

Trabajo Fin de Máster

EVALUACIÓN DEL HÁBITAT FÍSICO Y CAUDALES ECOLÓGICOS EN EL RÍO SERPIS, MUNICIPIO DE VILLALONGA (VALENCIA, ESPAÑA)

**Intensificación: *ORDENACIÓN, RESTAURACIÓN Y GESTIÓN DE
CUENCAS***

Autor:

*JHOSELYN MILAGROS ARAMBURÚ
PAUCAR*

Tutor:

DR. FRANCISCO MARTÍNEZ CAPEL

Director Experimental:

DR. DANIELE TONINA

Septiembre, 2020



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

máster en ingeniería
hidráulica y medio ambiente
mihma

Resumen del Trabajo de Fin de Máster

| Datos del proyecto |
|---|
| Título del TFM en español: EVALUACIÓN DEL HÁBITAT FÍSICO Y CAUDALES ECOLÓGICOS EN EL RÍO SERPIS, MUNICIPIO DE VILLALONGA (VALENCIA, ESPAÑA) |
| Título del TFM en inglés: ASSESSMENT OF THE PHYSICAL HABITAT AND ENVIRONMENTAL FLOWS IN THE SERPIS RIVER, MUNICIPALITY OF VILLALONGA (VALENCIA, SPAIN) |
| Título del TFM en Valenciano: AVALUACIÓ DE L'HÀBITAT FÍSIC I CABALS ECOLÒGICS PER AL RIU SERPIS, MUNICIPI DE VILALLONGA (VALÈNCIA, ESPANYA) |
| Alumna: Jhoselyn Milagros Aramburú Paucar. |
| Tutor: Dr. Francisco Martínez Capel |
| Director Experimental: Dr. Daniele Tonina |
| Fecha de lectura: Septiembre, 2020 |

Resumen

El presente estudio de evaluación del hábitat físico y caudales ecológicos fue desarrollado en el tramo medio del río Serpis, que pertenece a la Confederación Hidrográfica del Júcar, ubicado en Villalonga, Comarca de La Safor, Valencia (España). El cual tuvo por objetivo, evaluar la evolución del hábitat físico para tres especies piscícolas, una especie nativa, cachuelo valenciano (*Squalius valentinus*) y dos especies exóticas invasoras, alburno (*Alburnus alburnus*) y perca sol (*Lepomis gibbosus*); en un contexto de la ocurrencia de una crecida, para un periodo de retorno entre 10 y 25 años. Este proceso fue desarrollado en un tramo de río a escala de mesohábitats (Suárez & Martínez, 2017), tomando como base una de las fases técnicas incluidas dentro de la metodología IFIM (*Instream Flow Incremental Methodology*) que es la Simulación del Hábitat Físico (SHF); mediante la aplicación de simulación hidráulica y modelos de idoneidad del hábitat, en función de las variables hidráulicas a fin de obtener sus respectivas curvas de hábitat potencial útil - caudal (HPU-Q), Área Idónea (AI) e Índice medio de Idoneidad del Hábitat (HSI). Cuyos resultados mostraron que los cambios ocurridos en la morfología del tramo generaron impactos positivos en las condiciones de hábitat, especialmente para el cachuelo valenciano (*Squalius valentinus*), dándole una mayor ventaja competitiva frente a las otras dos especies analizadas. Dichas ventajas se expresan en un incremento promedio del 46% del hábitat potencial útil (HPU) y del área idónea (AI), en todos los caudales simulados al pasar de pre-crecida a post-crecida, Además el índice medio de idoneidad del hábitat (HSI) del cachuelo valenciano, se incrementó alcanzando valores superiores a 0.7, este es un indicador de que la especie puede desarrollarse plenamente. Adquiriendo ventaja respecto al área idónea (AI), sobre el alburno (*Alburnus alburnus*) y perca sol (*Lepomis gibbosus*) en un 45% y 142%, respectivamente. El alburno (*Alburnus alburnus*), también se vio beneficiada, incrementando sus valores de hábitat potencial útil para todos los caudales analizados (HPU-Q),

así como en su área idónea (AI); evidenciando su versatilidad de adaptación y por ende fácil expansión (Martínez Capel, y otros, 2018). En cuanto al perca sol (*Lepomis gibbosus*), esta especie exótica invasora, fue la más perjudicada con los cambios producidos por la ocurrencia de la crecida. Por tanto, se concluye que, la ocurrencia de una crecida influye directamente como un agente restaurador de los hábitats acuáticos, y en la conservación de la especie nativa y endémica de la Comunidad Valenciana.

Resumen en valenciano

El present estudi d'avaluació de l'hàbitat físic i cabals ecològics va ser desenvolupat en el tram mitjà del riu Serpis, que pertany a la Confederació Hidrogràfica del Xúquer, situat a Vilallonga, Comarca de La Safor, València (Espanya). Aquest va tindre per objectiu avaluar l'evolució de l'hàbitat físic per a tres espècies piscícoles, una espècie nativa, cachuelo valencià (*Squalius valentinus*) i dues espècies exòtiques invasores, alburn (*Alburnus alburnus*) i perca sol (*Lepomis gibbosus*); en un context de l'ocurrència d'una crescuda, per a un període de retorn entre 10 i 25 anys. Aquest procés va ser desenvolupat en un tram de riu a escala de mesohàbitats (Suárez & Martínez, 2017), prenent com a base una de les fases tècniques incloses dins de la metodologia IFIM (Instream Flow Incremental Methodology) que és la Simulació de l'Hàbitat Físic (SHF); mitjançant l'aplicació de simulació hidràulica i models d'idoneïtat de l'hàbitat, en funció de les variables hidràuliques a fi d'obtindre les seues respectives corbes d'hàbitat potencial útil - cabal (HPU-Q), Àrea Idònia (AI) i Índex mitjà d'Idoneïtat de l'Hàbitat (HSI). Els seus resultats van mostrar que els canvis ocorreguts en la morfologia del tram van generar impactes positius en les condicions d'hàbitat, especialment per al cachuelo valencià (*Squalius valentinus*), al qual li donaren un major avantatge competitiu enfront de les altres dues espècies analitzades. Aquests avantatges s'expressen en un increment mitjà del 46% de l'hàbitat potencial útil (HPU) i de l'àrea idònia (AI), en tots els cabals simulats en passar de pre-crescuda a post-crescuda. A més l'índex mitjà d'idoneïtat de l'hàbitat (HSI) del cachuelo valencià, es va incrementar aconseguint valors superiors a 0.7, el que és un

indicador que l'espècie pot desenvolupar-se plenament, adquirint avantatge respecte a l'àrea idònia (AI), sobre l'alburn (*Alburnus alburnus*) i perca sol (*Lepomis gibbosus*) en un 45% i 142%, respectivament. L'alburn (*Alburnus alburnus*), també es va veure beneficiat, ja que van incrementar els seus valors d'hàbitat potencial útil per a tots els cabals analitzats (HPU-Q), així com en la seua àrea idònia (AI); el que evidencia la seua versatilitat d'adaptació i per tant fàcil expansió (Martínez Capel et al., 2018). Quant al perca sol (*Lepomis gibbosus*), aquesta espècie exòtica invasora, va ser la més perjudicada amb els canvis produïts per la crescuda. Per tant, es conclou que, l'ocurrència d'una crescuda influeix directament com un agent restaurador dels hàbitats aquàtics, i en la conservació de l'espècie nativa i endèmica de la Comunitat Valenciana.

Resumen en inglés

The present study of evaluation of the physical habitat and ecological flows was developed in the middle section of the Serpis River, which belongs to the Júcar Hydrographic Confederation, located in Villalonga, La Safor Region, Valencia (Spain). The objective of this project was to evaluate the evolution of the physical habitat for three fish species, a native species, *Squalius valentinus* and two invasive exotic species, *Alburnus alburnus* and *Lepomis gibbosus*, in the context of a flooding event, for a return period of between 10 and 25 years. This process was developed in a mesohabitat-scale river tract (Suárez & Martínez, 2017) The project is based on one of the technical phases included in the IFIM methodology (*Instream Flow Incremental Methodology*), which is the Physical Habitat Simulation (SHF); through the application of hydraulic simulation and habitat suitability models, depending on the hydraulic variables in order to obtain their respective useful potential habitat curves - flow (HPU-Q), Ideal Area (AI) and Average Habitat Suitability Index (HSI). The results showed that the changes in the morphology of the stretch generated positive impacts on the habitat conditions, especially for the Valencian Cachuelo (*Squalius valentinus*), giving it a greater competitive advantage over the other two species analyzed. These advantages are expressed in an average increase of 46% of the useful potential habitat (HPU) and the ideal area (AI), in

all the simulated flows when going from pre-growth to post-growth. In addition, the average index of habitat suitability (HSI) of the Valencian Cachuelo, increased reaching values higher than 0.7, this is an indicator that the species can fully develop. Acquiring advantage over the ideal area (AI), on the alburnum (*Alburnus alburnus*) and sun perch (*Lepomis gibbosus*) by 45% and 142%, respectively. The alburnum (*Alburnus alburnus*), also benefited, increasing its potential habitat values useful for all the analyzed flows (HPU-Q), as well as in its ideal area (AI); evidencing its adaptation versatility and therefore easy expansion (Martínez Capel, y otros, 2018). As for the sun perch (*Lepomis gibbosus*), this invasive exotic species was the most affected by the changes produced by the occurrence of the flood. Therefore, it is concluded that the occurrence of a flood directly influences as a restoring agent of aquatic habitats, and the conservation of native and endemic species of the Valencian Community.

Palabras clave español (máximo 5): Caudales ecológicos, ecohidráulica, hábitat potencial útil, modelación hidráulica, simulación del hábitat físico

Palabras clave valenciano (máximo 5): Cabals ecològics, ecohidráulica, hàbitat potencial útil, modelatge hidràulic, simulació de l'hàbitat físic

Palabras clave inglés (máximo 5): Environmental flows, ecohydraulics, weighted usable area, hydraulic modelling, physical habitat simulation.

ÍNDICE

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUCCIÓN | 9 |
| 1.1. ANTECEDENTES | 11 |
| 1.2. NORMATIVA ASOCIADA..... | 14 |
| 2. OBJETIVOS..... | 15 |
| 2.1. OBJETIVO GENERAL..... | 15 |
| 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 15 |
| 3. DESCRIPCIÓN DEL ÁMBITO DE ESTUDIO | 16 |
| 3.1. UBICACIÓN | 16 |
| 3.2. MEDIO FÍSICO | 17 |
| 3.3. MEDIO FLUVIAL..... | 19 |
| 3.4. SISTEMA HIDRÁULICO DE LA CUENCA BAJA DEL SERPIS | 20 |
| 3.5. MEDIO SOCIAL | 22 |
| 3.6. IMPORTANCIA AMBIENTAL DEL TRAMO DE ESTUDIO | 23 |
| 4. MATERIALES Y MÉTODOS | 25 |
| 4.1. SELECCIÓN DEL TRAMO DE ESTUDIO..... | 27 |
| 4.2. TOPOGRAFÍA | 29 |
| 4.3. HIDROMETRÍA | 31 |
| 4.4. ELABORACIÓN DEL MODELO DE ELEVACIÓN DEL TERRENO (DEM) | 31 |
| 4.5. MODELACIÓN HIDRÁULICA 2D | 32 |
| 4.6. VUELOS FOTOGRAMÉTRICOS Y GENERACIÓN DE ORTOFOTOS | 32 |
| 4.7. SIMULACIÓN DEL HÁBITAT FÍSICO PARA ESPECIES PISCÍCOLAS | 34 |
| 4.8. EVALUACIÓN DEL HÁBITAT FÍSICO..... | 38 |

| | | |
|------------|--|-----------|
| 4.9. | EVALUACIÓN DE CAUDALES ECOLÓGICOS | 39 |
| 5. | RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 40 |
| 5.1. | SELECCIÓN DEL TRAMO DE ESTUDIO..... | 40 |
| 5.2. | TOPOGRAFÍA E HIDROMETRÍA..... | 41 |
| 5.3. | MODELO DE ELEVACIÓN DEL TERRENO (DEM) | 43 |
| 5.4. | MODELACIÓN HIDRÁULICA | 46 |
| 5.5. | SIMULACIÓN DEL HÁBITAT FÍSICO PARA ESPECIES PISCÍCOLAS | 54 |
| 5.6. | EVALUACIÓN DEL HÁBITAT FÍSICO..... | 57 |
| 5.7. | EVALUACIÓN DE CAUDALES ECOLÓGICOS | 62 |
| 6. | CONCLUSIONES | 64 |
| 7. | LINEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN..... | 66 |
| 8. | AGRADECIMIENTOS..... | 67 |
| 9. | BIBLIOGRAFÍA | 69 |
| 10. | ANEXO | 72 |

1. INTRODUCCIÓN

La gestión de los caudales ambientales se presenta como un medio para mantener la resiliencia de los ecosistemas y la biodiversidad, de modo que proporcione los flujos de agua necesarios para mantener en cantidad y calidad los ecosistemas de agua dulce y de estuario, en coexistencia con la agricultura, la industria y los núcleos urbanos (Arthington, 2012). En este contexto, los caudales ecológicos son esenciales para la salud de los ecosistemas de agua dulce y el bienestar humano, tal como se hace referencia en la Declaración de Brisbane (2007).

En España, el establecimiento de los caudales ecológicos se encuentra regulado por normativa, establecido por el Real Decreto 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley de Aguas (TRLA); Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional; por la Ley 11/2005, de 22 de julio, por la que se modifica la Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional y por el Real Decreto 907/2007, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Planificación Hidrológica (RPH). Además, la Instrucción de Planificación Hidrológica (IPH), aprobada por la Orden ARM/2656/2008, desarrolla los contenidos de la normativa y define la metodología de aplicación. En la confederación Hidrográfica del Júcar, mediante su Plan Hidrológico (2015 - 2021) se establece un régimen de caudales ecológicos, a partir de la clasificación de regiones hidroclimáticas y estos a su vez, en sistemas de explotación cuyo estudio se realiza por tramos de río representativos.

En el sistema de explotación del Serpis, la Confederación Hidrográfica del Júcar utilizó tres tramos de estudio de caudales ecológicos, denominados Cocentaina, Beniarrés y Villalonga, éste último mediante simulación en 1 dimensión. En aquel momento no se escogió ningún tramo entre el inicio del Barranc del Infern (Lorcha) y el azud de Encarroz. Este tramo ha sido objeto del presente estudio, en el que se realizó, mediante simulación bi-dimensional, la evaluación del hábitat físico y caudales ecológicos para tres especies piscícolas, una especie nativa, cachuelo valenciano (*Squalius valentinus*) y dos especies exóticas

invasoras, alburno (*Alburnus alburnus*) y perca sol (*Lepomis gibbosus*). Éste trabajo se ha cubierto doblemente, ya que en el contexto de ocurrencia de varias DANAs, se elaboró un modelo antes de una crecida (periodo de retorno entre 10 y 25 años), y otro después, y así se analizó el impacto en la morfología y el hábitat acuático en las etapas previa y posterior a la crecida, denominándolas como "pre-crecida" y "post-crecida". El tramo de río en estudio tiene 523 m de longitud y se encuentra dentro de la Confederación Hidrográfica del Júcar, ubicado en el Municipio de Villalonga, Comarca de La Safor, provincia de Valencia, España. Cabe resaltar que aproximadamente a 14 km aguas arriba del tramo en estudio se encuentra el embalse de Beniarrés y aproximadamente a 2 km aguas abajo el azud EnCarroz. Se destaca también que en la zona de estudio se realiza una extensa actividad agrícola, principalmente de cultivo de naranjo y otros cítricos.

La presente investigación tiene por objetivo evaluar el hábitat físico y caudales ecológicos antes y después de la ocurrencia de una crecida de tiempo de retorno entre 10 y 25 años, mediante la metodología de simulación del hábitat físico (ver sección de Objetivos). Esta metodología evalúa la cantidad y la idoneidad del hábitat para la especie o las especies prioritarias u objetivo, bajo diferentes caudales o regímenes de caudales, integrando información hidrológica, hidráulica y biológica (Papadaki *et al.*, 2015). Con ello se pretende dar a conocer el impacto positivo que tendrían las crecidas en el funcionamiento de los ríos, favoreciendo las condiciones de habitabilidad de especies piscícolas y macroinvertebrados (Vimos *et al.*, 2019) mediante la reorganización de la distribución del hábitat y el flujo hiporreico, así como el aumento de la complejidad del lecho del río, su conectividad lateral y vertical que repercutirá en el mantenimiento y renovación de los ecosistemas en el sistema del Serpis.

1.1. Antecedentes

A continuación, se hace breve mención de algunas referencias que han sido básicas para desarrollar este estudio. Las citas (disponibles en la sección Bibliografía) se han abreviado para reducir la extensión del texto.

De Miguel Gallo, et al. (2019) Habitat evaluation for the endangered fish species *Lefua echigonia* in the Yagawa River, Japan. En el presente artículo se elaboró el modelo de idoneidad de hábitat, basado en curvas de idoneidad, para ello el autor realizó una simulación hidráulica unidimensional clásica (método de cálculo hidráulico del paso estándar) con el software de caudales ecológicos SEFA. En el presente estudio se elaboraron las primeras curvas de idoneidad de hábitat para adultos de la especie en peligro de extinción *Lefua echigonia*, siendo esto a su vez fundamental dentro del estudio de caudales ecológicos.

Martínez Capel, et al. (2018) Adaptación al cambio global: gestión integral del régimen ecológico de caudales para el hábitat de la anguila europea y el cacho valenciano frente a especies invasoras. En este informe se realizó la simulación del hábitat físico mediante la aplicación de simulación hidráulica y de modelos de idoneidad del hábitat, en un segmento del río Serpis. Donde se evaluó el impacto de diferentes caudales en el hábitat disponible para las especies nativas, tales como la anguila europea (*Anguilla anguilla* L.1758) y el cachuelo valenciano (*Squalius valentinus* Droadrio & Carmona, 2006) y para especies exóticas invasoras como el alburno (*Alburnus alburnus* L.1758) y la perca sol (*Lepomis gibbosus* L.1758). Asimismo, realizaron la evaluación del solapamiento de los hábitats idóneos de dichas especies frente a caudales circulantes.

Rodrigues da Costa, et al. (2015) Application of the physical habitat simulation for fish species to assess environmental flows in an Atlantic Forest Stream in South-eastern Brazil. En el presente estudio se realizó la simulación del hábitat físico de la Metodología IFIM, mediante la aplicación de

modelos hidráulicos e índices de idoneidad de especies de peces, el cual tuvo como objetivo evaluar los efectos ecológicos de los caudales en tres especies de peces neotropicales de diferentes órdenes (*Bryconamericus ornaticeps*, *Ancistrus multispinis* y *Geophagus brasiliensis*).

Martínez Capel (2013) Modelación de idoneidad del hábitat y simulación del hábitat físico: escalas de aplicación para el régimen ecológico de caudales en ríos. En el presente documento se da a conocer la metodología e importancia de modelos de idoneidad, que son el factor más crítico ya que podría aportar la mayor variabilidad a los resultados, y de la simulación del hábitat físico a escala de microhábitat, mesohábitat y a escala de cuenca.

Tonina, D. y K. Jorde (2013) Hydraulic modeling approaches for ecohydraulic studies: 3D, 2D, 1D and non-numerical models. Este capítulo de libro trata sobre el modelado hidráulico para predecir las propiedades del flujo utilizadas en la ecohidráulica, abarcando un modelado de hábitat acuático 1D, 2D y 3D, la evolución ecológica y la interacción entre el flujo y los organismos. Realiza también una comparativa del rendimiento del modelo, en cuanto a la rugosidad, considerando una rugosidad de Manning constante para todo el tramo en estudio y tomando la rugosidad de Manning de manera distribuida para todo el tramo en estudio.

García Rivera, J.A. (2013) Análisis comparativo de modelos ecohidráulicos 1D y 2D para la evaluación de caudal ecológico. En este Trabajo de Fin de Máster se realizó un estudio de caudales ecológicos en el río Rivera (Palencia) aplicando la metodología PHABSIM, en la que se comparó los resultados obtenidos a partir de la metodología aplicada con la modelación hidráulica 1D y 2D.

Martínez Capel, et al. (2012) Habitat suitability modelling at mesohabitat scale and effects of dam operation on the endangered Júcar Nase, *Parachondrostoma arrigonis* (River Cabriel, Spain). En el presente estudio se desarrolló un modelo de idoneidad de hábitat (HSM) multivariado para

la especie *Parachondrostoma arrigonis*, especie es endémica de la cuenca del río Júcar (España), con el objetivo de su uso para evaluar los caudales ambientales y escenarios de gestión del agua para el río Cabrel.

Martínez Capel (2011) Modelos de Idoneidad de Microhábitat para el estudio del Régimen Ecológico de Caudales. En este artículo se presentan las características básicas de los modelos de idoneidad de microhábitat (o *habitat suitability models*, HSM), y como se obtienen. Detallando las variables de hábitat físico consideradas, los conceptos y enfoques de trabajo para el desarrollo de funciones de idoneidad, las categorías de funciones de idoneidad, las metodologías para la obtención de funciones de idoneidad de microhábitat, la selección del tramo de muestreo y el muestreo del uso del microhábitat. Estos modelos son parte fundamental y tienen gran incidencia en los resultados de los estudios de caudales ecológicos.

Alcaraz Hernández, D. et al. (2011) Mesohabitat heterogeneity in four mediterranean streams of the Jucar river basin (Eastern Spain). El presente artículo presenta el análisis de las unidades hidromorfológicas o mesohábitats llevado a cabo en cuatro ríos mediterráneos de cabecera, en función de su longitud, anchura, profundidad media y máxima, porcentaje de sustrato y volumen de cada mesohábitat, durante un periodo continuo de cuatro años 2003-2006; destacando en sus resultados la importancia de diferenciar los distintos tipos de hábitats lentos en los inventarios de mesohábitat, y la importancia de evaluar las clasificaciones de los mesohábitats en estudios de eco-hidromorfología e hidrobiología, especialmente los desarrollados en ríos mediterráneos.

Martínez Capel, et al. (2009) "Factores de degradación de las poblaciones de Loina (*Parachondrostoma arrigonis*) y el estado actual de su hábitat actual en la cuenca del río Júcar (2006-2008)" En el presente informe se explican los métodos para el estudio de las condiciones del hábitat físico, desarrollado a escala de mesohábitat (unidades hidromorfológicas) y de

microhábitat que tienen aplicación directa a los estudios de régimen de caudales ecológicos.

1.2. Normativa asociada

Directiva Marco del Agua (DMA), Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de octubre de 2000 en la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas, así como las recomendaciones de la Guía *Groundwater Status and Trend Assessment* (European Commission, 2008).

Instrucción de Planificación Hidrológica (IPH) que fue aprobada por Orden ARM/2656/2008, de 10 de septiembre, en la que se estipula lo siguiente, "el régimen de caudales ecológicos se establecerá de manera que permita mantener de forma sostenible la funcionalidad y estructura de los ecosistemas acuáticos y de los ecosistemas terrestres asociados, contribuyendo a alcanzar el buen estado o potencial ecológico en ríos o aguas de transición. Estableciendo que para cumplir con dichos objetivos el régimen de caudales ecológicos deberá cumplir los requisitos siguientes:

- a) Proporcionar condiciones de hábitat adecuadas para satisfacer las necesidades de las diferentes comunidades biológicas propias de los ecosistemas acuáticos y de los ecosistemas terrestres asociados, mediante el mantenimiento de los procesos ecológicos y geomorfológicos necesarios para completar sus ciclos biológicos.
- b) Ofrecer un patrón temporal de los caudales que permita la existencia, como máximo, de cambios leves en la estructura y composición de los ecosistemas acuáticos y hábitat asociados y permita mantener la integridad biológica del ecosistema.

Plan Hidrológico del Júcar 2015-2021, aprobado con el Real Decreto 1/2016 de 08 de enero 2016, en el que se desarrolla la caracterización del régimen de caudales ecológicos, el cual se extiende a todas las masas de agua superficial clasificadas en la categoría de ríos y aguas de transición".

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Evaluar el hábitat físico antes y después de una crecida, mediante modelación del hábitat físico bi-dimensional, para tres especies piscícolas, en el tramo del río Serpis en el Municipio de Villalonga, Valencia (España).

2.2. Objetivos específicos

- Identificar el tramo en estudio y sus unidades hidromorfológicas o mesohábitats, así como su representatividad, mediante el mapeo de hábitat en campo ("habitat mapping") a escala de mesohábitat.
- Representar el hábitat físico del tramo en estudio mediante la construcción del modelo de elevación digital (DEM), y las mediciones topográficas e hidráulicas de campo, así como la modelación bi-dimensional de sus condiciones hidráulicas.
- Realizar la evaluación del hábitat físico para tres especies piscícolas, una nativa, cachuelo valenciano (*Squalius valentinus*) y dos exóticas invasoras, alburno (*Alburnus alburnus*) y perca sol (*Lepomis gibbosus*), antes y después de una crecida relevante para su morfología.

3. DESCRIPCIÓN DEL ÁMBITO DE ESTUDIO

3.1. Ubicación

El tramo de estudio se encuentra dentro del ámbito de la Confederación Hidrográfica del Júcar, específicamente ubicado en el Municipio de Villalonga, Comarca de La Safor, provincia de Valencia, España (Ver Figura Nº1, 2 y Mapa Nº1 (Anexo 6). Está localizado entre las coordenadas Este (X: 740671), Norte (Y:4307923) aguas arriba y Este (X: 741228), Norte (Y: 4308131) aguas abajo. Concretamente abraza un tramo situado aguas arriba de la "presa" o vado de coches de Villalonga.



Figura Nº 1: Vista de la localización de la zona de estudio en la base gráfica SIA Júcar (<https://aps.chj.es/siajucar/>)



Figura Nº 2: Fotografía del tramo de estudio. Fotografía de fecha 16/06/2020

3.2. Medio físico

La zona de estudio presenta un clima mediterráneo característico, que destaca por su pronunciada irregularidad estacional, presentando periódicamente lluvias torrenciales, que tienen mayor incidencia en otoño, que se contrastan con las sequías estivales. Eventualmente, se presentan crecidas muy violentas, generalmente de corto tiempo de duración, pero alta intensidad pudiendo provocar daños importantes, tal como se describe en el libro "Les Riberes del Serpis" (Garófano Gómez, Martínez Capel, & Delgado Artés, 2009).

En la zona de estudio se presenta como sustrato dominante los sedimentos fluviales, tales como, grava, arena y limo. La vegetación predominante son los densos cañaverales monoespecíficos (*Convolvuletum sepium*), zarzales (*Rubus ulmifolius*) (Figura N°3), aguas abajo del tramo de estudio encuentran ejemplares de chopo (*Populus nigra*) y de olmo (*Ulmus minor*).

En esta zona se presentan aguas lentas, con un bajo poder erosivo el cual contribuye a los procesos de sedimentación, siendo común visualizar sedimentos acumulados y la formación de barras en el cauce, tal como se muestra en la Figura N°4.



Figura N° 3: Fotografía del tramo de estudio, se muestra los densos cañaverales y zarzales. Fotografía de fecha 29/12/2019

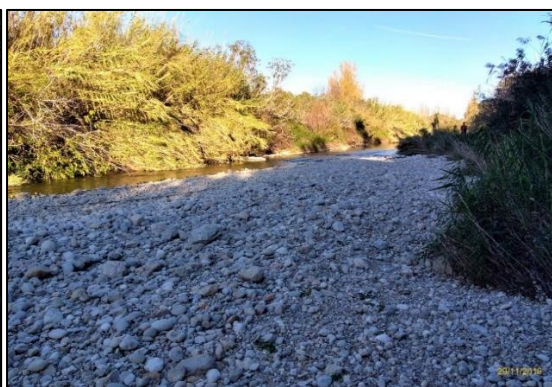


Figura N° 4: Fotografía del tramo de estudio, se muestra la formación de barras en el cauce. Fotografía de fecha 29/11/2019

3.2.1. Precipitación

Según el plan hidrológico del Júcar (2015-2021), la precipitación intranual presenta una distribución temporal muy heterogénea, registrándose precipitaciones intensas en otoño, las que podrían conllevar a episodios torrenciales, denominadas como "gota fría" o DANA (Carranza Alcalde, 2017), y en verano las precipitaciones son prácticamente inexistentes.

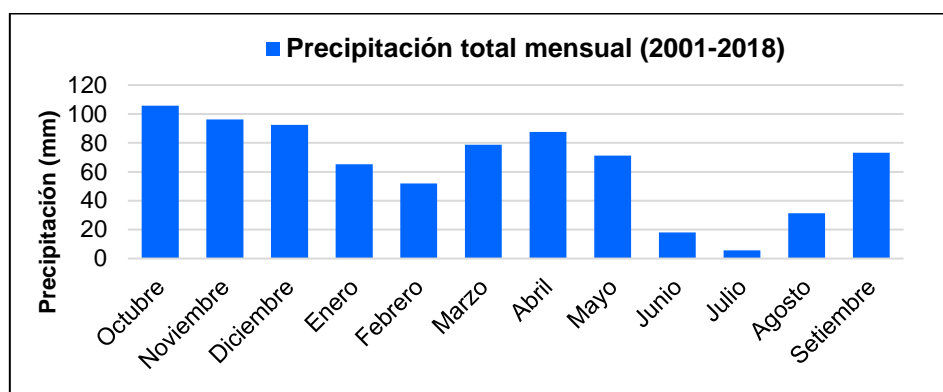


Figura Nº 5: Precipitación total mensual (2001-2018) de la Red SIAR (<http://riegos.ivia.es/datos-meteorologicos>)

3.2.2. Temperatura

La temperatura media mensual en el ámbito de estudio varía entre los 11.2°C y 26.1°C, para verano e invierno respectivamente. Las temperaturas máximas se presentan para el mes de agosto alcanzando en promedio 30.9°C y en invierno 6.4°C correspondiente para el mes de enero.

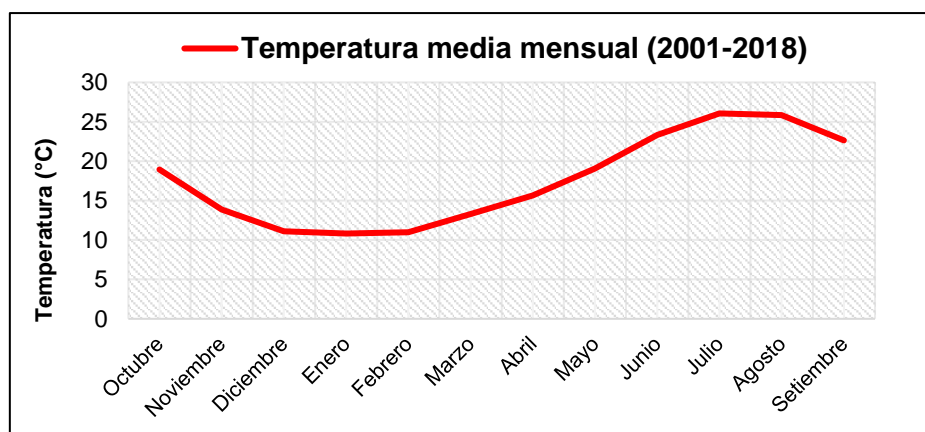


Figura Nº 6: Temperatura media mensual (2001-2018) según datos de la Red SIAR (<http://riegos.ivia.es/datos-meteorologicos>)

3.3. Medio fluvial

El río Serpis es un río mineralizado de baja montaña, de tipo permanente, de corta longitud (74.5 km.) y gran desnivel en su recorrido, cuya cuenca es pequeña (752.8 km²) con un caudal irregular y escaso. A partir de Villalonga, el río presenta una pendiente baja, por encontrarse dentro de la llanura de sedimentación cuaternaria. (Garófano Gómez, Martínez Capel, & Delgado Artés, 2009).

El tramo de estudio presenta una pendiente longitudinal de 0.0035% y se encuentra entre dos infraestructuras de regulación, aguas arriba del tramo de estudio aproximadamente a 14 km se encuentra el embalse de Beniarrés y aproximadamente a 2 km aguas abajo se encuentra el azud de EnCarroz (Figura N°7).

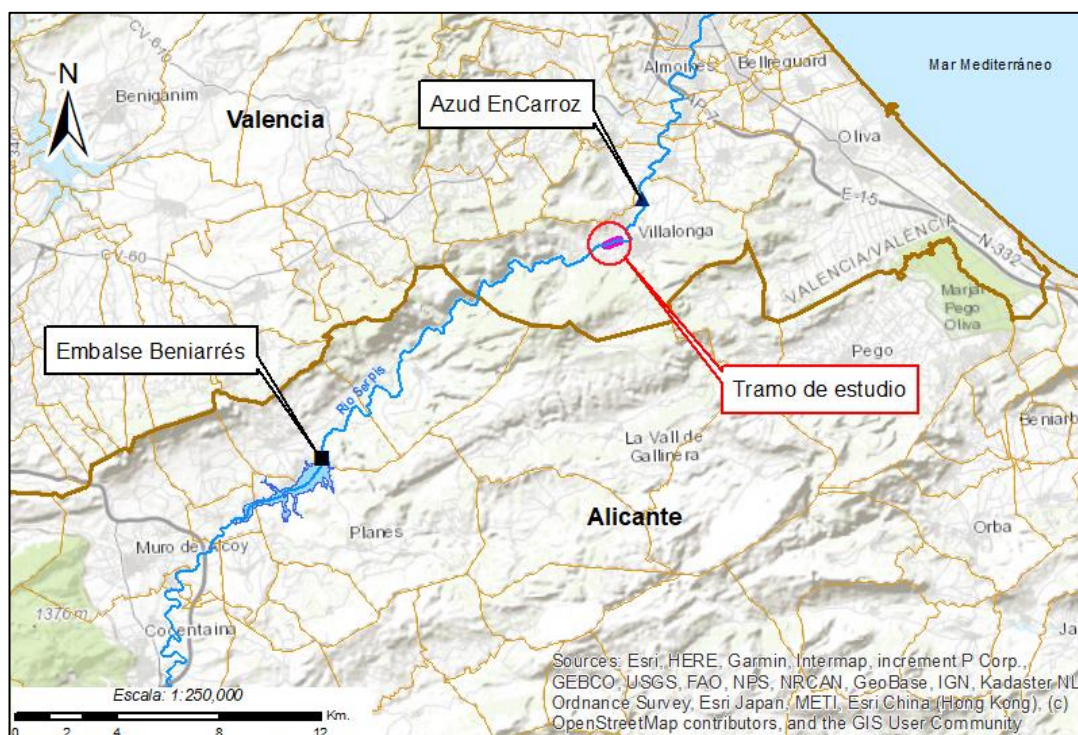


Figura N° 7: Vista del tramo de estudio respecto al embalse Beniarrés (aprox. 14 km aguas abajo) y del azud de EnCarroz (aprox. 2km aguas arriba)

3.3.1. Análisis de caudales

En este trabajo se analizan las condiciones del hábitat antes y después de una crecida cuya punta alcanzó los 240 m³/s (caudal medio diario) en el Azud de EnCarros (valor estimado sumando el dato de aforo y 1 m³/s estimado en la compuerta de fondo). Según datos de caudales horarios aportados por la Confederación Hidrográfica del Júcar, el caudal superó los 300 m³/s entre las 20h del 20 de enero y las 10 h del 21 de febrero, alcanzando un pico horario de 325 m³/s. El caudal de 240 m³/s corresponde, según las fichas del ARPSI (Áreas con riesgo potencial significativo de inundación, 2º ciclo de planificación), a un periodo de recurrencia entre 10 y 25 años. Para dicha estimación se utilizó una proporción entre el área de cuenca vertiente en la desembocadura en Gandía y la del río Serpis antes de la entrada del río Vernissa. Esto aportó unos valores estimados de $Q_{10} = 173 \text{ m}^3/\text{s}$ y un $Q_{25} = 445 \text{ m}^3/\text{s}$.

Además, se realizaron varios ajustes de distribuciones de caudal punta anual con los datos disponibles revisados por el CEDEX en la estación de aforo 7081 (río Serpis en el Barranc del Infern), para un periodo de 19 años (1999-2017); dichos ajustes presentaban una alta incertidumbre debido a la ausencia de datos mayores de 111 m³/s (caudal de 1 día máximo anual de 2017). El modelo LogNormal, fue el que mejor se ajustó, ya que indicaba para el caudal punta en el Azud de EnCarroz (240 m³/s) un periodo de recurrencia aproximado de 132 años (Anexo 2). Este resultado está muy por encima de las estimaciones basadas en los estudios del ARPSI, pero nos indica que el periodo de recurrencia está probablemente muy cerca de los 25 años.

3.4. Sistema hidráulico de la cuenca baja del Serpis

El sistema de explotación del Serpis cuenta con recursos convencionales y no convencionales; los elementos de dicho sistema se describen en el Anexo 06 del Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar (2015-2021) y es representado mediante un esquema conceptual que se muestra en la Figura N°8.

El embalse de Beniarrés se constituye como la principal infraestructura de regulación de este sistema, el cual tiene una capacidad máxima de 26.5 hm³ y un volumen mínimo de 5 hm³, las conducciones de transporte de redes de distribución de demanda agrícola (UDA) y sus conducciones para reutilización (canales Bajos del Serpis) fueron consideradas también en este sistema.

En cuanto a las aportaciones, se describen tres, "Aportación Beniarrés", que representa a las aportaciones entre el tramo de cabecera hasta el embalse de Beniarrés (31.6 hm³/año), "Aportación Barranco Encantada", representan las aportaciones del Barranco de la Encantada y de la Cuenca intermedia del Serpis entre el embalse de Beniarrés y Reprimala (14.2 hm³/año) y la "Aportación Vernissa", representa las aportaciones del río Vernissa (10.8 hm³/año), estas aportaciones para el periodo 1940-2008.

La aportación total media del sistema en régimen natural según el modelo PATRIARCAL, en el período completo 1940/41 – 2011/12, es de 199.1 hm³/año, una máxima de 551.2 hm³/año y mínima de 40.9 hm³/año .

En cuanto al retorno y la reutilización, se llevan a cabo de la UDA de los canales altos del Serpis que vuelven al río en las proximidades de la confluencia del río Vernissa, parte de estos retornos pueden ser aprovechados por la UDA de los canales bajos del Serpis

Además, consideran dos elementos acuíferos, el primero de ellos denominado Plana de Gandía (080.152) que corresponde a la masa de agua subterránea del mismo nombre y el segundo denominado Ador (080.154) - Almirante Mustalla (080.162) que engloba el agua de la Sierra de Ador y Almirante Mustalla. Los acuíferos mencionados se destinan al suministro de riego de los Canales Bajos del Serpis. Asimismo, las filtraciones son representadas en el tramo final del Serpis considerando un volumen constante de filtración de 0.5 hm³/mes.

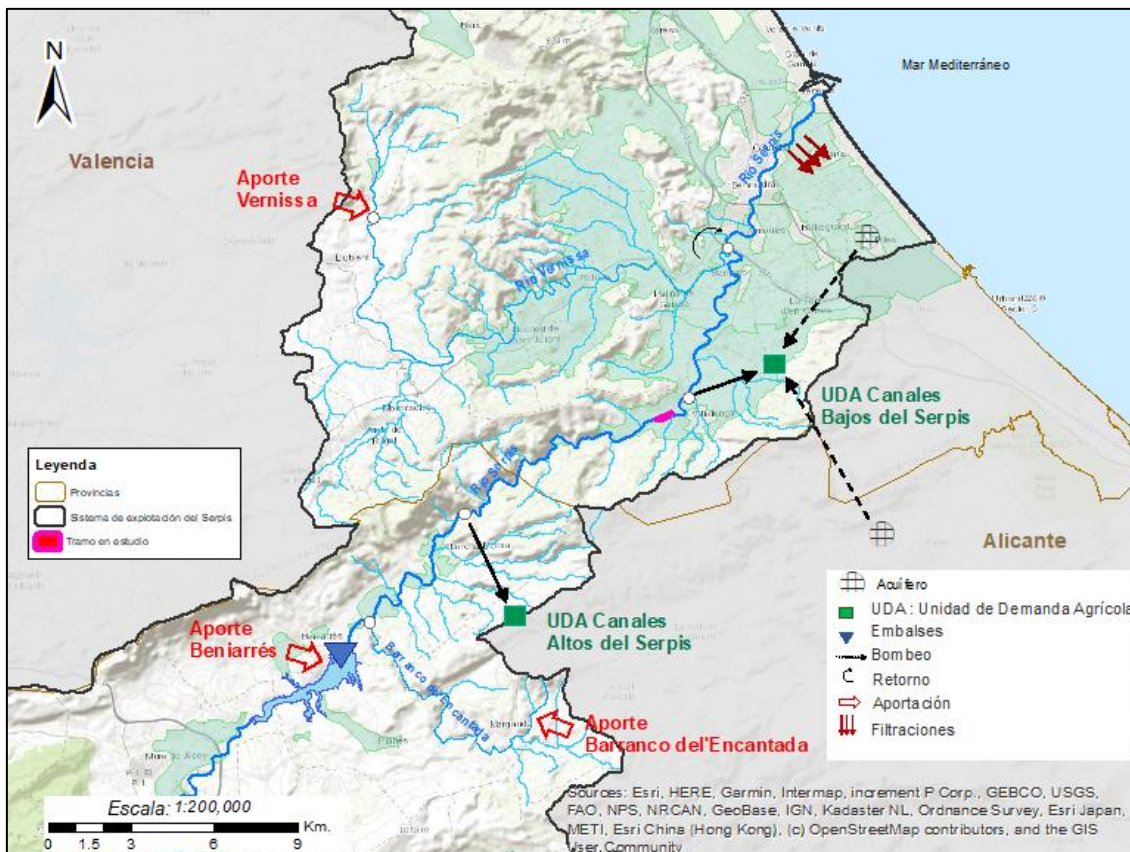


Figura N°8: Esquema conceptual del sistema de explotación del Serpis. (Confederación Hidrográfica del Júcar, 2015)

3.5. Medio social

El sistema de explotación del Serpis cuenta, según el PHJ cuenta con una población permanente de 248.285 habitantes, en la que se destaca la actividad agrícola principalmente de cultivo de naranja y otros cítricos.

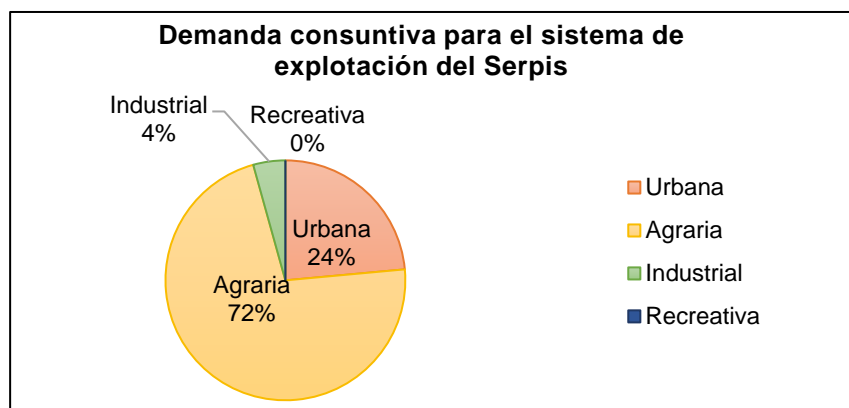


Figura N°9: Demanda consuntiva del sistema de explotación del Serpis. Fuente: Plan Hidrológico del Júcar 2015-2021.

3.6. Importancia ambiental del tramo de estudio

El tramo de estudio se encuentra en la cuenca media del río Serpis, aguas abajo del embalse de Beniarrés (aproximadamente a 14 km), por lo que el régimen de caudales viene establecido por la regulación que realiza esta infraestructura. El tramo de estudio se enmarca dentro de un régimen alterado de caudales. Sin embargo, éste debe estar en concordancia con los objetivos de la instrucción de planificación hidrológica (IPH), la cual establece que el régimen de caudales ecológicos debe proporcionar las condiciones adecuadas de hábitat y patrones temporales de caudales, que permita satisfacer las necesidades, renovación y mantenimiento de las diferentes comunidades biológicas propias del ecosistema acuáticos y de los ecosistemas terrestres asociados.

En este contexto, en el presente estudio consideramos una de las especies autóctonas y endémicas de Valencia que habita el tramo medio del río Serpis, hacemos referencia al *Squalius valentinus*, también conocido como "cachuelo valenciano", o localmente como "madrilla"; esta especie además de habitar un río con un régimen alterado de caudales, se enfrenta a diversas especies exóticas invasoras que también viven en este tramo y además se adaptan con facilidad a las condiciones del medio, tal como, el *Alburnus alburnus* (Linnaeus, 1758) con el nombre común de "Alburno" y el *Lepomis gibbosus* (Linnaeus, 1758) cuyo nombre común es "perca sol" o "pez sol". Estas especies se encuentran incluidas en el Catálogo Español de Especies Exóticas Invasoras aprobado por Real Decreto 630/2013 con fecha 03 de agosto 2013, que según sus fichas descriptivas ALBALB/EEI/PE001 y LEPGIB/EEI/PE010 respectivamente, del catálogo antes mencionado. La primera de ellas compite potencialmente por espacio y alimento, y podría transmitir parásitos a otras especies nativas de ciprínidos, y la segunda representa una grave perturbación para las comunidades nativas de peces, por su voracidad depredadora, y desplaza a otras especies por competencia interespecífica por los recursos alimenticios y por el hábitat. Cabe resaltar que esta última también está considerada como una especie exótica preocupante para la Unión Europea.

Por tanto, es de fundamental importancia la conservación de las especies nativas, como el cachuelo valenciano (*Squalius valentinus*) que habita en el tramo de estudio y representa un endemismo de la Demarcación Hidrográfica del Júcar, que actualmente presenta una tendencia poblacional decreciente, y que desde el 01 de enero del 2008 se encuentra en la Lista Roja de la Unión para la conservación de la Naturaleza (UICN) en condición de "Vulnerable" (Freyhof & Kottelat, 2008).

4. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio de evaluación del hábitat físico y caudales ecológicos en el tramo del río Serpis, fue desarrollado tomando como base una de las fases técnicas incluidas dentro de la metodología IFIM (*Instream Flow Incremental Methodology*) que es la Simulación del Hábitat Físico (SHF), método que fue aplicado en un contexto de la ocurrencia de una crecida con un tiempo de retorno entre 10 y 25 años; mediante la aplicación de simulación hidráulica y modelos de idoneidad del hábitat, en función de las variables hidráulicas, a fin de determinar sus respectivas curvas hábitat potencial útil (HPU) - caudal, para tres especies piscícolas, una nativa, cachuelo valenciano (*Squalius valentinus*) y dos exóticas invasoras, alburno (*Alburnus alburnus*) y perca sol (*Lepomis gibbosus*). Lo antes descrito se llevó a cabo en tres etapas: planificación, trabajo de campo y trabajo de gabinete, tal como se muestra en la Figura N°10.

A continuación, se mencionan de modo sucinto los equipos empleados en el transcurso de este trabajo, desde el inicio del trabajo en el verano de 2019 hasta finalizar en septiembre de 2020.

Equipos:

- Estación total: marca FOIF MOD RT5670-680 (China), con el que se realizó el levantamiento topográfico del cauce y orillas, incidiendo a zonas inaccesibles para el levantamiento topográfico con GPS diferencial, debido principalmente por la escasa cobertura entre la densa vegetación (cañas y zarzales principalmente).
- GPS diferencial: marca PREXISO G5 RTK de Leica (Alemania), mediante el cual se llevó a cabo el levantamiento topográfico con corrección en tiempo real (RTK) del cauce y orillas del tramo de estudio en su totalidad, el cual estuvo sujeto a la disponibilidad satélites de cobertura GPRS.

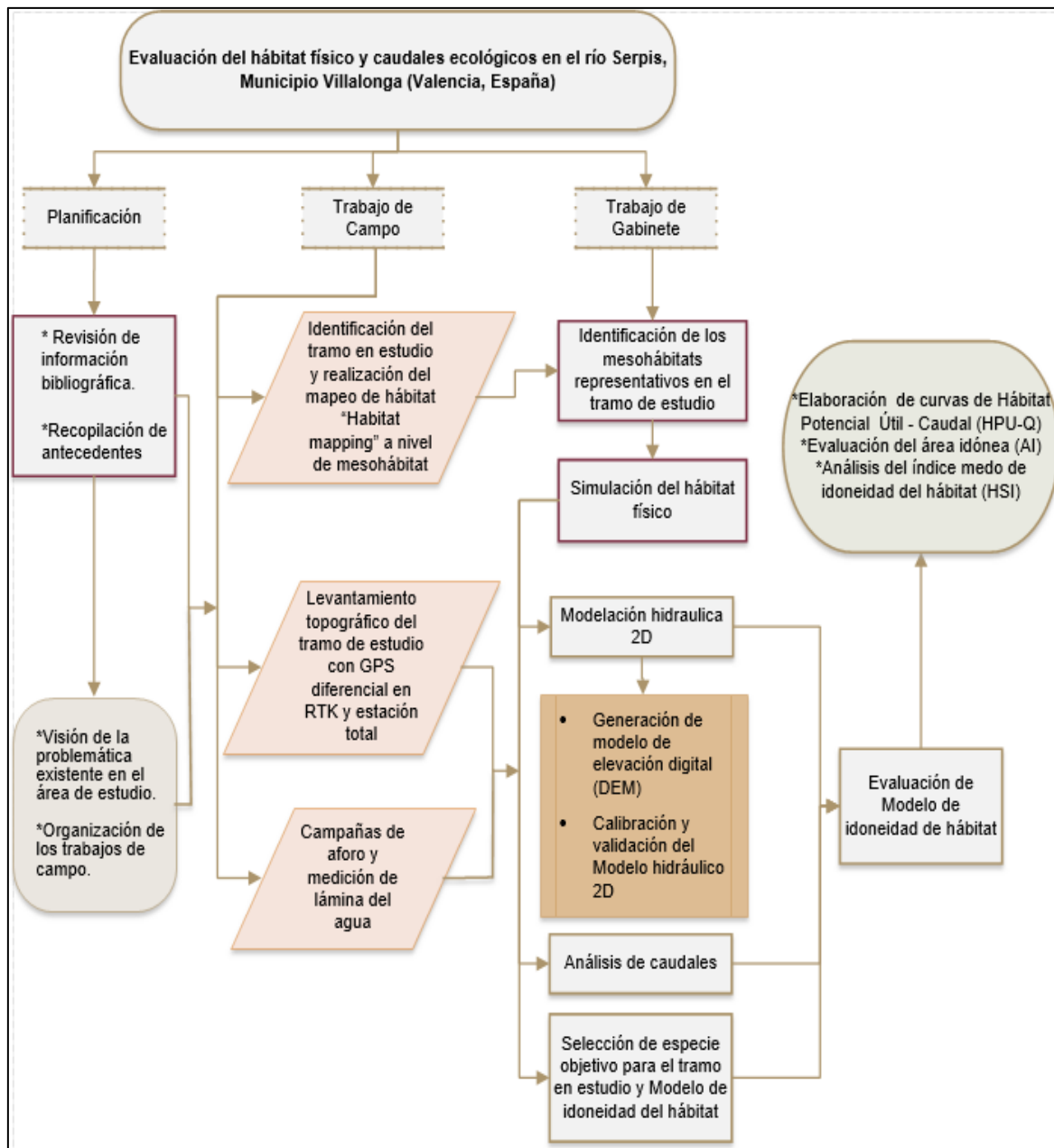


Figura Nº 10: Proceso metodológico aplicado para la evaluación del hábitat físico y caudales ecológicos en el tramo de río en estudio.

- Correntímetro electromagnético: marca Valeport®, con precisión 0.001 m/s, utilizado para realizar las campañas de aforo.
- Dron Phantom 4 Pro (dirigido por un piloto acreditado), con el que se realizaron vuelos fotogramétricos, modelos digitales del terreno y ortofotos digitales del tramo.

- Distanciómetro láser Disto Leica: utilizado para la medición de la longitud entre transectos.
- Cámara fotográfica: utilizada para el registro de los trabajos de campo.
- Computadora personal: Sistema operativo de 64 bits, Core i7 (9na generación)-975H, procesador 2.60 GHz 2.59 GHz, tarjeta de video Nvidia GeForce GTX 16 series. Utilizada para el procesamiento de la información en el trabajo de gabinete.

Materiales:

- Varilla graduada: utilizado para medir la profundidad o calado de la lámina del agua.
- Cinta métrica: utilizada para medir los transectos de los mesohábitat identificados, así como también en las campañas de aforo.
- Barras de acero corrugado: utilizada para marcar los transectos en las campañas de aforo.
- Libreta de campo y lápiz 2b: utilizada para recoger la data de campo, principalmente en la campaña de aforo.

4.1. Selección del tramo de estudio

El tramo de estudio fue seleccionado por su importancia ambiental, representatividad de mesohábitats y ubicación aguas abajo de una infraestructura de regulación, el embalse de Beniarrés (Villalonga), criterio que va en concordancia con lo planteado en el Plan Hidrológico del Júcar (2015-2021).

4.1.1. Clasificación de unidades hidromorfológicas o mesohábitats

Fue realizado en base a los enfoques "Estimación visual" o "*Basinwide Visual Estimation Technique (BVET)*" también conocido como "*Habitat mapping*" planteado por Hankin y Reeves (1988) y "*Transect – Based Sampling*", el primero consiste en dividir el tramo seleccionado en base a la identificación de

los tipos de hábitats, mediante un estimado visual con apoyo de un profesional experto y el segundo en realizar transectos perpendiculares al flujo en el que se registre las variables hidráulicas de anchura media, profundidad media o calado medio.

Tabla Nº 1: Tipos de Mesohábitats basado en (Alcaráz Hernández, Martínez Capel, Peredo Parada, & Hernández Mascarell, 2011)

| Tipos de mesohábitats | Características | Fotografía de campo |
|------------------------------|--|--|
| Poza (P) | 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. |  |
| Tabla (T) | 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 en ningún momento alcanza los 0.6 m, siendo aproximadamente regular en la dimensión transversal. |  |
| Corriente (C) | Zonas con pendientes moderadas, poco profundas, con rizaduras superficiales, velocidades del agua media (> 0.4 m/s) y sustrato y granulometría media, con predominio de gravas y gravillas. |  |
| Rápido (R) | Aguas someras con velocidades mayores que la media del tramo, con abundantes turbulencias superficiales, elementos de sustrato grueso que sobresalen del agua y predominio del flujo supercrítico. |  |

Para la identificación de los mesohábitats presentes en el tramo de estudio, se tomó como referencia los conceptos descritos en el artículo "*Mesohabitat heterogeneity in four mediterranean streams of the Júcar river basin (Eastern Spain)*" (Alcaráz Hernández, Martínez Capel, Peredo Parada, & Hernández Mascarell, 2011) que a continuación se describen en la tabla N°1.

La identificación de las unidades hidromorfológicas o mesohábitats, se realizó bajo el enfoque "*Basinwide Visual Estimation Technique*" o "*Habitat mapping*" (Dolloff, Hankin, & Reeves, 1992), esto consistió en realizar un recorrido de aproximadamente 900 metros por el cauce del río, registrando por medición directa sus variables hidráulicas (Martínez Capel, Factores de degradación de las poblaciones de Loina (*Parachondrostoma arrigonis*) y el estado de su hábitat actual en la cuenca del río Júcar (2006-2008), 2009), dichas variables se describen a continuación:

- **Anchura media (m):** calculada como la media de cuatro mediciones tomada a 1/5, 2/5, 3/5 y 4/5 de su longitud, que fue medido con cinta métrica graduada en centímetros.
- **Longitud (m):** tomada como la medida tomada entre dos transectos desde el centro de cada uno, esto se realizó con un distanciómetro láser.
- **Profundidad media del cauce(m):** calculada como la media de veinte puntos correspondientes a las medidas tomadas a 1/6, 2/6, 3/6, 4/6, y 5/6 de la longitud de cada transecto en el que se tomó la medida de la anchura media. Realizado con el uso de una varilla graduada en centímetros.

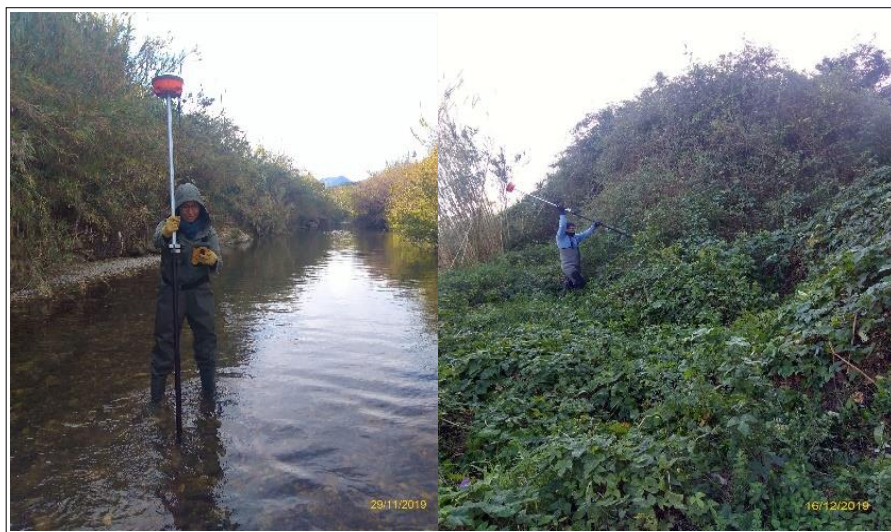
4.2. Topografía

El levantamiento topográfico se realizó a lo largo de todo el tramo de estudio (cauce y orillas), mediante estación total y GPS diferencial. Con estación total se utilizó el método de trisección inversa y con el GPS diferencial (Base y Rover conectados por comunicación móvil GPRS) y mediante el registro de la información (ondas emitidas por los satélites) que cumpliera los parámetros de toma de información continua en posición fija (RTK Fijo), 08 satélites como

mínimo y PDOP menor a 2.4. La toma de datos fue cada 1mx1m (cada un paso) tanto con la estación total como con el GPS diferencial, que conllevó largas jornadas de trabajo de campo que fueron realizadas aproximadamente 08 horas/día durante 15 días, entre el 25 de noviembre al 23 de diciembre del 2019. La información recabada en el trabajo de campo fue las coordenadas de ubicación y su altitud (X: Este, Y: Norte y Z: Altitud), en todo el tramo de estudio; categorizándola como Bed (cauce), Bank (orillas o márgenes), Rock (rocas, medidas en base y corona), Break line (líneas de rotura o cambios abruptos de pendiente) y pista (data de la carretera adyacente la margen izquierda del tramo).



Figura N.º 11: Levantamiento topográfico con estación total. Fotografías de fecha noviembre 2019



*Figura N.º 12: Levantamiento topográfico con GPS diferencial.
Fotografías de fecha noviembre y diciembre 2019*

4.3. Hidrometría

El caudal fue medido utilizando el método directo de área velocidad, que consiste en medir mediante fajas verticales, la velocidad y profundidad, en una sección transversal de la corriente previamente definida. El caudal que pasa por dicha sección transversal se determina a partir del cálculo del caudal que pasa por cada una de las subsecciones en la que se divide dicha sección transversal. En cada subsección, no debería pasar más del 10% del caudal estimado que pasaría por toda la sección. Es importante complementar dicho trabajo con la medición de la cota de la lámina del agua a lo largo del tramo, ya que es necesaria para calibrar el modelo hidráulico, por lo que dicha medición deberá ser lo más preciso posible.

4.4. Elaboración del modelo de elevación del terreno (DEM)

El modelo de elevación digital fue llevado a cabo mediante el software de sistemas de información geográfica, Arcgis, mediante el cual se realizó el tratamiento de la data recogida en el trabajo de campo. Toda la data cruda en formato de punto (x,y,z) se transformó a formato shapefile (.shp) para su ingreso y trabajo en el programa. Ya en el programa se verificó que la distribución de la data recogida (puntos) se distribuya de manera homogénea en todo el tramo.

Se verificó las zonas diferenciadas de cauce (bed), orillas(bank) y rocas(rock); así como también las líneas de rotura y la zona de carretera (pista) para posteriormente generar una malla de triangulación, TIN (*Triangular Irregular Network*), las superficies trianguladas se visualizaron en 3D, mediante el ArcScene, a fin de verificar que las superficies generadas a partir de la triangulación (considerando líneas de rotura) representen la morfología visualizada en campo, con ello, finalmente se procedió a generar el modelo de elevación digital (DEM).

4.5. Modelación hidráulica 2D

Este es uno de los pasos más significativos para la evaluación del hábitat físico, ya que mediante la modelación hidráulica se pretende representar la morfología del terreno y simular con diferentes caudales las condiciones hidráulicas determinantes (velocidad y profundidad) del tramo en estudio. Este proceso se llevó a cabo con el uso del software libre de sistema de análisis de ríos HEC-RAS, del Centro de Ingeniería Hidrológica (CEIWR-HEC) del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de EE. UU.

Para la modelación hidráulica se trabajó con el modelo digital de elevaciones (DEM) en formato "tiff", el valor "n" de rugosidad de Manning, el valor del caudal (m^3/s) obtenido de las campañas de aforo y la elevación de la lámina del agua, medido para todo el tramo en estudio (fundamental en el proceso de calibración).

Se inició con la calibración del modelo hidráulico, mediante el análisis del perfil de velocidades y la data de la elevación de la lámina del agua tomada en campo para la campaña de aforo con caudal más alto (Díez Hernández & Martínez de Azagra, 2004), y para la validación se utilizó la campaña de aforo con caudal más bajo.

4.6. Vuelos fotogramétricos y generación de ortofotos

Para llevar a cabo este estudio se utilizó el Phantom 4 Pro con su cámara RGB de 20 Megapíxeles y una pulgada de tamaño de sensor. Con esta aeronave es posible llevar a

cabo vuelos de unos 28 minutos aproximadamente por cada set de baterías. Debido a la elevada resolución de la cámara y los tiempos de vuelo que este equipo nos ofrece pudimos realizar vuelos a una altura de 35 metros sobre el nivel del terreno obteniendo una resolución espacial en torno al centímetro en las imágenes capturadas.

Se realizaron campañas mensuales desde julio de 2019 a febrero de 2020 para conseguir observar el comportamiento geomorfológico, así como el hábitat ripario. Sin embargo, en este trabajo se decidió finalmente utilizar únicamente las dos ortofotos para observar los cambios de hábitats en las dos campañas más cercanas a los caudales de calibración de los dos modelos hidráulicos, antes y después de la crecida.

El proceso de georreferenciación de los modelos requirió de la distribución de aproximadamente 35 puntos de apoyo y control a lo largo del tramo de río de estudio en cada campaña mensual. Las marcas codificadas empleadas como puntos de apoyo y control fueron generadas a través de la herramienta correspondiente del software Agisoft PhotoScan Pro. A la hora de distribuir las marcas fue necesario su visibilidad e identificación claras en las diferentes imágenes tomadas desde el dron. La medición de las coordenadas de los puntos de apoyo y control se llevó a cabo por medio del GPS diferencial mencionado anteriormente. Este dispositivo dispone de comunicación vía internet con la red de estaciones GPS permanentes de la Comunidad Valenciana (ERVA). Esto nos permitió medir cada punto con precisiones del orden del centímetro, dotando a nuestros modelos finales de una mayor exactitud.

En cada campaña mensual, una vez fijados en el terreno y medidos los puntos de apoyo y control, se definieron los parámetros fotogramétricos para el vuelo programado y se llevó a cabo el vuelo de la zona de estudio. Con esto conseguimos fijar unos parámetros de vuelo fijos y reproducibles de forma recurrente en cada campaña, permitiendo una mejor comparativa e interpretación sucesiva de los modelos generados.

Los datos recogidos en las correspondientes campañas fueron introducidos en el software Agisoft PhotoScan Pro, con el que orientamos las imágenes capturadas y generamos los modelos digitales de elevaciones y los mosaicos de ortofotos georreferenciados dentro de un sistema de referencia global (WGS84)

4.7. Simulación del hábitat físico para especies piscícolas

La simulación del hábitat físico es un método basado en mediciones de campo, en la que se integra la morfología del cauce, la profundidad del agua, la velocidad, sustrato y refugio. Combinando el modelado hidráulico con el conocimiento de los requisitos de hábitat de las especies objetivo del estudio (Bovee, y otros, 1998), expresado en términos de idoneidad del hábitat. A partir de ello se infiere la relación entre la cantidad y calidad del hábitat para un determinado caudal en el tramo en estudio (Martínez Capel, y otros, 2018).

Dicha modelación se inicia con el cálculo de los índices de idoneidad para cada celda, caudal y organismo específico, a partir de los coeficientes correspondientes a los parámetros estudiados, que en el presente estudio son, profundidad, velocidad, sustrato y refugio (García Rivera & Díez Henández, 2013), estos "Índices de Idoneidad" se expresan con valores entre 0 y 1, donde 0 es no aceptable y 1 representa una máxima idoneidad (Martínez Capel, Modelos de Idoneidad de Microhábitat para el estudio del régimen Ecológico de Caudales, 2011). Todos estos índices se integran para todas las celdas mojadas ponderadas por su área correspondiente, y son resumidos en índices generales de hábitat, expresados como "Hábitat Potencial Útil (HPU)" que en inglés es conocido como WUA, del inglés *Weighted Useable Area*.

La simulación del hábitat físico fue realizada en un contexto de cambios en la morfología del tramo de estudio, es decir antes y después de la ocurrencia de una crecida (temporal "Gloria" ocurrido en enero del 2020) de tiempo de retorno entre 10 y 25 años, tal como se describe líneas arriba en el ítem 3.3.1.




En el presente estudio se trabajó con el cachuelo valenciano (*Squalius valentinus*), especie nativa y endémica de la Demarcación Hidrográfica del Júcar, que se encuentra en la categoría de "vulnerable" en la Lista Roja de la Unión para la conservación de la Naturaleza (UICN) (Freyhof & Kottelat, 2008). Asimismo, se consideró pertinente incluir en el estudio dos especies piscícolas exóticas invasoras, alburno (*Alburnus alburnus*) y perca sol (*Lepomis gibbosus*), que compiten por los recursos disponibles y que, en el caso del "perca sol"

depredan a la especie nativa reduciendo su población (Martínez Capel, y otros, 2018).

- **Especies piscícolas:**

Se trabajó con las especies que se describen a continuación en la Tabla N°2.

Tabla N° 2: Características de las especies piscícolas consideradas en el presente estudio. Fuente: Real Decreto 630/2013 (fichas descriptivas ALBALB/EEI/PE001 y LEPEGIB/EEI/PE010)

| | |
|---|--|
|  <p style="text-align: right;">cachuelo valenciano (<i>Squalius valentinus</i>)</p> | |
| Hábitat | Vive en ríos con aguas claras, con fondos de grava y ligera corriente. Representa un endemismo español. |
| Conservación | El 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 & Carmona, 2006). |
| Especies exóticas invasoras (Real Decreto 630/2013) | |
|  <p style="text-align: right;">alburno (<i>Alburnus alburnus</i>)</p> | |
| Hábitat | Vive en agua con temperatura de 18-20°C (tolera hasta 30°C). Prefiere aguas claras, bien oxigenadas, con algo de corriente. Madurez sexual desde el primer año. Freza de noviembre a mayo, sobre algas o gravilla. Introducida a ríos y embalses, con fácil adaptabilidad a las nuevas condiciones. |
| Impacto | Competencia interespecífica con otras especies de ciprínidos, tanto espacial como por alimento. Depreda pequeños ciprínidos, fácil hibridación con otras especies de ciprínidos. |
|  <p style="text-align: right;">perca sol (<i>Lepomis gibbosus</i>)</p> | |
| Hábitat | Muy ubiquista, con gran adaptación a vivir en charcas y zonas de escasa profundidad, por tanto, resistente en épocas estivales con caudales bajos. Omnívora oportunista, depredadora, entre otros de huevos, alevines y pequeños peces. Freza entre mayo y julio, con agua de temperatura superior a 16°C. |
| Impactos | Especie muy voraz, alta depredación hacia especies autóctonas, nociva para los ecosistemas acuáticos. Competencia interespecífica por hábitat y alimento. |

• **Régimen de caudales:**

El tramo en estudio presenta un régimen alterado de caudales, debido a la regulación ejercida por el Embalse de Beniarrés ubicado a aproximadamente 14 kilómetros aguas arriba. Por tanto, para representar las condiciones actuales se trabajó con la serie hidrológica de aportaciones de la estación 8071 en el barranco del Infierno del año hidrológico 1999-2017, revisados del CEDEX.

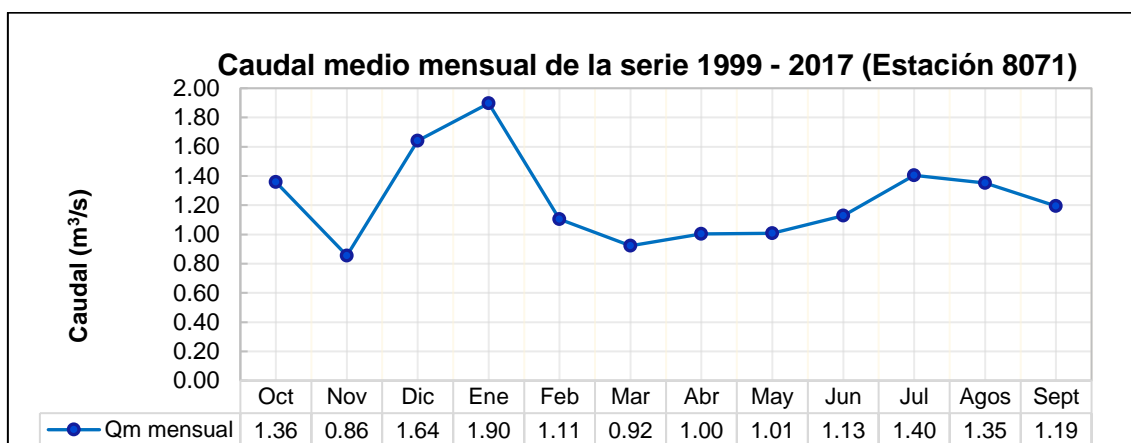


Figura Nº 13: Caudales medios mensuales para el periodo hidrológico 1999-2017, de la estación 8071 en el barranco del Infierno. Valores que fueron tomados para la modelación del hábitat físico en los escenarios pre y post-crecida.

La modelación de la idoneidad del hábitat físico fue realizada con los siguientes caudales representativos, el caudal medio anual (1.49 m³/s), el caudal que representa la mediana de los mínimos extremos (0.31 m³/s) y los caudales representativos de cada mes en un intervalo superior e inferior del 10% (Tabla Nº3), este análisis fue realizado en el programa IHA (*Indicators of Hydrologic Alteration*).

Tabla Nº 3: Caudales representativos del tramo de estudio, utilizados en la simulación del hábitat físico para la etapa pre-crecida y post-crecida.

| Caudal (m³/s) | Descripción |
|---------------|--|
| 0.31 | ⇒ Representa la mediana de los mínimos extremos |
| 1.49 | ⇒ Caudal medio anual ⇒ Representa octubre, diciembre, julio, agosto |
| 0.86 | ⇒ Representa noviembre y marzo |
| 1.9 | ⇒ Representa enero |
| 1.1 | ⇒ Representa febrero, abril, mayo, junio, septiembre |

- **Velocidad y profundidad:**

Los valores de velocidad y profundidad para el tramo en estudio fueron obtenidos de la simulación hidráulica realizada con el programa Hecras 5.0.7, para cada uno de los caudales representativos (Tabla N°3)

- **Sustrato:**

El sustrato fue clasificado "*de visu*" en base a una simplificación de la escala utilizada por la *American Geophysical Union* (Martínez Capel, y otros, 2018), tal como se muestra en la Tabla N°15. Esta clasificación fue resumida en un índice excluyente, representado con los valores de 0 (limo $\phi \leq 62 \mu m$), 3 (arena $62 \mu m > \phi \leq 2mm$), 4 (grava fina $2 > \phi \leq mm$), 5 (grava $8 > \phi \leq 64 mm$), 6 (cantos $64 > \phi \leq 256 mm$), 7 (bolos $\phi > 256 mm$) y 8 (roca madre, lecho continuo).

- **Refugio:**

El refugio constituye un factor importante para el desarrollo de vida acuática, que en el tramo de estudio lo proporciona la vegetación de ribera, brindando sombra, protección con su sistema radical y remansos utilizados como refugio por las ramas caídas en el cauce (García Rivera & Díez Henández, 2013).

En el presente estudio se trabajó con 6 tipos de elementos de refugio (cañas, cueva, madera, rocas, sombra y vegetación acuática) considerando todas las combinaciones posibles de presencia – ausencia de los diferentes tipos de refugio óptimo para cada especie, donde 0 representa ausencia de todos los refugios relevantes y 1, representa la presencia de al menos uno de los refugios relevantes (Martínez Capel, y otros, 2018).

4.7.1. Modelos de Idoneidad del hábitat físico

Los modelos de idoneidad del hábitat físico para las especies objetivo seleccionadas en el estudio, fueron basadas en reglas de lógica difusa, mediante la cual se evalúan las transiciones entre hábitats idóneos y no idóneos de una forma suavizada (Martínez Capel, y otros, 2018), cuyos resultados están expresados en funciones de pertenencia tipo π de tipo Takagi-Sugeno-Kang

(TSK) de orden cero (Takagi & M, 1985) en la que se trabaja con la idoneidad asociada a cada regla con su consecuente conjunto difuso, que viene expresado por 0 para no idóneo y 1 para idóneo, pudiendo obtenerse como resultado final valores comprendidos entre 0 y 1 (Martínez Capel, y otros, 2018). Estas funciones de pertenencia tipo π fueron desarrolladas para cada variable (velocidad, calado, sustrato y refugio) y especie, en la investigación "Adaptación al cambio global: gestión integral del régimen ecológico de caudales para el hábitat de la anguila europea y el cacho valenciano frente a especies invasoras", dirigida por Francisco Martínez Capel en el año 2018; cuyos resultados fueron tomados para el desarrollo del presente estudio.

4.8. Evaluación del hábitat físico

La evaluación del hábitat físico del tramo de estudio fue realizada en base de los resultados obtenidos a partir del análisis de la Idoneidad del Hábitat para cada especie y caudal considerado en el estudio, en pre y post crecida. Evaluación que se realizó mediante las curvas de Hábitat Potencial Útil – Caudal (HPU - Q) desarrolladas para la etapa pre y post crecida con cada especie y caudales de simulación, el cual se considera un indicador general de la cantidad y de la calidad del hábitat para un sitio de estudio y determinado caudal (Papadaki, y otros, 2015). Se analizó también el Área Idónea (AI) que representa el hábitat con idoneidad mayor o igual a 0.5 (aceptable), y además el Índice medio de Aptitud o Idoneidad del Hábitat (HSI, del inglés *Habitat Suitability Index*) que permite conocer el efecto de un determinado caudal sobre el valor medio de la calidad del hábitat y viene expresado con valores que varían entre 0 y 1, donde 1 es óptimo y 0, inapropiado. En dicho rango, los valores menores a 0.5 de HSI indican que la especie tiene comprometida su existencia y valores superiores a 0.7 indican que la especie puede desarrollarse plenamente (U.S. Fish and Wildlife Service, 1981). Debido a la complejidad de los modelos multivariantes desarrollados en estudios previos, la evaluación del hábitat se llevó a cabo en R (R Core Team, 2007) mediante código realizado por el equipo de investigación de ecología del IGIC.

4.9. Evaluación de caudales ecológicos

El régimen de caudales ecológicos a fin de cumplir los objetivos establecidos en la IPH del Júcar deberá brindar las condiciones adecuadas para el mantenimiento de procesos biológicos y geomorfológicos que puedan satisfacer las necesidades de los ecosistemas acuáticos y terrestres. Asimismo, se indica que este deberá ofrecer un patrón temporal de caudales que permita mantener la integridad biológica del ecosistema.

En concordancia a ello, la evaluación fue realizada en base régimen de caudales ecológicos establecidos en el Plan hidrológico de la DH del Júcar 2015-2021, que se muestran a continuación en la Tabla N^o4.

Tabla N^o 4: Apéndice 6.1 régimen de caudales establecidos en las masas de agua superficial de categoría río y transición. Fuente: Anexo XI. Plan hidrológico DH del JÚCAR 2015-2021

| Código masa | | Nombre masa de agua superficial | | Código tipología | Longitud (km) | Espacio con protección | | | | | | | | | | |
|----------------------|---------------------|------------------------------------|----------------------|------------------|---------------|------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---------------------|----------------------|
| 21.07 | | Río Serpis: Reprimala - Bco. Murta | | R-T09 | 10.4 | No | | | | | | | | | | |
| Caudal mínimo (m3/s) | | Hidro-región | Caudal máximo (m3/s) | | | | | | | | | | | | Tasa de cambio | |
| Situación ordinaria | Situación de sequía | | Oct | Nov | Dic | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Ascendente (m3/s/h) | Descendente (m3/s/h) |
| 0.13 | 0.13 | 4 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | - | - |

Se consideró el análisis los componentes que se incluyen en el régimen de caudales ecológicos, haciendo un énfasis, en los caudales mínimos y caudales de crecida.

4.9.1. Análisis de series temporales de hábitat

A fin de conocer la disponibilidad del hábitat físico dentro de un año hidrológico de la especie nativa analizada en el presente estudio (Fernández Santamaria, Martínez Capel, & Hernández Torres, 2007), se realizó el análisis de la serie temporal de un año hidrológico. Esto fue realizado a partir de una serie anual de caudales diarios de una serie representativa de los últimos 10 años de la serie de aportaciones de la estación 8071 en el barranco del Infierno del año hidrológico 1999-2017, revisados del CEDEX, cuyo año seleccionado presentó valores máximos y mínimos cercanos con el que se trabajó en la simulación del hábitat físico.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Selección del tramo de estudio

A partir de los datos registrados en campo (Anexo N°1), se analizó la distribución de los mesohábitats identificados, obteniendo como resultado en el presente estudio, un tramo representativo de 522.7 metros, con las características que se muestran en la Tabla N° 5 y Figura N° 14.

Tabla N° 5: Características del tramo representativo seleccionado

| | | |
|---------------------------|------------------------------------|------------------|
| Longitud (m) | 522.7 | |
| Mesohábitat identificados | Poza | Corriente |
| Representatividad (%) | 60 | 40 |
| Secuencia | Poza-Corriente-Poza-Corriente-Poza | |
| Gráfico | | |

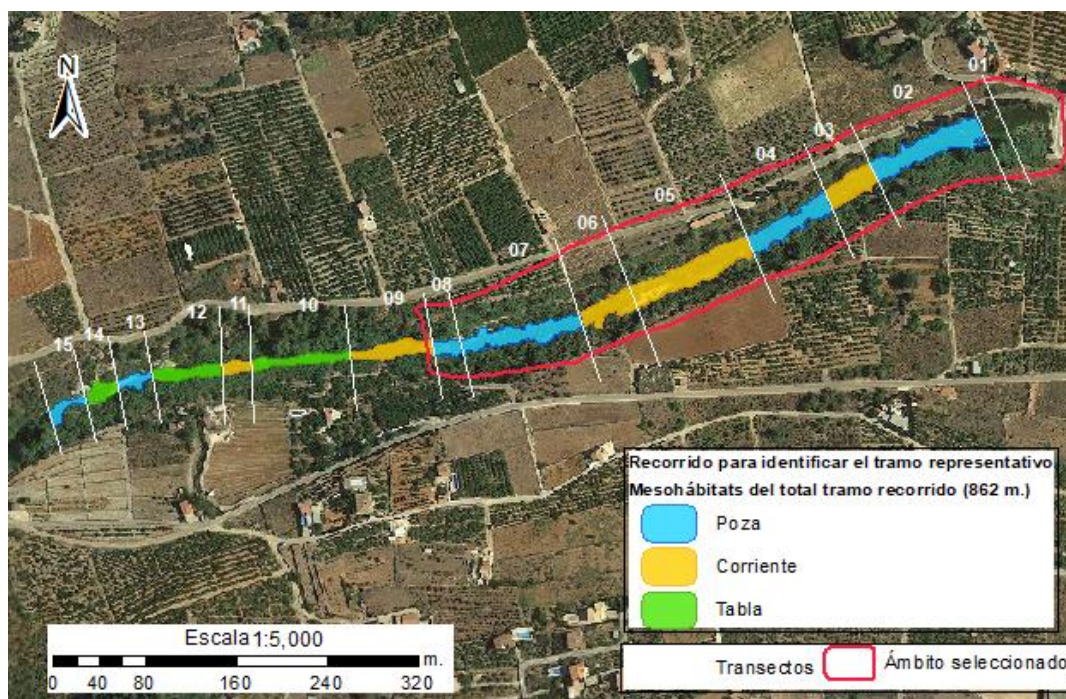


Figura N° 14: Tramo representativo y mesohábitats identificados en el tramo de estudio

5.2. Topografía e hidrometría

Del levantamiento topográfico con GPS diferencial y estación total, se obtuvo un total de 11711 puntos georreferenciados (x, y, z) en todo el tramo de estudio, ver Mapa N°2 (Anexo 6), cuya densidad media total es de 0.30 puntos/m². En el cauce se obtuvo una densidad de 0.60 puntos/m², mientras que en orillas y márgenes por contener zonas inaccesibles la densidad media de puntos fue más baja (0.17 puntos/m²). La información recogida del levantamiento topográfico fue complementada con información del vuelo fotogramétrico de apoyo con Dron Phantom 5Pro (ver Métodos).

Tabla N° 7: Puntos del levantamiento topográfico

| Puntos levantamiento topográfico | |
|--------------------------------------|--------------|
| Descripción | Nº puntos |
| Bed (lecho del río) | 6310 |
| Bank (orillas y otros) | 3766 |
| Rock (rocas) | 1342 |
| Pista (carretera) | 277 |
| Casa (construcción margen izquierdo) | 16 |
| Total de puntos | 11711 |

Tabla N° 6: Densidad de Puntos

| Densidad de puntos | |
|------------------------------------|-----------------------------|
| Densidad media de en todo el tramo | 0.30 puntos /m ² |
| Densidad media en el cauce | 0.60 puntos/m ² |

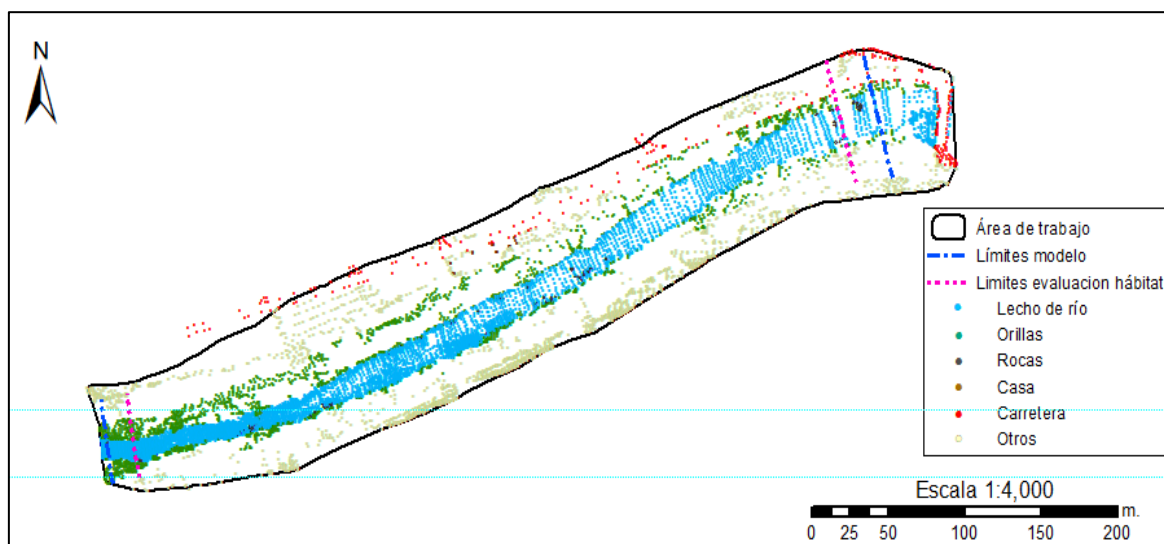


Figura N.º 15: Conjunto de puntos topográficos tomados en campo mediante estación total y GPS diferencial (modo RTK) y mediante vuelo fotogramétrico con Dron Phantom 5Pro. El número total de puntos tomados fue de 11 711 y la densidad media es de 0.30 puntos/m².

Se realizaron cuatro pruebas de aforo durante los meses de noviembre y diciembre (Tabla N°8), mediante el cual se tiene las velocidades medias y caudales de los transectos medidos. Se realizó una segunda campaña de pruebas de aforo, posterior a la crecida ocurrida en enero 2020, estas pruebas se realizaron en los meses de febrero y mayo (Tabla N°9). En cada una de las campañas de aforo se realizó la medición de la cota de la lámina del agua en las orillas a lo largo del tramo de estudio, esta información es necesaria ya que nos permitirá calibrar el modelo hidráulico.

Tabla N° 8: Campañas de aforo realizado en noviembre y diciembre 2019 (pre crecida)

| N°Aforo | 1 | 2 | 3 | 4 |
|----------------------------|------------|------------|------------|------------|
| Fecha | 25/11/2019 | 29/11/2019 | 16/12/2020 | 17/12/2020 |
| Caudal (m ³ /s) | 0.35 | 0.56 | 1.42 | 1.13 |
| Área (m ²) | 2.62 | 1.75 | 3.78 | 2.53 |
| Vel. Media (m/s) | 0.13 | 0.32 | 0.37 | 0.44 |

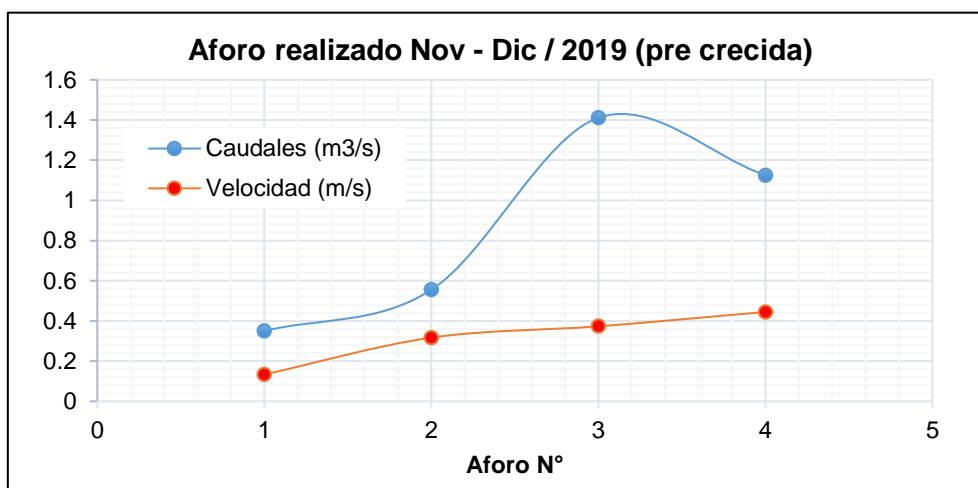


Figura N° 16: Campañas de aforo realizadas en noviembre y diciembre 2019 (pre crecida), de las que se tomó la campaña N°3 (Q=1,42 m³/s) para la calibración del modelo hidráulico.

Tabla N° 9: Campañas de aforo realizado en febrero y mayo 2020 (post crecida)

| N°Aforo | 1 | 2 |
|----------------------------|------------|------------|
| Fecha | 03/02/2020 | 25/05/2020 |
| Caudal (m ³ /s) | 9.49 | 2.73 |
| Área (m ²) | 10.72 | 6.969 |
| Vel. Media (m/s) | 0.89 | 0.39 |

5.3. Modelo de elevación del terreno (DEM)

La generación del modelo elevación del terreno (DEM) a partir de los puntos (x,y,z) levantados en campo, fue trabajado con el software de sistemas de información geográfica ArcGis 10.3. El proceso se inició con la representación de la morfología del terreno mediante las redes irregulares de triángulos, basado en el criterio de Delaunay (la circunferencia circunscrita de cada triángulo de la red no debe contener ningún vértice de otro triángulo), esta triangulación (nodos y aristas) fue revisada y corregida en los casos haya sido necesario (Figura N°17).

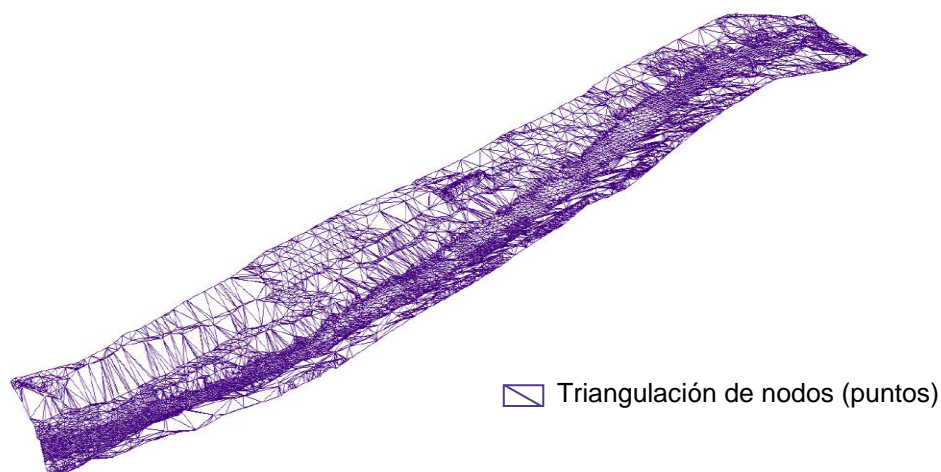


Figura N° 17: Vista 3D de nodos y aristas de la red irregular de triángulos (TIN) del tramo de estudio.

Seguidamente se generó la superficie TIN ver Mapa N°3 (Anexo 6), el cual fue ajustado a las líneas de rotura (*break lines*), para optimizar el resultado, esto mediante la opción "*Edit TIN*" del programa Arcgis. Estas líneas de rotura de tipo "*hard line*" se ingresaron para definir cambios de pendiente abruptos, marcar los márgenes del cauce del río y definir base y corona de las rocas (con diámetro > 25 cm) levantadas en campo; y las de tipo "*soft line*" se utilizaron para definir las formas de las barras y pozas, que tienen un cambio suave de pendiente (Figura N°18).

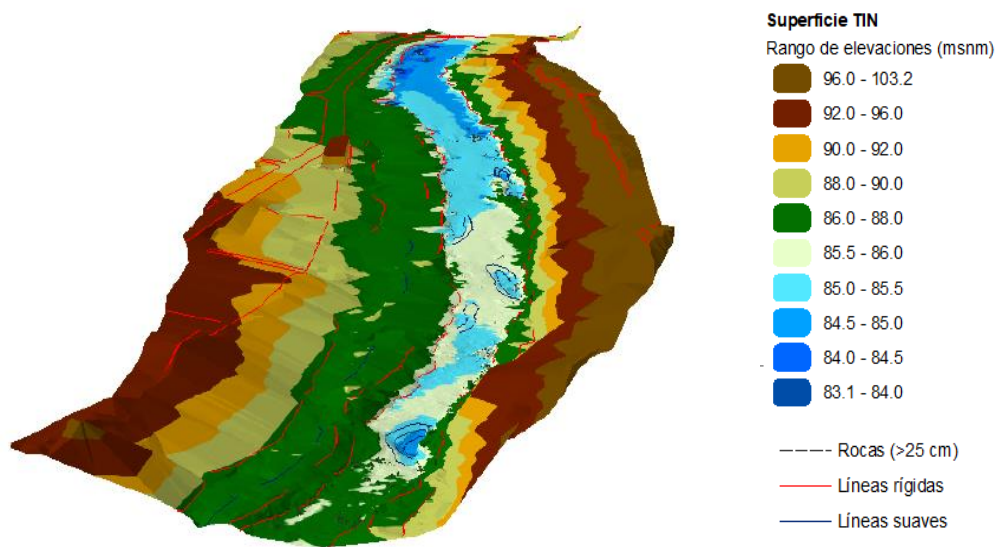


Figura Nº 18: Vista 3D de la superficie TIN del tramo de estudio.

En base a la superficie TIN, se generó el modelo digital de elevaciones (DEM) con un tamaño de pixel 5 cm x 5 cm y fue revisado mediante visualización 3D, con el uso de la herramienta ArcScene, en el que se identificaron zonas de rocas con bordes abruptos, por lo que el DEM pasó por un proceso de suavizado mediante el método de Inversa de la distancia (IDW) o de paso bajo, ver Mapa Nº4 (Anexo 6), y fue almacenado en formato ".tiff", a fin de ser utilizado en el modelamiento hidráulico con el software HECRAS.

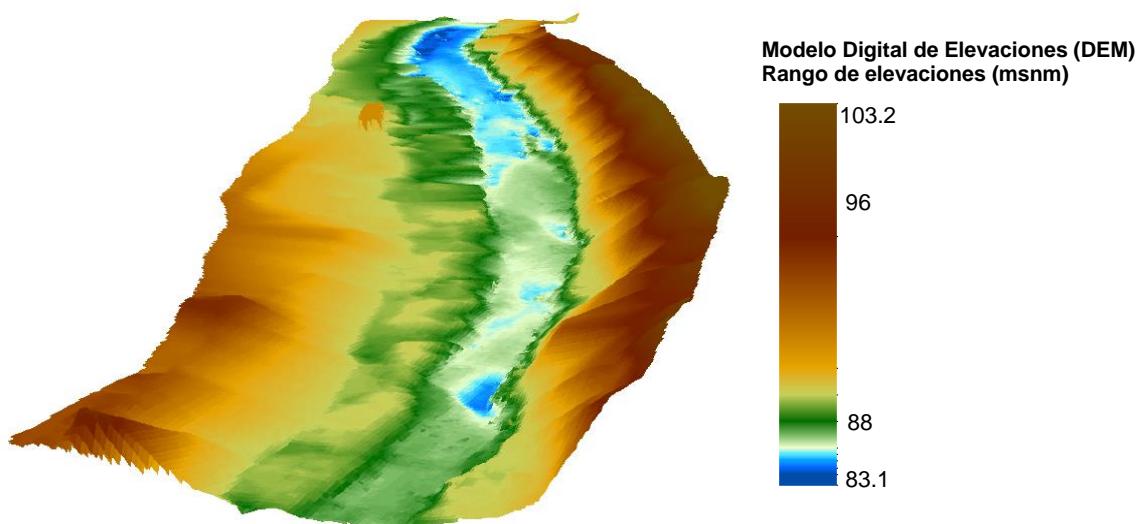


Figura Nº 19: Vista 3D del modelo digital de elevaciones (DEM) del tramo de estudio.

La ocurrencia de la crecida documentada en el presente estudio (3.3.1), incidió directamente en los cambios en la morfología del cauce, tal como se observa en la Figura N°20.

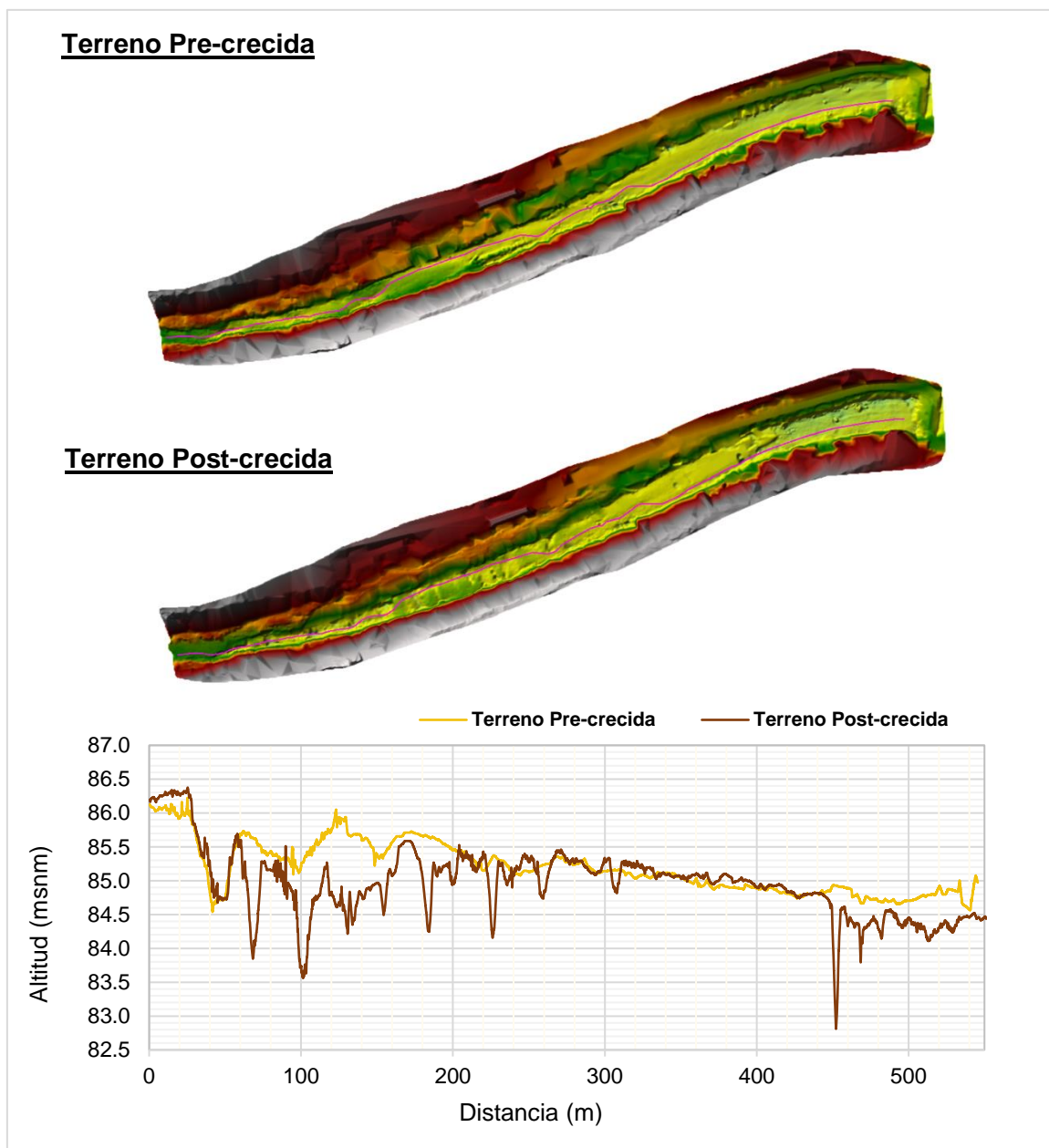


Figura N° 20: Perfil longitudinal pre y post crecida, en los que se puede observar cambios en la morfología del cauce. En la etapa pre-crecida se observa mayor acumulación de sedimentos en la parte media y baja del tramo de estudio, que, para la etapa post-crecida, fueron removidos y redistribuidos. Además, se puede observar que dicho arrastre de sedimentos generó a su paso una mayor cantidad de pozas.

5.4. Modelación hidráulica

5.4.1. Calibración

La calibración hidráulica del modelo 2D dependerá de la buena definición del trabajo de campo y el procesamiento de la data, por tanto, del modelo digital del terreno generado, la fidelidad de las estimaciones de caudal y la medida de la cota de la lámina del agua (Tonina & klaus, 2013)

Este proceso fue realizado mediante el ajuste de la "n" de Manning, que expresa la cantidad de resistencia al flujo y su variabilidad depende de diversos factores, tales como, material del lecho, vegetación, obstrucciones, nivel de caudal, etc. (Fernández, 2018). En los modelos 2D, la rugosidad expresa la resistencia aplicada en la base de la columna vertical de una celda de la malla asociada a la geometría del terreno (Tonina & klaus, 2013).

En el presente trabajo, se tomó como referencia el manual "*Roughness Characteristics of natural channels*" el cual es un estudio para cauces naturales realizado por la U.S. Geological Survey (1987) en el que se describen y muestran mediante fotografías casos calibrados para diferentes "n" de Manning (Anexo 3), en base a ello se asignaron los valores de rugosidad para el cauce y márgenes (Tabla N°10 y Figura N°21).

Tabla N° 10: Valores de rugosidad de Manning (n) basados en U.S.Geological Survey (1987)

| Zonas | Valores de rugosidad de Manning "n" |
|---------------------|-------------------------------------|
| Cauce* | 0.043 - 0.048 - 0.053 - 0.055 |
| Orilla izquierda | 0.055 |
| Orilla derecha | 0.055 |
| Zona de carretera | 0.015 |
| Zona de cultivo | 0.03 |
| Vegetación herbácea | 0.025 |
| Zona de cultivo | 0.03 |

*La calibración del modelo hidráulico se llevó a cabo con diferentes valores de rugosidad (n) de Manning en el cauce.

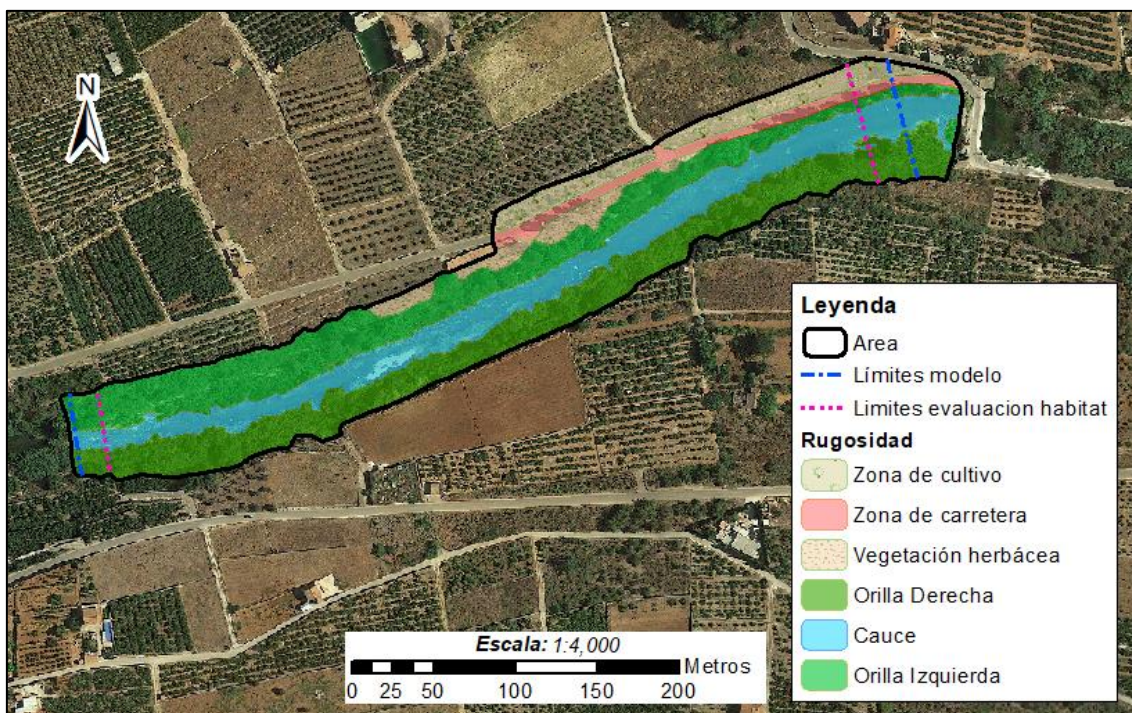


Figura Nº 21: Distribución de rugosidad en el tramo de estudio, basado en el manual "Roughness Characteristics of natural channels" realizado por la U.S. Geological Survey (1987)

Para la calibración, tanto para la etapa pre-crecida como para la post-crecida, se trabajó con el caudal más alto obtenido de las campañas de aforo (Díez Hernández & Martínez de Azagra, 2004) y niveles de la lámina de agua medido para un mismo día (Figura Nº 22 y Anexo 5).

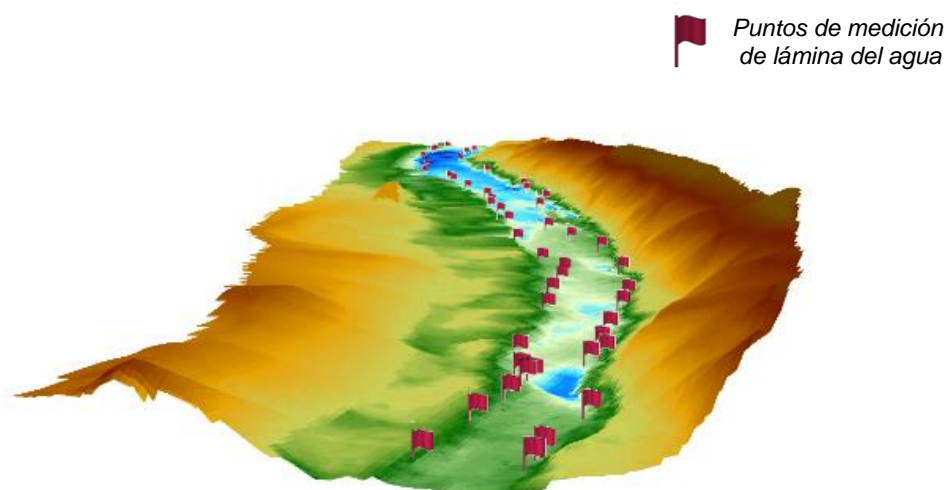


Figura Nº 22: Puntos de medición de la elevación de la lámina del agua en etapa de pre-crecida (16 diciembre 2019)

El proceso fue trabajado en el programa HECRAS tanto en la etapa de pre-crecida como en post-crecida, y consistió en ir ajustando de manera progresiva el valor de rugosidad de Manning, con incrementos de aproximadamente un 10%, hasta hallar una correspondencia óptima entre los valores observados y simulados de las elevaciones de la lámina del agua (WSE) (Anexo 5), a partir de este proceso se definió el valor de rugosidad de Manning.

- **Etapa pre-crecida:**

En la calibración de la etapa pre-crecida se analizó los valores de la elevación de la lámina del agua (WSE) observada y simulada para un caudal de 1.42 m³/s, ajustando los valores de rugosidad de Manning "n" en el cauce, donde se inició con un valor de 0.043, 0.048, 0.053, hasta un valor de 0.055; obteniendo como resultado que para un "n" rugosidad de Manning 0.055, se tiene un mejor ajuste estadístico, tal como se muestra a continuación en la Tabla N°11 y Figura N°23 y 24).

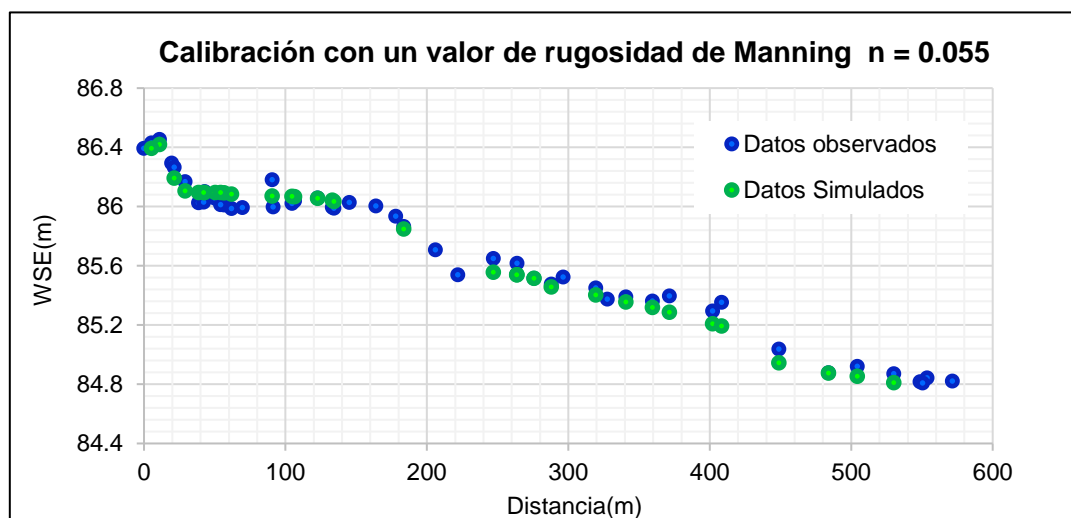


Figura N° 23: Calibración del modelo hidráulico con un "n" de rugosidad de Manning de 0.055

Tabla N° 11: Resultados estadísticos de la calibración pre-crecida

| $n_{\text{cauce}} = 0.055$ | | | |
|---------------------------------|---|-------------|---------------------|
| MSE (Error cuadrático medio) | RMSE (Raíz del error cuadrático medio) | Error medio | Desviación estándar |
| 0.005 | 0.069 | -0.013 | 0.069 |

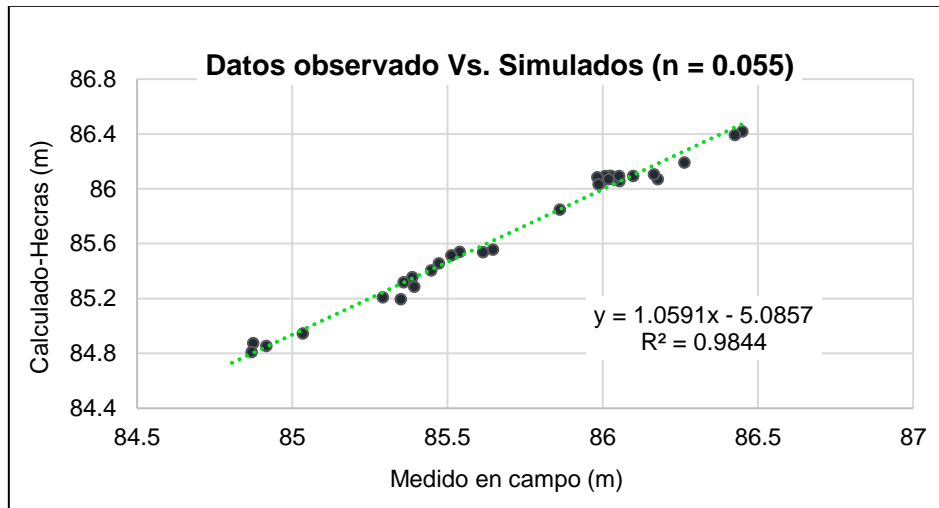


Figura Nº 24: Correlación entre datos observados y simulados

Tabla Nº 12: Análisis de la velocidad Observada y simulada en el transecto de aforo realizado el 16 de diciembre del 2019

| MSE (Error cuadrático medio) | RMSE (Raíz del error cuadrático medio) | Error medio | Desviación estándar |
|---------------------------------|---|-------------|---------------------|
| 0.0187 | 0.137 | -0.061 | 0.126 |

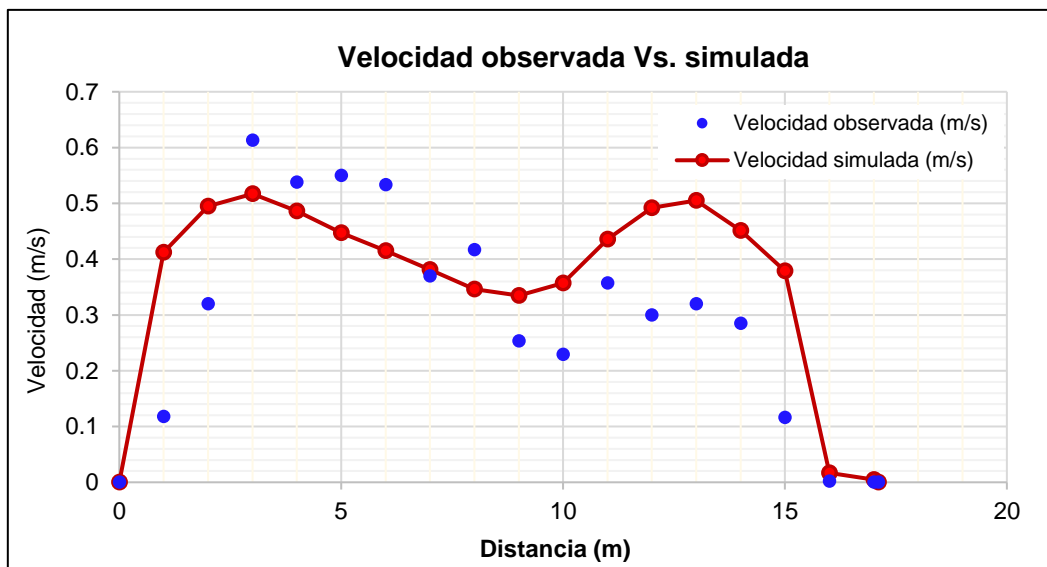


Figura Nº 25: Velocidad observada y simulada en el transecto de aforo (16 diciembre 2019)

- **Etapa post-crecida:**

En esta etapa se trabajó con un caudal de calibración de $9.49 \text{ m}^3/\text{s}$ y un valor de rugosidad de Manning "n" de 0.055, ya que con dicho valor se tiene un mejor ajuste estadístico entre los valores de elevación de la lámina del agua (WSE) observada y simulada, tal como se muestra en la Tabla N°13 y Figura N° 26 y Figura N°27.

Tabla N° 13: Resultados estadísticos de la calibración post-crecida

| Calibración post-crecida $n_{\text{cauce}} = 0.055$ | | | |
|---|---|-------------|---------------------|
| MSE (Error cuadrático medio) | RMSE (Raíz del error cuadrático medio) | Error medio | Desviación estándar |
| 0.004 | 0.060 | -0.031 | 0.054 |

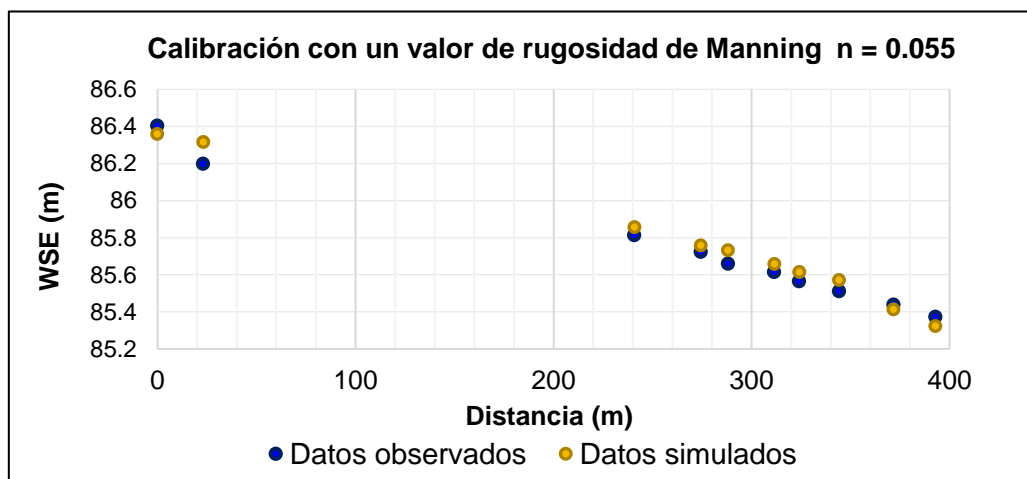


Figura N° 26: Calibración del modelo hidráulico con un "n" de rugosidad de Manning de 0.055

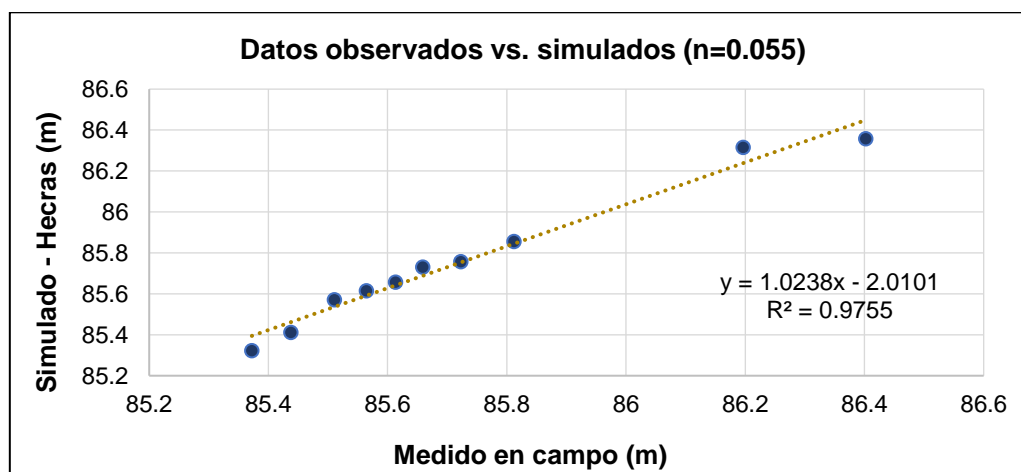


Figura N° 27: Correlación entre datos observados y simulados

Tabla Nº 14: Análisis de la velocidad Observada y simulada en el transecto de aforo

| MSE (Error cuadrático medio) | RMSE (Raíz del error cuadrático medio) | Error medio | Desviación estándar |
|---------------------------------|---|-------------|---------------------|
| 0.0384 | 0.196 | 0.093 | 0.176 |

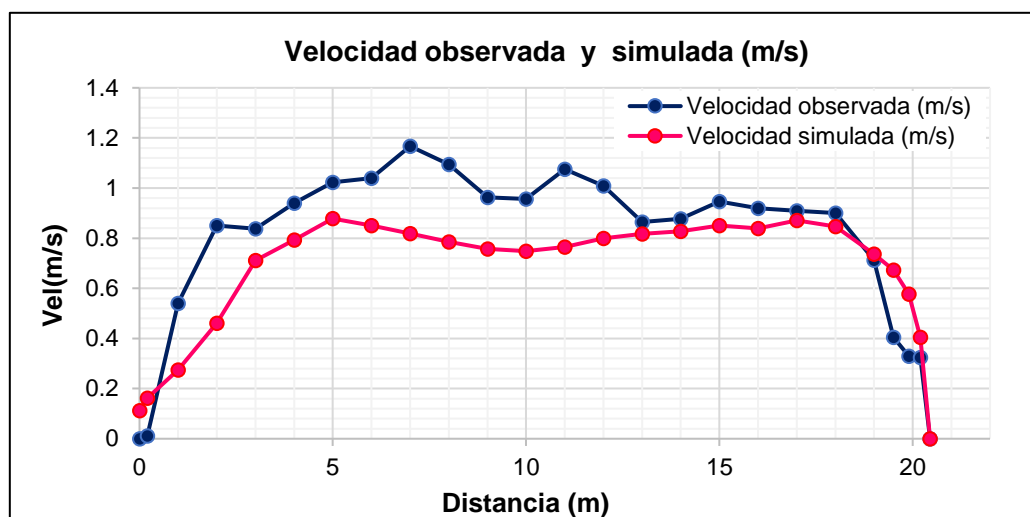


Figura Nº 28: Velocidad observada y simulada en el transecto de aforo (16 diciembre 2019)

5.4.2. Validación

La validación se llevó a cabo tomando como punto de referencia los valores del "n" de Manning de la calibración, en este proceso se comparó los resultados del modelo hidráulico con un conjunto de datos de láminas de agua, distintos a los utilizados en el proceso de calibración (Tonina & klaus, 2013).

En el presente trabajo, en la etapa de pre-crecida y post-crecida, la validación fue realizado a partir del caudal más bajo de las campañas de aforo (Anexo 4) donde se compararon los datos observados y simulados de elevaciones de la lámina del agua (WSE) y el perfil de velocidades para el transecto de aforo.

- **Etapa pre-crecida:**

En esta etapa de pre-crecida, se realizó el análisis de las velocidades observadas en el transecto de aforo y las simuladas. con el "n" de rugosidad de Manning utilizado en la etapa de calibración ($n=0.055$), cuya simulación hidráulica fue para un caudal de $0.35\text{m}^3/\text{s}$, correspondiente a la campaña de aforo de fecha 28 noviembre del 2019.

Tabla Nº 15: Análisis de la velocidad observada y simulada en el transecto de aforo

| MSE (Error cuadrático medio) | RMSE (Raíz del error cuadrático medio) | Error medio | Desviación estándar |
|---------------------------------|---|-------------|---------------------|
| 0.0086 | 0.093 | 0.003 | 0.095 |

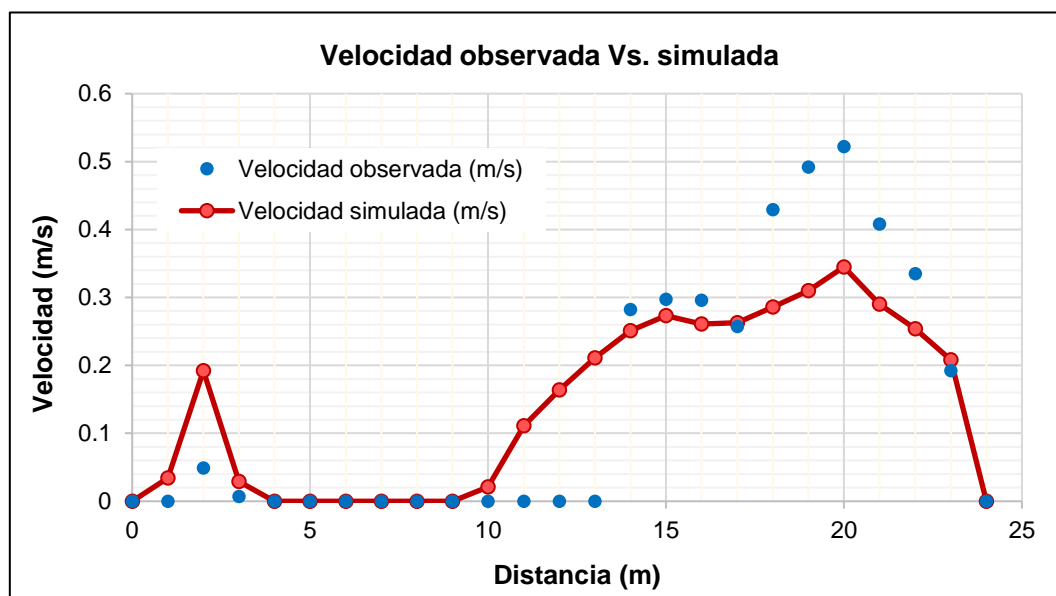


Figura Nº 29: Velocidad observada y simulada en el transecto de aforo (28 noviembre 2019)

- **Etapa post-crecida:**

La validación fue realizada con un caudal de $2.73 \text{ m}^3/\text{s}$, el cual fue obtenido en la campaña de aforo realizada el 25 de mayo del 2020 y con un valor de rugosidad de Manning de 0.055, el mismo que fue utilizado en la etapa de calibración. En base a ello se realizó el análisis entre los valores de elevación de la lámina del agua (WSE) observada y simulada, tal como se muestra en la Tabla Nº16, Figura Nº30 y Figura Nº31.

Tabla Nº 16: Resultados estadísticos de la validación post-crecida

| Validación post-crecida ($n_{\text{cauce}} = 0.055$) | | | |
|--|---|-------------|---------------------|
| MSE (Error cuadrático medio) | RMSE (Raíz del error cuadrático medio) | Error medio | Desviación estándar |
| 0.012 | 0.109 | -0.02 | 0.11 |

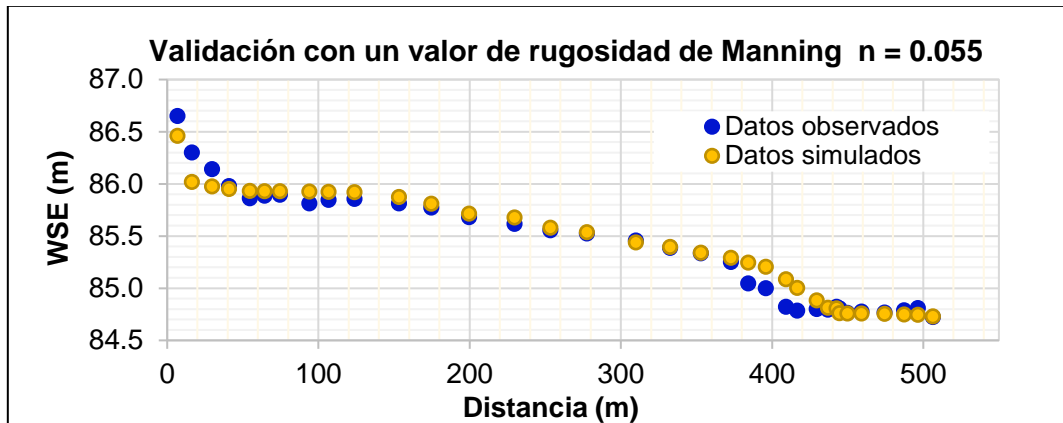


Figura Nº 30: Validación del modelo hidráulico post-crecida con un "n" de rugosidad de Manning de 0.055, en el proceso de validación del modelo hidráulico.

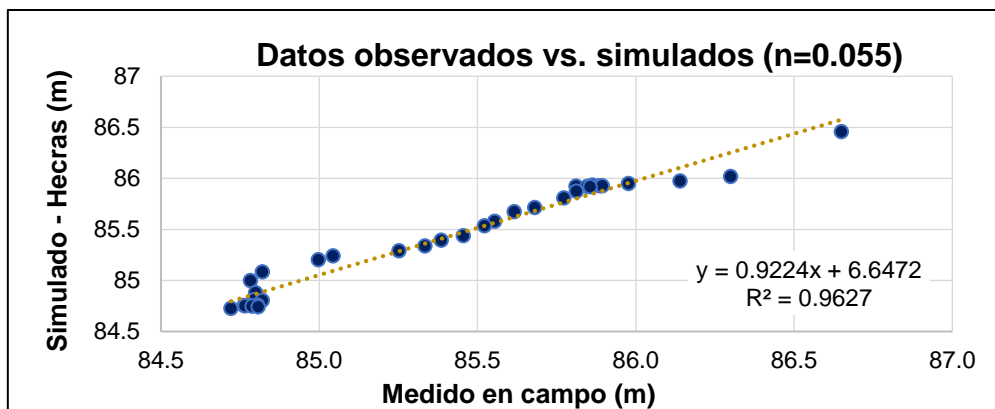


Figura Nº 31: Correlación entre los datos observados y simulados para la etapa post-crecida con un "n" de rugosidad de Manning de 0.055 en el proceso de validación del modelo hidráulico.

Tabla Nº 17: Análisis de la velocidad observada y simulada en el transecto de aforo

| MSE (Error cuadrático medio) | RMSE (Raíz del error cuadrático medio) | Error medio | Desviación estándar |
|---------------------------------|---|-------------|---------------------|
| 0.0264 | 0.163 | -0.009 | 0.166 |

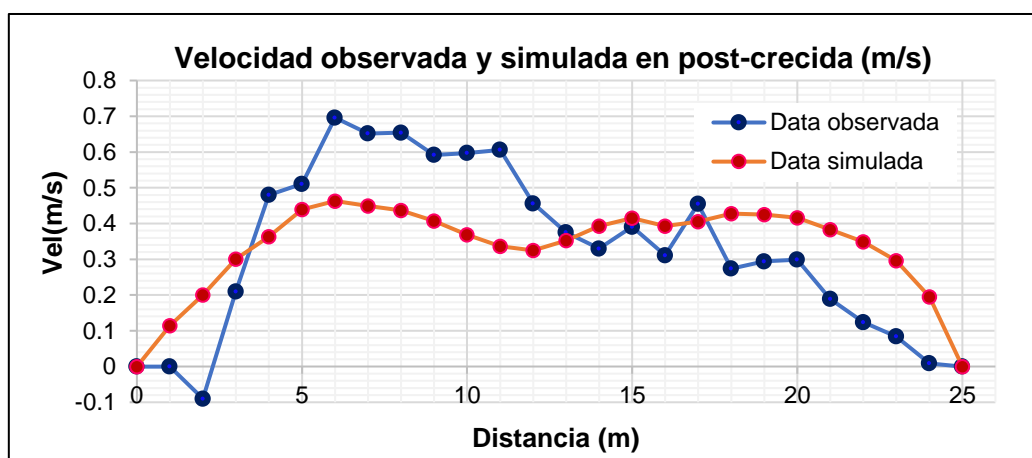


Figura Nº 32: Velocidad observada y simulada en el transecto de aforo (25 mayo del 2020)

5.5. Simulación del hábitat físico para especies piscícolas

La simulación del hábitat físico fue desarrollada en base a las variables de velocidad, profundidad, sustrato y refugio para un determinado caudal y especie objetivo cuyos resultados se muestran a continuación:

- **Velocidad y profundidad:**

Los valores de velocidad y profundidad obtenidos para el tramo de estudio, a partir de la simulación hidráulica fueron representados tal como se muestran en la Figura N°33 y Mapas del 5.1 al 6.5 del Anexo 6), realizado para la etapa pre y post crecida.

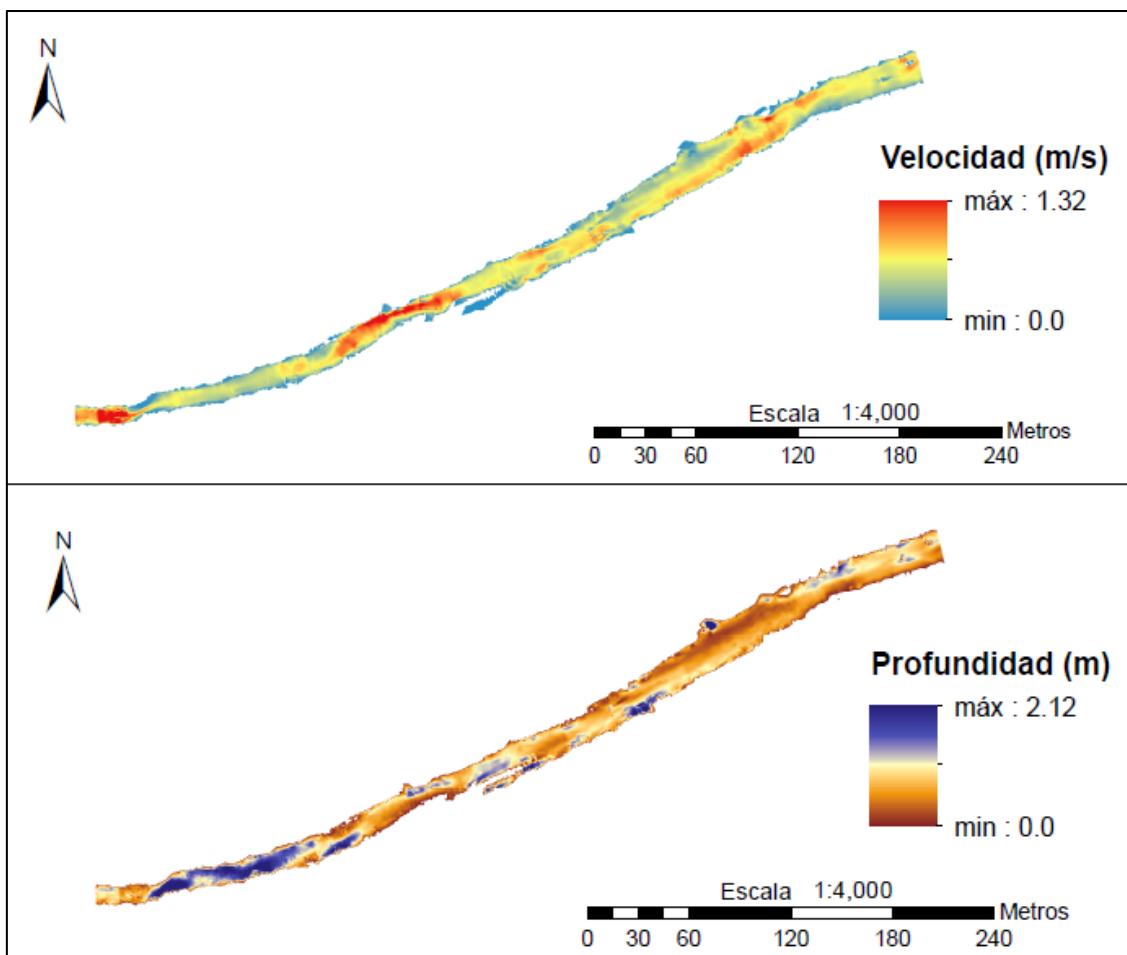


Figura N° 33: Velocidad y profundidad simulado con el software Hecras 5.0.7, para el caudal de 1.49 m³/s y etapa pre-crecida.

- **Sustrato:**

El tipo de sustrato identificado en el tramo de estudio fue clasificado y representado tal como se muestra en la Figura N°34.

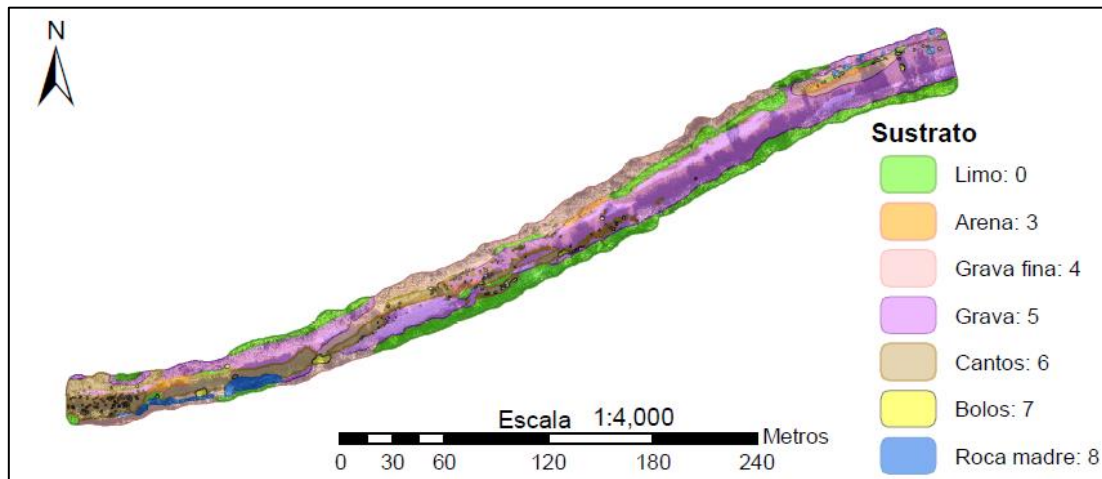


Figura N° 34: Clasificación de sustrato en el tramo de estudio para la etapa pre-crecida

- **Refugio:**

El tipo de refugio identificado en el tramo de estudio fue representado tal como se muestra en la Figura N°35.

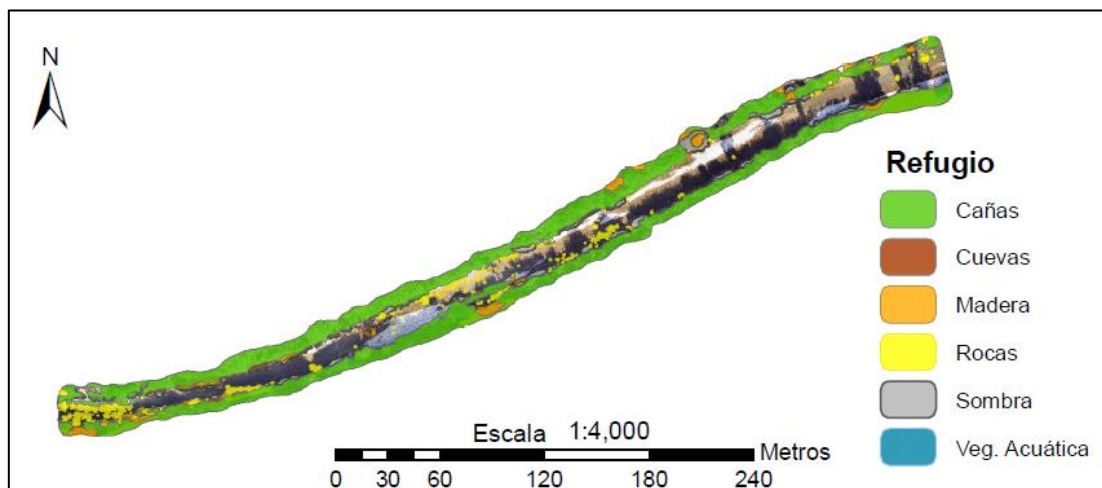


Figura N° 35: Clasificación de los tipos de refugio en el tramo de estudio para la etapa pre-crecida

5.5.1. Modelo de Idoneidad del hábitat físico

De la simulación en etapa pre y post crecida para todos los caudales analizados, se obtuvo que, la especie nativa, cachuelo valenciano (*Squalius valentinus*), incrementó en promedio para todos los caudales las áreas con valores de idoneidad superiores a 0.5 (aceptable), pasando de un 15% en etapa pre-crecida a un 20 % en etapa post-crecida en su distribución espacial de la idoneidad del hábitat físico.

En cuanto a las especies exóticas invasoras, el alburno (*Alburnus alburnus*) presentó un incremento promedio para todos los caudales, en las áreas con valores de idoneidad superiores a 0.5 (aceptable) pasando de un 6% en etapa pre-crecida a un 14% en etapa post-crecida y el perca sol (*Lepomis gibbosus*) presentó una reducción promedio, pasando de un 9% en la etapa pre-crecida a un 8% en la etapa post-crecida, en sus respectivas distribuciones espaciales de la idoneidad del hábitat físico y fueron representados como se muestra en la Figura N°36. El detalle de los resultados para cada especie y caudal se muestra en los Mapas del 7.1 al 7.15 (Anexo 6).

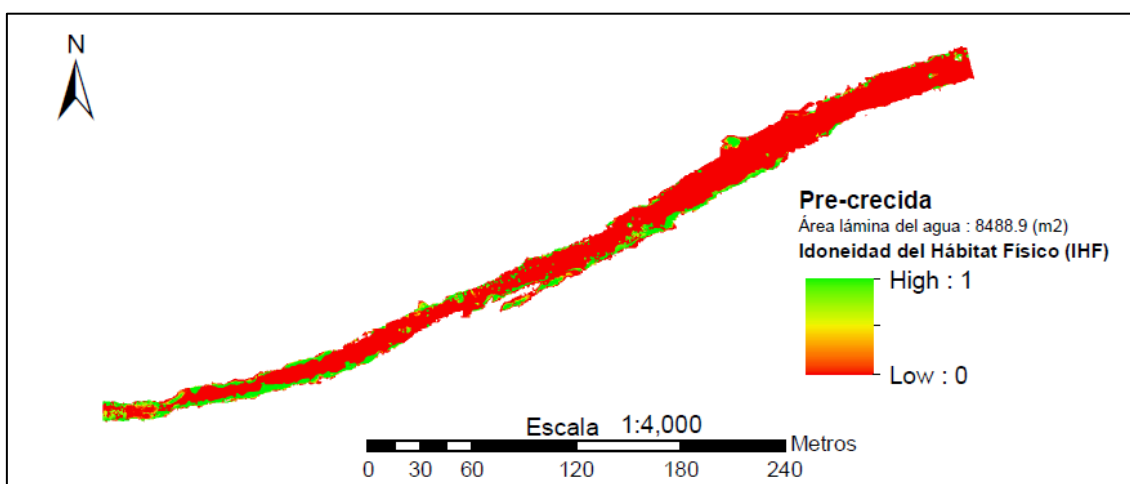


Figura N° 36: Idoneidad del Hábitat Físico para el cachuelo valenciano (*Squalius valentinus*), para un $Q= 1.49 \text{ m}^3/\text{s}$, para la etapa pre crecida

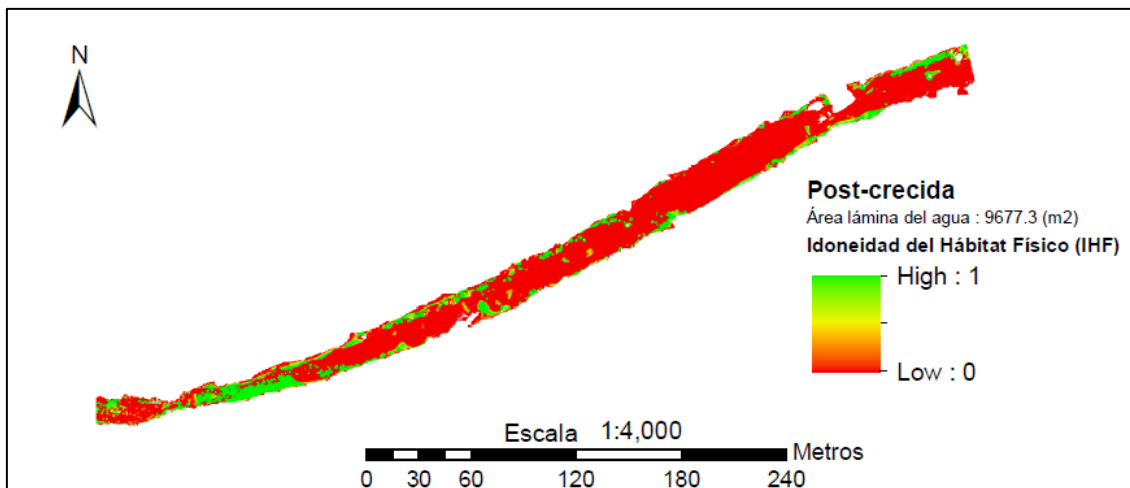


Figura Nº 37: Idoneidad del Hábitat Físico para el cachuelo valenciano (*Squalius valentinus*), para un $Q= 1.49 \text{ m}^3/\text{s}$, para la etapa post crecida

5.6. Evaluación del hábitat físico

La evaluación del hábitat físico para la etapa pre y post crecida fue realizada con cada especie y caudales de simulación mediante las curvas de Hábitat Potencial Útil – Caudal (HPU - Q), el Área Idónea (AI) y el Índice medio de Idoneidad del Hábitat (HSI), tal como se detalla a continuación en los siguientes ítems.

5.6.1. Hábitat potencial útil (HPU)

Las curvas de Hábitat potencial útil - Caudal (HPU – Q) obtenidas a partir de la simulación del hábitat físico, reflejan un incremento en la cantidad y calidad del hábitat potencial útil del tramo en estudio, al pasar de la etapa pre crecida a la post crecida para el cachuelo valenciano (*Squalius valentinus*) (especie nativa) y para el alburno (*Alburnus alburnus*) (especie exótica invasora), esto para todos los caudales simulados. Lo que no ocurrió con el perca sol (*Lepomis gibbosus*), ya que al pasar de la etapa pre-crecida a la post-crecida, evidenció una caída en el hábitat potencial útil (HPU) para caudal de $0.31 \text{ m}^3/\text{s}$, un mantenimiento para un caudal de $0.88 \text{ m}^3/\text{s}$ y un ligero incremento en la simulación con caudales de 1.49 y $1.90 \text{ m}^3/\text{s}$. Reflejando que, ante los cambios en la morfología del cauce, como la que se documenta en el presente estudio debido a la ocurrencia de una crecida de tiempo de retorno entre 10 - 25 años (ítem 3.3.1); que a su vez

conlleva variaciones en la velocidad, profundidad, sustrato y refugio, variaciones que impactarían en las condiciones de habitabilidad del perca sol (*Lepomis gibbosus*), generando que las otras dos especies presenten ventajas competitivas sobre ella. A continuación, en la figura N°38, se muestra las curvas HPU – Q, para todos los caudales simulados en etapa pre y post crecida.

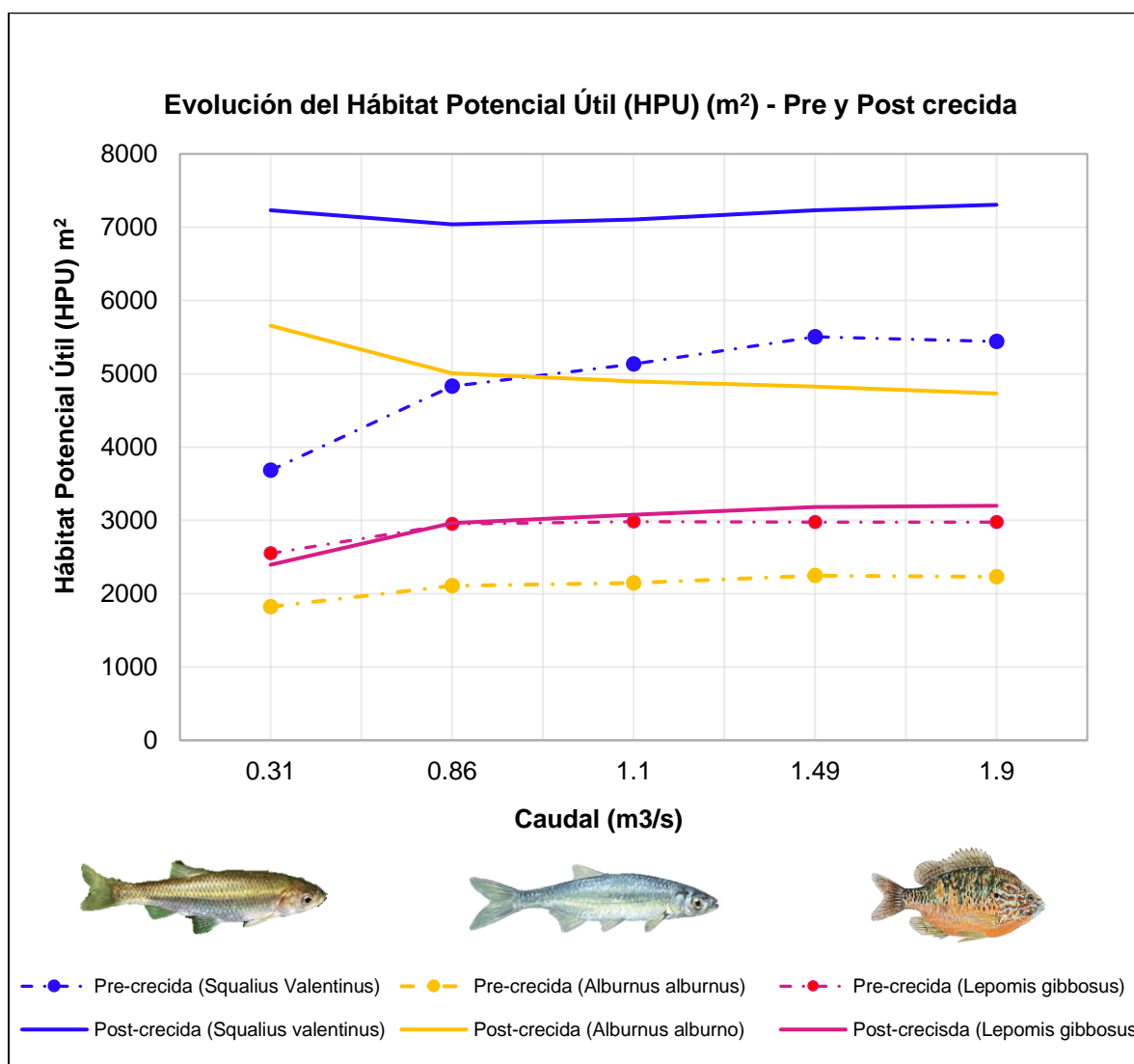


Figura N° 38: Evolución de la curva HPU-Q, para todas las especies y caudales simulados, en la que se puede observar que el Hábitat Potencial Útil se incrementa en la etapa después de la crecida para el cachuelo valenciano (*Squalius valentinus*), asimismo se reflejaría la fácil adaptación del alburno (*Alburnus alburnus*) ya que esta especie también presenta un incremento en su Hábitat Potencial Útil, que por el contrario no ocurre con la perca sol (*Lepomis gibbosus*) ya que no se observa incrementos significativos y que además, para un caudal de 0.31 m³/s la curva presenta una depreciación.

5.6.2. Área idónea (AI)

Las superficies de hábitat con idoneidad mayor o igual a 0.5, consideradas como "aceptable", y representadas como el Área Idónea (AI), reflejaron un incremento al pasar de la etapa pre-crecida a la post-crecida en todos los caudales simulados; para el cachuelo valenciano (*Squalius valentinus*) pasa en promedio de un área de 4976 m² a 7251 m² de AI, que representa un incremento del 45.7% y el alburno (*Alburnus alburnus*) pasa de 2070 m² a 5001m² de AI, que representa un incremento de un 142%. En el caso de la perca sol (*Lepomis gibbosus*), presentó una reducción promedio del Área Idónea pasando de un 3041 m² en pre-crecida a 2995m² en post-crecida que representa una reducción de 1.5%. En base a los resultados obtenidos, se infiere que el cachuelo valenciano en post-crecida presenta superficies de Área Idónea (AI) mayores a las presentadas por las especies exóticas invasoras, superando en promedio un 45% al AI del "Alburno" y en un 142% al AI del "perca sol".

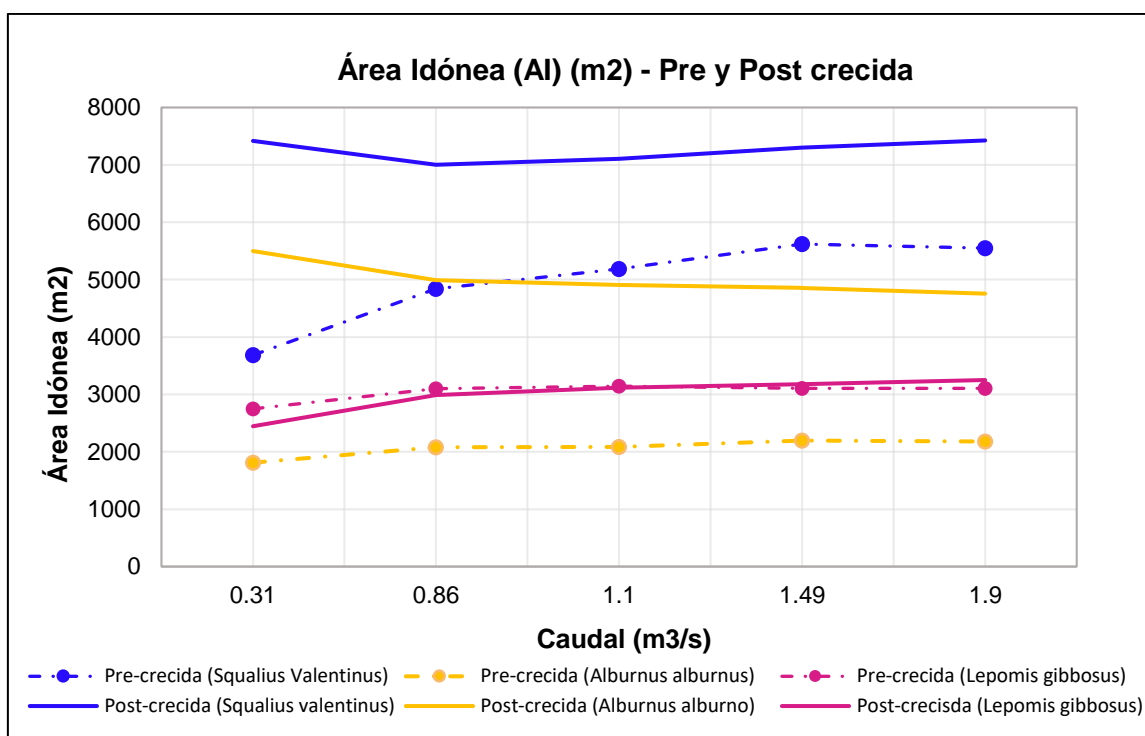


Figura Nº 39: Evolución del Área Idónea (AI) para todas las especies analizadas y caudales simulados en etapa pre y post crecida, en la que se puede observar que para la etapa post-crecida el cachuelo valenciano (*Squalius valentinus*) presenta el mayor AI para todos los caudales simulados, lo cual es favorable y contribuye a la competitividad de esta especie frente a las especies exóticas invasoras (alburno y perca sol).

5.6.3. Índice medio de Idoneidad del Hábitat (HSI)

La evaluación del índice medio de idoneidad del hábitat (HSI) de pre-crecida a post-crecida, evidenció un incremento en todos los caudales analizados para el cachuelo valenciano (*Squalius valentinus*) y el alburno (*Alburnus alburnus*), y una reducción en todos los caudales analizados para perca sol (*Lepomis gibbosus*). El cachuelo valenciano, en las condiciones pre-crecida para todos los caudales alcanza en promedio un valor de 0.62 de HSI, valores que se incrementaron ante los cambios en la morfología del cauce provocado por la ocurrencia de una crecida (enero del 2020), de tiempo de retorno entre 10-25 años aproximadamente (ítem 3.3.1), que en el presente estudio denominamos "post-crecida". En etapa post-crecida el valor del HSI en todos los caudales simulados alcanza valores superiores a 0.7, que indica que la especie puede desarrollarse plenamente (U.S. Fish and Wildlife Service, 1981), tal como se muestra en la figura N°36. Asimismo, cabe resaltar que las curvas HSI – Q presentan un máximo para un caudal de 0.31 m³/s para el "Cachuelo valenciano" (0.95) y el "Alburno" (0.74), sin embargo estas curvas presentan un cambio de pendiente a partir del caudal de 0.86 m³/s en los que el HSI se mantiene relativamente constante, alrededor de 0.75 para el cachuelo valenciano y 0.51 para el alburno. Estos valores reflejarían una ventaja para el Cachuelo valenciano en sus condiciones de habitabilidad y competitividad, ya que sus valores de HSI indican que el cachuelo puede desarrollarse plenamente en el tramo de estudio; mientras que los valores de HSI para el Alburno lo acercan al límite (0.5) en los que por debajo la existencia de la especie se encontraría comprometida. En el caso del "perca sol", esta especie presenta para todos los caudales simulados en promedio valores alrededor de 0.32, que son menores que en la etapa pre-crecida, lo cual evidencia que se vio perjudicada ante los cambios en la morfología del cauce y condiciones de hábitat por ocurrencia de la crecida.

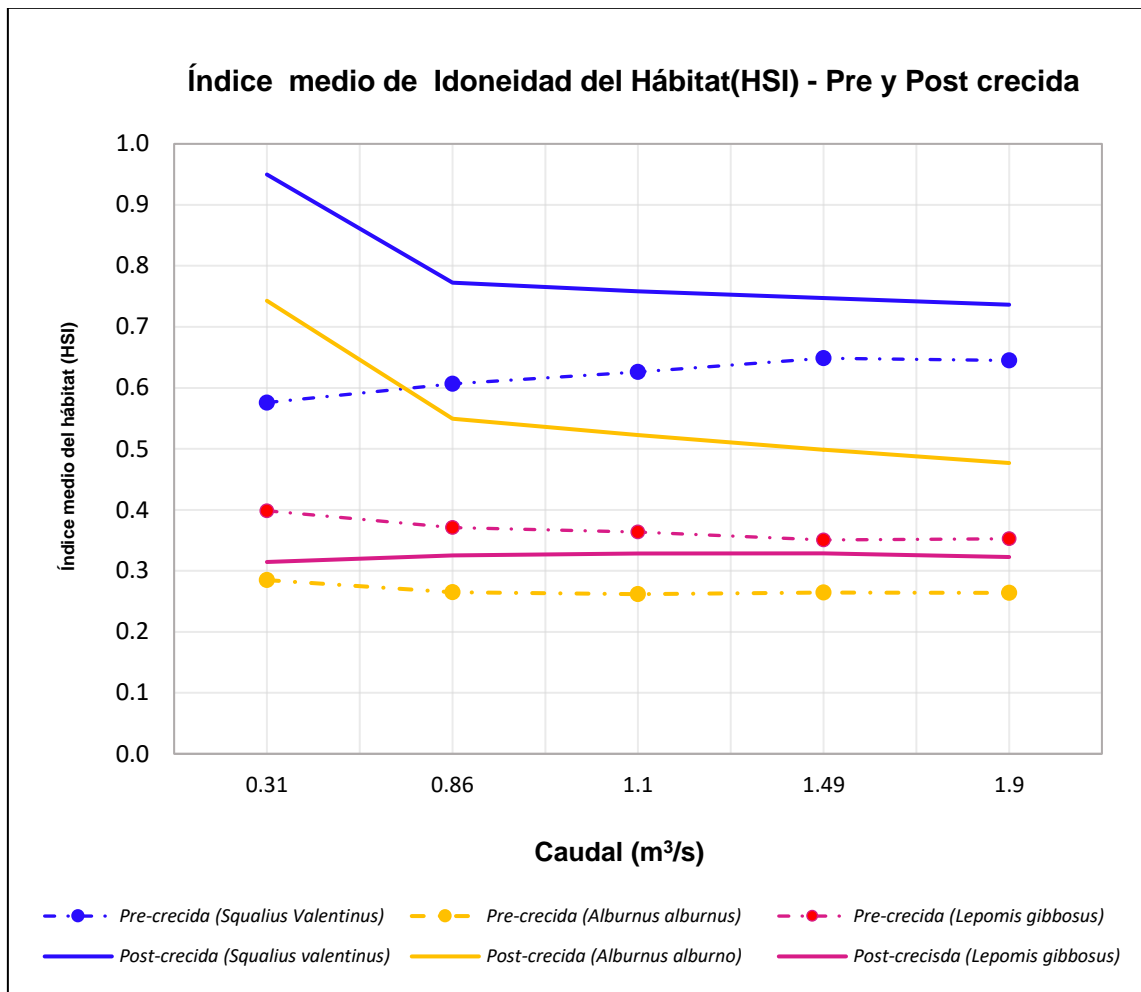


Figura Nº 40: Evolución del Índice medio de idoneidad del hábitat (HSI) para todas las especies y caudales analizados en la etapa pre y post crecida, en la que el cachuelo valenciano (*Squalius valentinus*) para la etapa post-crecida incrementa sus valores de HSI alcanzando valores superiores a 0.7, lo cual es un indicador que la especie puede desarrollarse plenamente en el tramo de estudio. Además, estos valores reflejarían una ventaja competitiva del Cachuelo valenciano respecto a los valores de HSI alcanzados por las especies exóticas invasoras consideradas en el estudio.

A continuación, en la Figura Nº41, mostramos a modo de ilustración mediante los vuelos fotogramétricos realizados con dron (Phantom 5Pro) antes y después de la crecida que reflejan cambios importantes según los resultados obtenidos y descritos anteriormente, expresados en una mejora del HPU, AI y HSI para el cachuelo valenciano.

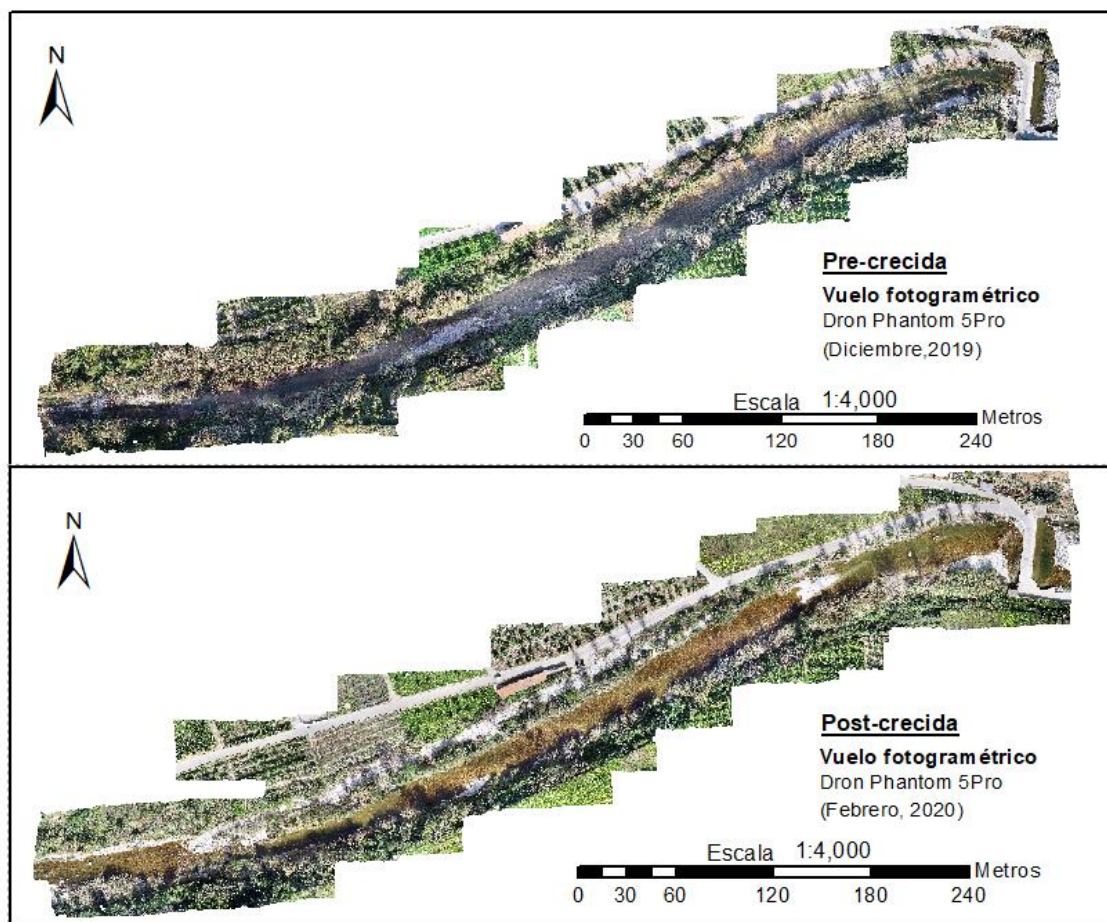


Figura Nº 41: Vuelos fotogramétrico con Dron Phantom 5Pro realizados antes y después de la crecida, donde se muestra los cambios ocurridos en la morfología que reflejan una mejora importante en el hábitat potencial útil.

5.7. Evaluación de caudales ecológicos

Según el Plan Hidrológico de la D.H. del Júcar, el tramo de estudio se encuentra dentro del tramo de código de masa de agua 21.07 (Río Serpis: Reprimala – Bco. Murta) en el que se establece un valor de $0.13 \text{ m}^3/\text{s}$ como caudal mínimo, valor que se encuentra por debajo de los valores simulados para la serie hidrológica de aportaciones de la estación 8071 en el barranco del Infierno del año hidrológico 1999-2017, revisados del CEDEX. Sin embargo, se puede inferir a partir del caudal más bajo simulado ($0.31 \text{ m}^3/\text{s}$, mediana de los mínimos extremos de la serie hidrológica antes mencionada), que en condiciones de caudales bajos en base a la curva HPU-Q generada, la especie nativa (cachuelo

valenciano) presenta las condiciones más bajas de HPU, que ante la ocurrencia de una crecida mejora alcanzando en condiciones de post-crecida un valor de 7233.23m², lo que representa un incremento de un 96%.

Situación similar ocurrió con el área idónea, la cual se incrementó para situación post-crecida, pasando de 3684m² a 7419m², que representa un incremento de un 101%. En cuanto al HSI, este se incrementó de 0.58 a 0.95. Sin embargo, estas mejoras resultantes para la especie nativa las obtuvo de modo similar el alburno, la cual es una especie exótica invasora que evidencia según los resultados su gran versatilidad de adaptación. Concretamente el alburno ha pasado en caudales bajos de pre a post crecida su valor de HPU de 1821.9 m² a 5656.9 m² que representa un incremento de un 210 %; por tanto, esto denotaría que con caudales bajos se estaría favoreciendo a esta especie invasora.

Asimismo, si bien el cachuelo valenciano mostró el incremento relativamente constante en toda la curva de HPU al pasar de pre a post crecida (Figura N°38), se observa también que el alburno también se vio favorecido en mayor medida en caudales bajos, lo cual podría conllevar la ocurrencia de un mayor solapamiento, ya que si aumenta el HPU del alburno deja menores condiciones de habitabilidad al cachuelo valenciano.

Por tanto, se resalta la importancia de considerar caudales mínimos que eviten favorecer a especies invasoras, así como del diseño y la implementación de crecidas temporales, ya que este estudio demuestra como una crecida relevante con cambios morfológicos ha supuesto la mejora del hábitat para la especie nativa.

Tabla N° 18: Estadísticas de HPU para el análisis de serie temporal de hábitat

| Estadísticas de HPU | | | | |
|----------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------|---------------------|
| Percentiles | Pre-crecida | Post-crecida | Pre-crecida | Post-crecida |
| | HPU: Cachuelo valenciano | HPU: Cachuelo valenciano | HPU: Alburno | HPU: Alburno |
| Percentil 10% | 2.46 | 4.06 | 1.48 | 0.11 |
| Percentil 25% | 3736.47 | 7128.72 | 1835.02 | 5303.09 |
| Percentil 50% | 3847.48 | 7189.20 | 1862.65 | 5507.70 |
| Percentil 75% | 3976.59 | 7209.64 | 1894.78 | 5576.87 |
| Percentil 90% | 4170.42 | 7220.94 | 1943.02 | 5614.61 |

Asimismo, se analizó la serie temporal de hábitat para el año 2014, de la serie hidrológica de aportaciones de la estación 8071 (1999-2017) revisados del CEDEX, en la que se comparó el comportamiento del HPU para las especies que se vieron favorecidas ante la ocurrencia de la crecida (3.3.1), cachuelo valenciano y alburno. Esto reflejó la mejora de HPU en post-crecida para las dos especies, pero en mayor medida para el cachuelo valenciano, alcanzando en el percentil del 90% de HPU un valor de 7220.9 m² frente a los valores alcanzados por el alburno de 5614.6 m². La mediana de HPU del periodo analizado (1 año hidrológico) refleja las mejoras al pasar de pre a post crecida, que para el cachuelo valenciano pasó de 3847.5 m² a 7189.2 m² (incremento de un 53.52%) y para el alburno pasó de 1862.65 m² a 5507.7 m² (incremento de un 33.8%). En la siguiente página se muestra la figura de las series temporales, con el caudal y los HPU en situación pre crecida ("PRE") y post crecida ("POST").

En este análisis no se incluyó a la perca sol, ya que presentó un HPU muy inferior respecto a las otras dos especies analizadas (Figura N°38), no viéndose favorecida de manera significativa al pasar de pre a post crecida, y no siendo relevante la comparativa con las otras dos especies por una cuestión de magnitud de las cifras de hábitat.

TFM: "Evaluación del hábitat físico y caudales ecológicos en el río Serpis, municipio de Villalonga (Valencia, España)"

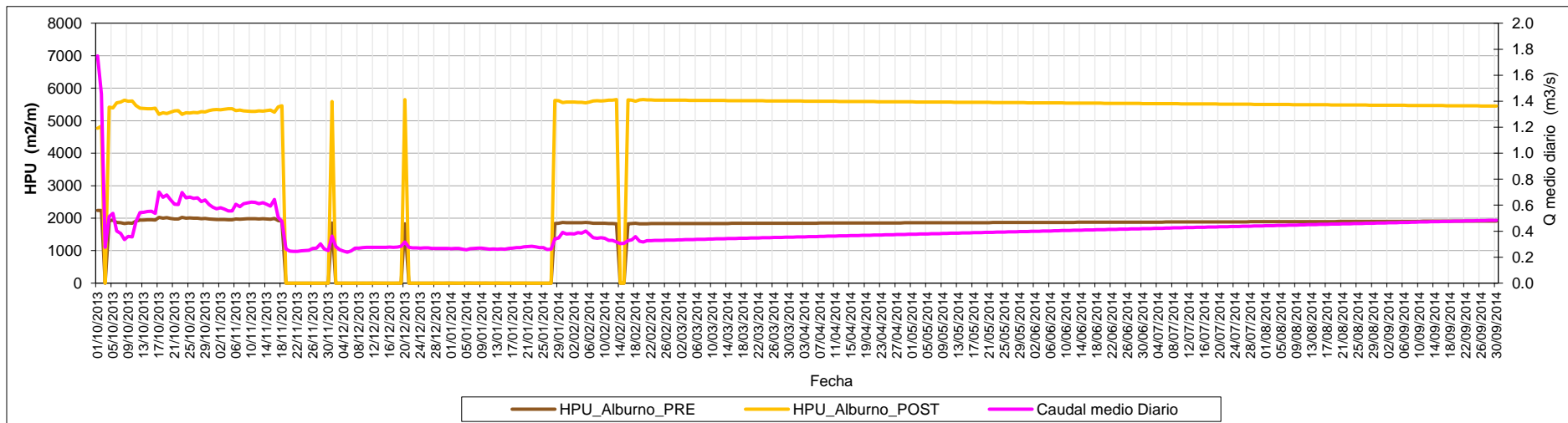
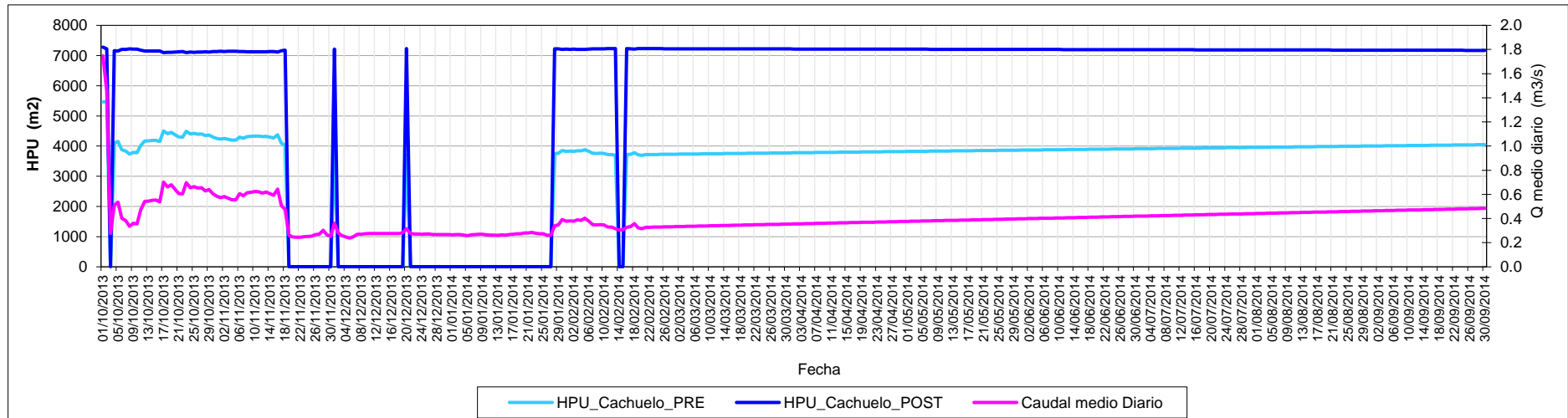


Figura Nº 42: Análisis de serie temporal de hábitat para el año hidrológico 2013-14.

6. CONCLUSIONES

El hábitat físico en los ríos regulados de lecho de grava, como la que se documenta en el presente estudio, requiere un cambio de las condiciones estáticas debido a la regulación; a fin de reorganizar las condiciones de hábitat, el intercambio hiporréico, la conectividad lateral y vertical. Dichos cambios en la morfología fueron evidenciados producto de la ocurrencia de una crecida documentada en el presente estudio (3.3.1.), cuyos impactos fueron beneficiosos para el hábitat del cachuelo valenciano (*Squalius valentinus*).

A continuación, se enumeran de modo sucinto las conclusiones del trabajo.

- I. Un tramo de estudio (de longitud 522.7 m) fue seleccionado para la simulación hidráulica y del hábitat, según los criterios establecidos para tramos representativos en la metodología IFIM. Éste presentó una secuencia de 5 mesohábitats de tipo poza y corriente, con una representatividad en área del 60% y el 40%, respectivamente.
- II. La morfología del tramo de estudio fue representada para antes y después de la crecida ocurrida en enero de 2020, de tiempo de retorno entre 10 y 25 años, con un caudal medio diario máximo de 240 m³/s (y punta horaria de 325 m³/s). Se compararon los respectivos modelos digitales de elevaciones, elaborados a partir del levantamiento topográfico realizado con estación total, GPS diferencial y vuelo fotogramétrico mediante un dron Phantom 5Pro. Su comparación permitió conocer los cambios en la morfología, relacionada con el arrastre de sedimentos, generación y redistribución del hábitat acuático, generación de barras y arrastre de vegetación exótica invasora como la caña (*Arundo donax*).
- III. La evaluación del hábitat físico fue realizada a partir de la simulación hidráulica y evaluación de la idoneidad del hábitat para las situaciones pre- y post-crecida, para caudales representativos de la serie hidrológica revisados del CEDEX (estación 8071 del río Serpis, 1999-2017). Los

modelos de idoneidad de microhábitat para la especie nativa, el cachuelo valenciano (*Squalius valentinus*) y dos especies exóticas invasoras, alburno (*Alburnus alburnus*) y perca sol (*Lepomis gibbosus*), fueron elaborados mediante reglas difusas (modelo Takagi-Sugeno-Kang), basados en lógica difusa y calibrados en estudios previos del equipo de investigación que ha guiado este trabajo. Dichos modelos permitieron evaluar la idoneidad del hábitat para cada especie y presentar las curvas de hábitat potencial útil en función del caudal (HPU-Q), así como las curvas de área idónea (AI) y del índice medio de idoneidad del hábitat (HSI).

- IV. Los resultados de la evaluación del hábitat físico mostraron que los cambios ocurridos en la morfología del tramo conllevaron impactos positivos en las condiciones de hábitat, especialmente para el cachuelo valenciano. Concretamente se estimó un incremento promedio del 46% del HPU y del AI, en todos los caudales simulados al pasar de pre-crecida a post-crecida. Además, el índice HSI para el cachuelo valenciano se incrementó alcanzando valores superiores a 0.7, valor que se considera muy adecuado para la especie.
- V. Considerando la presencia en el río Serpis de las dos especies invasoras evaluadas, la mejora estimada para el cachuelo podría suponer una mejora relevante de su situación competitiva, especialmente en caudales bajos, con respecto de las invasoras. Se estima que el cachuelo obtiene una ventaja en términos de AI sobre el alburno y la perca sol de un 45% y 142%, respectivamente.
- VI. El alburno también se vio beneficiado por la nueva morfología, incrementando sus valores de HPU y de AI para todos los caudales analizados. Esto evidencia su versatilidad de adaptación y por ende fácil expansión, como se ha visto en estudios previos en la misma cuenca (Martínez Capel, y otros, 2018). La perca sol, ha sido la más perjudicada por los cambios producidos, ya que el HPU y el AI no mostraron incrementos significativos para esta especie, y su índice medio HSI se

redujo en promedio de 0.37 a 0.32, con clara desventaja respecto a las otras dos especies.

- VII.** De modo general se puede concluir que, en este caso, la crecida de una magnitud relevante actuó como un agente restaurador de los hábitats acuáticos, influyendo positivamente en la conservación de la especie nativa y endémica de la Demarcación Hidrográfica del Júcar. Tal como se documentó en el presente estudio y en base a las evidencias de mejoras mostradas para la especie nativa, es fundamental tomar acción en el diseño e implementación de crecidas temporales a fin de que toda la ganancia de hábitat reflejado en términos de HPU, AI y HSI documentado en el presente estudio, no se pierda con los años.

7. LINEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN

En el presente trabajo de fin de máster, se abren posibles temas de investigación que pueden ser desarrollados posteriormente, tales como:

- El estudio de la calidad del agua en el tramo medio del río Serpis, donde se evalúen los parámetros físico-químicos (temperatura, oxígeno disuelto, pH, etc.) y los nutrientes (especialmente nitrógeno y fósforo), ya que estos parámetros influyen directamente en la calidad de los hábitats acuáticos y condicionan el desarrollo de las especies que en ellas se encuentran. Algunos de estos parámetros pueden resultar críticos para el hábitat de especies acuáticas y merecerían una modelación exclusiva en detalle, que permitiese evaluar posibles efectos del cambio global a corto y medio plazo. Nos permitirían además tener una visión más integral del hábitat físico presentes en el tramo del río, en cantidad y calidad.
- Debido a las características que presenta la vegetación de ribera en el tramo de estudio, la cual en gran medida es caña (*Arundo donax*), se sugiere el estudio de alternativas para su erradicación, a fin de recuperar la vegetación autóctona del bosque de ribera.

- Se sugiere profundizar en el estudio de la dinámica geomorfológica del sistema fluvial del tramo de estudio, considerando los caudales sólidos ya que estos permiten la formación, renovación y distribución de los hábitats.
- Realizar el estudio de frecuencia de avenidas bajo el enfoque de los diferentes escenarios de cambio climático, a fin de conocer las posibles variaciones de los tiempos de retorno ya que esto incide directamente en los cambios en la morfología del cauce.

8. AGRADECIMIENTOS

A continuación, manifiesto mi profunda gratitud hacia todos los que formaron parte del desarrollo del presente trabajo de investigación. Muchas gracias, porque su apoyo, asesoría, ánimos han sido fundamentales para la culminación de este Trabajo de Fin de Máster.

En primer lugar, a Dios por estar conmigo en cada paso, por guiarme y rodearme de personas maravillosas que se convirtieron en el soporte durante el periodo de estudio.

A mi querido Perú que mediante la **Beca Presidente de la República 2018**, me brindó la oportunidad de realizar mis estudios de Máster en Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente en la Universidad Politécnica de Valencia – España.

Al **DR. FRANCISCO MARTINEZ CAPEL**, quién dirigió con entusiasmo, sapiencia, dedicación y paciencia el desarrollo de la presente investigación, a quien tuve la fortuna de tener como tutor.

Al **DR. DANIELE TONINA**, quien, con sus acertadas acotaciones, aportes, asesorías dirigió en conjunto la presente investigación como Director experimental.

Al **DR. RAFAEL MUÑOZ MÁS**, quien con entusiasmo y desinteresadamente contribuyó en el proceso de evaluación del hábitat físico con sus valiosos conocimientos, acertadas acotaciones y asesorías.

Expreso mi agradecimiento al Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades (MICINN) de España mediante por el financiamiento parcial mediante el proyecto ADAPTAMED (RTI2018-101483-B-I00)

A todo el equipo que formó parte de esta investigación, ya que sin su apoyo en las largas jornadas de trabajo de campo no hubiera sido posible el desarrollo del presente estudio, me refiero a **CARLOS PUIG, MIGUEL PARRA y BLANCA FELIU** del Instituto de Investigación para la Gestión Integrada de Zonas Costeras – IGIC de la UPV del Campus de Gandía.

Asimismo, a **VICENTE SASTRE**, técnico del Ayuntamiento de Villalonga, por su apoyo en los trabajos de topografía, a **ANA MARTÍNEZ NAVEIRO y JUAN BALDERA** por su participación y apoyo en los trabajos de campo.

A mis padres **PABLO ARAMBURÚ y LUCÍA PAUCAR** y hermanas **DIANA y LUZ C**, por su apoyo y motivación constante.

A **YOEL CÓRDOVA**, por su amistad, acertadas acotaciones y asesoría.

Al **DR. WALTER GÓMEZ LORA**, por su amistad, consejos y motivación.

A mis amigos de Perú por su apoyo constante, me refiero a **YENNY, MAYRA, ROCIO, JOHN** y mi prima **SOLEDAD**. Gracias a todos.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Alcaráz Hernández, J. D., Martínez Capel, F., Peredo Parada, M., & Hernández Mascarell, A. (2011). Mesohabitat heterogeneity in four mediterranean streams of the Júcar river basin (Eastern Spain). *Limnetica AIL*, 2(30), 363-378.
- Bovee, K., Berton, L., Bartholow, J., Stalnaker, C., Taylor, J., & Henriksen, J. (1998). *Stream Habitat Analysis Using the Instream Flow Incremental Methodology*. Virginia: U.S. Geological Survey, Biological Resources Division Information and Technology Report USGS.
- Carranza Alcalde, K. E. (2017). *TFM: Plan de restauración del río Serpis y sus riberas, tramo comprendido entre los azudes "L'Infern" y "EnCarrós". TT.MM. Lorcha (Alicante) y Villalonga (Valencia)*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Confederación Hidrográfica del Júcar. (2015). *Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar (Anejo 06), Sistema de explotación y balances. Ciclo de Planificación 2015-2021*. Valencia.
- Díez Hernández, J. M., & Martínez de Azagra, A. (2004). Directrices para la modelación hidráulica de caudales ambientales mediante la metodología IFIM. Tarragona: IV Congreso Ibérico de Gestión y Planificación del Agua.
- Doadrio, I., & Carmona, J. (2006). Phylogenetic overview of the genus *Squalius* (Actinopterygii, Cyprinidae) in the Iberian Peninsula, with description of two new species. *Cybium*, 3(30), 199-214.
- Dolloff, C. A., Hankin, D. G., & Reeves, G. H. (1992). *Basinwide Estimation of Habitat and Fish Populations in Streams*. Asheville, North Carolina: Southeastern Forest Experiment Station. United state Departament of Agriculture.
- Fernández Santamaria, A. M., Martínez Capel, F., & Hernández Torres, J. M. (2007). *Determinación del régimen de caudales ecológicos en el tramo medio del Mijares*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Freyhof, J., & Kottelat, M. (2008). *IUCN REDLIST*. Recuperado el 19 de Agosto de 2020, de <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2008.RLTS.T135678A4177949.en>

- García Rivera, J. Á., & Díez Henández, J. M. (2013). *Análisis comparativo de modelos ecohidráulicos 1D y 2D para la evaluación de caudal ecológico*. Palencia: Universidad de Valladolid. Escuela Superior de Ingenierías Agrarias.
- Garófano Gómez, V., Martínez Capel, F., & Delgado Artés, R. (2009). Les riberes del Serpis. Gestió de l' aigua per a la seua conservació. En V. Garófano Gómez, F. Martínez Capel, & R. Delgado Artés, *Les riberes del Serpis. Gestió de l' aigua per a la seua conservació* (págs. 23-26). Gandía: CEIC Alfons el Vell.
- Martínez Capel, F. (2009). *Factores de degradación de las poblaciones de Loina (Parachondrostoma arrigonis) y el estado de su hábitat actual en la cuenca del río Júcar (2006-2008)*. Gandía: Instituto de Investigación para la Gestión Integrada de Zonas costeras - IGIC. Universidad Politécnica de Valencia.
- Martínez Capel, F. (2011). Modelos de Idoneidad de Microhábitat para el estudio del régimen Ecológico de Caudales. *riunet.upv.es*, 11. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10251/13641>
- Martínez Capel, F., Muñoz Mas, R., Macián Sorribes, H., Barea Sánchez, C., Marcos García, P., Ruiz Rodríguez, M., . . . Morales, M. (2018). *Adaptación al cambio global: gestión integral del régimen ecológico de caudales para el hábitat de la anguila europea y el cacho valenciano frente a especies invasoras*. Madrid: Ministerio de Agricultura y Pesca, alimentación y Medio Ambiente.
- Martínez Capel, F., Soares Costa, R., Muñoz Más, R., Alcaraz Hernández, J. D., Hernández Mascarell, A. B., Patiño Rodríguez, J. H., & Garófano Gómez, V. (2009). *Factores de degradación (Parachondrostoma arrigonis) y el estado de su hábitat actual en la cuenca del río Júcar (2006-2008)*. Gandía: Instituto de Investigación para la Gestión Integrada de Zonas Costeras - IGIC de la Universidad Politécnica de Valencia.
- Martínez, F., Vimos, D., Hampel, H., & Vázquez, R. (2018). Hydrological influences on aquatic communities at the mesohabitat scale in high Andean streams of southern Ecuador. *Ecohydrology & Hydrobiology*. doi:<https://doi.org/10.1002/eco.2033>
- Papadaki, C., Muñoz Mas, R., Ntoanidis, L., Martínez Capel, F., Zogaris, S., & Dimitriou, E. (2015). Desarrollo de modelos de idoneidad del hábitat para

la trucha balcánica (*Salmo faroides*, Kamaran) y estimación de caudales ecológicos en ríos de montaña de Grecia. *Sociedad Española de Ciencias Forestales SECF*(41), 253-268.

R Core Team (2017). R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing.

Suárez, S., & Martínez, F. (2017). *Selección de gremios y modelado de idoneidad del hábitat para la comunidad de peces en el alto Cabriel*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.

Takagi, T., & M, S. (1985). Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control . *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*(15), 116-132.

Tonina, D., & klaus, J. (2013). Hydraulic Modelling Approache for Ecohydraulic Studies:3D, 2D, 1D and Non-Numerical Models. En Wiley-Blackwell (Ed.), *Ecohydraulics: an Integrated Approach* (págs. 31-74). Worcester: Wiley Editing services.

U.S. Fish and Wildlife Service. (1981). *Ecological Services Manual - Standards for the Development of Habitat Suitability Index Models*. Washington D.C: U.S. Printing Office.

Vimos-Lojano, D. J., Martínez-Capel, F., Hampel, H., & Vázquez, R. F. (2019). Hydrological influences on aquatic communities at the mesohabitat scale in high Andean streams of southern Ecuador. *Ecohydrology*, 12(1), e2033.

10. ANEXO

- Anexo 01: Registro de campo del mapeo del hábitat
- Anexo 02: Calculo de tiempo de retorno programa Hyfran
- Anexo 03: Tabla de valores de rugosidad de Manning de la USGS
- Anexo 04: Registro de aforos realizado en pre y post crecida
- Anexo 05: Pruebas de calibración en Hecras 5.0.7 en pre-crecida
- Anexo 06: Mapas