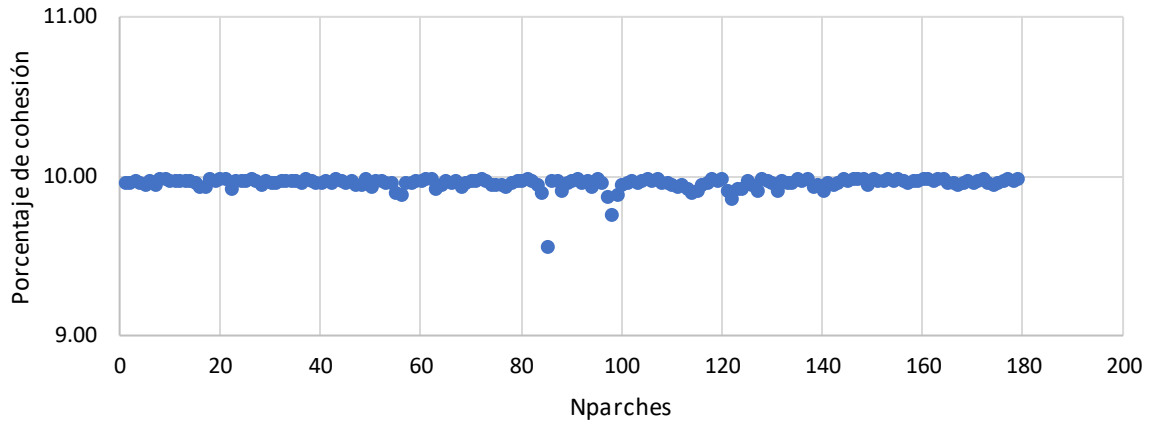


Figura 27. Gráfico de dispersión para el índice de cohesión del parche (PCI). Nparche es el número de identificación de cada parche, desde el 1 al 179.

El tamaño de malla efectivo (en adelante EMS) indica que cuanto menor sea su valor menor será la probabilidad de que dos puntos estén conectados, es decir, que cuanto mayor sea la distancia entre parches su conexión será cada vez menor. De esta manera se obtiene la Figura 28 donde se observan valores en general muy bajos, lo que indica la poca conectividad entre microhábitats

Tamaño de malla efectivo

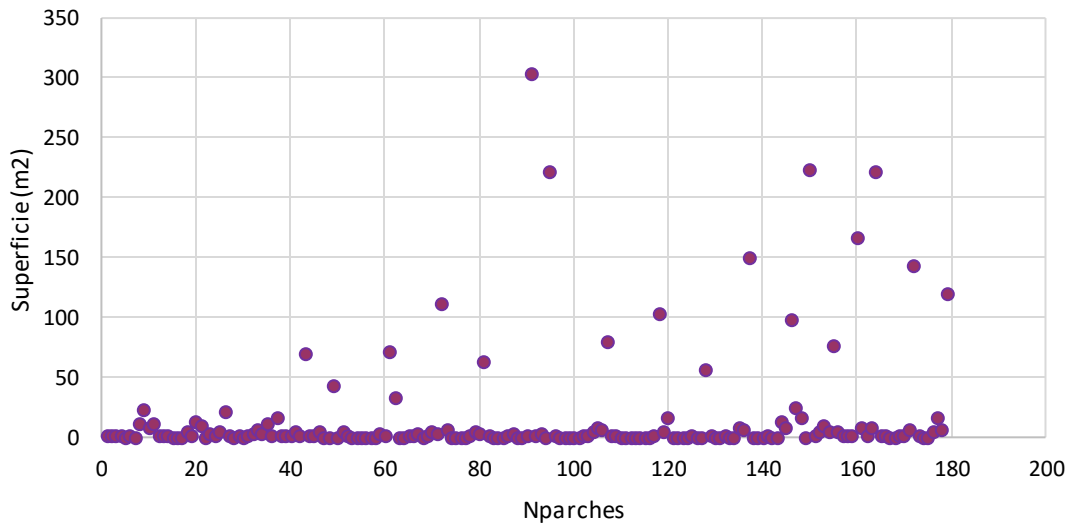


Figura 28. Gráfico de dispersión para el tamaño de malla efectivo (EMS).

Por último, tenemos el índice de división (en adelante SI) el cual alcanza valores máximos cuanto más dividido está el paisaje. De esta manera en nuestro caso alcanzamos valores muy extremos, lo que indica el alto grado de fragmentación (Figura 29), aun habiendo eliminado dos valores que se dan por erróneos ya que eran muy elevados.

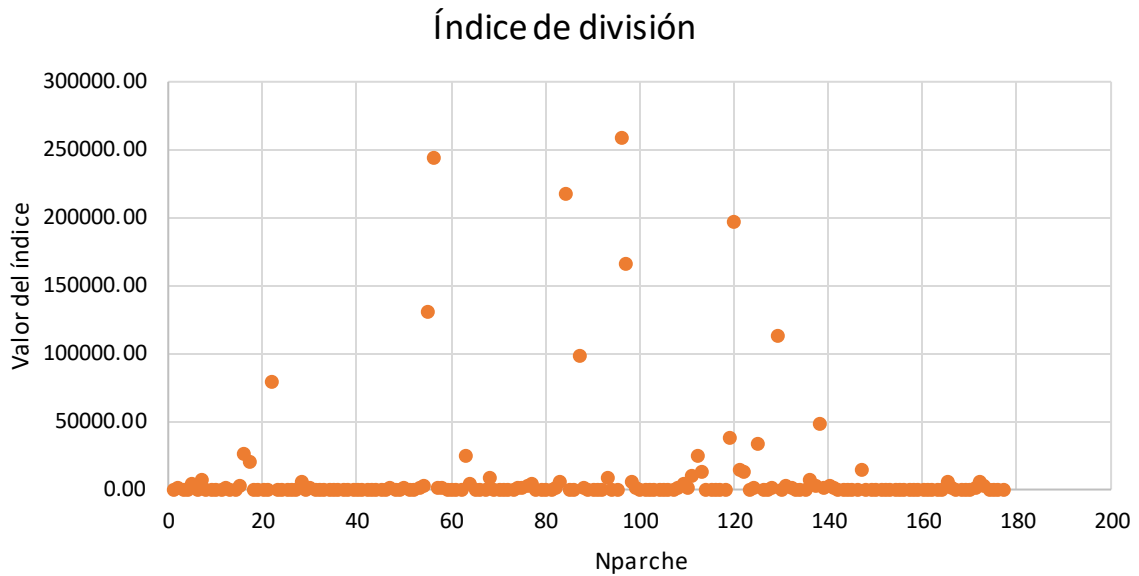


Figura 29. Gráfico de dispersión para el índice de división (SI).

Para saber las correlaciones entre los resultados de los índices de fragmentación calculados y las densidades, tanto de cachuelo como de loína, se realizó también una matriz de correlaciones cruzadas de Spearman (Tabla 15 y ver Anexo 5).

Tabla 15. Matriz de correlaciones cruzadas de Spearman para las variables de fragmentación. Los valores que tienden al 1 (relación directa) se hacen cada vez más azules y los que tienden al -1 (relación inversa) se hacen más rojos.

	Parche más grande	Adyacencias similares	Cohesión	Tamaño de malla	Índice de división
Densidad cacho	-0.238	-0.073	-0.213	-0.233	0.240
Densidad loína	-0.347	-0.196	-0.289	-0.338	0.351

Las variables mostraban una correlación débil para la presencia de loína y cachuelo. Para poder ver la significación de esta variables sobre las densidades, se obtuvo el *p – value* (Tabla 16). Las relaciones son significativas cuando el *p – value* < 0,0001, por lo que se observa todas ellas son muy significativas.

Tabla 16. Matriz de *P - value* entre las variables de la velocidad, desviación estándar (%), calado y ratio *S/P* con las densidades.

	Parque más grande	Adyacencias similares	Cohesión	Tamaño de malla	Índice de división
Densidad cacho	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Densidad loína	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001

4.1.4. Curvas de idoneidad de hábitat

Como se ha explicado previamente, se han realizado curvas de 3 variables. Además, el análisis de cada especie se hace por separado.

Se recuerda que la curva de idoneidad para el sustrato no se realiza debido a que hay un tipo de ellos que es dominante frente al resto en todos los microhábitats, por lo que no va a ser una variable determinante para la presencia o ausencia de loína y cachuelo, al menos en el marco espacio y temporal de este trabajo.

La velocidad máxima que se registró fue de 0.482 m/s y la profundidad máxima fue de 1.8m. Ambos valores son adecuados para el objetivo del estudio. Los histogramas para cada una de las variables se han incluido en el Anexo 6, observando aquí las curvas finales.

4.1.4.1. Curvas de idoneidad del cachuelo

La curva de idoneidad para el cachuelo de la velocidad media (Figura 30) se elaboró agrupando los datos en dos tipos de intervalo: de 5 cm/s y 2.5 cm/s. Se han considerado ambos tamaños para generar la curva de idoneidad suavizada debido a que nos parece más lógica y acorde con las transiciones graduales que se encuentran en la naturaleza. A pesar de eso la curva para esta especie baja muy bruscamente y representa una idoneidad muy baja para las velocidades intermedias entre 0.05 m/s y 0.20 m/s (Tabla 17) en comparación con otros estudios y con la loína.

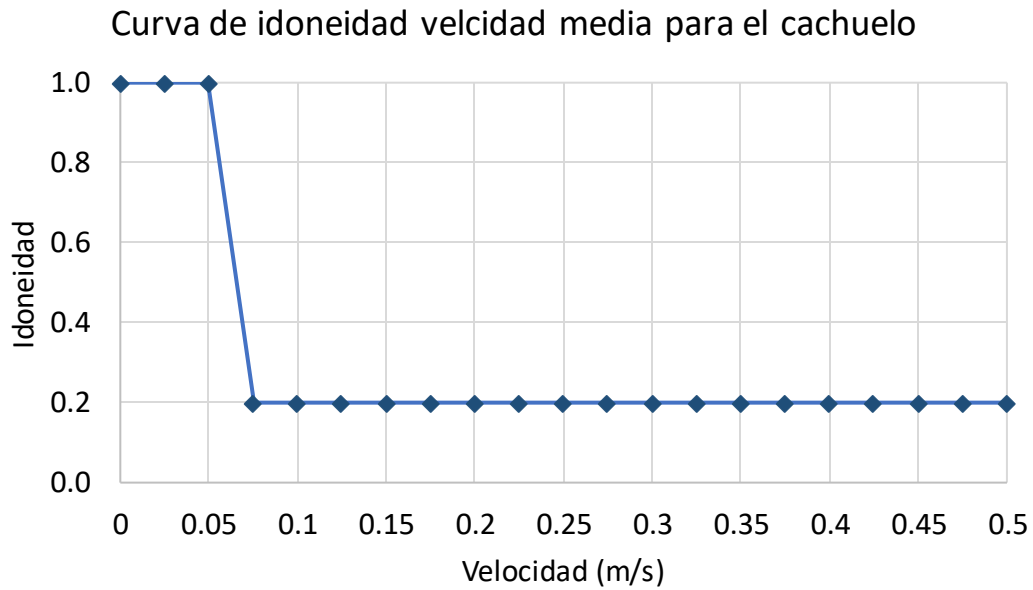


Figura 30. Curva de idoneidad para la velocidad media para el cachuelo.

Tabla 17. Valores promedio de la densidad de cachuelo para cada intervalo en la construcción de la curva de idoneidad para la velocidad media.

Velocidad media (m/s)	Densidad media (ind./m ²)	Idoneidad
0.000		1.0
0.025	1.0	1.0
0.050	0.2	1.0
0.075	0.1	0.2
0.100	0.2	0.2
0.125	0.1	0.2
0.150	0.1	0.2
0.175	0.0	0.2
0.200	0.0	0.2
0.225	0.1	0.2
0.250	0.0	0.2
0.275	0.0	0.2
0.300	0.0	0.2
0.325	0.0	0.2
0.350	0.0	0.2
0.375	0.0	0.2
0.400	0.0	0.2
0.425	0.0	0.2
0.450	0.0	0.2
0.475	0.0	0.2
0.500	0.5	0.2

La curva de idoneidad para el calado (Figura 31) se elaboró agrupando los datos en intervalos de 0.2 m, para evitar las oscilaciones de valores observadas debido a huecos de datos, que ocurre de modo natural en la mayoría de los muestreos de este tipo. Se puede observar que las preferencias para esta especie en los microhábitats muestreados tienden a ser hacia zonas más profundas (Tabla 18). Además, a partir del 1.8 m de profundidad, siendo la máxima que se muestreo, se establece que la idoneidad continuará siendo 1, a pesar de la falta de datos mayores.

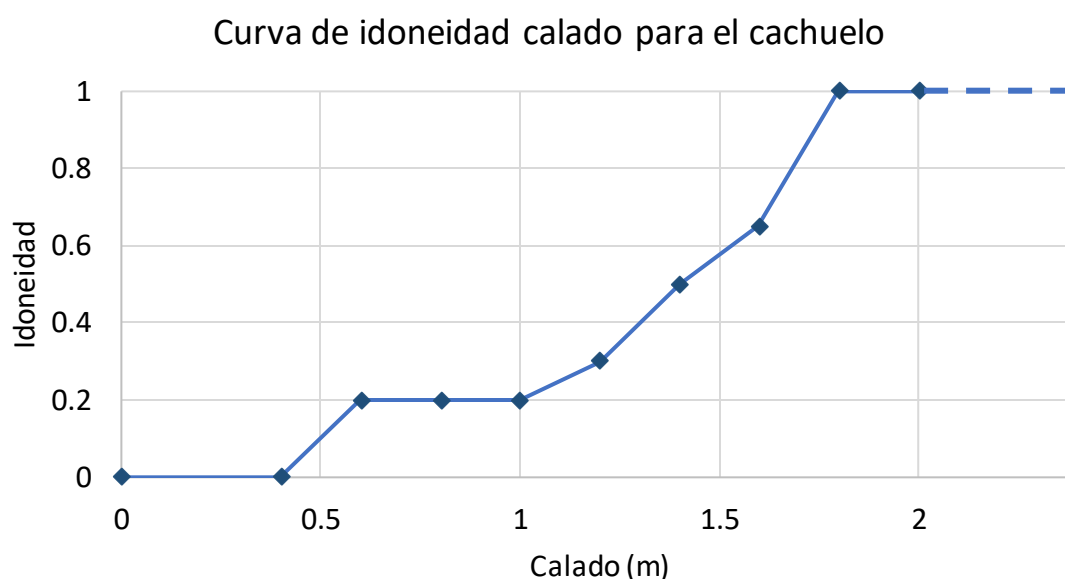


Figura 31. Curva de idoneidad de calado para el cachuelo.

Tabla 18. Valores promedio de la densidad de cachuelo para cada intervalo en la construcción de la curva de idoneidad para la profundidad.

Profundidad (m)	Densidad media (ind./m ²)	Idoneidad
0.0		0.00
0.4	0.00	0.00
0.6	0.46	0.20
0.8	0.41	0.20
1.0	0.16	0.20
1.2	0.59	0.30
1.4	0.57	0.50
1.6	1.41	0.65
1.8	2.19	1.00
2.0	0.00	1.00

Respecto al refugio (Figura 32) se ve una clara tendencia a ocupar zonas donde haya algún elemento de refugio, especialmente las mayores densidades de la especie estaban en microhábitats con vegetación. Además, también se pueden localizar individuos en zonas de cornisa y donde haya restos de madera, ya sea muerta o raíces que están dentro del agua. Aunque el refugio de cornisas, restos de madera y bloques tengan una densidad muy baja, se establece que tendrán un valor de 0.5 de idoneidad debido a que se trata de refugios valiosos para las dos especies, aunque se han encontrado pocos microhábitats con este tipo de refugio en este trabajo concreto (Tabla 19).

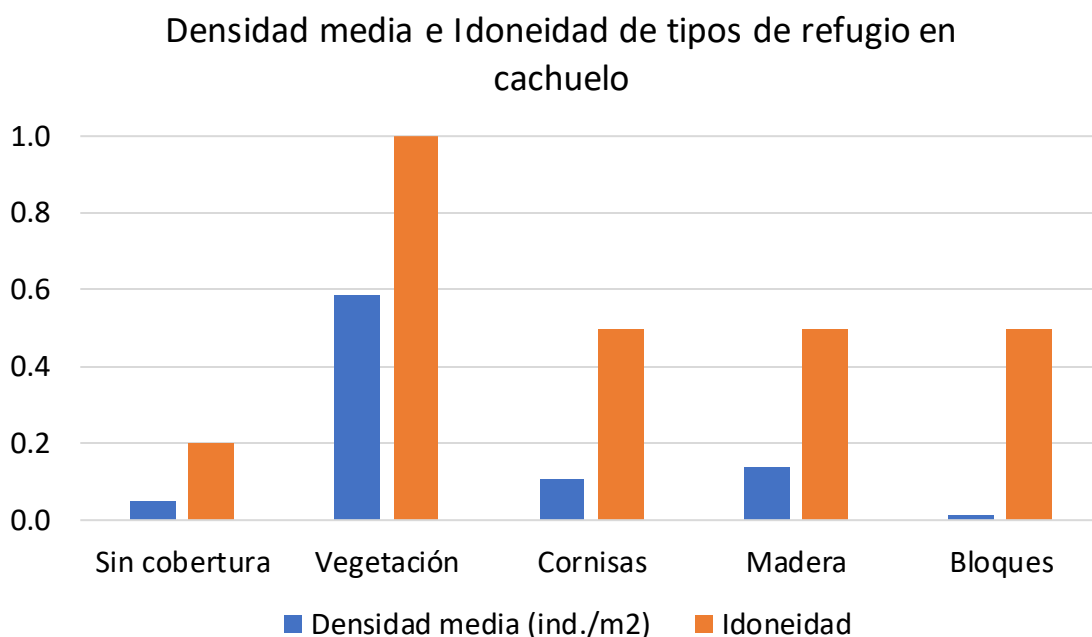


Figura 32. Densidad media e idoneidad para el cachuelo para cada uno de los tipos de refugios presentes en los tramos estudiados.

Tabla 19. Valores promedio de la densidad para cada tipo de refugio.

Refugio	Densidad media (ind./m ²)	Idoneidad
Sin cobertura	0.0	0.2
Vegetación	0.6	1.0
Cornisas	0.1	0.5
Madera	0.1	0.5
Bloques	0.0	0.5

4.1.4.2. Curvas de idoneidad de la loína

Para la curva de idoneidad de la velocidad media de la loína (Figura 33) se les da el mismo tratamiento a los datos, mostrando una combinación de dos tipos de intervalos, de 5cm/s y 2.5 cm/s. Se observa una clara preferencia de localizarse en zonas donde las velocidades tienen a ser bajas. Esto está relacionado con sus capacidades fisiológicas, principalmente la natatoria. Aunque se encontraron individuos en zonas con velocidades altas, estos datos son poco representativos ya que la representatividad de corrientes en el tramo de estudio es muy baja; además, estudios previos indicaron que la loína ocupaba casi exclusivamente hábitats lentos en los tramos del Cabriel donde hay una abundancia media o relativamente alta. Los valores de idoneidad alta corresponden a velocidades entre 0.0 y 0.5 m/s (Tabla 20), y los valores intermedios se dan entre 0.05 y 0.15 m/s.

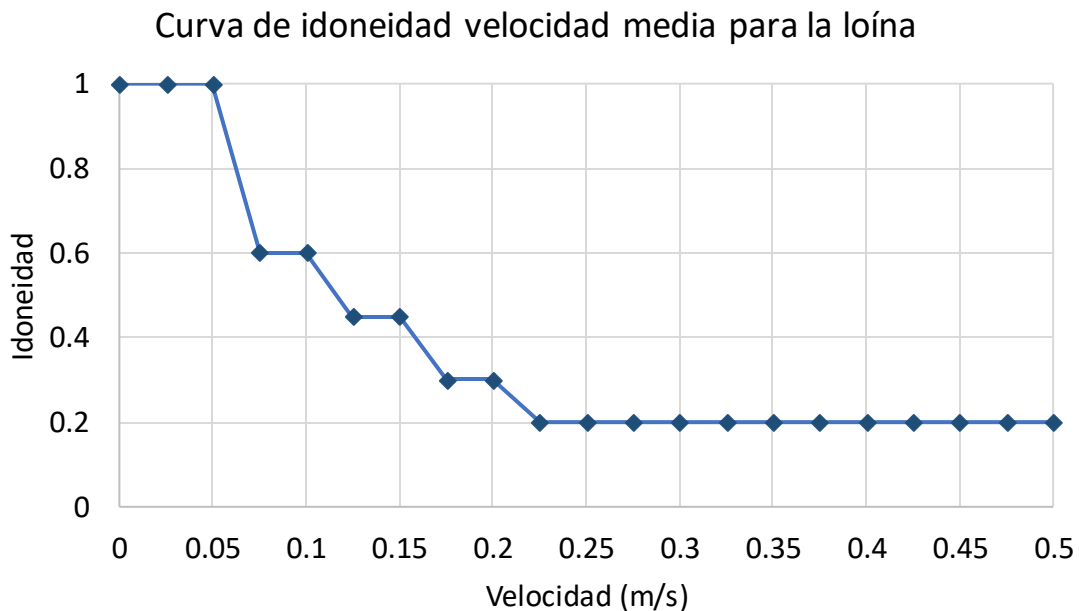


Figura 33. Curva de idoneidad para la velocidad media para la loína.

Tabla 20. Valores promedio de la densidad de loína para cada intervalo en la construcción de la curva de idoneidad para la velocidad media.

Velocidad media (m/s)	Densidad media (ind./m ²)	Idoneidad
0.000		1.0
0.025	3.4	1.0
0.050	1.6	1.0
0.075	1.5	0.6
0.100	2.3	0.6
0.125	1.4	0.5
0.150	1.1	0.5
0.175	0.3	0.3
0.200	1.3	0.3
0.230	0.3	0.2
0.250	0.1	0.2
0.280	0.2	0.2
0.300	0.0	0.2
0.330	0.0	0.2
0.350	0.0	0.2
0.380	0.0	0.2
0.400	0.0	0.2
0.425	0.0	0.2
0.450	0.0	0.2
0.475	0.0	0.2
0.500	1.6	0.2

La curva de idoneidad para el calado (Figura 34) explica una clara tendencia de la loína a situarse en zonas a partir de los 0.6 m (Tabla 21). Debido a que las zonas muestreadas no superaron los 1.8 m no se puede determinar cuál es su rango máximo de tolerancia para esta variable física.

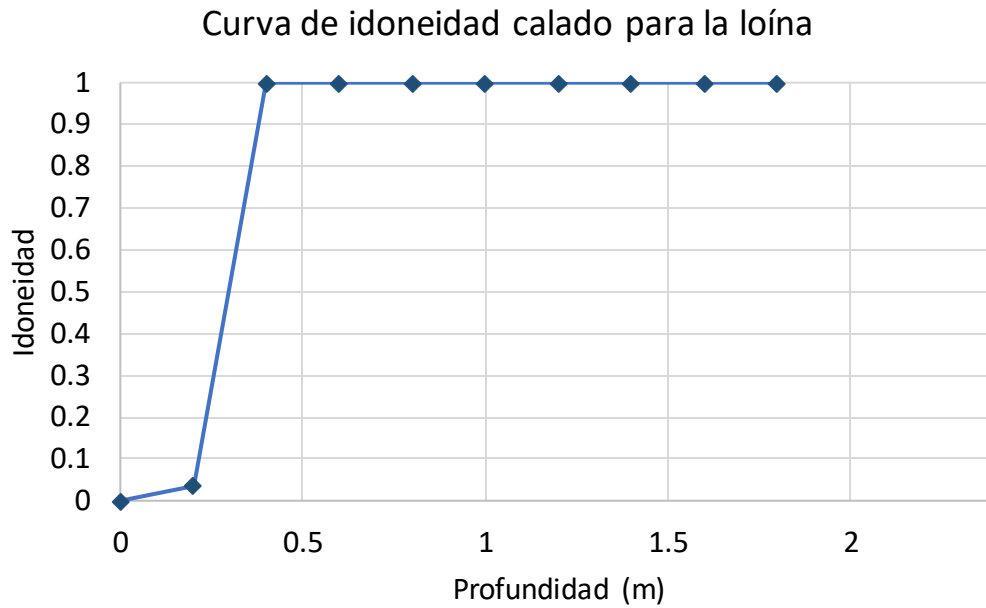


Figura 34. Curva de idoneidad del calado para la loína.

Tabla 21. Valores promedio de la densidad de cachuelo para cada intervalo en la construcción de la curva de idoneidad para el calado.

Profundidad (m)	Densidad promedio (ind/m ²)	Idoneidad
0.2	0.12	0.04
0.4	3.17	1.00
0.6	2.51	1.00
0.8	1.54	1.00
1.0	3.05	1.00
1.2	2.48	1.00
1.4	0.42	1.00
1.6	0.00	1.00
1.8	0.00	1.00

Respecto al refugio (Figura 35) se ve una clara tendencia a ocupar zonas donde tenga vegetación y, en segundo lugar, restos de madera. Hay que tener en cuenta que en los tramos muestreados no había casi presencia de cornisas ni grandes bloques, por lo que no pueden ser tomados los resultados como algo determinante (Tabla 22).

Densidad media e Idoneidad de tipos de refugio en loína

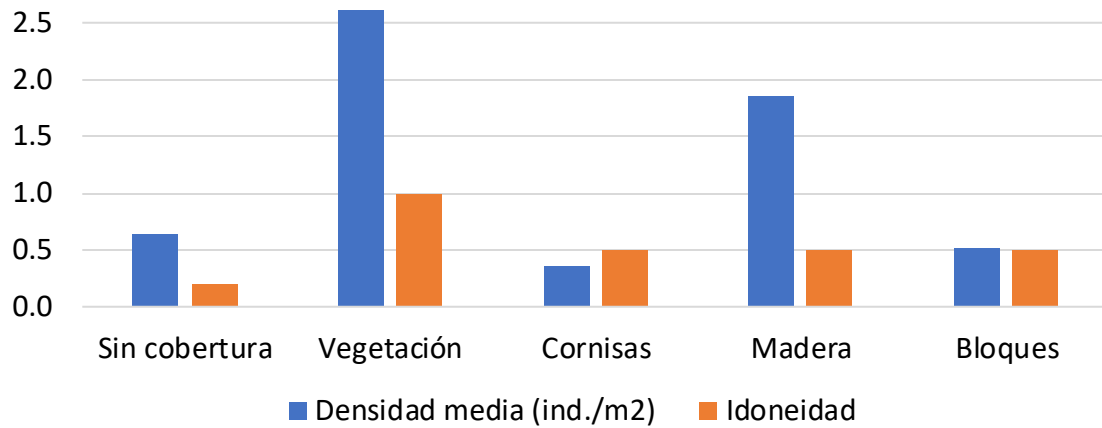


Figura 35. Densidad media e idoneidad para la loína para cada uno de los tipos de refugios presentes en los tramos estudiados.

Tabla 22. Valores promedio de la densidad para cada tipo de refugio

Refugio	Densidad media (ind./m ²)	Idoneidad
Sin cobertura	0.6	0.2
Vegetación	2.6	1.0
Cornisas	0.4	0.5
Madera	1.8	0.5
Bloques	0.5	0.5

CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN

En primer lugar, es conveniente recordar que el objetivo general de este trabajo ha sido analizar las variables determinantes para la abundancia de dos especies de peces, la loína del Júcar (*Parachondrostoma arrigonis*) y el cachuelo valenciano (*Squalius valentinus*) así como su idoneidad para el hábitat de dichas especies en el Alto Cabriel (Cuenca del Júcar).

La selección de variables a utilizar se hizo en base a dichos objetivos y el conocimiento experto. Por ello se eliminaron variables secundarias, como la abundancia de otras especies detectadas en baja densidad en los microhábitats.

Los muestreos se realizaron en dos tipos de unidades hidromorfológicas (UMH), las pozas y las tablas, ya que se tenía constancia de que sendas especies suelen vivir en este tipo de aguas (Martínez-Capel *et al.*, 2009). También se muestreó una pequeña proporción de corrientes, situadas principalmente en el límite inferior o superior del tramo. No se muestrearon UMH de este tipo ya que en la mayoría de ellas no era posible realizar conteos por ser zonas demasiado someras.

En cuanto al tipo de muestreo, realizar un conteo de peces mediante buceo fue el método más adecuado al no ser invasivo con las especies amenazadas, pudiendo ver así la interacción con el hábitat y su entorno. La observación directa bajo el agua (buceo o *snorkelling*) permite estimar el punto donde está el pez en la columna de agua (punto focal), permite observar los peces en zonas de difícil visibilidad del río (rabiones, zonas con espuma, cornisas sumergidas, vegetación acuática, etc.) y aporta una mayor fidelidad a la hora de conocer el comportamiento del pez (Bovee, 1986), que es muy relevante para hacer estudios de idoneidad del microhábitat.

Este método se pudo realizar gracias a las características físicas del río, como son aguas prácticamente cristalinas y corrientes no muy elevadas. El buceo se combinó con métodos específicos de estudio del microhábitat. Esto se considera una novedad, ya que en España ambos métodos apenas se habían aplicado de modo conjunto, es decir, en este trabajo se ha analizado la idoneidad de microhábitat considerando no solo la presencia, sino también la densidad media de la especie, adaptando el método original de Rubin *et al.* (1991).

Por otro lado, los métodos de conteo suelen tener la desventaja de que a menudo subestiman el número de peces de talla pequeña, especialmente en lugares con aguas poco profundas y alta pendiente. A pesar de ello, no existen referencias científicas que denoten un error sistemático relacionado con espantar a los peces, ya que el buceador se mueve lenta y cuidadosamente (Martínez-Capel *et al.*, 2006).

De las diferentes alternativas para el conteo de individuos (densidad, abundancia y presencia/ausencia) se eligió la densidad ya que esta alternativa ofrece una medida más refinada que tiene en cuenta tanto el tamaño de la muestra como la distribución de los individuos dentro de la misma. Sin embargo, los análisis con datos de presencia/ausencia suelen proporcionar resultados más robustos (Muñoz-Mas *et al.*, 2016).

Todas las especies que fueron muestreadas (Tabla 2) en los tramos de estudio son nativas de la cuenca del Júcar, a excepción del gobio (*Gobio lozanoi*) y de la boga de río (*Pseudochondrostoma polylepis*) (Martínez-Capel *et al.*, 2009). Esta última especie solo se observó en un tramo, el situado aguas abajo de la presa de Cristinas. Esto se debe a que se quería tomar ese tramo como control para comprobar que en presencia de la boga, la loína no aparecía.

En el análisis exploratorio de los datos se observó que entre las distintas clases de sustratos empleadas, una era totalmente dominante en todos los tramos (Tabla 5), el limo. Esto se debió a que los datos se recogieron en verano, siendo una época de poca corriente, donde predomina la sedimentación. Por ello, en el momento de recogida de datos y posterior procesado, se ha establecido que la variable sustrato no puede ayudar a discriminar la presencia de loína y cachuelo en el ámbito espacial y temporal de este estudio.

5.1. Variables clave

Las correlaciones analizadas mediante la matriz de Spearman indicaron coeficientes de correlación cercanos a cero para el calado, la desviación estándar y el ratio superficie/perímetro, y una correlación media con las variables de velocidad (Tabla 6). Las correlaciones demostraron ser significativas (*p-values* en Tabla 7) para la velocidad media, siendo así una variable determinante.

Las densidades tanto de loína como de cachuelo variaban en función del tipo de microhábitat muestreado. En el caso de las variables categóricas, se realizó el test de Mann-Whitney para cada tipo de refugio y de recubrimiento. Respecto a la primera variable se determina que lo más significativo para ambas especies es la presencia o ausencia de cobertura (Tabla 8). En el caso del recubrimiento se observó una clara preferencia por aquellos parches que eran de vegetación, especialmente la filamentosa (Tabla 9). En el caso del cachuelo había cierta preferencia por plantas del género *Ceratophyllum* y en el caso de la loína una tendencia a ocupar microhábitats con presencia del género *Myriophyllum* (Tabla 11).

La elección de los CCA se basó en las propiedades de este análisis, permitiendo extraer relaciones entre variables ambientales y las especies y es más permisivo que los otros métodos de ordenación (Borcard *et al.*, 2011).

Centrándonos en los resultados obtenidos por los mapas de CCA, ninguna de las especies tiene una fuerte relación con las variables estudiadas. Se puede observar que ninguna de las densidades aparece en el mapa debido a su escasa relación (Figuras 22, 23, 24). Debido a esta escasa relación, se realizó un test de permutación a los que para conocer su nivel de significación (Tabla 12). Se comprobó doblemente que los resultados apenas tenían relación, por lo que el patrón observado puede ser simplemente aleatorio.

Con los índices de fragmentación obtenidos se comprueba que el paisaje está muy fragmentado. Esto se justifica con que el parche dominante es el denominado como matriz (Figura 25). Este parche lo identificaron los buceadores como aquel que no tenía cobertura vegetal ni tenía algún elemento singular, como cornisas o madera. Con el índice de cohesión se ve que los valores son muy bajos, lo que indica que apenas hay conexión física entre los parches (Figura 27), por lo que el movimiento de los peces entre parches puede dificultarse si aparecen fuertes corrientes entre medias. Con el tamaño de malla efectivo (Figura 28) se tienen valores en general muy bajo, indicando así la falta de conectividad entre parches, aunque hay algunos valores. Finalmente, con el índice de división (Figura 29) alcanza valores muy altos al tener un paisaje muy dividido.

De todos los índices que se han mostrado, el que aportaba resultados más significativos es el índice de parche más grande (LPI) puesto que el rango de valores es bajo entre los parches donde abundan más ambas especies, y mucho más alto en los parches matriz donde la abundancia suele ser baja, esta variable puede estar relacionada, como demuestran las correlaciones observadas. El tamaño muestral para analizar este índice es bajo, pero el análisis arroja importantes resultados que deberían analizarse mejor en estudios más amplios sobre el tema, para así conocer cómo afecta a estas especies el hecho de que domine un tipo de parche u otro, y así aplicar los resultados en estudios de caudales ecológicos considerando la estructura de parche.

El resto de los indicadores tienen una variación matemática nula, por lo que pensamos que su valor predictivo, así como la utilidad para la elaboración de modelos de especies es bajo.

Desde el punto de vista ecológico, el nivel de fragmentación parece normal para un río de estas características, con un cauce simple y donde apenas hay islas. Debido a esta morfología, de modo general, los hábitats con refugio están distribuidos en ambas orillas, principalmente, y por tanto hay distintos grupos de parches. El grupo que está en una orilla, podemos decir que están muy cercanos o contiguos entre sí, casi consecutivos, pero distantes de los de la otra orilla. Y otro grupo sería los que están en

la parte media del cauce. Si miramos únicamente una orilla, la conexión de estos parches de vegetación es evidente, si bien los índices no reflejan esta realidad sino el conjunto de todos los parches. Con los resultados de los índices obtenidos, la conectividad longitudinal en el río podría considerarse baja, debido a los altos valores que nos da en fragmentación.

5.2. Curvas de idoneidad

Respecto a las curvas de idoneidad de microhábitat, se realizaron con los valores de tres variables concretas, la velocidad media, la profundidad y el refugio existente

Los resultados obtenidos para la loína se han comparado con el informe final “Factores de degradación de las poblaciones de loína (*Parachondrostoma arrigonis*) y el estado de su hábitat actual en la cuenca del río Júcar (2006-2008)” (Martínez-Capel et al., 2009), ya que son los últimos estudios a nivel de microhábitat donde se estudiaron tanto la loína como el cachuelo. En el caso de la velocidad se comparará con la Figura 6-42 y para la profundidad con la Figura 6-41, pertenecientes al informe.

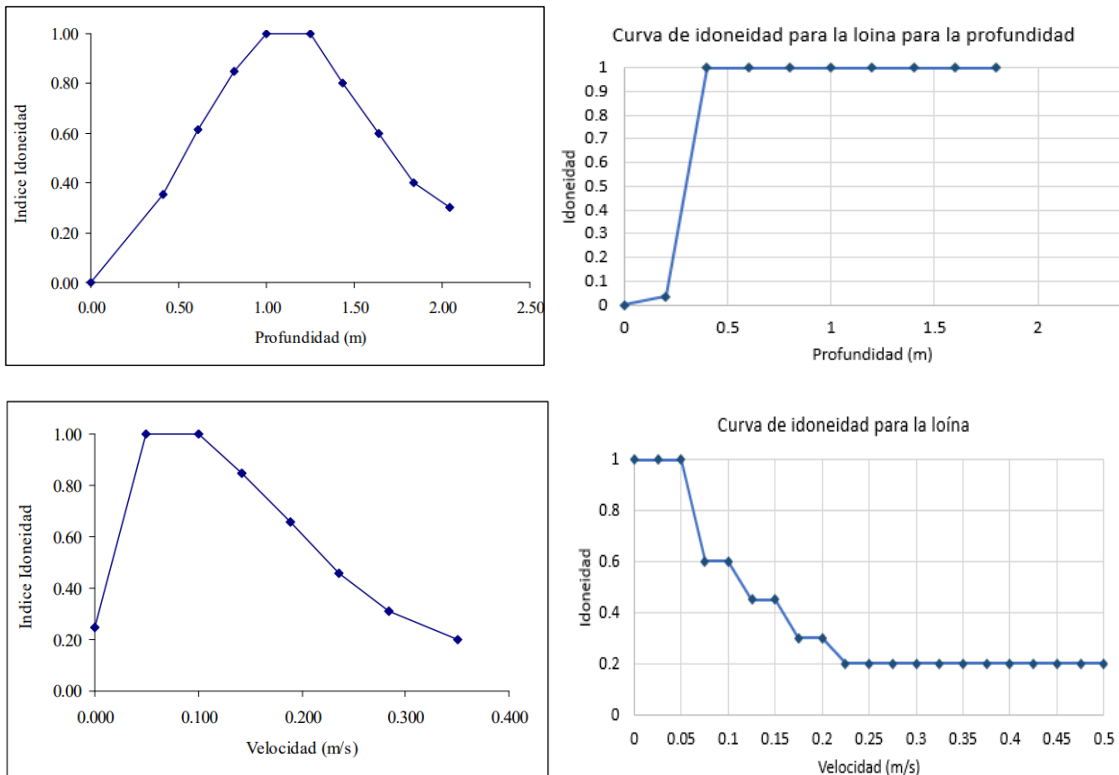


Figura 36. Comparativa de gráficas entre las obtenidas en el informe de Martínez-Capel et al., 2009 (columna izquierda) y las obtenidas en el presente estudio (columna derecha). En el caso del informe se realizaron con un tamaño muestral de 40 microhábitats y en este caso de 179 microhábitats

En el mencionado estudio se vio con los datos existentes que, las diferencias de crecimiento entre las poblaciones de loína aguas arriba y aguas abajo de contreras no eran relevantes. En estado natural se deducía que aguas abajo de la presa las poblaciones deberían ser mayores debido al aumento de la temperatura media y la mayor productividad de las aguas. Sin embargo, la regulación hidrológica produce caudales altos en la época del desarrollo de los alevines, hecho que se considera crucial para las poblaciones, y se observó que aguas arriba el reclutamiento es más efectivo. Para el informe de 2009a se muestrearon zonas donde la velocidad media fue de 1.40 m/s y con el calado alcanzaron un máximo de 2.30 m. En el presente estudio la velocidad media máxima fue de 0.48 m/s y el calado máximo de 1.80 m, siendo un rango menor.

Respecto a la velocidad media (Figura 33) se observa tanto en este estudio como en el informe de 2009a la misma tendencia decreciente según aumenta la velocidad. Con el calado (Figura 34) se confirma que el rango de idoneidad para la loína fluctúa entre 0.5 m y 1.8 m. En este estudio se observaron unas mayores densidades cuando el río aumentaba su calado. Con los refugios se observa que la preferencia en todos los casos para la especie es la presencia de vegetación. Cabe destacar, que los tramos muestreados carecían en general de cornisas y bloques, teniendo una representatividad muy baja, por lo que no se realiza comparación (Figura 35).

Los resultados referentes al cachuelo se comparan aquí con los obtenidos en el artículo "*Revisiting probabilistic neural networks: a comparative study with support vector machines and the microhabitat suitability for the Eastern Iberian chub (*Squalius valentinus*)*" (Muñoz-Mas *et al.*, 2018). En este caso, debido a la diversidad de modelos y sus variaciones, se ha comparado con el modelo de máquinas de vectores de soporte ("*support vector machines*") que se usó para modelar la probabilidad de presencia de la especie, con datos de los ríos Cabriel, bajo presa, y Serpis en su tramo regulado, siendo la figura 9 del artículo. En ese caso la figura muestra los gráficos de dependencia parcial que muestran la relación marginal entre la idoneidad (en este caso, probabilidad de presencia) y las variables de microhábitat elegidas. La línea negra del gráfico muestra la tendencia media detectada por el modelo, a lo largo de los valores de cada variable continua.

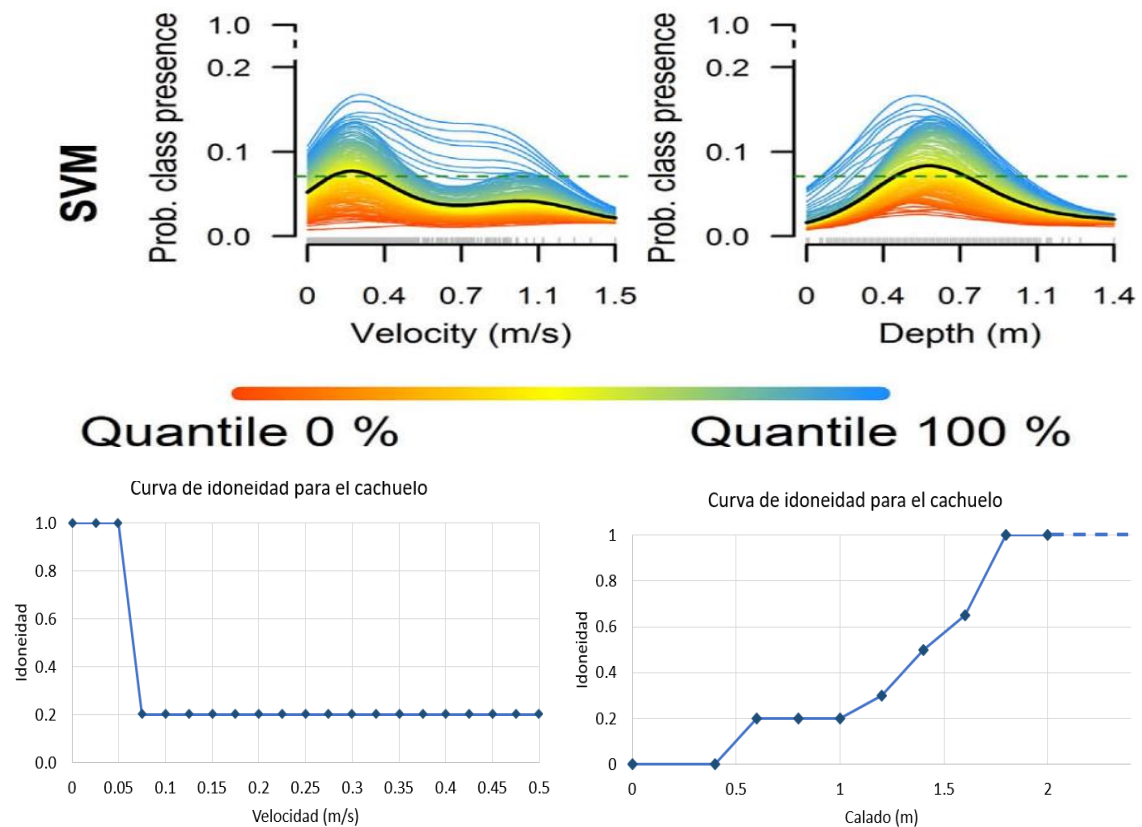


Figura 37. Comparativa de gráficas entre las obtenidas en el artículo de Muñoz-Mas et al., 2018 (fila superior) y las obtenidas en el presente estudio (fila inferior).

En este caso, con la curva de idoneidad para la velocidad media (Figura 30) se observa que hemos obtenido un rango óptimo entre los 0.00 y 0.05 m/s, siendo el rango más bajo de velocidades. En el artículo se encontró el óptimo para la especie en los 0.3 m/s, es decir, velocidades relativamente mayores, digamos de valores medios. Con el calado (Figura 31) se ve como la idoneidad de hábitat aumenta según la profundidad es mayor, sugiriendo una preferencia por pozas. Mientras que el resultado óptimo para el calado obtenido en el artículo era de 0.6 m de profundidad, en el presente trabajo se ha mostrado una mayor idoneidad según aumenta el valor de esta variable. Esto indica que indica que en el espacio y tiempo de la recogida de datos se mostraba una mayor abundancia de esta especie en zonas donde hace unos años no se encontraban y el rango de datos de este trabajo es considerablemente más amplio (línea continua en la curva), en cuanto a calado. Respecto al refugio, los tramos muestreados carecieron de cornisas y bloques, por lo que en los resultados tienen una representatividad muy baja. Sin embargo, la vegetación como refugio tiene los valores más altos (Figura 32).

A pesar de las coincidencias con otros estudios con los que se han realizado comparaciones, existen otros factores que pueden estar afectando al uso del hábitat por ambas especies, como la disponibilidad de este, alimento, luz, turbidez y la interacción entre especies (Costa *et al.*, 2012). En el caso del alimento, la loína es principalmente un

herbívoro, aunque también come macroinvertebrados, y el cachuelo utiliza una mayor variedad de fuentes de alimento, incluyendo plantas bentónicas, invertebrados y peces (Lobón-Cervia & De Diego, 1988; Magalhães, 1992; Valladolid & Przybylski 1996), por lo que necesita más posiciones en la columna de agua para poder obtener su alimento. Sin embargo, la boga tiene la misma alimentación que la loína, o muy similar (aunque carecemos de estudios específicos de la loína) por lo que en un mismo hábitat supone un gran rival al superarle en tamaño y capacidad natatoria.

Aunque no se mencione apenas en este documento, el primero de los tramos muestreados fue aguas abajo de la presa de Cristinas. Esta elección se hizo en base al conocimiento de que esta barrera transversal supone por el momento la exclusión de un fuerte competidor para la loína en el tramo alto, la boga del Tajo. Sin embargo, sí se observó presencia de cachuelo en el tramo 1. Tanto la boga como el cachuelo aparecían juntos, ya que ambas se clasifican como especies euritópicas debido a su presencia en todos los tipos de mesohábitats (Veza *et al.*, 2015). Además, se consideran generalistas en cuanto a sus hábitos alimenticios (invertebrados, detritos y plantas) a escala de mesohábitat, pero a escala de microhábitat, las diferencias pueden llevar al uso diferencial de la columna de agua, como fue demostrado en uno de los primeros estudios de curvas de microhábitat en la Península Ibérica (Martínez Capel, 2000; Martínez Capel *et al.*, 2009b)

La aparición de esas dos especies contrasta mucho con la aparición de la loína, ya que donde se encuentra esta última especie no se localiza al boga y la abundancia de cachuelo disminuye considerablemente, al menos en el marco temporal de este trabajo y en el tramo alto del Cabriel.

Los resultados generales para cachuelo y loína indican que pueden coexistir con requerimientos similares de hábitat, y no se aprecia una fuerte competencia. Sin embargo, puede existir cierta competencia por los recursos, y el tamaño de unas poblaciones puede limitar a otras, según estudios previos realizados en el río Cabriel con las diversas especies de peces presentes (Veza *et al.*, 2015).

Otro factor relevante que se ha analizado es el caudal del río en los últimos años, ya que puede condicionar mucho las abundancias. En la Figura 9 y la tabla asociada se demostraron algunos cambios relevantes de caudales en los últimos años hidrológicos. Es decir, haciendo una comparativa de cinco años de caudales en cuatro intervalos determinados por la fase de evolución en la que se encuentran los peces, se comprueba que existen disminuciones, sobre todo en el mes considerado como el principal de la freza de la loína (Tabla 1). Esta reducción de caudales puede ser una de las causas de la proliferación de loína, junto al posible aumento de la superficie de plantas, siendo las filamentosas las preferidas por ambas especies. Sin embargo, estos efectos requieren un estudio poblacional multi-anual para conocer su significación e importancia aplicada.

CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES

6.1. CONCLUSIONES

A continuación, se comentan los resultados más relevantes del estudio, según las distintas hipótesis y métodos de trabajo que se han aplicado en este estudio.

→ El azud de Cristinas (coordenadas UTM X=609518, Y=4420805) es vital para la conservación de las poblaciones de loína, ya que funciona como barrera para impedir la propagación de la boga en los tramos de cabecera del Cabriel. Por ello es importante el seguimiento científico de sus poblaciones, monitorizando así la freza y el estudio de afección de este obstáculo transversal.

→ En el único tramo muestreado aguas abajo del azud de Cristinas la población de cachuelo mostraba los mayores valores de densidad (valor promedio de 2.46 ind/m²). Pero aguas arriba, donde convive con la loína, su densidad es muy inferior (valor promedio de 0.33 ind/m²) y el cachuelo se encuentra en microhábitats más lentos y profundos. Las condiciones de hábitat disponibles son parecidas, pero no iguales, entre el tramo aguas abajo y los de arriba, por lo que no se puede demostrar en qué grado los factores ambientales o los factores ecológicos (competencia, predación, etc.) pueden ser responsables de dichas diferencias

→ Se han obtenido resultados de idoneidad de microhábitat para los estudios de simulación del hábitat físico, con sentido ecológico, en tramos altos (no regulados). Para los estudios del régimen ecológico de caudales lo más recomendable es utilizar, según la zona de estudio, los obtenidos en uno de estos tramos, alto (ríos no regulados, menor orden) o bajo (regulados, mayor orden y tamaño del cauce).

→ A efectos de diseñar algún tipo de actuación de mejora del hábitat fluvial, se pueden definir unos rangos óptimos amplios para la especie. En el caso del cachuelo suelen escoger microhábitats con profundidad mayor (>1.5 m) y velocidad baja (0.0 m/s – 0.05 m/s), donde haya elementos de refugio, especialmente vegetación filamentosa y helófitas. En el caso de la loína suelen escoger microhábitats con profundidad (0.5-1.8 m) y velocidad media (0.0 m/s – 0.5 m/s), donde haya elementos de refugio, especialmente vegetación filamentosa, helófitas, algas y, en menor proporción, vegetación de hoja plana.

→ El estudio de la fragmentación a nivel de microhábitat o parche ha permitido demostrar que varias variables de la configuración del paisaje acuático pueden ser relevantes para las poblaciones de loína y cachuelo, especialmente para la primera, como se había contemplado al concebir este estudio. El paisaje de los microhábitats está muy fragmentado, al tener esos parches distribuidos con bastante distancia y por ser de

pequeño tamaño. En el ámbito de estudio, los índices de parche más grande (LPI), tamaño de malla (EMS), e índice de división (SI) están significativamente relacionados con la densidad de loína. Por tanto, podemos formular la hipótesis de que el tamaño de los parches de microhábitat considerados y la distancia entre ellos puede suponer una limitación para el desarrollo de las poblaciones, que requiere un análisis más amplio en el tiempo y en distintos tramos de ríos.

→ Para poder analizar el efecto de la fragmentación o disgregación de los microhábitats sobre las poblaciones estudiadas, sería necesario realizar un estudio similar en distintos veranos, con distintas condiciones de caudal y de desarrollo de la vegetación acuática, para poder evaluar los efectos cuando estos factores varían. Se requiere un estudio poblacional multi-anual, determinando unos puntos clave para un seguimiento mantenido en el tiempo, que permita conocer la significación de los distintos componentes del régimen de caudales para la estructura poblacional y la conservación de estas especies.

6.2. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Una vez presentadas las conclusiones del trabajo, se presentan las futuras líneas que permitirán desarrollar el potencial de este trabajo y de la nueva metodología:

- La observación de loínas en tramos de corriente supone una información poco usual en esta zona del Cabriel. Se pretende por tanto ampliar el rango de las variables: pozas más profundas, así como zonas de mayor corriente. Se pretende también obtener una mayor variabilidad de datos de sustratos, ya que los finos son materiales que serán arrastrados y quedará al descubierto el material principal del fondo.
- Actualmente se están tomando datos de temperatura del agua en 8 puntos, que ofrecerán una visión más amplia de la variación de los factores ambientales, en distintas etapas de su ciclo vital. Para ello, se utilizarán modelos de temperatura del agua y se podrán realizar hipótesis en cuanto al efecto del cambio climático en la cabecera del Cabriel. Por ejemplo, la temperatura afecta a la hibernación, la alimentación y la supervivencia y crecimiento de los huevos y alevines.
- Puesto que hay múltiples factores que pueden afectar a las densidades, y este estudio tiene la limitación de realizarse en un solo año hidrológico, se pretende muestrear los mismos tramos, pero en diferentes estaciones del año (primavera, verano y otoño) y durante varios años para obtener más datos sobre la afección de la variabilidad ambiental y su dinámica espacio-temporal.

- Finalmente, ampliando la idea anterior, el conocimiento más sólido y el contraste de las hipótesis derivadas de este trabajo requiere un estudio más sostenido en el tiempo. Por ello, se ha comenzado a dialogar con la administración pública sobre la posibilidad de mantener un sistema de monitorización permanente anual de las poblaciones de peces en distintos puntos clave, que apoye la toma de decisiones sobre estas especies tan importantes. Dicho sistema debe cubrir un conjunto de tramos que registren la mayor variabilidad de microhábitats, y en distintas épocas, con el fin de entender mejor sus ciclos biológicos y poder determinar tasas de éxito en la reproducción y sus causas.

CAPÍTULO 7. REFERENCIAS

- Ahmadi-Nedushan, B., St-Hilaire, A., Bérubé, M., Robichaud, É., Thiémonge, N., & Bobée, B. (2006). A review of statistical methods for the evaluation of aquatic habitat suitability for instream flow assessment. *River Research and Applications*, 503-523.
- Alcaraz, C., Carmona-Catot, G., Risueño, P., Perea, S., Pérez, C., Doadrio, I., & Aparicio, E. (2015). Assessing population status of *Parachondrostoma arrigonis* (Steindachner, 1866), threats and conservation perspectives. *Environmental Biology of Fishes*, 98(1), 443–455. <https://doi.org/10.1007/s10641-014-0274-3>
- Aramburú-Paucar, J. M., Martínez-Capel, F., Puig-Mengual, C. A., Muñoz-Mas, R., Bertagnoli, A., & Tonina, D. (2024). A large flood resets riverine morphology, improves connectivity and enhances habitats of a regulated river. *Science of The Total Environment*, 919, 170717. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.170717>
- Arthington, A. H., Bhaduri, A., Bunn, S. E., Jackson, S. E., Tharme, R. E., Tickner, D., Young, B., Acreman, M., Baker, N., Capon, S., Horne, A. C., Kendy, E., McClain, M. E., Poff, N. L., Richter, B. D., & Ward, S. (2018). The Brisbane Declaration and global action agenda on environmental flows. *Frontiers in Environmental Science*, 6(45), 1–15. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2018.00045>
- Alcaraz-Hernández, J. D., Muñoz-Mas, R., Martínez-Capel, F., Garófano-Gómez, V., & Vezza, P. (2016). Generalized additive models to predict adult and young brown trout (*Salmo trutta* Linnaeus, 1758) densities in Mediterranean rivers. *Applied Ichthyology* (32), 217–228
- Alonso, F. (1991). La Serranía de Cuenca. En Guía de los espacios naturales de Castilla-La Mancha. 261-277. *Servicio de Publicaciones de Castilla-La Mancha*. Toledo
- Blog Pesca Minuta. (2015). Río Cabriel II: Vuelta de Cristinas. Recuperado de <https://blogpescataminuta.com/2015/08/27/rio-cabriel-ii-vuelta-de-cristinas/> (Consulta realizada el 13 de febrero de 2024)
- Borcard, D., Gillet, F., & Legendre, P. (2011). *Ecología Numérica con R*. Nueva York: Springer
- Bovee, K.D. (1986). *Development and evaluation of habitat suitability criteria for use in the Instream Flow Incremental Methodology*. Instream Flow Information Paper nº 21. United States Fish and Wildlife Service. Biol. Rep. 86 (7). 235 pp.

- Climate-Data. (16 de junio de 2024). Clima Cuenca (España). <https://es.climate-data.org/europe/espana/castilla-la-mancha/cuenca-2148/#climate-graph>
- Consejería de Desarrollo Sostenible, Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha. (s.f.). Reservas de la Biosfera: Mancha Húmeda, Valle del Cabriel y Alto Turia. Recuperado de <https://areasprotegidas.castillalamancha.es/reservas-de-la-biosfera-mancha-humeda-valle-del-cabriel-y-alto-turia> (Consulta realizada el 25 de febrero de 2024)
- Costa, R. M., Martínez-Capel, F., Muñoz-Mas, R., Alcaraz-Hernández, J. D., & Garófano Gómez, V. (2012). Habitat suitability modelling at mesohabitat scale and effects of dam operation on the endangered Júcar nase, *Parachondrostoma arrigonis* (River Cabriel, Spain). *River Research and Applications* (28), 740–752.
- Doadrio, I. (2003). Atlas y Libro Rojo de los Peces. Dirección General de Conservación de la Naturaleza-CSIC. 374 pp. 3ª Edición. Madrid
- Dolloff, C. A., D. G. Hankin, G. H. Reeves (1993) *Basinwide estimation of habitat and fish populations in streams* (Technical report). U.S. Department of Agriculture. Forest Service. Southeastern Forest Experiment Station. USA. 25 pp.
- Elosegi, A., & Sabater, S. (2009). La estructura física de los cauces fluviales. *Conceptos y técnicas en ecología fluvial, capítulo 5*. Recuperado de https://www.fbbva.es/microsites/ecologia_fluvial/pdf/cap_05.pdf
- Fragstats (2000a.). *C2 Percentage of Like Adjacencies*. Recuperado de <https://fragstats.org/index.php/fragstats-metrics/patch-based-metrics/aggregation-metrics/c2-percentage-of-like-adjacencies> (Consulta realizada el 8 de abril de 2024)
- Fragstats (2000b). *C3 Largest Patch Index*. Recuperado de <https://fragstats.org/index.php/fragstats-metrics/patch-based-metrics/area-and-edge-metrics/c3-largest-patch-index> (Consulta realizada el 8 de abril de 2024)
- Fragstats (2000c). *C7 Patch Cohesion Index*. Recuperado de <https://fragstats.org/index.php/fragstats-metrics/patch-based-metrics/aggregation-metrics/c7-patch-cohesion-index> (Consulta realizada el 8 de abril de 2024)
- Garrote, L., Iglesias, A., Granados, A., Mediero, L., Martín-Carrasco, F. (2015). Quantitative Assessment of Climate Change Vulnerability of Irrigation Demands in Mediterranean Europe. *Water Resources Management*, 29(2), 325-338.

- Gedney, N., Cox, P., Betts, R., Boucher, O., Huntingford, C., & Stott, P. (2006). Detection of a direct carbon dioxide effect in continental river runoff records. *Nature* 439, 835–838.
- Hankin, D. G., y G. H. Reeves (1988). Estimating total fish abundance and total habitat area in small streams based on visual estimation methods. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 45:834-844.
- Hauer, C., Unfer, G., Holzmann, H., Schmutz, S., & Habersack, H. (2013). The impact of discharge change on physical instream habitats and its response to river morphology. *Climate Change* 116, 827–850
- Jaeger, J., Esswein, H., Schwarz-von, H-G. (2006). *Measuring Landscape Fragmentation with the Effective Mesh Size meff*. Recuperado de https://www.concordia.ca/content/dam/artsci/geography-planning-environment/docs/jaeger/publications/more2a-faltblatt_engl.pdf
- Jongman, R., Ter Braak, C., & Tongeren, O. (1995). Data Analysis in Community and Landscape Ecology. Cambridge: *Cambridge University Press*.
- Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha. (2016a). *Castilla-La Mancha: Región de Europa*. Recuperado de <https://europa.castillalamancha.es/castilla-la-mancha-region-de-europa#:~:text=Somos%20la%20tercera%20Regi%C3%B3n%20espa%C3%B1ola,%2C7%25%20del%20territorio%20espa%C3%B1ol> (Consulta realizada el 10 de mayo de 2024)
- Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha. (2016b). *Plan de Gestión de Hoces del Cabriel, Guadazaón y Ojos de Moya ES4230013/ES0000159 (Cuenca y Albacete)*. Recuperado de https://www.castillalamancha.es/sites/default/files/documentos/paginas/archivos/doc_2_es4230013_es0000159_firmado.pdf
- Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha. (2016c). *ZEC-ZEPA Hoces del Cabriel, Guadazaón y Ojos de Moya ES4230013-ES0000159*. Recuperado de <https://www.castillalamancha.es/gobierno/agrimedambydesrur/estructura/dgapfyen/rednaturaleza2000/liczepaES4230013-ES0000159> (Consulta realizada el 12 de febrero de 2024)
- Kindt, R., & Coe, R. (2005). *Análisis de la diversidad arbórea: Manual y software para métodos estadísticos comunes para estudios ecológicos y de biodiversidad*. Nairobi, Kenia: Centro Mundial de Agrosilvicultura.

- Lobo'n-Cervia' J. & De Diego A. (1988) Feeding strategy of the barbel (*Barbus bocagei* Steindachner) with relation to benthos composition. *Archives für Hydrobiologie* 114, 83–95.
- Magalhaães M.F. (1992) Feeding ecology of the Iberian cyprinid *Barbus bocagei* Steindachner, 1985 in a lowland river. *Journal of Fish Biology* 40, 123–133.
- Martínez-Capel, F., Hernández-Mascarell, A. B., & Soares-Costa, R. M. (2006). *Factores de degradación de las poblaciones de loína (Chondrostoma arrigonis) y el estado de su hábitat actual en la Cuenca del Río Júcar*. Valencia: Tragsa.
- Martínez-Capel, F. (2011) *Modelos de Idoneidad de Microhábitat para el estudio del Régimen Ecológico de Caudales*. Universidad Politécnica de Valencia. Recuperado de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/13641/Modelos%2520idoneidad%2520de%2520microhabitat%2520y%2520caudales%2520ecologicos.pdf?sequence=1>
- Martínez-Capel, F. (2000). *Microhabitat preferentes of Barbus bocagei, Chondrostoma polylepis and Leuciscus pyrenaicus in the Tagus basin (Spain)*. Doctoral Thesis. Madrid, Spain: Universidad Politécnica de Madrid.
- Martínez-Capel, F., Soares-Costa, R. M., Muñoz-Mas, R., Alcaraz-Hernández, J. D., Hernández-Mascarell, A. B., Patiño-Rodríguez, J. H., & Garofano-Gómez, V. (2009a). *Factores de degradación de las poblaciones de loína (Parachondrostoma arrigonis) y el estado de su hábitat actual en la Cuenca del río Júcar (2006-2008), Informe final*. Valencia: Tragsa.
- Martínez-Capel, F., García de Jalón, D., Werenitzky, D., Baeza, D., Rodilla-Alamá, M. (2009b). Microhabitat use by three endemic Iberian cyprinids in Mediterranean rivers (Tagus River Basin, Spain). *Fisheries Management and Ecology*, 16(1), 52-60
- Mayoral, O. (2011). Estudio florístico y aportaciones a la conservación del alto Cabriel (Cuenca). *Universitat de València*. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10803/81307>
- Mediterranea.org. (s.f.). *Cachuelo Valenciano (Anodontostoma chacunda)*. Recuperado de https://www.mediterranea.org/cae/divulgac/peces/cachuelo_valenciano.htm (Consulta realizada el 8 de marzo de 2024)
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2021). *Monografía del inventario nacional de la diversidad biológica en la cuenca hidrográfica del río Loíza, Puerto Rico*. Recuperado de

https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/biodiversidad/temas/inventarios-nacionales/monografia_loina_b_tcm30-198035.pdf

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (s.f.). Reserva Natural Fluvial del río Cabriel. Recuperado de <https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/delimitacion-y-restauracion-del-dominio-publico-hidraulico/catalogo-nacional-de-reservas-hidrologicas/informacion/jucar/cabriel.html>

Muñoz-Mas, R., Martínez-Capel, F., Schneider, M., & Mouton, A. (2012). Assessment of brown trout habitat suitability in the Júcar River Basin (Spain): comparison of data-driven approaches with fuzzy-logic models and univariate suitability curves. *Sci. Total Environ.* 440, 123–131.

Muñoz-Mas, R., Martínez-Capel, F., Garófano-Gómez, V., & Mouton, A. (2014). Application of Probabilistic Neural Networks to microhabitat suitability modelling for adult brown trout (*Salmo trutta* L.) in Iberian rivers. *Environmental Modelling & Software* 59, 30-43.

Muñoz-Mas, R., Fukuda, S., Vezza, P., & Martínez-Capel, F. (2016). Comparación de cuatro métodos para la inducción del árbol de decisión: Un estudio de caso sobre el gobio ibérico invasor (*Gobio lozanoi*; Doadrio y Madeira, 2004). *Informática Ecológica* (34), 22–34.

Muñoz-Mas, R., Costa, R. M. S., Martínez-Capel, F., & Alcaraz-Hernández, J. D. (2017). Microhabitat competition between Iberian fish species and the endangered Júcar nase (*Parachondrostoma arrigonis* Steindachner, 1866). *Journal of Ecohydraulics*, 0(0), 1–23. <https://doi.org/10.1080/24705357.2016.1276417>

Muñoz-Mas, R., Fukuda, S., Pórtoles, J., & Martínez-Capel, F. (2018). Revisiting probabilistic neural networks: a comparative study with support vector machines and the microhabitat suitability for the Eastern Iberian chub (*Squalius valentinus*). *Ecological Informatics*, 43, 24–37. <https://doi.org/10.1016/J.ECOINF.2017.10.008>

Muñoz-Mas, R., Macian-Sorribes, H., Oliva-Paterna, F. J., Sangelantoni, L., Peano, D., Pulido-Velazquez, M., & Martínez-Capel, F. (2024). Adaptation measures to global change in the Serpis River Basin (Spain): An evaluation considering agricultural benefits, environmental flows, and invasive fishes. *Ecological Indicators*, 161, 111979. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.111979>

- Rubin, S.P., T.C. Bjornn, B. Dennis (1991). Habitat suitability curves for juvenile Chinook salmon and steelhead development using a habitat-oriented sampling approach. *Rivers* 2 (1): 12-29.
- Saiz, J. (2006). *Historia geológica del Valle del Cabriel*. Recuperado de <https://enguidanos.es/wp-content/uploads/2015/08/H%C2%AA-Geolo%CC%81gica-del-Valle-del-Cabriel.pdf>
- Ter Braak, C., & Verdonschot, D. (1995). Canonical correspondence analysis and related multivariate methods in aquatic ecology. *Aquatic Sciences* 57, 255–289.
- Tharme, R. E. (2003). A global perspective on environmental flow assessment: Emerging trends in the development and application of Environmental flow methodologies for rivers. *River Research and Applications*(19), 397–441.
- Valladolid M. & Przybylski M. (1996) Feeding relations among cyprinids in the Lozoya river (Madrid, Central Spain). *Polskie Archiwum Hydrobiologii* 43, 213–223
- Veza, P., Muñoz-Mas, R., Martínez-Capel, F., & Mouton, A. (2015). Random forests to evaluate biotic interactions in fish distribution models. *Environmental Modelling & Software* (68), 173-183.
- Wentworth, C. (1922). *A scale of grade and class terms for clastic sediments*. *Geology* 30. 377-392.
- Zuur, A. F., Ieno, E. N., & Elphick, C. S. (2010). A protocol for data exploration to avoid common statistical problems. *Methods in Ecology and Evolution*, 1(1), 3-14.



ANEXOS

ANEXO 1. IMÁGENES DE DIFERENTES TIPOS DE RECUBRIMIENTO

- Recubrimiento perteneciente a la categoría Vegetación filamentosa.



- Recubrimiento perteneciente a la categoría Vegetación de hoja plana.



- Recubrimiento perteneciente a la categoría Helófitos.



- Recubrimiento perteneciente a la categoría Algas.

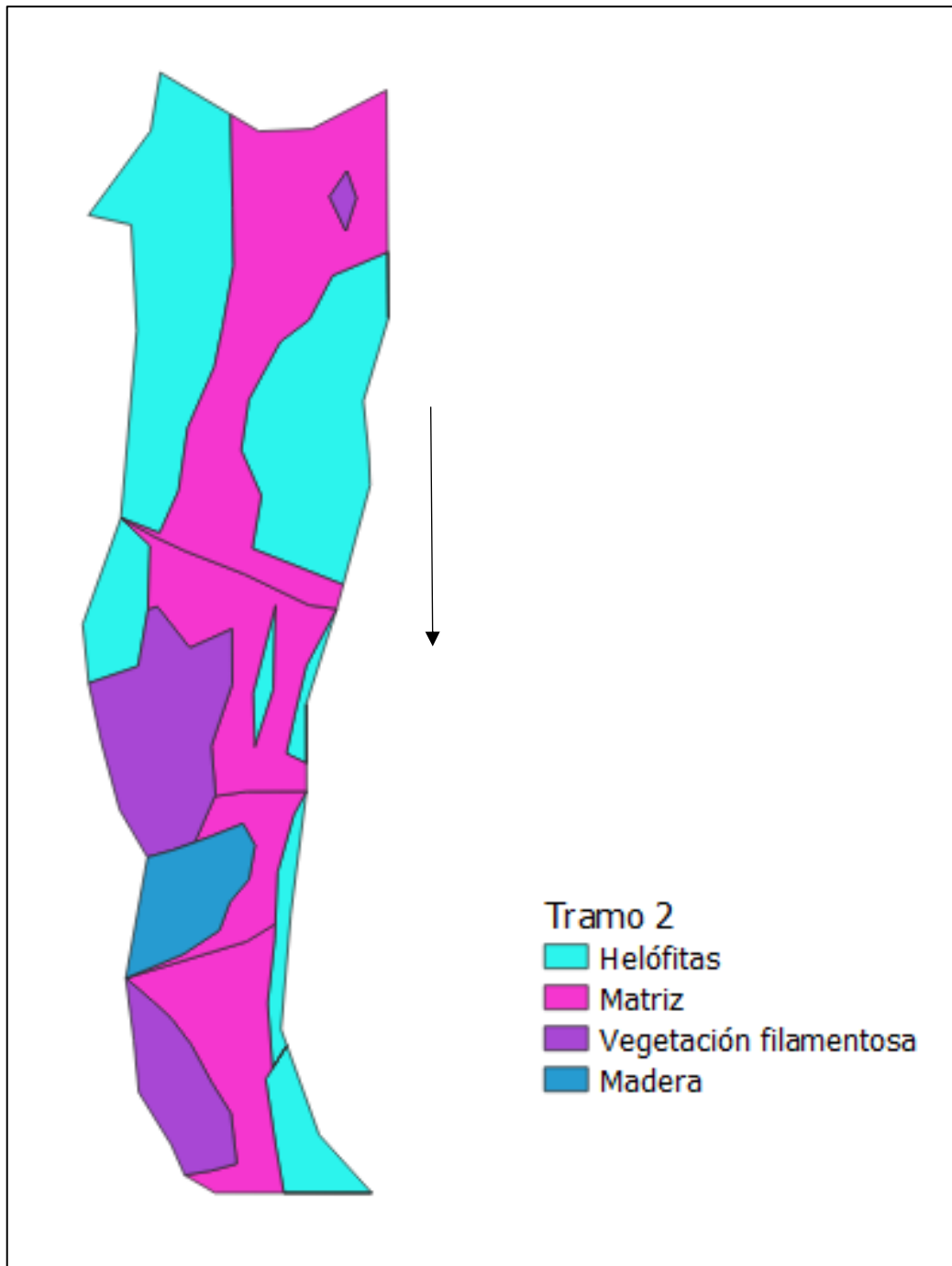


- Recubrimiento perteneciente a la categoría Sin vegetación.

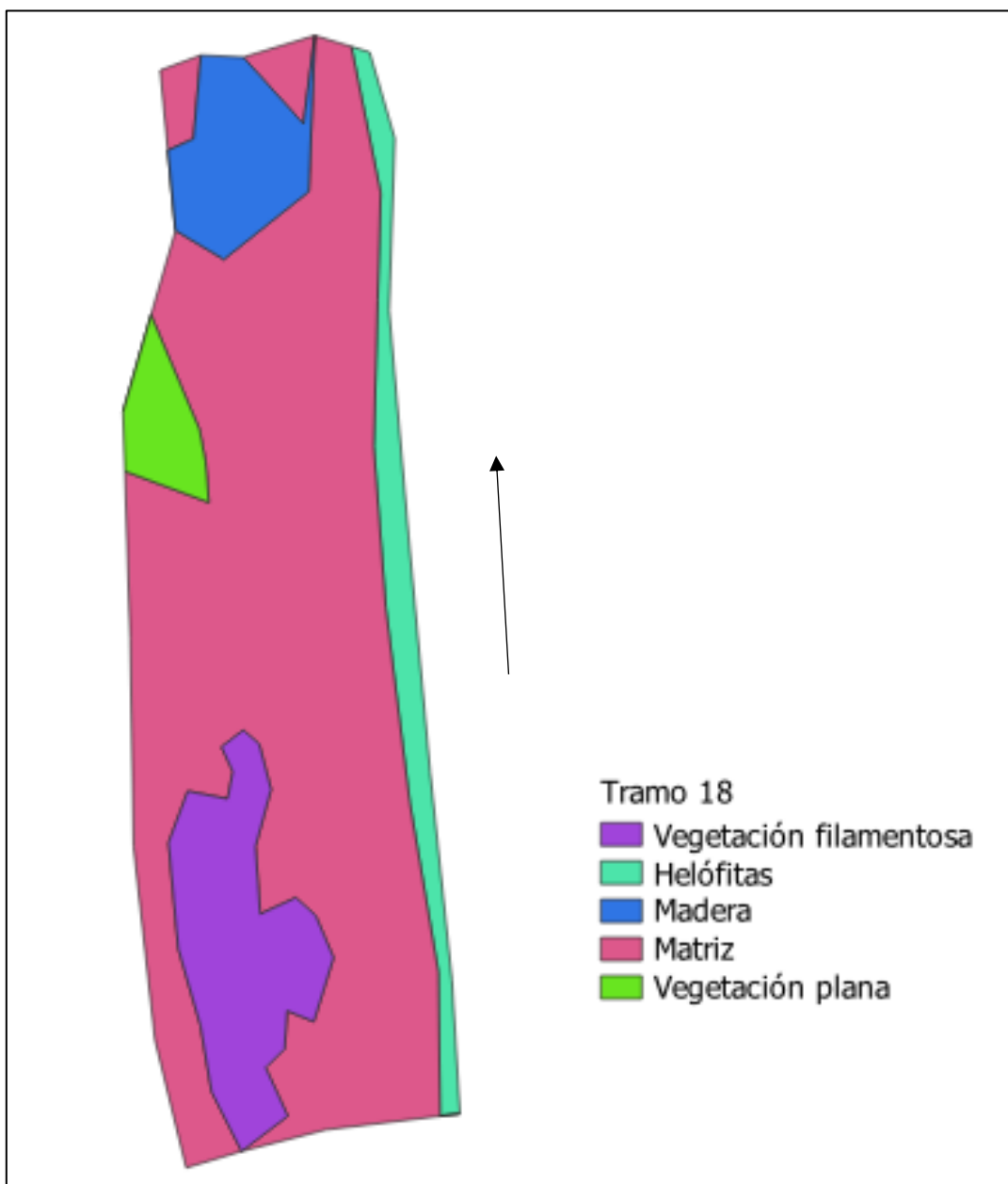


ANEXO 2. EJEMPLOS DE DIGITALIZACIÓN DE LOS TRAMOS

Ejemplo de cartografía digitalizada del tramo 2. La flecha negra indica el sentido en el que discurre el agua.

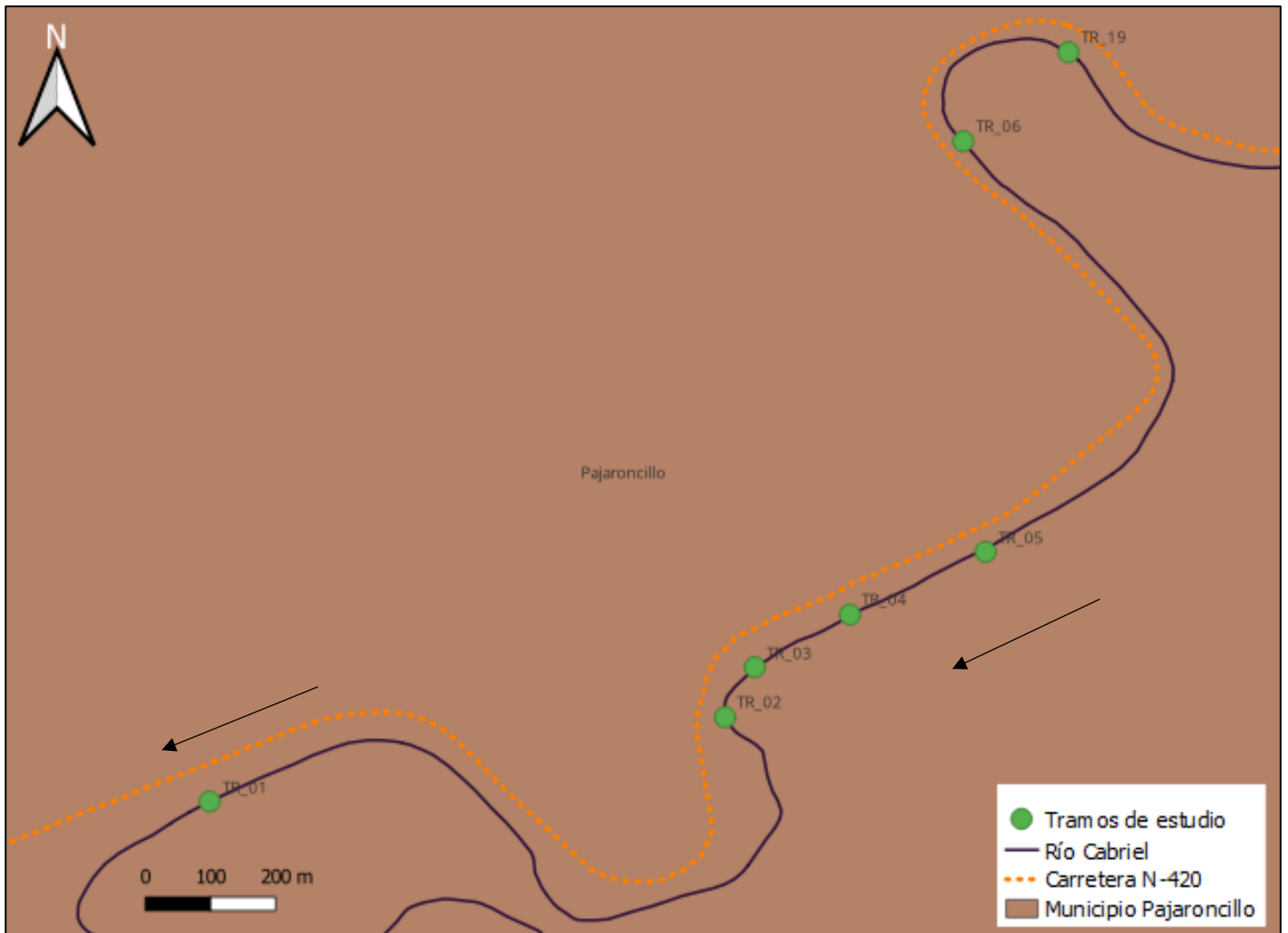


Ejemplo de cartografía digitalizada del tramo 18. La flecha negra indica el sentido en el que discurre el agua.

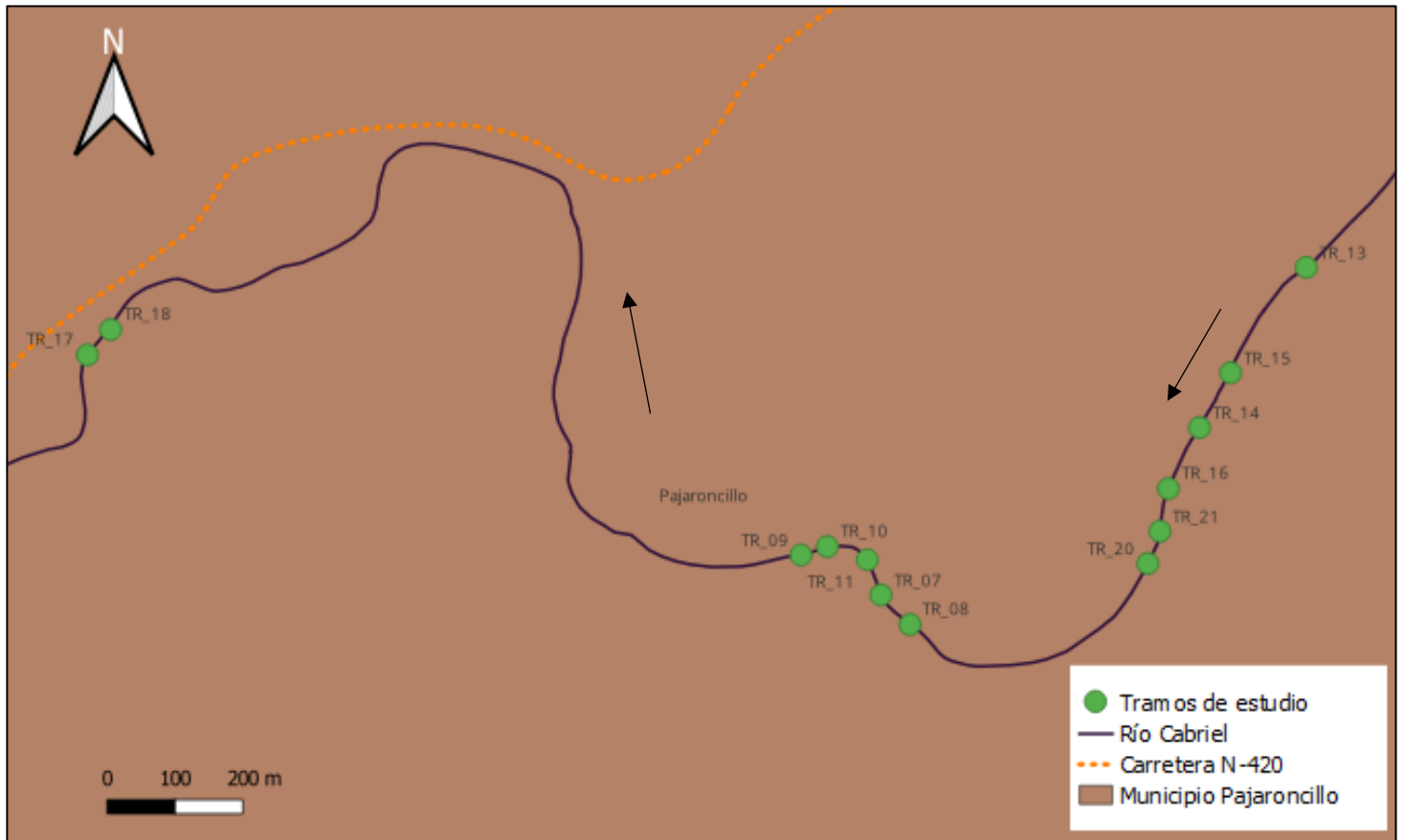


ANEXO 3. LOCALIZACIÓN DE TRAMOS MÁS AL DETALLE

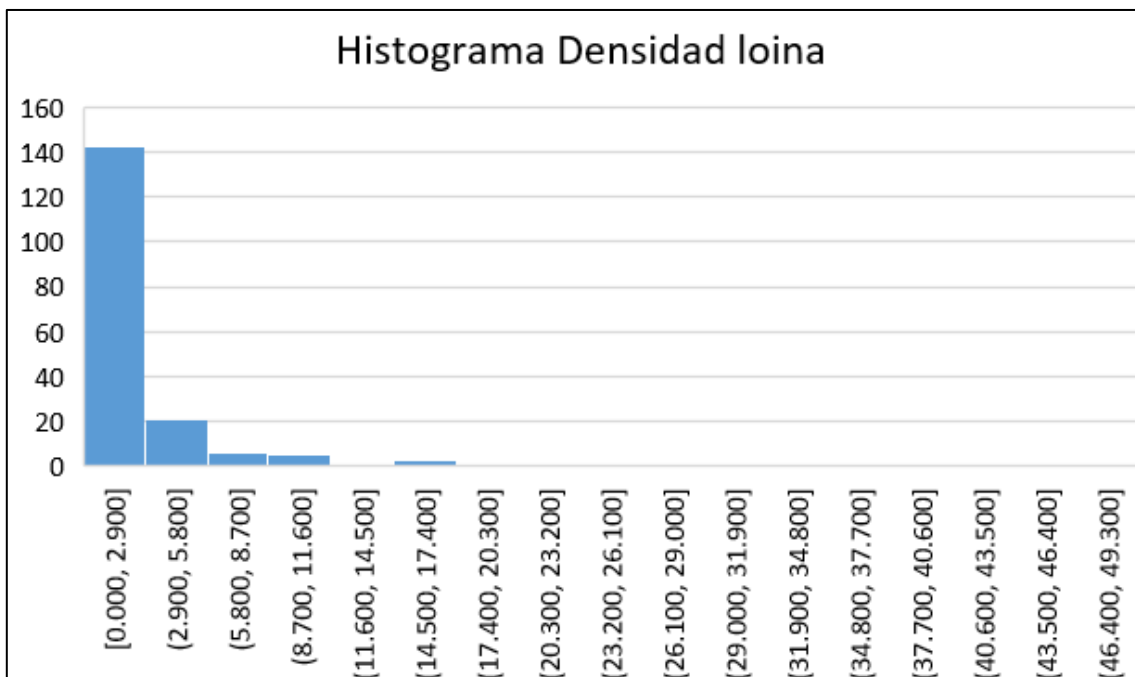
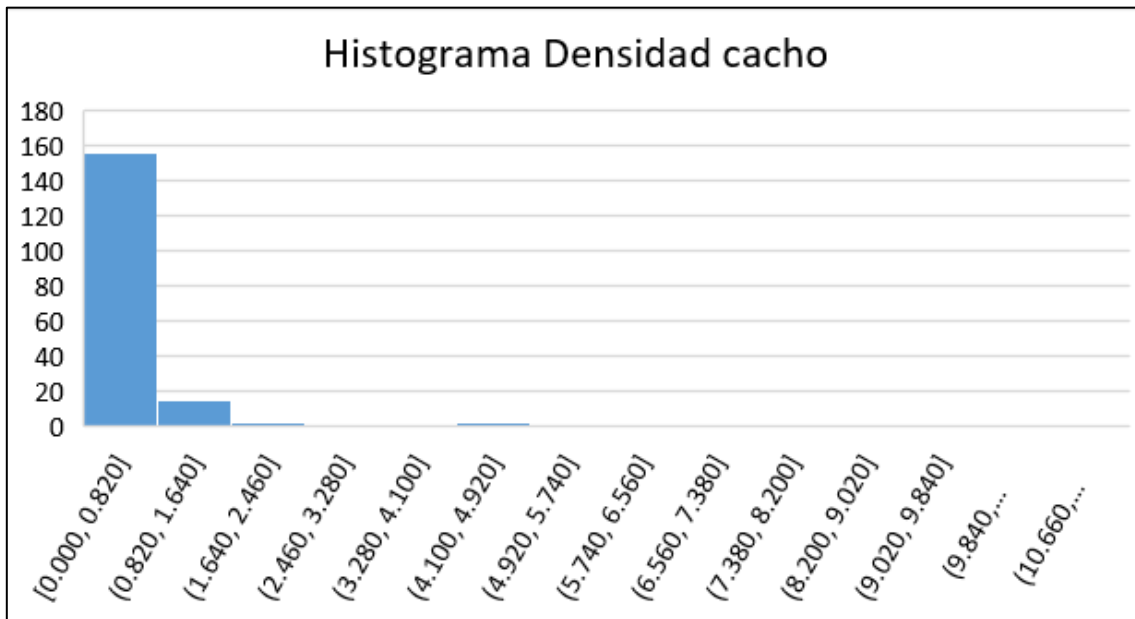
Tramos de estudio 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 19. La flecha negra indica el sentido en el que discurre el agua.

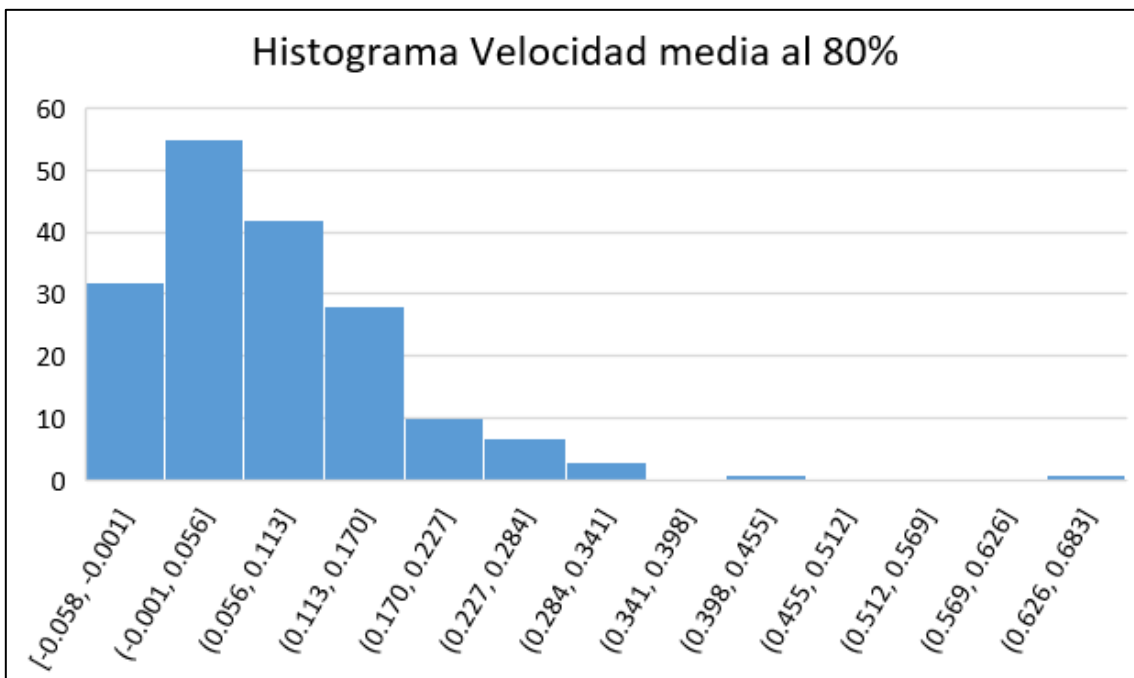
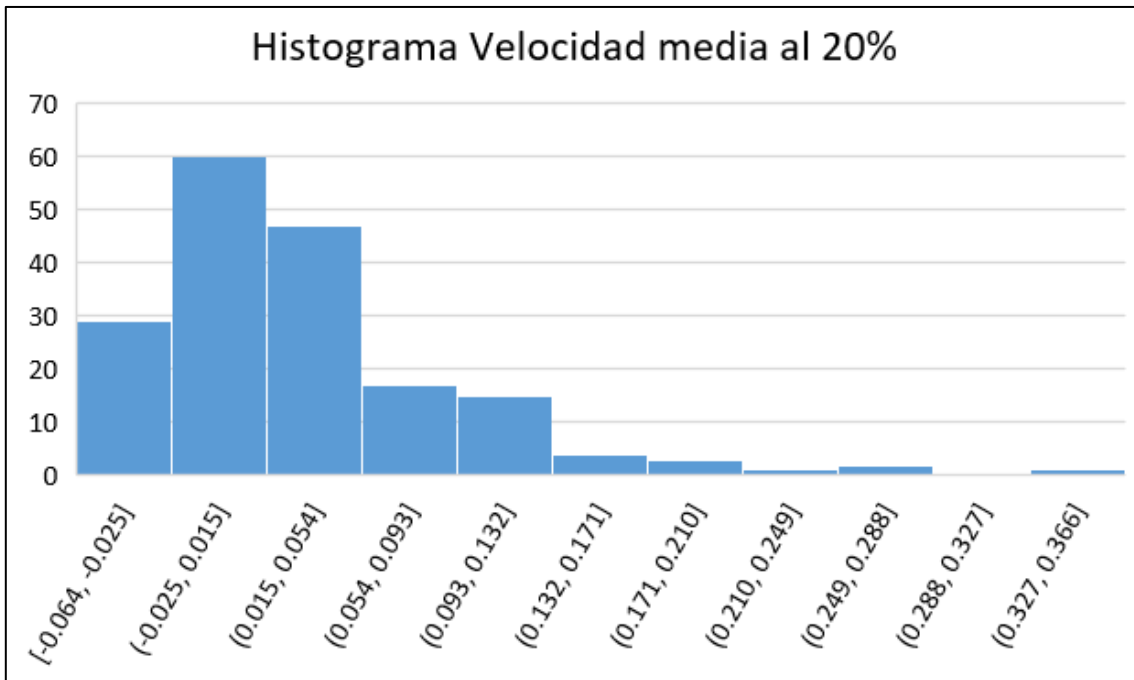


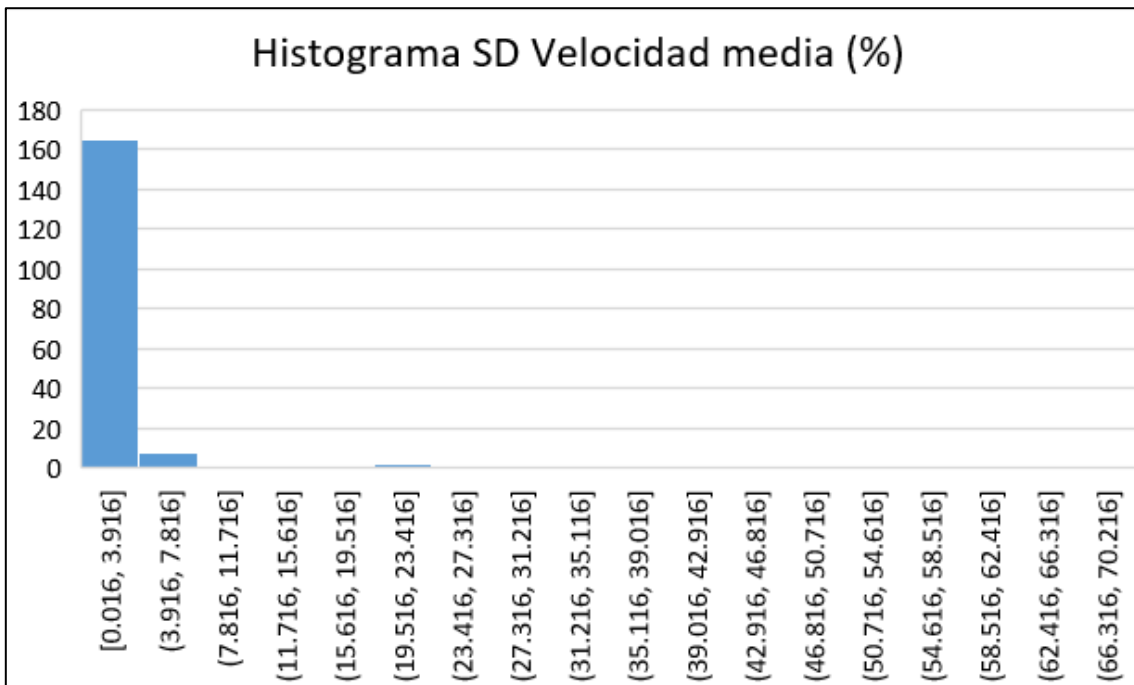
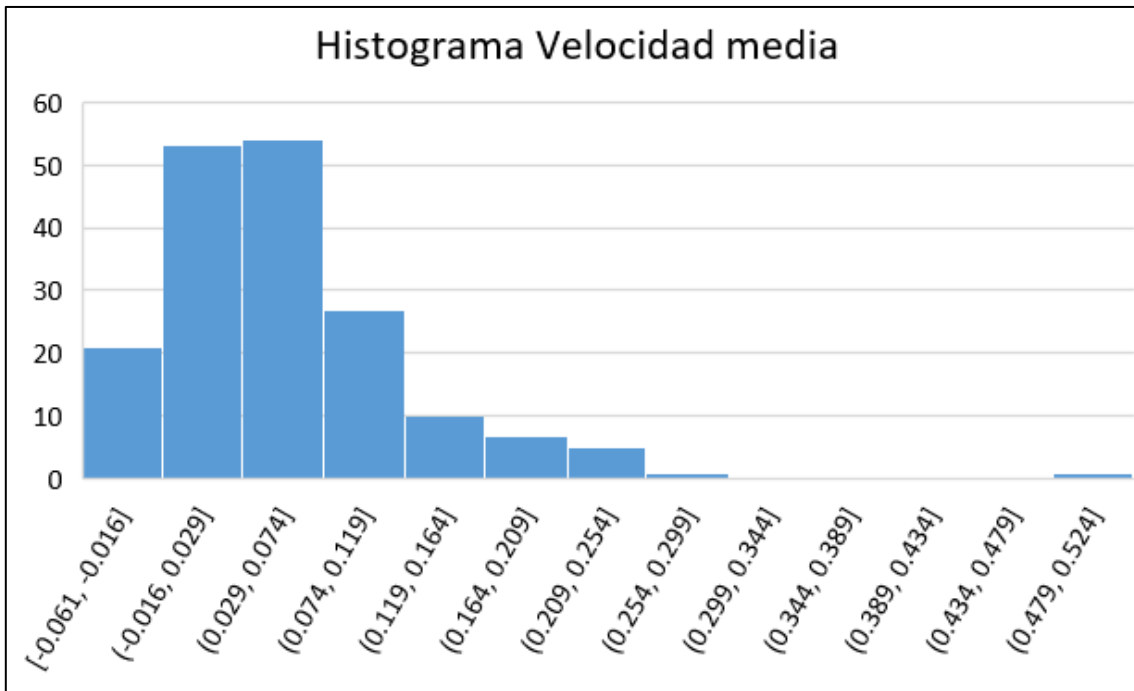
Tramos de estudio 17, 18, 9, 10, 11, 7, 8, 20, 21, 16, 14, 15 y 13. La flecha negra indica el sentido en el que discurre el agua.

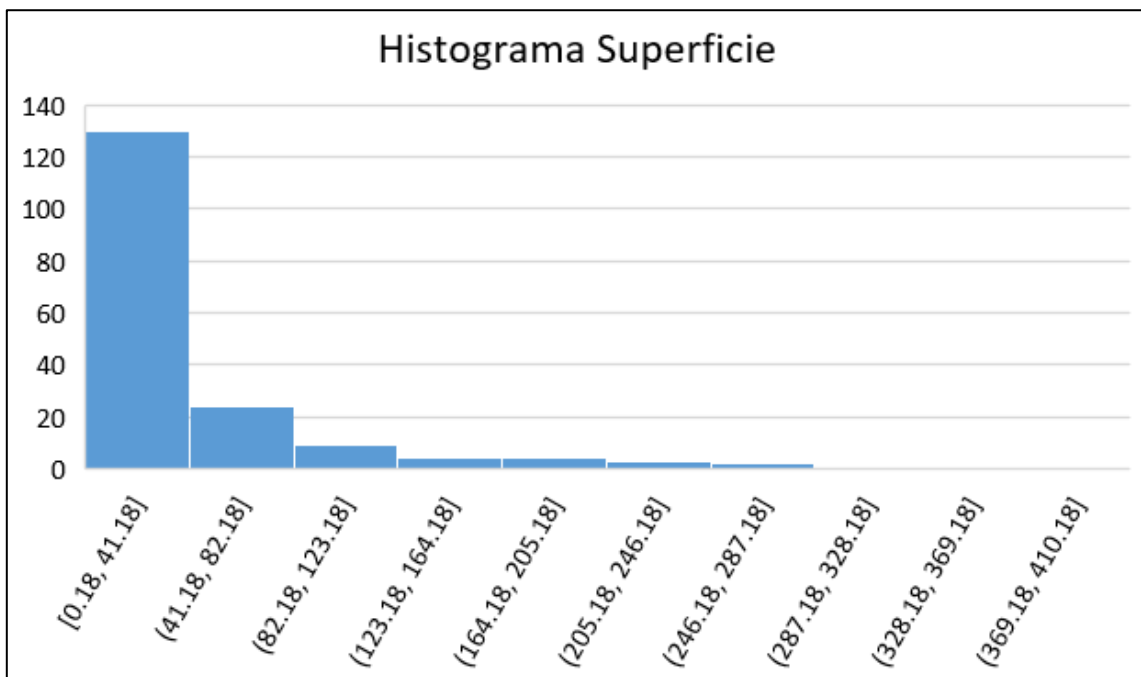
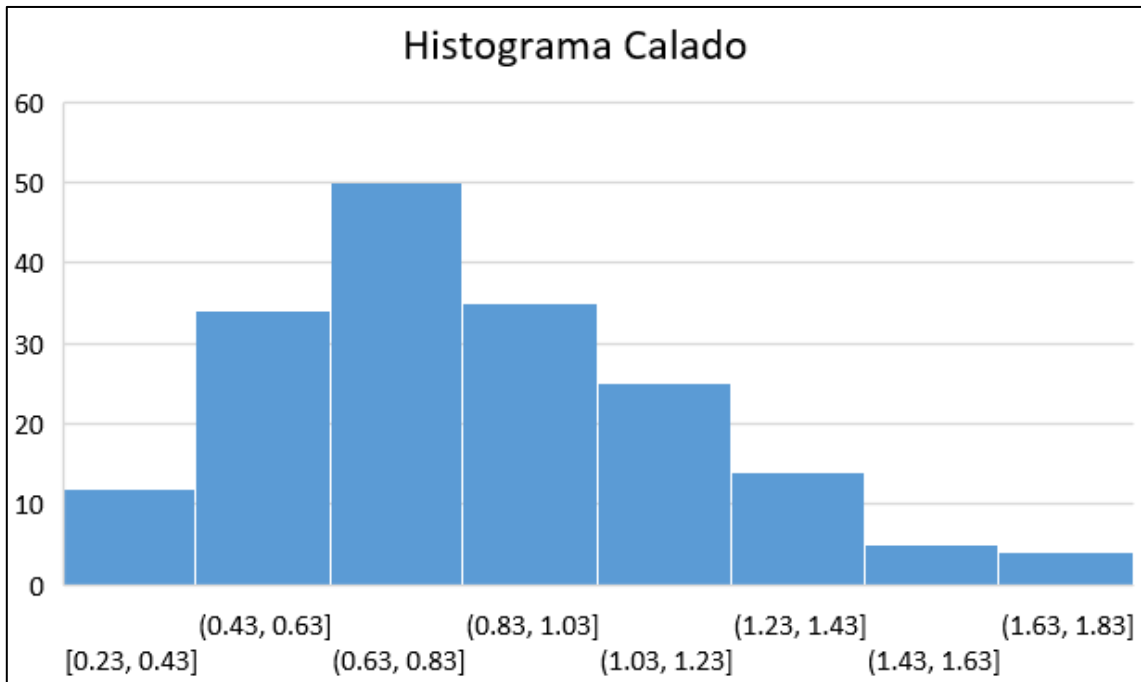


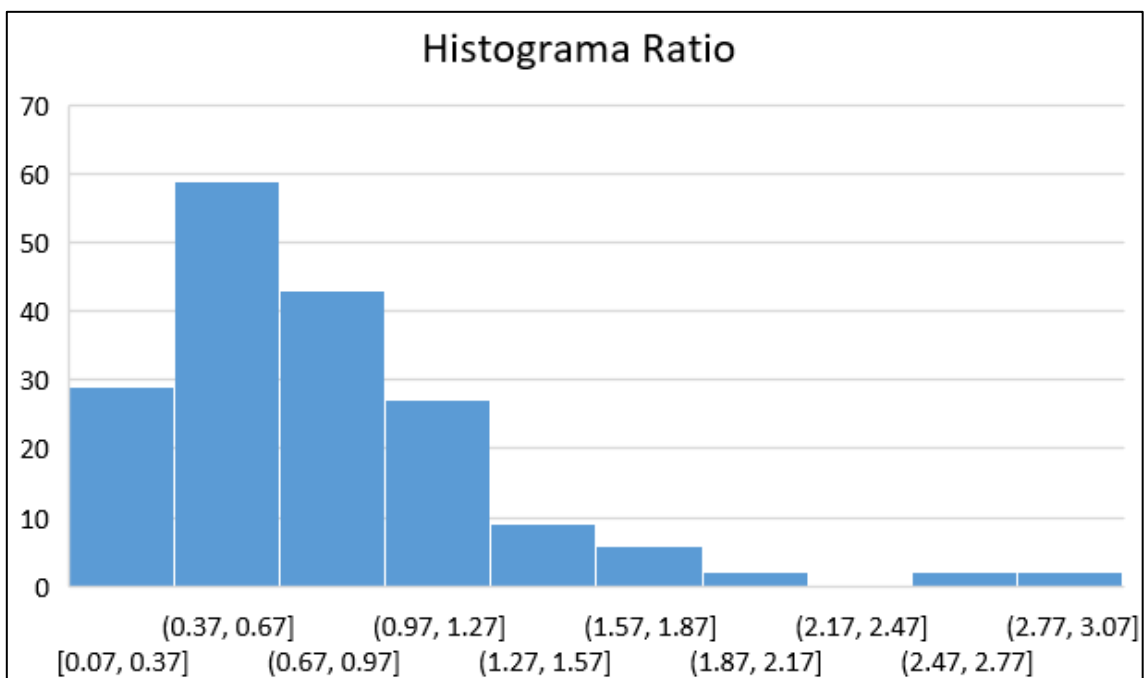
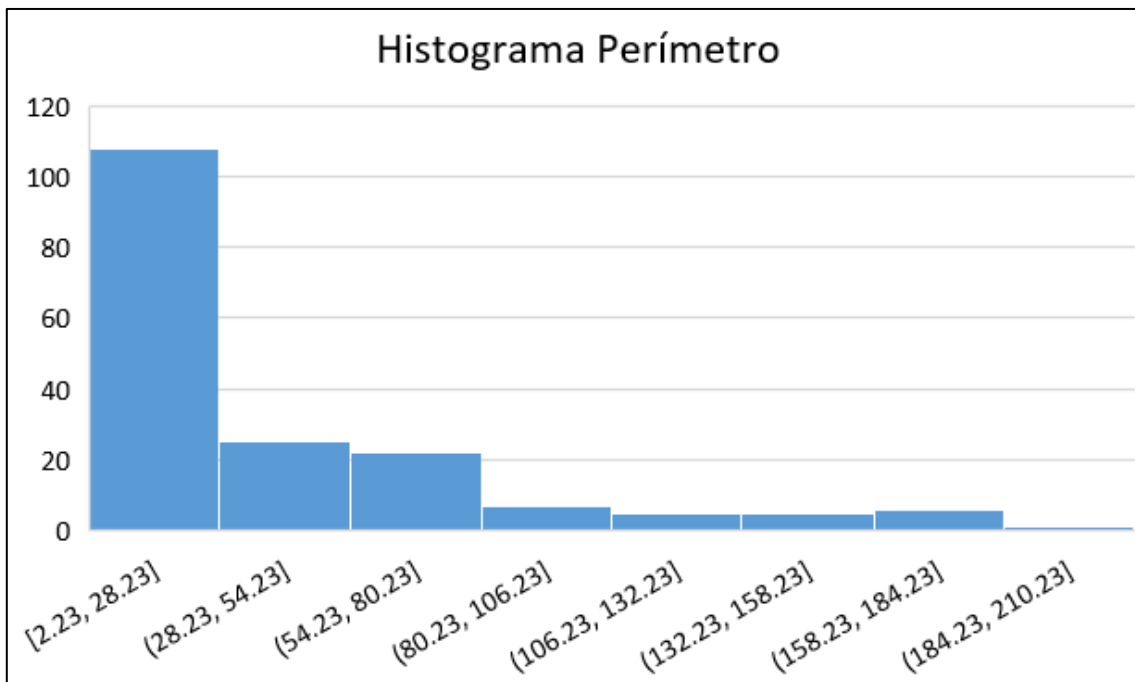
ANEXO 4. HISTOGRAMAS DE VARIABLES NUMÉRICAS





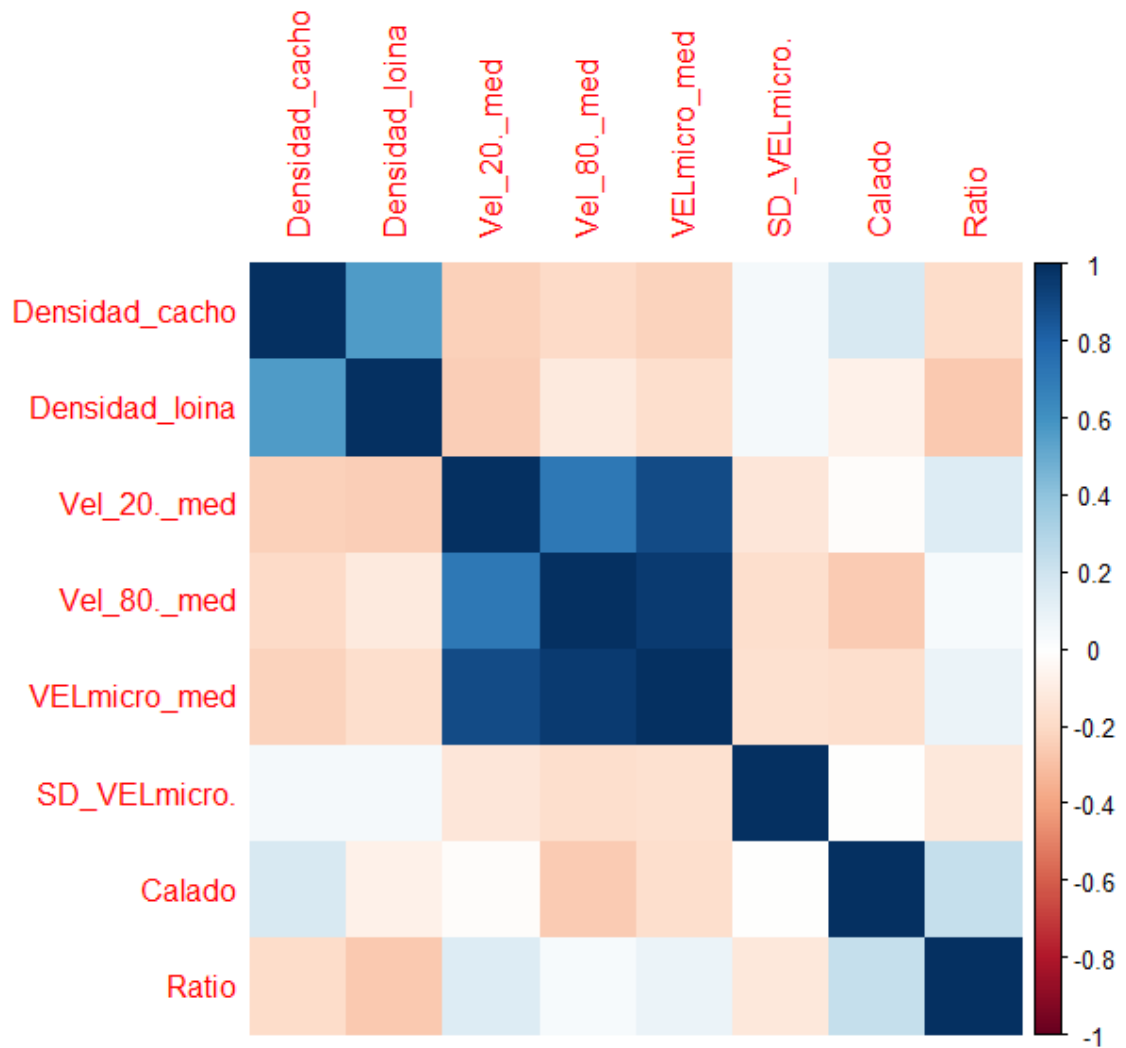




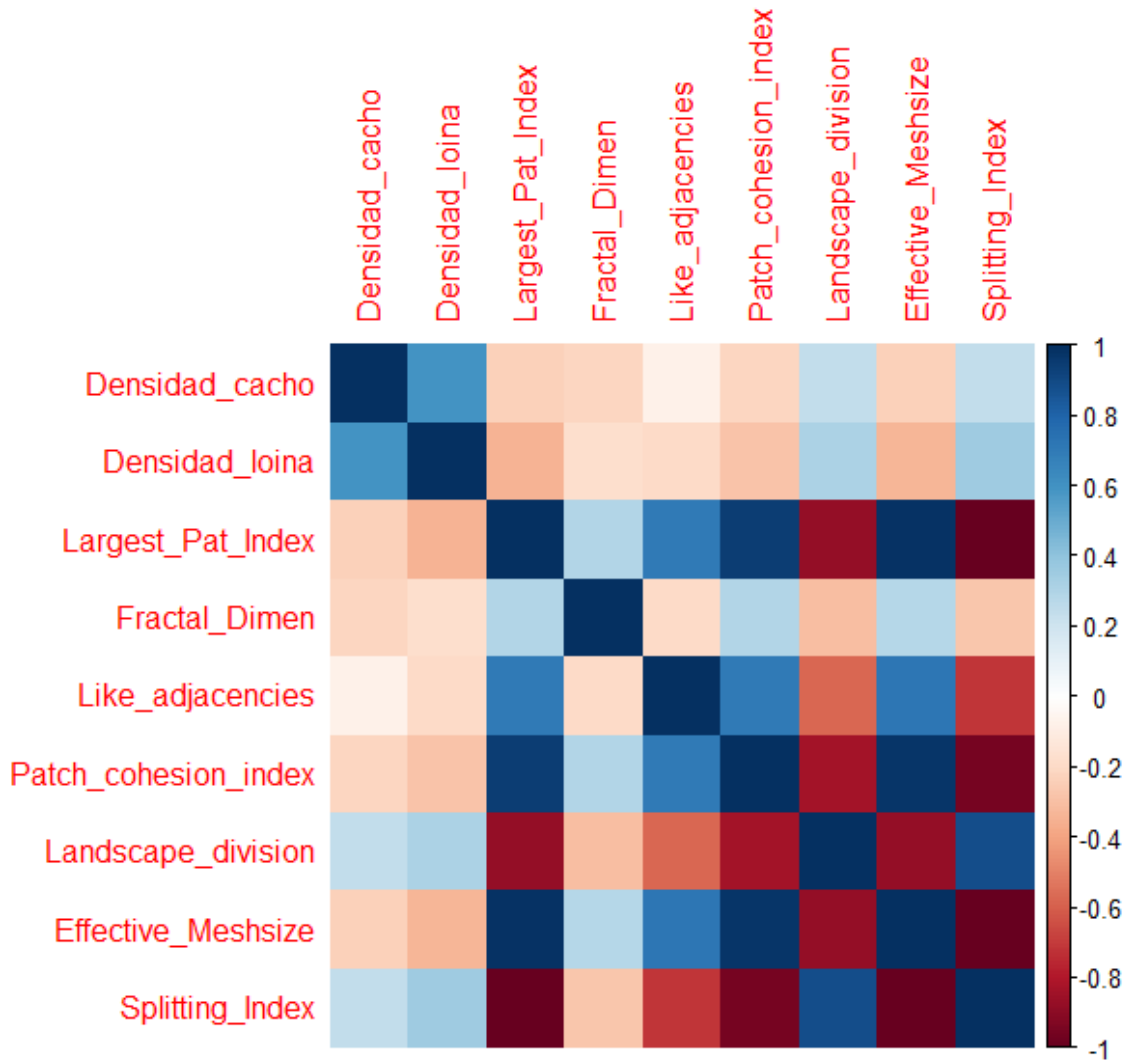


ANEXO 5. GRÁFICA DE LA MATRIZ DE SPEARMAN PARA LAS VARIABLES NUMÉRICAS

- Grafica de la matriz de Spearman para las variables numéricas con las densidades.

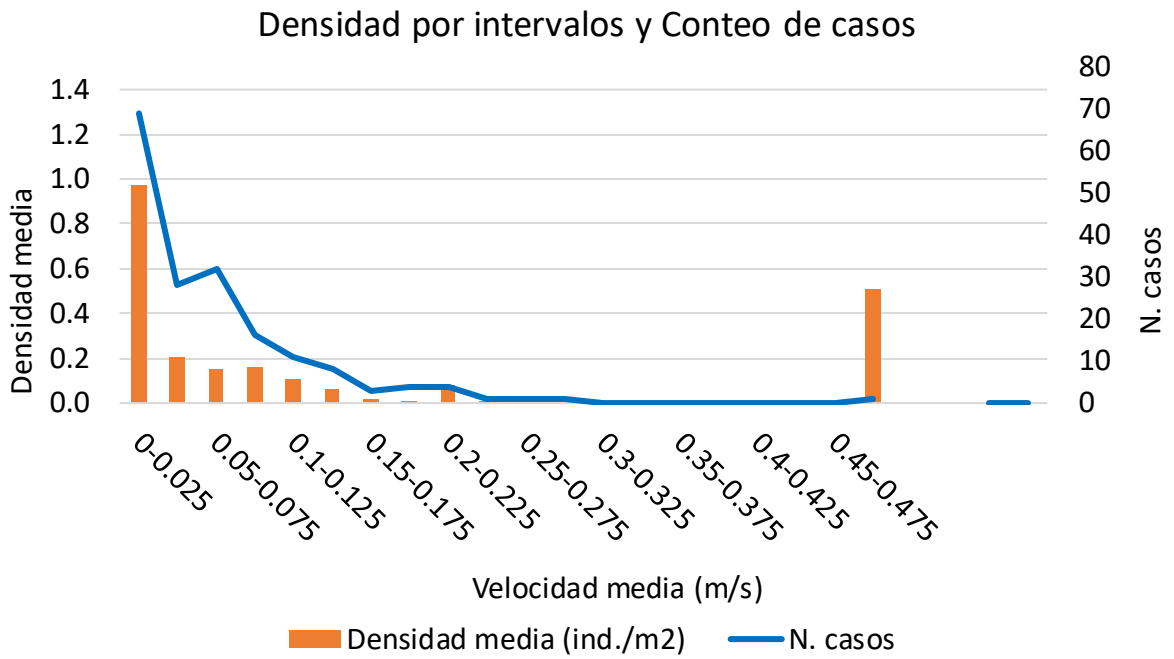


- Grafica de la matriz de Spearman para las variables de fragmentación con las densidades.

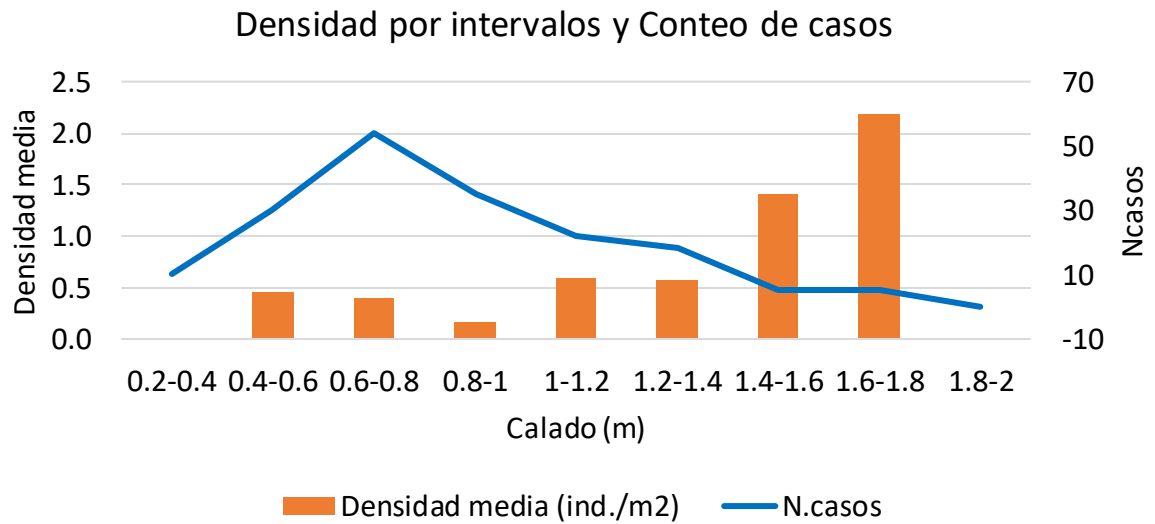


ANEXO 6. HISTOGRAMAS DE COLUMNAS DE LAS CURVAS DE IDONEIDAD.

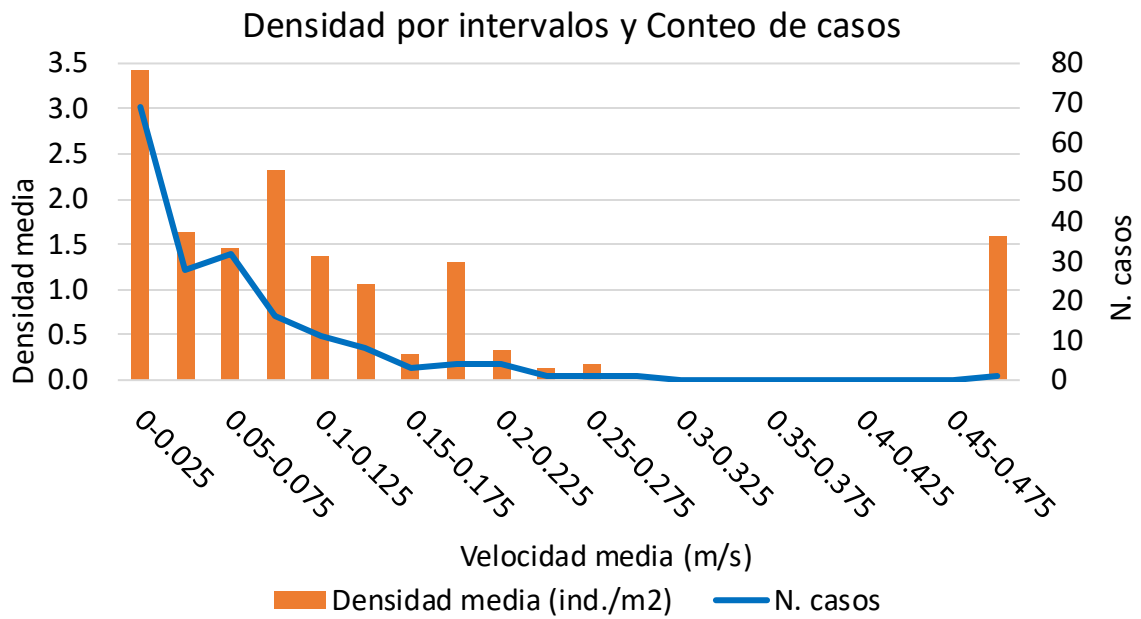
➤ Histograma para la velocidad media del cachuelo



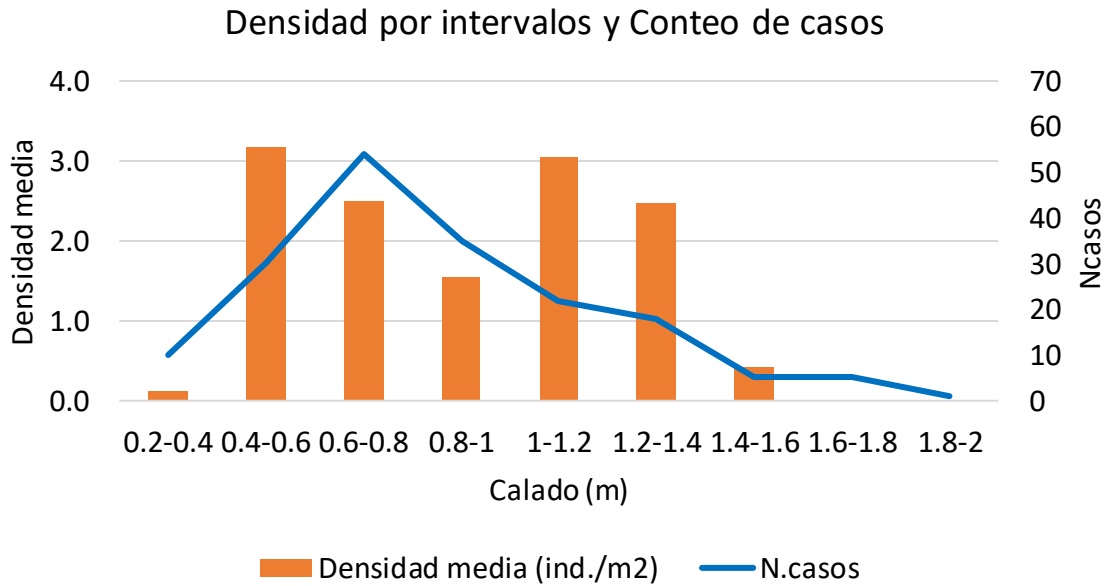
➤ Histograma de profundidades para el cachuelo



➤ Histograma para la velocidad media para la loína



➤ Histograma de profundidades para la loína



ANEXO 7. GALERIA DE IMAGENES









