

**Trabajo Fin de Máster**  
**EFEECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO  
EN EL HÁBITAT POTENCIAL DE LA  
TRUCHA COMÚN EN LA  
DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA  
DEL JÚCAR**

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

**Autor:**  
CRISTINA MOCHOLÍ PAREDES

**Tutor:**  
DR. MIGUEL ÁNGEL PÉREZ MARTÍN

**Director Experimental:**  
CLARA EUGENIA ESTRELA SEGRELLES

*JUNIO, 2021*



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:** Efecto del cambio climático en el hábitat potencial de la trucha común en la Demarcación Hidrográfica del Júcar.

**Título del TFM en inglés:** Effect of climate change on the potential habitat of brown trout in the Júcar River Basin District.

**Título del TFM en Valenciano:** Efecte del canvi climàtic en l'hàbitat potencial de la truita marró en la Demarcació Hidrogràfica del Xúquer.

**Alumno:** Cristina Mocholí Paredes

**Tutor:** DR. Miguel Ángel Pérez Martín

**Cotutor/es:**

**Director experimental:** Clara Eugenia Estrela Segrelles

**Fecha de Lectura:** JUNIO, 2021

## Resumen

### En español (máximo 5000 caracteres):

Estudio del impacto producido por el cambio climático en las especies de aguas frías de la Demarcación Hidrográfica del Júcar, en concreto en la trucha común (*Salmo trutta*). La trucha común es autóctona del río Júcar, y es uno de los peces de nuestra fauna ictiológica continental más estudiados debido a su importancia ecológica y económico-social. Debido al impacto producido por el Cambio Climático en España podría llegar a ser catalogada como especie en peligro de extinción. Mediante datos obtenidos de la temperatura del aire se calcula la temperatura del agua para observar el riesgo que van a tener las comunidades de trucha común y se proponen medidas de adaptación para reducir la vulnerabilidad de estas al Cambio Climático.

### En valenciano (máximo 5000 caracteres)

Estudi de l'impacte produït pel canvi climàtic en les espècies d'aigües fredes de la Demarcació Hidrogràfica del Xúquer, en concret en la truita comuna (*Salmo trutta*). La truita comuna és autòctona del riu Xúquer, i és un dels peixos de la nostra fauna ictiològica continental més estudiats a causa de la seua importància ecològica i econòmic-social. A causa de l'impacte produït pel Canvi Climàtic a Espanya podria arribar a ser catalogada com a espècie en perill d'extinció. Mitjançant dades obtingudes de la temperatura de l'aire es calcula la temperatura de l'aigua per a observar el risc que tindran les comunitats de truita comuna i es proposen mesures d'adaptació per a reduir la vulnerabilitat d'aquestes al Canvi Climàtic.

**En inglés (máximo 5000 caracteres)**

Study of the impact produced by climate change on the cold water species of the Júcar River Basin District, specifically on the common trout (*Salmo trutta*).

The common trout is native to the Júcar River, and is one of the most studied fish of our continental ichthyological fauna due to its ecological and economic-social importance. Due to the impact produced by Climate Change in Spain it could be classified as an endangered species

Using data obtained from the air temperature, the water temperature is calculated to observe the risk that the common trout communities will have and adaptation measures are proposed to reduce their vulnerability to Climate Change.

**Palabras clave español (máximo 5):** Cambio climático, Vulnerabilidad, Riesgo, Hábitat Potencial, Trucha Común.

**Palabras clave valenciano (máximo 5):** Canvi climàtic, Vulnerabilitat, Risc, Hàbitat Potencial, Truita Marró.

**Palabras clave inglés (máximo 5):** Climate change, Vulnerability, Risk, Potential Habitat, Brown Trout.



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

máster en ingeniería  
hidráulica y medio ambiente  
**mihma**

## PALABRAS CLAVE

Cambio climático, Peligrosidad, Exposición, Impacto, Vulnerabilidad, Riesgo, Hábitat Potencial, Trucha Común, Adaptación, QBR.

## RESUMEN

Estudio del impacto producido por el cambio climático en las especies de aguas frías de la Demarcación Hidrográfica del Júcar, en concreto en la trucha común (*Salmo trutta*). El hábitat de esta especie se va a ver amenazada debido al aumento de la temperatura del agua.

La trucha común es autóctona de la Demarcación Hidrográfica del Júcar, y es uno de los peces de nuestra fauna ictiológica continental más estudiados en sus aspectos biológicos y de producción, debido a su importancia ecológica y económico-social. En España se encuentra catalogada como vulnerable pero debido al impacto producido por el Cambio Climático podría llegar a ser catalogada como especie en peligro de extinción

Mediante datos obtenidos de la temperatura del aire se calcula la temperatura del agua para observar el riesgo que van a tener las comunidades de trucha común y se proponen medidas de adaptación para reducir la vulnerabilidad de estas al Cambio Climático.

Se han realizado dos análisis de detalle en el río Palancia y en el río Mijares y se ha obtenido que son masas de agua que cuentan con un riesgo muy alto en la mayor parte de los tramos estudiados, así como un índice bajo de calidad de la vegetación de ribera y se han propuesto medidas de reducción del riesgo en las mismas.







# CONTENIDO

---

1	INTRODUCCIÓN .....	7
2	ÁMBITO DE ESTUDIO.....	11
3	ANTECEDENTES.....	15
3.1	Catalogación de especies.....	15
3.1.1	SEGÚN SU DISTRIBUCIÓN .....	15
3.1.2	SEGÚN SU ESTADO DE CONSERVACIÓN .....	16
3.2	Especies en la demarcación hidrográfica del Júcar .....	17
3.3	Especies de truchas.....	20
3.4	Tolerancia Termal .....	26
3.5	Impactos en el hábitat de la trucha común .....	31
3.6	Vegetación Riparia y Conectividad.....	38
3.6.1	Conectividad ecológica como reducción de la vulnerabilidad .....	44
4	METODOLOGÍA .....	47
4.1	Escenarios de cambio climático .....	47
4.2	Evaluación del riesgo .....	49
4.2.1	Mapa de peligrosidad .....	50
4.2.2	Mapa de exposición.....	50
4.2.3	Mapa de impacto .....	51
4.2.4	Mapa de vulnerabilidad.....	51
4.2.5	Mapa de riesgo .....	52
5	APLICACIÓN.....	53



5.1	Mapas de Peligrosidad .....	53
5.2	Mapas de Exposición .....	57
5.3	Mapas de Impacto .....	60
5.4	Mapas de Vulnerabilidad .....	63
5.5	Mapas de Riesgo .....	66
5.6	Análisis por ríos y Medidas de Adaptación.....	70
5.6.1	RÍO PALANCIA .....	70
5.6.2	RÍO MIJARES.....	75
6	RESUMEN Y CONCLUSIONES .....	91
7	LÍNEAS FUTURAS .....	95
8	REFERENCIAS .....	97



# 1 INTRODUCCIÓN

---

El cambio climático es una amenaza para la tierra y todo lo que contiene. Como consecuencia las condiciones ecológicas están cambiando en todos los hábitats del planeta, lo que producirá efectos importantes para una amplia gama de organismos. Este cambio en el clima, acelerado por actividades antropogénicas, también provoca grandes efectos sobre los hábitats acuáticos, sus funciones y procesos ecológicos (Cianfrani et al., 2015), (Merriam et al., 2017).

Como la temperatura del agua sigue de cerca el ciclo anual de temperatura del aire, y esta se va a ver incrementada, también se va a producir un aumento de la temperatura de los ríos en los ecosistemas de agua dulce (Cianfrani et al., 2015). Este incremento va a provocar un grave impacto debido a que la temperatura del agua es un factor importante en los procesos ecosistémicos en ríos y arroyos ya que ejerce una gran influencia sobre el éxito biológico y el nicho ecológico de los peces y otros organismos acuáticos. También una característica del hábitat que da forma a los patrones de distribución y abundancia de especies y afecta a la ingesta de alimentos, al propio desarrollo de la especie, al comportamiento entre peces y a la reproducción (Santiago, 2017), (K. Wehrly et al., 2007).

Concretamente estas comunidades dulceacuícolas son especialmente vulnerables al aumento de temperaturas ya que estos sistemas ya sufren muchas perturbaciones de origen antropogénico como la contaminación de las aguas o la fragmentación del hábitat, que limita la dispersión de peces y otros organismos (Cianfrani et al., 2015).

Las especies de aguas frías son sensibles a estos cambios de temperaturas y en consecuencia presentan una vulnerabilidad más elevada a los impactos del cambio climático (Merriam et al., 2017), (Santiago, 2017). Aunque se ha estudiado que el calentamiento global puede beneficiar a las especies de aguas cálidas. Sin embargo, los estudios sobre salmónidos son muy importantes debido a los servicios ecosistémicos y la importancia ecológica que presentan (Rafael Muñoz-Mas et al., 2018).

Una de las especies de importancia de estudio es la Trucha común, ya que como se encuentra en aguas más frías, es una especie indicadora por su sensibilidad al aumento de temperaturas (Rafael Muñoz-Mas et al., 2018). La trucha marrón es autóctona del río Júcar, y es uno de los peces de nuestra fauna ictiológica continental más estudiados en sus aspectos biológicos y de producción por a su importancia ecológica y económico-social. En España se encuentra catalogada como vulnerable pero debido al impacto producido por el cambio climático en su hábitat podría llegar a ser catalogada como especie en peligro de extinción.

Sin embargo, los efectos crónicos de la temperatura son poco conocidos, por ello es de especial relevancia el conocimiento de los límites de tolerancia térmica de la trucha común para evaluar el impacto que va a producir, y de esta manera, priorizar actuaciones de restauración para mejorar la adaptación de la especie a los cambios (Wehrly K. et al., 2007).

Mediante datos obtenidos de la temperatura del aire en este estudio se calcula la temperatura del agua para observar el riesgo que van a tener las comunidades de trucha común y se proponen medidas de adaptación para reducir la vulnerabilidad de estas al cambio climático.



Figura 1: Esquema explicativo de la problemática del aumento de temperatura del agua de los ríos para las especies de aguas frías.



Se esperan cambios en el área de distribución de la trucha causados por una disminución de hábitat adecuado para la especie (Rafael Muñoz-Mas et al., 2018). Por ello es de especial importancia predecir cambios en la temperatura del agua bajo escenarios climáticos para implementar medidas de adaptación en hábitats y refugios de agua fría para garantizar la conservación de esta especie (Merriam et al., 2017).



## 2 ÁMBITO DE ESTUDIO

La Demarcación Hidrográfica del Júcar (DHJ) ocupa una superficie que se divide en siete provincias: Valencia, Albacete, Alicante, Castellón, Cuenca y Teruel, una pequeña zona de Tarragona y de Murcia. La mayor parte de la extensión total de la demarcación se encuentra en la Comunidad Valenciana, que supone un 50% de su superficie.

El área total de la DHJ es de 42.730 km<sup>2</sup> y limita con el mar Mediterráneo y con las demarcaciones del Tago, Guadiana y Guadalquivir al oeste. También limita con la confederación del Ebro y del Segura al norte y sur.

Geomorfológicamente la DHJ puede agruparse en dos ambientes: una zona interior montañosa, con altitudes superiores a 1.500 metros y otra zona costera, la cual se compone principalmente por llanuras costeras. En las llanuras o “planas” se produce la mayor parte de la agricultura de regadío de la DHJ ya que presenta suelos con abundancia de nutrientes y la mayor parte de la población está establecida en este tramo.



Figura 2. Ámbito territorial de la Demarcación Hidrográfica del Júcar (Documentos iniciales de la planificación hidrológica 2015 - 2021)



En el Sistema Ibérico nace el río principal, el Júcar, con una longitud de 512 km, y sus principales afluentes son el Cabriel, el Cárchica y el Magro. El Júcar se encuentra conectado a un acuífero localizado en la Mancha con el que se dan procesos de drenaje y descarga. Los principales ríos de la demarcación que intervienen en la red de drenaje son el Cenia, Mijares, Palancia, Turia, Júcar, Serpis y Vinalopó.

Los cauces de la demarcación tienen un régimen mediterráneo con episodios de inundaciones en otoño y sequías en verano. Las aguas subterráneas de la demarcación poseen una gran importancia ya que constituyen el 85% de la aportación total de agua a la red fluvial. El 15% de aportación restante corresponde a la escorrentía superficial directa.

El bosque y zonas seminaturales ocupan más del 50% del territorio; de zonas agrícolas de secano el 36%; y de zonas agrícolas de regadío el 10%. En la zona interior de la Demarcación predomina el clima continental con inviernos fríos y largos, y veranos secos y calurosos. Es en la cabecera del Cabriel y el Júcar donde se dan las temperaturas más bajas, la zona de la Mancha presenta una temperatura media de 7°C en invierno, y los valores medios de verano, en torno a los 22°C, con valores máximos de 26°C. En la zona de la Comunidad Valenciana, donde predomina el clima mediterráneo, con inviernos cortos y suaves, y veranos largos y calurosos, la temperatura media anual es de unos 16°C, con valores mensuales mínimos en invierno de 6°C y máximos en verano de unos 26°C.

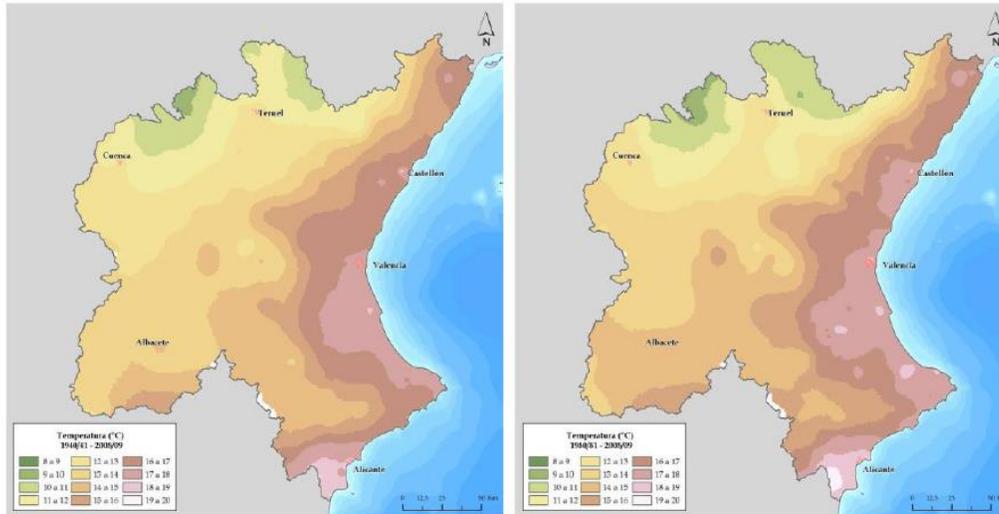


Figura 3: Distribución espacial de la temperatura media anual (°C) en la Demarcación Hidrográfica del Júcar. análisis realizado por la Confederación Hidrográfica del Júcar de dos series de datos climáticos desde el año hidrológico 1940/41 hasta el 2008/09, y desde el 1980/81 hasta el 2008/09. (Documentos iniciales de la planificación hidrológica 2015 – 2021)

La DHJ presenta una gran diversidad de ecosistemas, esto se debe a la variedad de características geomorfológicas, litológicas y de clima que presenta la Demarcación. De esta manera el bosque ripario es la máxima expresión de biodiversidad. Esto junto con la evolución geomorfológica, la buena calidad y cantidad de agua y la evolución geológica han permitido que se desarrollen un gran número de endemismos y especies autóctonas en el área.



Figura 4: Bosque ripario en el cauce medio del río Júcar (Alcalá del Júcar) (Documentos iniciales de la planificación hidrológica 2015 – 2021)



Según los Documentos iniciales de la planificación hidrológica 2015 – 2021 de la Demarcación Hidrográfica del Júcar el 37% de los ríos de la Demarcación presentan presión puntual significativa, y el 45,17% de territorio está afectado por la actividad agrícola, la cual se traduce en una fuente de contaminación difusa.

Por efecto de las alteraciones morfológicas hay 140 masas de agua superficial con presión significativa. Este tipo de alteraciones incluye las modificaciones longitudinales como canalizaciones, protecciones de márgenes y coberturas de cauces. Las modificaciones transversales, como azudes y presas, extracción de áridos, explotación forestal y otras actividades que supongan la alteración de la zona de ribera. (Confederación Hidrográfica del Júcar (2014))

## 3 ANTECEDENTES

---

### 3.1 CATALOGACIÓN DE ESPECIES

Las especies están sujetas a una catalogación dependiendo del lugar de procedencias, es decir, donde se distribuyen naturalmente o de su estado de conservación.

#### 3.1.1 SEGÚN SU DISTRIBUCIÓN

Dentro de la catalogación de especies según su distribución se encuentran, en primer lugar, las especies endémicas. Estas especies son nativas de una región en particular y se encuentran solo en esa área, por ejemplo, el Samaruc (*Valencia hispánica*) es endémico de la costa mediterránea.



Figura 5: Samaruc (*Valencia hispánica*) (Caiola, N. 2017).

En cambio, las especies nativas o autóctonas se diferencian de las endémicas ya que, aunque también se encuentran naturalmente en una región, estas se pueden encontrar en otras regiones de forma natural.

Por otro lado, una especie exótica, introducida o alóctona es una especie foránea que ha sido introducida en una zona fuera de su distribución natural. Esta introducción se suele

producir siempre por causas humanas, ya sea de forma voluntaria o involuntaria. El concepto contrario es el de especie autóctona (Camps, 2015).

Por último, la catalogación de invasora se les atribuye a especies que, siendo exótica o autóctona, el aumento de su población supone un problema ambiental en esa zona determinada. Aunque la gran mayoría de especies invasoras son exóticas, también hay algunos casos en que puede ser autóctona. Por ejemplo, si en un bosque desaparece el depredador principal de una determinada especie, ésta puede crecer en número, de manera que se convertirá en invasora (*Catálogo Español de Especies Exóticas Invasoras*, s. f.); (Camps, 2015) Un ejemplo de especie invasora y exótica es el mejillón cebra:



Figura 6: Mejillón Cebra (*Dreissena polymorpha*) (Portela, 1017).

### 3.1.2 SEGÚN SU ESTADO DE CONSERVACIÓN

Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) de especies amenazadas establece la siguiente categorización de especies según su estado de conservación:

Tabla 1: Categorías de estado de conservación de las especies.

	<b>Bajo riesgo</b>	<b>Amenazada</b>	<b>Extinta</b>
<b>No evaluado (NE)</b>	Preocupación menor (LC)	Vulnerable (VU)	Extinta en estado silvestre (EW)
<b>Datos insuficientes (DD)</b>	Casi amenazada (NT)	En peligro (EN)	Extinta (EX)
		En peligro crítico (CR)	

### 3.2 ESPECIES EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR

Según el libro de Ictiofauna Continental Española de 2011 en las siguientes tablas se observan algunas de las especies piscícolas de la Demarcación Hidrográfica del Júcar. Las tablas se diferencian por la catalogación de especies según su distribución, e indican el estado de conservación de cada una.

Tabla 2: Especies endémicas del río Júcar

ESPECIES DEL JÚCAR AUTÓCTONAS, ENDÉMICAS ESPAÑOLAS.	
ESPECIE	ESTADO DE CONSERVACIÓN
<b>Parachondrostoma arrigonis (Steindachner, 1866). Loina</b>	En peligro crítico (CR)
<b>Valencia hispanica Valenciennes in Cuvier &amp; Valenciennes, 1846. Samaruc</b>	En peligro crítico (CR)
<b>Aphanius iberus (Valenciennes in Cuvier &amp; Valenciennes, 1846). Fartet</b>	En peligro (EN)
<b>Squalius valentinus (Doadrio y Carmona, 2006). Cacho del Mediterráneo</b>	Casi amenazada (NT)
<b>Barbus guiraonis Steindachner, 1866. Barbo mediterráneo</b>	Casi amenazada (NT)
<b>Tinca tinca (Linnaeus, 1758). Tenca</b>	No amenazada (NA)

Tabla 3 Especies endémicas del río Júcar

ESPECIES DEL JÚCAR AUTÓCTONAS, ENDÉMICAS IBERICAS (ESPAÑA + PORTUGAL)	
ESPECIE	ESTADO DE CONSERVACIÓN
<b>Chondrostoma polylepis Steindachner, 1864. Boga de río</b>	Vulnerable (VU)
<b>Cobitis paludica (de Buen, 1929). Colmilleja</b>	Vulnerable (VU)
<b>Achondrostoma arcasii (Steindachner, 1866). Bermejuela</b>	Vulnerable (VU): Galicia, Duero oriental y occidental-Sil, Tajo y Júcar; En peligro (EN): mediterráneo y Cuerpo de Hombre-Tormes

Tabla 4 Especies endémicas del río Júcar

ESPECIES DEL JÚCAR AUTÓCTONAS, ENDÉMISMO HISPANICO-FRANCÉS	
ESPECIE	ESTADO DE CONSERVACIÓN
<b>Gobio gobio (Linnaeus, 1758). Gobio</b>	No amenazada (NA)

Tabla 5: Especies autóctonas no endémicas del río Júcar

ESPECIES DEL JÚCAR AUTÓCTONAS, NO ENDÉMICAS	
ESPECIE	ESTADO DE CONSERVACIÓN
<b>Anguilla anguilla (Linnaeus, 1758). Anguila</b>	En peligro (EN)
<b>Salaria fluviatilis (Asso 1801). Fraile</b>	En peligro (EN)
<b>Atherina boyeri Risso, 1810. Pejerrey</b>	Vulnerable (VU)
<b>Salmo trutta Linnaeus, 1758. Trucha común</b>	Vulnerable (VU)

Tabla 6: Especies exóticas no invasoras del río Júcar

ESPECIES DEL JÚCAR EXÓTICAS, NO INVASORAS	
<b>Carassius auratus (Linnaeus, 1758).</b>	Pez rojo

Tabla 7: Especies invasoras del río Júcar

ESPECIES DEL JÚCAR EXÓTICAS, INVASORAS	
Nombre científico	Nombre común
<b>Alburnus alburnus (Linnaeus, 1758).</b>	Alburno
<b>Cyprinus carpio Linnaeus, 1758.</b>	Carpa
<b>Gambusia holbrooki (Agassiz, 1859).</b>	Gambusia
<b>Sander lucioperca (Linnaeus, 1758).</b>	Lucioperca
<b>Micropterus salmoides (Lacépède, 1802).</b>	Perca americana
<b>Lepomis gibbosus (Linnaeus, 1758).</b>	Pez Sol
<b>Ameiurus melas (Rafinesque,</b>	Pez gato negro



<b>1820).</b>	
<b>Esox lucius Linnaeus, 1758.</b>	Lucio
<b>Oncorhynchus mykiss (Walbaum, 1792).</b>	Trucha arco-iris (invasora desde 2016)

(*Catálogo Español de Especies Exóticas Invasoras*, s. f.); (Doadrio et al., 2002a)



### 3.3 ESPECIES DE TRUCHAS

Existen muchas especies de truchas con características similares, aunque en España la especie de trucha que ocupa la mayor parte del territorio es la trucha marrón o común (*Salmo trutta*).

Algunos ejemplos de otras especies son la Trucha arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*), la cual es nativa sólo de los ríos y lagos de América del Norte, al oeste de las Montañas Rocosas, pero su valor como pescado de caza y su sabroso sabor la ha llevado a su implementación por todo el mundo (Vermont Fish & Wildlife Department, 2021), (Alonso, C., Gortázar, J., García de Jalón, D., 2017)

La Trucha de arroyo (*Salvelinus fontinalis*) es nativa de las regiones orientales de América del Norte. Suelen encontrarse en altitudes elevadas y su distribución se extiende desde las montañas de los Apalaches en el sur hasta las partes septentrionales de Georgia y Canadá (Sanz, J. J., Elvira, B.).

La Trucha Lago (*Salvelinus namaycush*) se encuentran en diferentes lugares de USA y Finlandia, y son nativas de muchos de los lagos fríos y profundos de Vermont.

Por último la Trucha Toro (*Salvelinus confluentus*) vive en el noroeste de América (Estados Unidos y Canadá). Las poblaciones de esta especie de trucha se están viendo mermadas de forma importante en los últimos años por sobreexplotación, usos industriales y mala gestión de silvicultura.

En la península ibérica la especie predominante de truchas es la *Salmo trutta*, la trucha marrón es una especie indicadora ya que es sensible al aumento de las temperaturas porque habita en aguas frías (Comte et al., 2013). Por otro lado, también está considerada como una especie muy importante debido a su papel dentro de las redes alimentarias de agua fría y la cantidad de servicios ecosistémicos que brinda (Doadrio et al., 2002b).

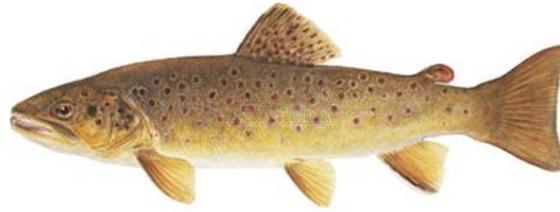


Figura 7: *Salmo trutta* (Inventario Español de Especies Terrestres. Vertebrados. Peces Continentales, 2021)

### - **Morfología**

La trucha común es un pez que en España no suele superar los 60 cm y 10 kg de peso. La coloración puede variar dependiendo de las poblaciones y se caracteriza por presentar manchas negras y rojas oceladas.



Figura 8: *Butroe*, cuenca del *Butroe*, Vizcaya. Población migradora (Ictiofauna Continental Española 2011)

En España hay dos tipos de poblaciones de trucha común, una migradora que se desplaza desde los ríos gallegos y de la cordillera cantábrica hacia el mar para completar allí su maduración sexual y vuelven a los ríos para su reproducción, y otra sedentaria, que vive en los demás ríos españoles. Estas poblaciones permanecen todo su ciclo vital en las partes altas del río sin llegar nunca al mar.



Figura 9: Ejemplar de trucha (*Salmo trutta*) del río *Cabriel*, cuenca del *Júcar*. Población sedentaria (Ictiofauna Continental Española 2011)

Aunque normalmente las truchas sedentarias y las migradoras presentan muchas diferencias morfológicas, ecológicas y demográficas, pueden encontrarse en simpatria y pueden reproducirse entre sí.

Desde un punto de vista genético existen diferentes tipos de poblaciones ya que, al estar aisladas presentan diferencias entre ellas. Principalmente se diferencian tres grupos: uno compuesto por los ríos mediterráneos, otro por los ríos cantábricos y un último grupo que integra los ríos del sur de la península.

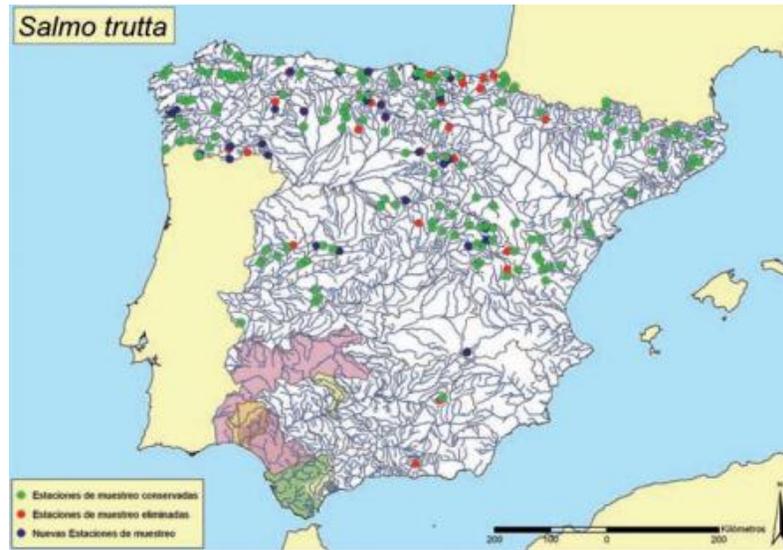


Figura 10: Puntos de muestreo realizados para el seguimiento de la trucha (*Salmo trutta*) (Ictiofauna española, 2011)

### - Hábitat

Habita en aguas rápidas, limpias, frescas, bien oxigenadas y frías y se alimenta principalmente de invertebrados bentónicos, insectos y moluscos, aunque los ejemplares grandes pueden llegar a alimentarse de algunos peces y anfibios.

Se encuentra en lugares con sustratos de cantos y bolos, y en ocasiones en fondos de grava, arena y limo. Los individuos más jóvenes encuentran refugio en los cursos altos de los ríos, entre bolos y bloques. Sin embargo, las truchas adultas habitan tramos más remansados y se refugian entre raíces y vegetación sumergida en las orillas de tablas y grandes pozas.

### - Ciclo de vida

La freza se produce en un periodo de meses comprendido entre noviembre y enero, es decir en invierno, ya que necesitan temperaturas de agua entre 5 y 10°C. Para la puesta entierran los huevos en un lecho de grava y estos se incuban más de un mes como mínimo, durando



por lo general más de 40 días con temperaturas cercanas a 10°C, y eclosionan a la primavera siguiente de la puesta. La fecundidad puede variar según las características ambientales que presente una zona, así como la temperatura media del agua puede influir en el periodo de la puesta y se correlaciona con el crecimiento de las truchas.

Las truchas suelen alcanzar la madurez sexual entre los dos y tres años de vida dependiendo si son poblaciones que habitan únicamente en agua dulce o de lo contrario viajan al mar. Las poblaciones sedentarias que habitan en donas más frías suelen madurar sexualmente a una edad más tardía, entre uno y diez años.

Por otro lado, aunque no lleguen a alcanzar tallas mayores, la longevidad también se incrementa en latitudes más altas, siendo esta de entre tres y ocho años, aunque se han encontrado ejemplares de veinte años.

#### - **Distribución**

En España, la trucha común se distribuye por las cabeceras de casi todos los ríos de la Península Ibérica. Falta en la cuenca del Guadiana y en algunos ríos del litoral levantino y el sur de la península. La distribución actual está fuertemente condicionada por las repoblaciones llevadas a cabo a lo largo del siglo XX en toda la península.

Es una especie que fue introducida a partir de 1863 en muchos sitios de todo el mundo. A nivel mundial esta especie se considera de amplia distribución paleártica encontrándose en todos los países de la Unión Europea, el oeste de Asia, noreste del Atlántico, mar Báltico, mar del Norte, mar Mediterráneo, mar Negro y mar Caspio. También fue introducida en América y Australia.

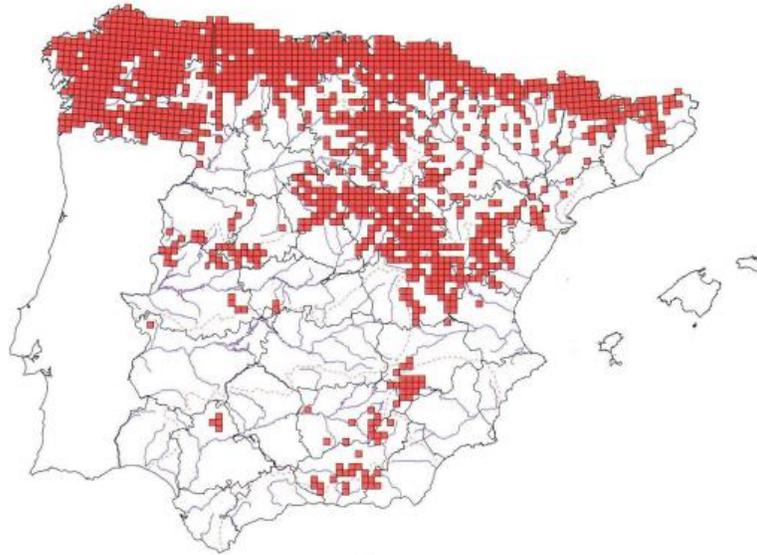


Figura 11: Mapa de distribución de *Salmo trutta* 2001 (Atlas y Libro Rojo de los Peces Continentales de España, 2001)

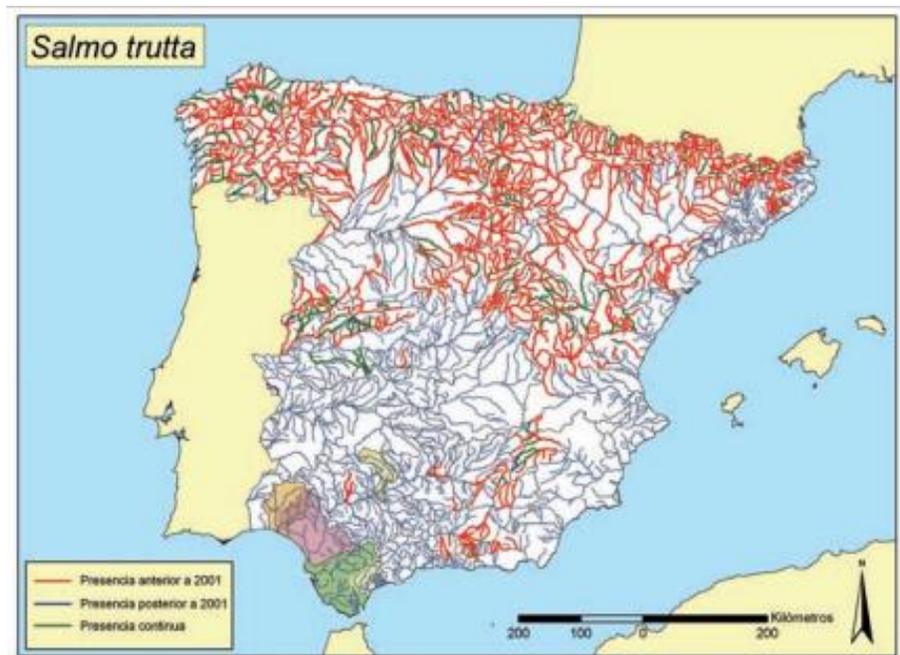


Figura 12: Mapa de distribución de *Salmo trutta* 2011 (Ictiofauna española, 2011)

### - Conservación

La especie es vulnerable a ciertas actividades, las cuales provocan una disminución de la densidad y biomasa de las poblaciones, una modificación de la estructura de edades de las poblaciones y la pérdida de hábitat adecuada. Las amenazas más importantes son la



introgresión genética, es decir, introducir en una población genes de otra diferente, en ese caso provenientes de repoblaciones. La pesca deportiva y la introducción del lucio es también en muchas regiones otro factor de amenaza. El lucio (*Esox lucius*) es depredador de la trucha y está considerado como especie invasora.

Por otro lado, las alteraciones de cauces por contaminación procedentes de vertidos urbanos, por obras hidráulicas, la extracción de áridos, canteras y el lavado de mineral, también implican impactos en las zonas de reproducción y de refugio.

A causa de estos factores la especie en España es considerada como Vulnerable (VU) de acuerdo con las categorías de la UICN.

Para preservar las poblaciones de truchas el libro de la Ictiofauna Española de 2011 propone proteger estrictamente aquellos ríos que no presentan introgresión genética y no realizar repoblaciones con individuos foráneos. También favorecer la pesca sin muerte en la mayoría de los ríos y depurar de forma adecuada los vertidos en los ríos y minimizar los efectos de las obras hidráulicas ya que la calidad del hábitat es uno de los factores más importantes para mantener unas poblaciones de salmónidos adecuadas, especialmente la temperatura y el flujo del agua (Doadrio et al., 2002b); (Inventario Español de Especies Terrestres. Vertebrados. Peces Continentales, 2021)

### 3.4 TOLERANCIA TERMAL

Los tramos de río se pueden zonificar dependiendo de la tolerancia a las temperaturas que presentan las truchas: zona óptima para la habitabilidad de la especie, zona de apremio y zona de intolerancia.

La zona de apremio zona intermedia entre la zona óptima y la zona de intolerancia. Se conforma de un rango de temperatura del agua a partir del cual el número de individuos se reduce significativamente.

Por otro lado, la zona de intolerancia se encuentra donde la temperatura del agua supera la temperatura máxima mensual que la especie puede soportar.

Finalmente, la barrera termal representa la temperatura máxima que puede tolerar una determinada especie. Se conforma por la isoterma asociada a la temperatura máxima mensual que la especie puede soportar y se mide en cantidad de kilómetros lineales afectados por la reducción o pérdida de hábitat.

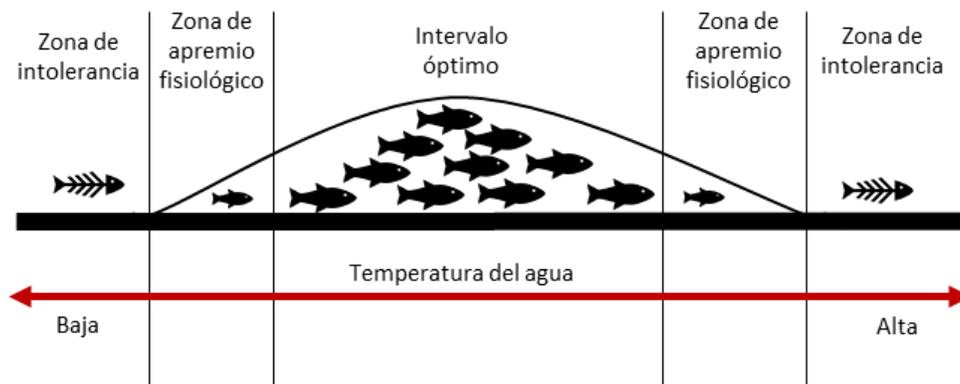


Figura 13: Zonificación de la habitabilidad de la especie en relación con la temperatura del agua (Estrela Segrelles & Pérez Martín, 2021)

El estudio “*Field-Based Estimates of Thermal Tolerance Limits for Trout: Incorporating Exposure Time and Temperature Fluctuation*” realizado en Michigan y Wisconsin por Kevin E. Wehrly y Lizhu Wang estimaba los límites superiores de tolerancia térmica para la trucha de arroyo *Salvelinus fontinalis* y la trucha marrón *Salmo trutta*. Los límites de tolerancia hallados se estimaron para la temperatura media diaria máxima (MEANT), la temperatura máxima diaria máxima (MAXT).

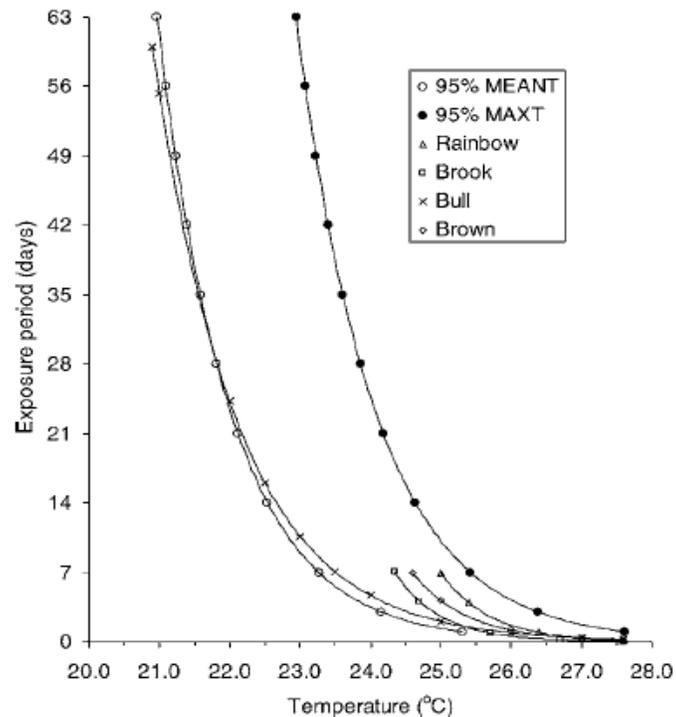


Figura 14: Estimaciones de dos medidas de tolerancia térmica de la trucha arroyo y la trucha marrón en función del período de exposición (Wehrly et al., 2007).

En la Figura 14 se muestran las estimaciones de dos medidas de tolerancia térmica de la trucha arroyo y la trucha marrón en función del período de exposición. Temperatura media diaria máxima (MEANT - círculos blancos) y Temperatura máxima diaria máxima (MAXT - círculos negros). También se muestran las temperaturas letales incipientes superiores (UILT) de estudios de laboratorio publicados para varias especies de truchas en función del período de exposición.



Se obtuvo que, durante períodos de tiempo de 1 a 14 días, las temperaturas máximas toleradas por las truchas disminuyeron rápidamente de 25,38 °C a 22,58 °C para MEANT y de 27,68 °C a 24,68 °C para MAXT. En cambio, para períodos de tiempo de 21 a 63 días, las temperaturas elevadas toleradas por las truchas disminuyeron más gradualmente de 22.18 °C a 21.08 °C para MEANT y de 24.28 °C a 22.98 °C para MAXT.

Se observó también que el límite de tolerancia superior de 7 días fue 23,38 °C para MEANT y 25,48 °C para MAXT. Por otro lado, el rango máximo tolerado por la trucha varió en función de la temperatura media y la duración de la exposición.

Los resultados muestran que los efectos crónicos de la temperatura, y la fluctuación de la temperatura, son importantes en cuanto a la distribución de los salmónidos y, por lo tanto, deben tenerse en cuenta al desarrollar objetivos de gestión y estándares de calidad del agua (Wehrly et al., 2007).

Otro estudio realizado en 2020 por Coughlin sobre la aclimatación térmica de las truchas, en concreto la trucha arco-iris (*Oncorhynchus mykiss*) mostró que la trucha presenta propiedades contráctiles de los músculos más lentas y un rendimiento de natación más lento con una exposición prolongada a aguas más cálidas.

D.J. Coughlin, L.T. Wilson, E.S. Kwon y L.S. Travitz (Coughlin et al., 2020) examinaron las propiedades contráctiles del músculo miotomal (músculo que afecta a la rapidez y a la resistencia natatoria) de contracción rápida (blanco) y de contracción lenta (rojo). A 10 °C, los peces aclimatados a 20 °C tenían un rendimiento muscular más lento que los peces aclimatados a 10 °C.

La velocidad máxima del músculo miotomal de contracción rápida de las temperaturas cálidas fue un 33% más lenta que la de la trucha aclimatada al frío. Por otro lado, la velocidad máxima del músculo miotomal de contracción lenta fue un 14% más lenta que la de la trucha aclimatada al frío.

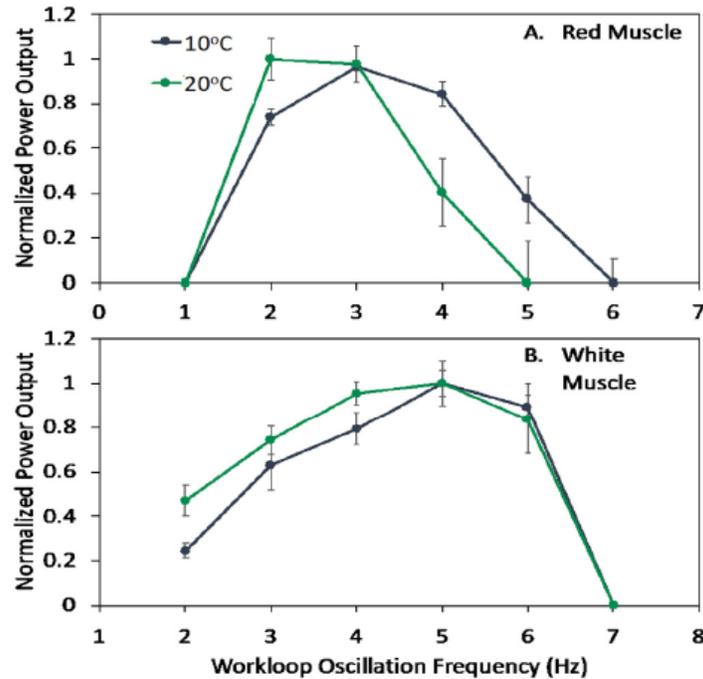


Figura 15: Curvas de producción de frecuencia en función de la potencia para el músculo rojo (A) y blanco (B) de la trucha arco iris (Coughlin et al., 2020).

En la Figura 15 se observa como para el músculo rojo, la aclimatación térmica cambia la respuesta de frecuencia de la potencia de salida. Para el músculo de contracción lenta, la aclimatación al agua más caliente produce un cambio hacia la izquierda en la curva (A). Para el músculo blanco, la aclimatación térmica no afecta las curvas de producción de potencia.

Se concluyó que, como se había observado, la trucha tiene una capacidad limitada para mitigar la temperatura ambiental elevada a través de la aclimatación térmica de su músculo miotomal o nadador (Coughlin et al., 2020).

Por otro lado, en la Península Ibérica, se piensa que la temperatura del agua tiene un efecto muy importante en la distribución del hábitat de la trucha común y temperaturas muy bajas o muy altas pueden provocar defectos en el desarrollo de las crías en la etapa de reproducción de la trucha (R. Muñoz-Mas et al., 2016).

Según un estudio sobre el hábitat de desove en el río Cabriel realizado en 2018 por Rafael Muñoz-Mas donde se predecía la degradación del hábitat de desove de la trucha marrón



inducida por el cambio climático en un segmento del río Cabriel, se predijo la desaparición de la especie en ciertos segmentos de río.

El estudio concluyó con que las temperaturas más altas de las idóneas para las truchas por lo general aumentan la proporción de malformaciones en los embriones y aceleran la eclosión de los huevos de las truchas. También se detectó que las truchas en general preferían temperaturas para el desove por encima de 5 °C con un valor óptimo de 9,09 °C y un umbral superior máximo de 15 °C, mientras que la disminución de la idoneidad de la reproducción se daba entre 10-15 °C.

En general toda la población estudiada sufrirá los efectos del cambio climático y probablemente será extirpada de los tramos aguas abajo del río Cabriel (Rafael Muñoz-Mas et al., 2018).

Según los diferentes estudios se ha establecido una tabla resumen con las temperaturas idóneas y los límites termales de las truchas dependiendo de cada autor y de la etapa del ciclo de vida del que se habla.

Tabla 8: Tolerancias termales de las truchas según la etapa de vida.

Trucha	Intervalo Óptimo	Barrera Termal
<b>Huevos</b>	5-10 °C	15°C
<b>Jóvenes</b> (Cianfrani et al., 2015)		30°C
(K. Wehrly et al., 2007)	10-20 °C	22,58°C 7días; 21,8°C 30 días; 21,08°C 60 días
(Cianfrani et al., 2015)	12-16 °C	24-26°C
(Merriam et al., 2017)		23,3°C 7 días; 21°C 60 días
(Cianfrani et al., 2015)	13,1-18,7 °C	
otros		23,38°C 7 días

### 3.5 IMPACTOS EN EL HÁBITAT DE LA TRUCHA COMÚN

Se sabe que, aunque otros factores como el caudal también pueden influir, la temperatura es un factor limitante en la dinámica de las poblaciones, pero el caudal es también un elemento estructural de las poblaciones piscícolas y está prevista la disminución de este en el hemisferio norte debido al aumento de las temperaturas causadas por el cambio climático. El caudal influye en su crecimiento, supervivencia y abundancia de algunas poblaciones ya que determina la disponibilidad de alimento. Por ello es especial importancia considerar los efectos combinados de la temperatura y el flujo de caudales en los estudios acerca de las dinámicas poblacionales ya que estos indican un aumento en la mortalidad de las truchas.

Un estudio de Ayllón et al., 2019 sobre efectos térmicos e hidrológicos del cambio climático en la trucha mediterránea combina las consecuencias de los cambios en el régimen con los efectos combinados de los cambios en el régimen térmico y el flujo de los ríos para las poblaciones de truchas de diferentes ríos. Por otro lado, también evaluaba el efecto amortiguador del aumento de la producción de alimentos que puede estar relacionado con el calentamiento.

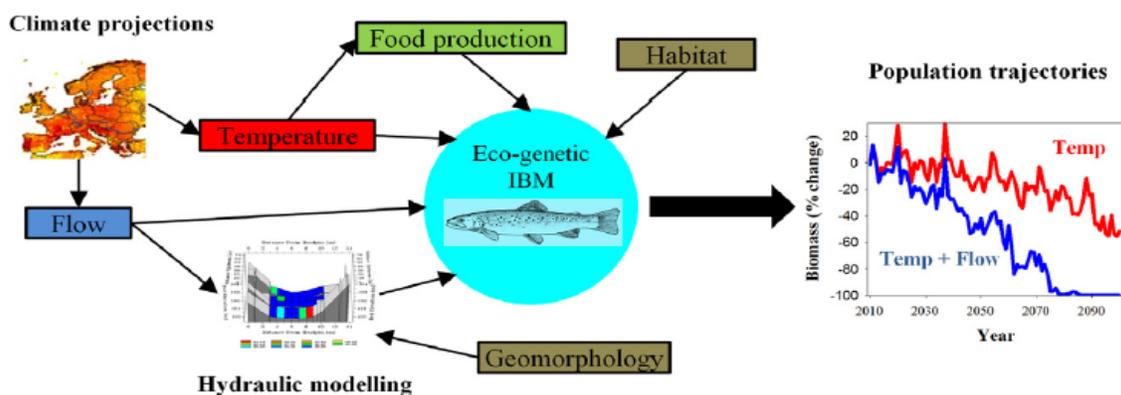


Figura 16: Esquema resumen aplicación modelo hidráulico (Ayllón et al., 2019).

Para la obtención de los resultados se utilizó un modelo de simulación del ciclo de vida de la trucha utilizando una medida de tiempo diaria con el flujo del arroyo y la temperatura del agua.

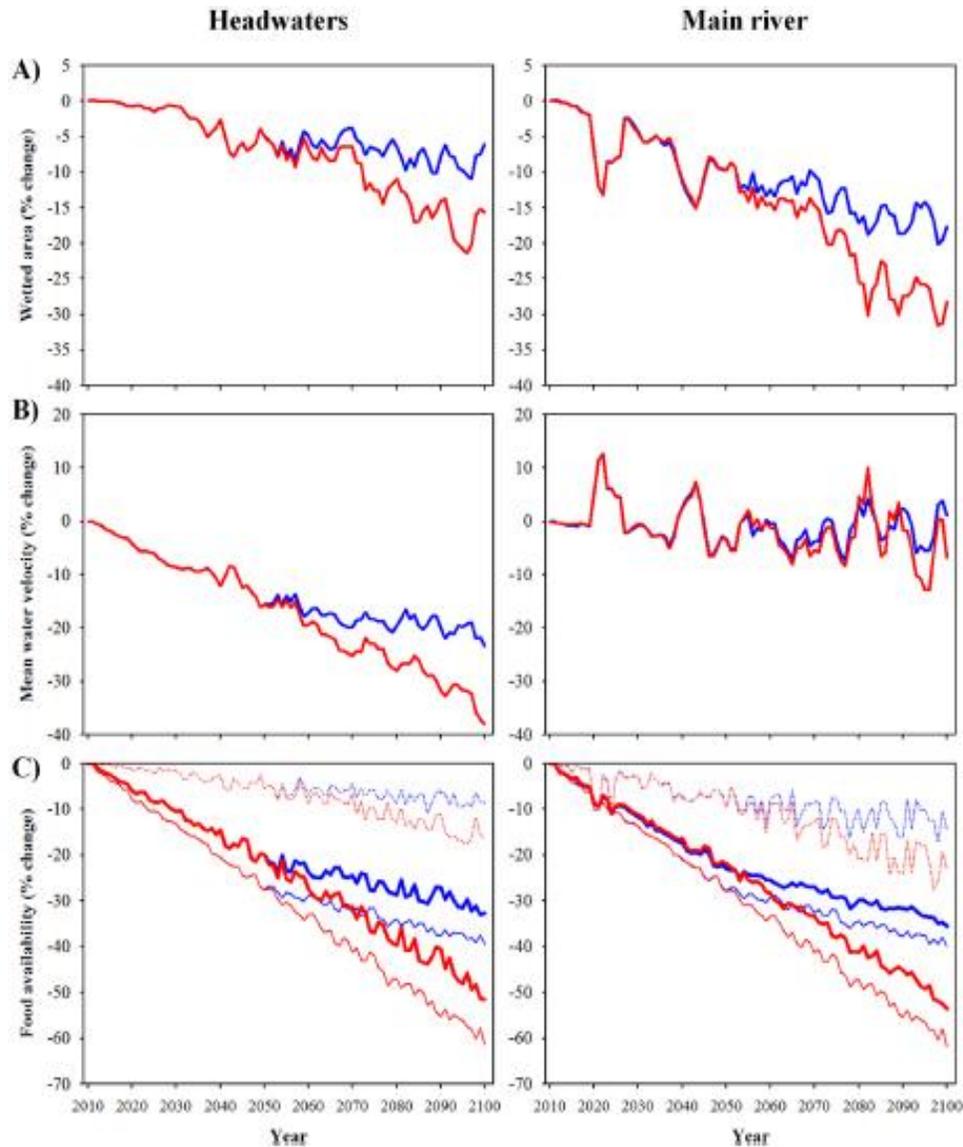


Figura 17: Área mojada (fila A); los cambios de la velocidad media del agua (fila B) en los escenarios RCP4.5 + Cambio de flujo (línea azul) y RCP8.5 + Cambio de flujo (línea roja). La fila C bajo RCP4.5 + Cambio de flujo (color azul) y RCP8.5 + Cambio de flujo (rojo color) escenarios (Ayllón et al., 2019).

Los resultados que se obtuvieron en el estudio mostraban que el cambio climático junto con la variación de caudal en los ríos afectaría gravemente a las poblaciones de truchas ya que se observó que los ríos no pueden albergar poblaciones de truchas bajo fuertes tasas de cambio de flujo. Por otro lado, se detectó que el cambio en la temperatura afectaría en

mayor grado a los individuos más maduros ya que se produce un incremento de la energía necesaria para llevar a cabo las funciones metabólicas. De este modo las poblaciones se compondrán por ejemplares jóvenes que no llegan a alcanzar etapas maduras. Por último, se vio que, aunque los cambios evolutivos producidos por la adaptación de la trucha al cambio climático confieren en general una gran capacidad de adaptación al aumento de las temperaturas, este efecto combinado con las modificaciones del flujo de los arroyos puede suponer para la trucha la extinción de algunas de las poblaciones más vulnerable en ciertos tramos de río.

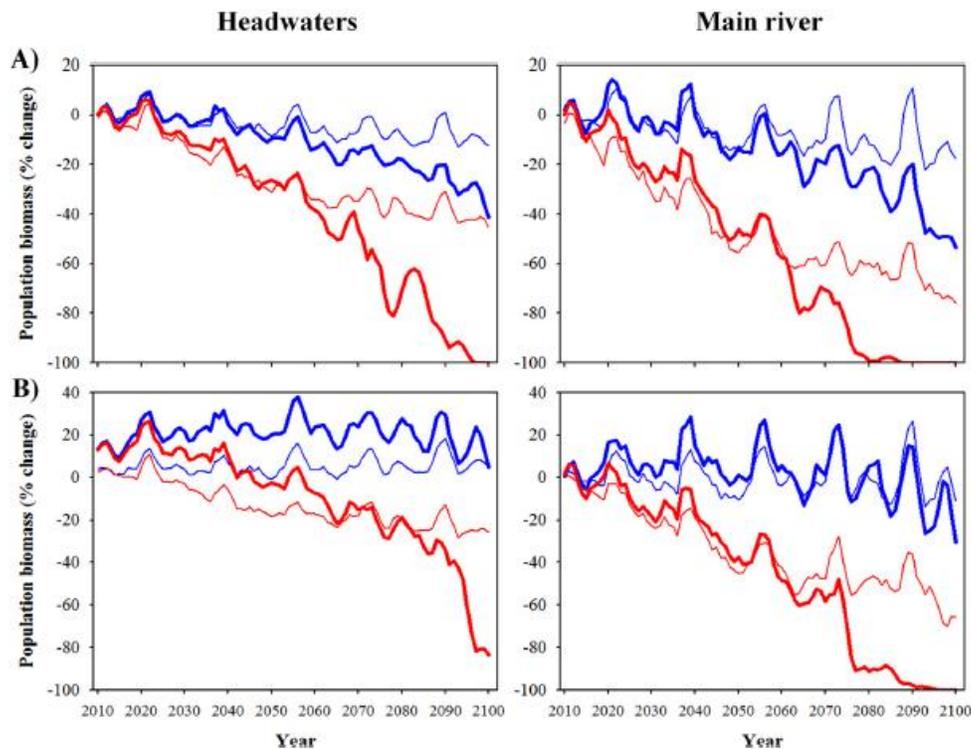


Figura 18: Cambio en la biomasa de la población en escenarios de cambio ambiental sin (A) y con aumento simulado en la producción de alimentos (B) en relación con el escenario de referencia en dos tipos de ríos (cabeceras vs. río principal) (Ayllón et al., 2019).

Se concluyó que, aunque las truchas poseen mecanismos que las hacen bastante resistentes al calentamiento global, este derivará en un efecto negativo sobre estas, el cual implicará poblaciones más pequeñas y de individuos jóvenes.

Por otro lado, el efecto en conjunto del calentamiento y la reducción del flujo conducirá a la extinción de las poblaciones de truchas mediterráneas, incluso si la producción de alimentos se ve incrementada con el aumento de las temperaturas (Ayllón et al., 2019).

Un estudio de Merriam et al., 2017 evaluaba las características térmicas y la vulnerabilidad al cambio climático que presentan los hábitats de la trucha de arroyo (*Salvelinus fontinalis*) en la subcuenca superior de Shavers Fork, al oeste del estado de Virginia. De esta manera se observó la variabilidad espacial y temporal en las temperaturas registradas en 23 tramos de los arroyos en verano.

Para ello se utilizó un modelo para predecir la temperatura media diaria del arroyo a partir de la temperatura del aire y la descarga y junto con un modelo hidrológico se predijeron los cambios futuros para el periodo de años 2016-2100 para los escenarios de emisiones de cambio climático RCP 4.5 y RCP 8.5.

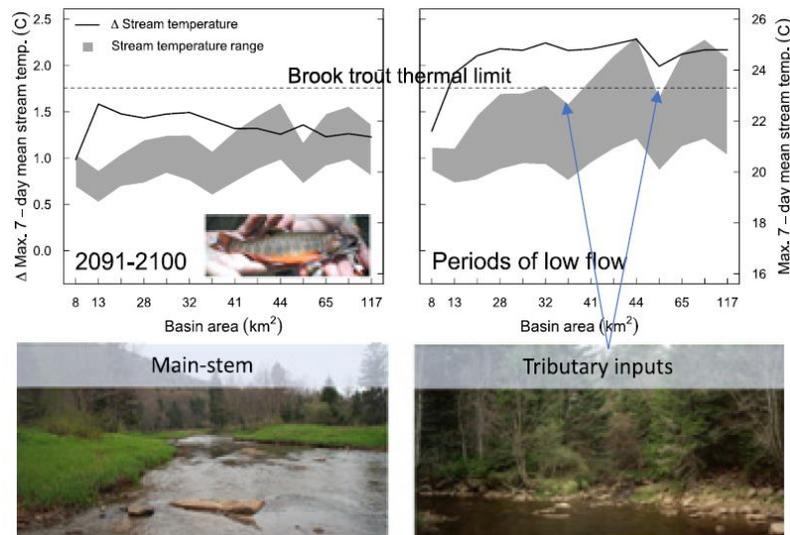


Figura 19: Esquema de la temperatura y el incremento de temperatura de agua para el periodo de años 2091 y 2100 (Merriam et al., 2017).

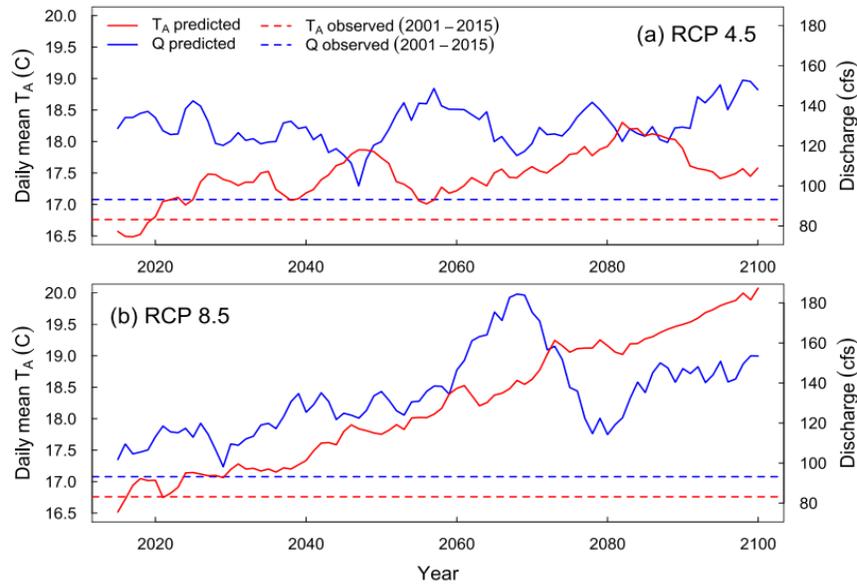


Figura 20: Temperatura del aire proyectada ( $T_A$ ) y descarga de arroyos ( $Q$ ) para 2015 a 2100 bajo los escenarios climáticos RCP 4.5 y RCP 8.5. Los valores proyectados representan promedios móviles de 10 años. También se muestran los promedios de  $T_A$  y  $Q$  observados (2001-2015) (Merriam et al., 2017).

Los aumentos en la temperatura media diaria del arroyo fueron de  $0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$  para el escenario de emisiones RCP 4.5 y de  $1,2\text{ }^{\circ}\text{C}$  para el escenario RCP 8.5. En el río principal Los aumentos en la temperatura media diaria fueron de  $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$  para el escenario RCP 4.5 y de  $1,2\text{ }^{\circ}\text{C}$  para el escenario de emisión RCP 8.5.

La temperatura media diaria observada del arroyo excedió los  $21\text{ }^{\circ}\text{C}$  umbral considerada para la trucha arroyo. En adición se observó que los años con los mayores incrementos en la temperatura del arroyo se caracterizaron por una baja descarga diaria media.

Este estudio concluyo en que la temperatura tiene un efecto directo en la dinámica de la población de truchas a través del desarrollo, el control de enfermedades y las interacciones de la red trófica y disponibilidad de recursos. Por otro lado, destaca la importancia de identificar y conservar refugios térmicos ya que permiten la persistencia de la estructura de las poblaciones, pero estos refugios se van a ver alterados si se produce una reducción del flujo de agua combinada con el aumento de temperatura (Merriam et al., 2017).

Cianfrani et al., 2015 realizaron un estudio sobre los efectos morfológicos de la temperatura en la biomasa que analizaba mediante modelos de variación estacional de esta en tres períodos del año, otoño-invierno, primavera y verano.

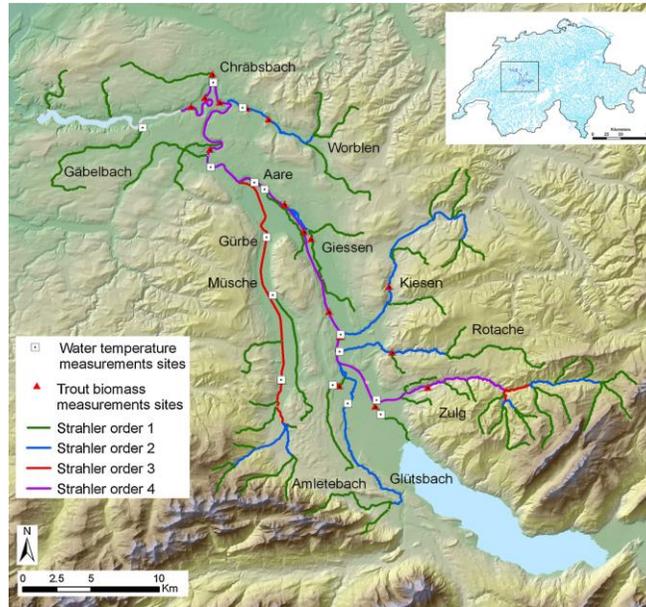


Figura 21: Área de estudio y ubicación de las estaciones de medición de la temperatura del agua y biomasa de la trucha (Cianfrani et al., 2015).

En un primer lugar se realizó el cálculo del modelo de temperatura del aire mediante mediciones diarias de temperatura media del aire. A continuación, se usó la temperatura del aire para predecir la temperatura diaria del agua para todos los arroyos en el área de estudio. Finalmente, mediante la temperatura del agua y otras variables se construyó el modelo de variación de biomasa de trucha estacional.

Las variables seleccionadas para el modelo de variación de biomasa de la trucha fueron ancho del río, frecuencia de áreas urbanas y temperatura promedio del agua de la temporada. Durante la primavera, la relación entre la variación de la biomasa, el ancho del río y el promedio de temperatura fue negativa (la variación de la biomasa disminuye cuando el ancho del río o la temperatura promedio aumentan). Por el contrario, la relación entre la variación de la biomasa y el porcentaje de áreas urbanas fue positiva (la variación de la biomasa aumenta con el aumento del porcentaje de áreas). Durante Otoño-Invierno, la relación entre la variación de la biomasa y el ancho del río y la temperatura máxima fue

positiva y la relación entre la variación de biomasa y el porcentaje de áreas urbanas y con la temperatura promedio del agua negativa.

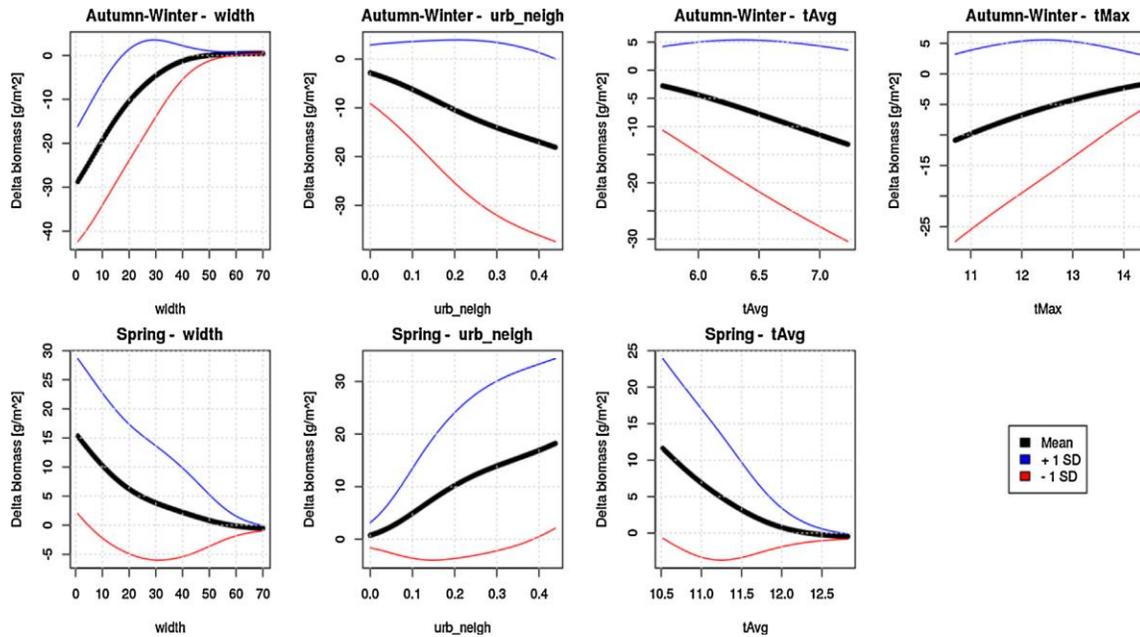


Figura 22: Gráficos de la respuesta promedio individual de cada variable seleccionada versus la variación de la biomasa de trucha (Cianfrani et al., 2015).

El estudio concluyó en que, en las condiciones actuales de temperatura del agua, la biomasa de la trucha marrón disminuye ligeramente durante la primavera. Por el contrario, los cambios son más pronunciados durante el período otoño e invierno.

Se propuso la restauración de la ribera mediante el uso de árboles de hoja ancha caducifolios ya que sostienen que la vegetación ribereña es muy importante para mitigar el calentamiento del agua y hay evidencias de que los bosques pueden amortiguar los efectos de las temperaturas (Cianfrani et al., 2015).

### 3.6 VEGETACIÓN RIPARIA Y CONECTIVIDAD

La vegetación de ribera es importante para mantener y enfriar la temperatura del agua. Al transpirar por evaporación, los árboles recargan la humedad atmosférica contribuyendo a la lluvia local y en lugares distantes. Es uno de los elementos clave de cualquier ecosistema fluvial. Ayuda a estabilizar la propia ribera, disminuye la temperatura en la lámina de agua y proporciona refugio a peces y otra fauna ligada a los ríos. Este enfriamiento se da gracias a la capacidad de los árboles para capturar y redistribuir la energía del sol (Pokorný et al., 2010).

Para mejorar la productividad de los ríos hay que mantener la vegetación de ribera en condiciones adecuadas evitando que su crecimiento incontrolado convierta los cauces en corredores oscuros y umbríos.



*Figura 23: Las cortas selectivas, claras y desbroces, que reducen el sombreado de los cauces, resultan muy beneficiosas para los peces (Swartz et al., 2020).*

Realizar huecos para producir claras en la vegetación es una opción para la gestión estratégica de estas zonas ya que provoca efectos menores sobre la temperatura del arroyo (Swartz et al., 2020).

Una de las herramientas para evaluar el buen estado de la vegetación es el Índice de Calidad del Bosque de Ribera (QBR). Se trata de una herramienta que integra aspectos

biológicos y morfológicos del lecho del río y su zona inundable y los utiliza para evaluar la calidad ambiental de las riberas (*FEM research Group, 2021*).

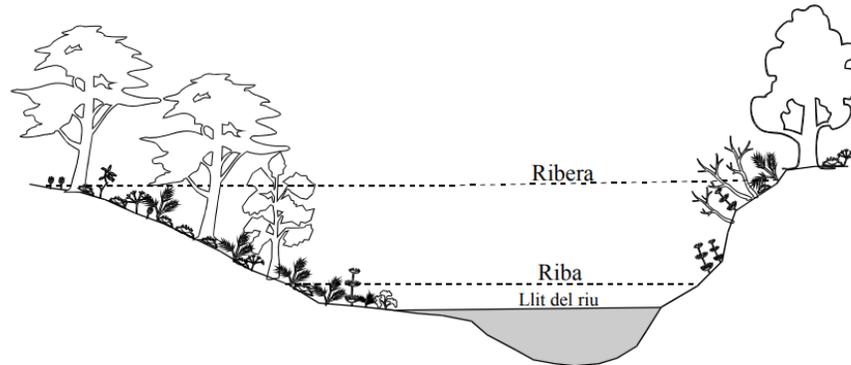


Figura 24: Esquema clasificación de los tramos del río. Ribera, Riba y lecho del río (*Prot\_QBR cast.pdf, s. f.*)

Para realizar la evaluación se tiene en cuenta cuatro bloques: el grado de cubierta vegetal de las riberas, la estructura vertical de la vegetación, la calidad y la diversidad de la cubierta vegetal y el grado de naturalidad del canal fluvial.

<b>NIVEL DE CALIDAD</b>	<b>QBR</b>
<i>Bosque de ribera sin alteraciones, calidad muy buena, estado natural</i>	≥ 95
<i>Bosque ligeramente perturbado, calidad buena</i>	75-90
<i>Inicio de alteración importante, calidad intermedia</i>	55-70
<i>Alteración fuerte, mala calidad</i>	30-50
<i>Degradación extrema, calidad pésima</i>	≤ 25

Figura 25: Los rangos de calidad según el índice QBR (*Prot\_QBR cast.pdf, s. f.*)

Ellison et al., (2017) estudiaron el efecto térmico de la vegetación y concluyeron que los bosques y los árboles son los principales reguladores de los ciclos del agua, la energía y el carbono. Por otro lado, son los encargados de la producción terrestre de humedad atmosférica a través de evapotranspiración, ya que un aumento de la humedad relativa incrementa las probabilidades de precipitación.

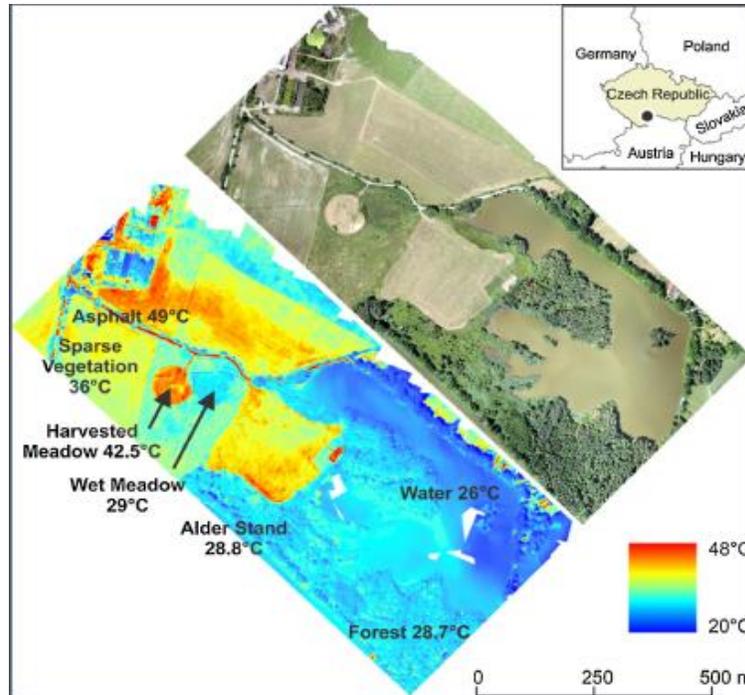


Figura 26: Distribuci3n de la temperatura superficial en un tramo de bosque i cultivos en la Republica Checa (Ellison et al., 2017).

Como puede observarse en la figura 30 las zonas arboladas presentan temperaturas considerablemente m1s bajas que las zonas que se encuentran al descubierto como por ejemplo los campos de cultivo que se pueden ver en la imagen.

A ra3z de este hecho, el estudio concluye que a escala local los bosques pueden permanecer mucho m1s frescos durante el d3a debido a la sombra y el papel de la evaporaci3n y la transpiraci3n en la reducci3n del calor sensible que proporcionan (Ellison et al., 2017).

Dugdale et al., (2018) coincide con el estudio anterior en que las zonas sin vegetaci3n concentran temperaturas m1s altas ya que en este caso se analizaron tres terrenos donde se contrastaron la temperatura de los arroyos y los flujos de energ3a en tres tipos de vegetaci3n: terreno de pastizales abiertos (OS), bosques caducifolios seminaturales (SNS) y plantaciones comerciales de con3feras (CS).

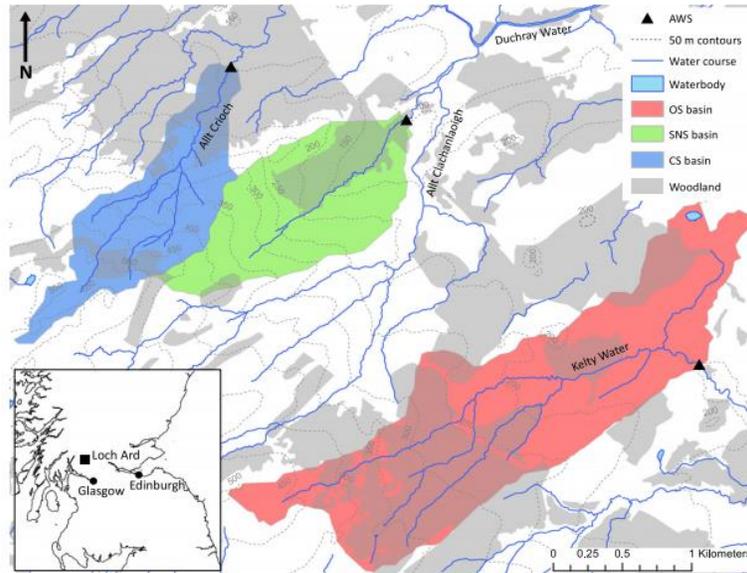


Figura 27: Terrenos seleccionados en el parque forestal de Loch Ard que contiene los sitios de estudio OS (pastizales abiertos), SNS (bosques seminaturales) y CS (bosques de coníferas comerciales) (Dugdale et al., 2018).

En el estudio se observó que la temperatura media diaria del arroyo fue más cálida en pastizales abiertos y más fría en los bosques de coníferas.

Las ganancias de energía también variaron dependiendo de los terrenos en los que eran medidas. Como se puede observar en la Figura 30 las plantaciones de coníferas presentaron menos ganancias de energía, continuando con los bosques caducifolios seminaturales y finalmente los pastizales abiertos, los cuales fueron los que más energía ganaron.

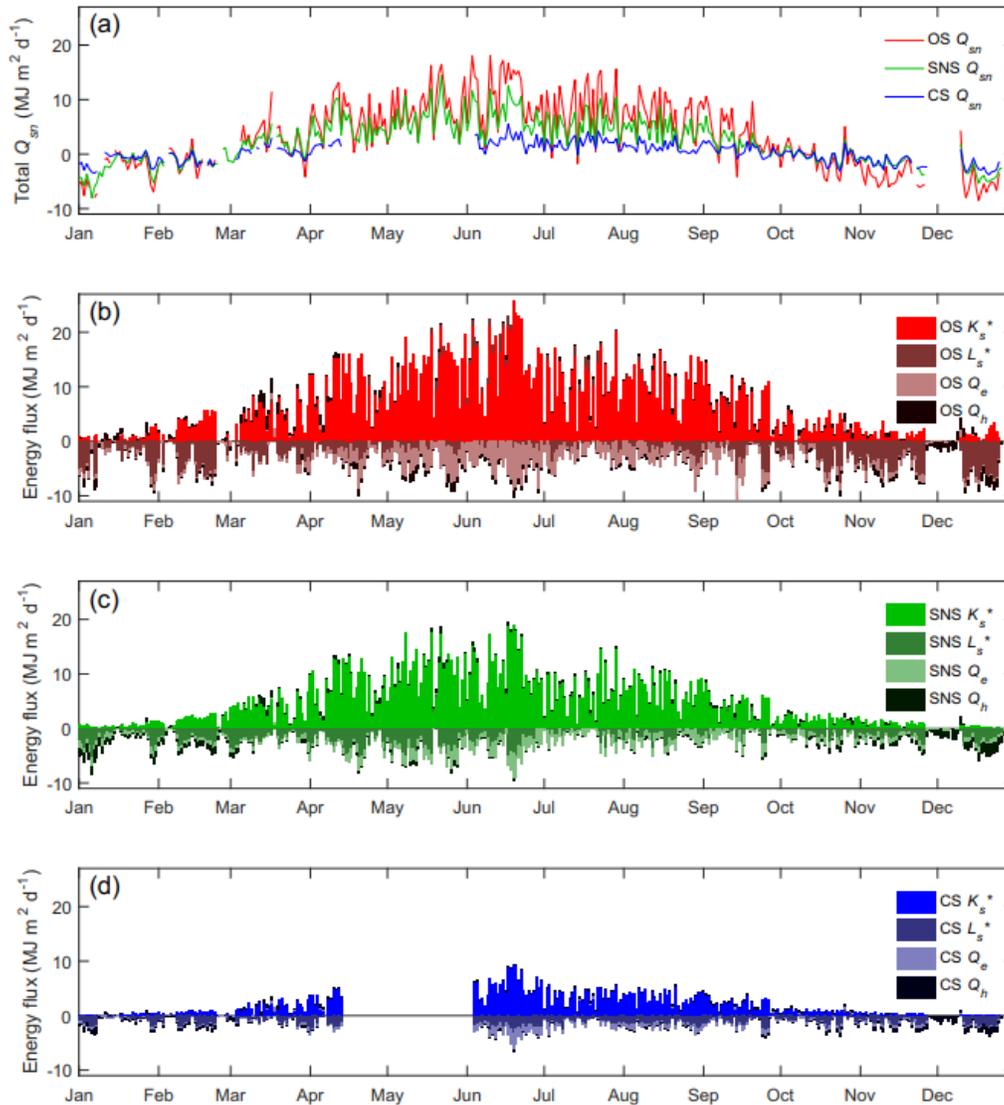


Figura 28: (A) Flujo de energía total diario en la interfaz aire-agua. (B) - (D) Partición del flujo de energía en la interfaz aire-agua en (B) OS (pastizales abiertos), (C) SNS (bosque seminatural) y (D) CS (bosque de coníferas comercial) (Dugdale et al., 2018).

El estudio concluyó en que la vegetación de ribera realmente reduce la temperatura de la zona, pero la eficacia de la plantación también depende en gran medida del tipo y la estructura de rodales forestales (Dugdale et al., 2018).

El Proyecto REFRESH sostiene que los bosques ribereños proporcionan numerosas funciones hidrológicas, ecológicas y mejoran de esta manera la calidad hidromorfológica y ecológica de los ríos



Este proyecto sobre los efectos del sombreado ribereño en relación con la longitud del tramo y la cobertura del dosel llegaba a la conclusión de que el sombreado es necesario para lograr tener una disminución de la temperatura del agua, ya que “100 m de bosque ribereño redujeron la temperatura del agua de los arroyos hasta en 1°C en comparación con la temperatura de un tramo abierto” (Slee, 2014).

Las acciones llevadas a cabo en este proyecto fueron la forestación ribereña con tramos abiertos para reducir la temperatura del arroyo y también permitir la presencia de plantas acuáticas macrófitas para proporcionar un hábitat estructural a muchos de los peces y macroinvertebrados y mejorar la biodiversidad de hábitat (Slee, 2014)

Creek (Justice et al., 2017) realizaron un estudio sobre los beneficios que aporta la restauración de la vegetación en las riberas en cuanto al efecto térmico que produce en esta por Justice et al., 2016 investigaba los posibles beneficios térmicos de la reforestación y el estrechamiento del canal en las poblaciones de salmón Chinook en las cuencas del río Upper Grande Ronde y Catherine Creek en el noreste de Oregon, EE. UU.

En estudio obtuvo resultados que sostenían que la combinación de restauración ribereña y el estrechamiento de los canales reduciría las temperaturas del agua en verano aproximadamente en 6.5 °C en el río Upper Grande Ronde y 3.0 C en Catherine Creek.

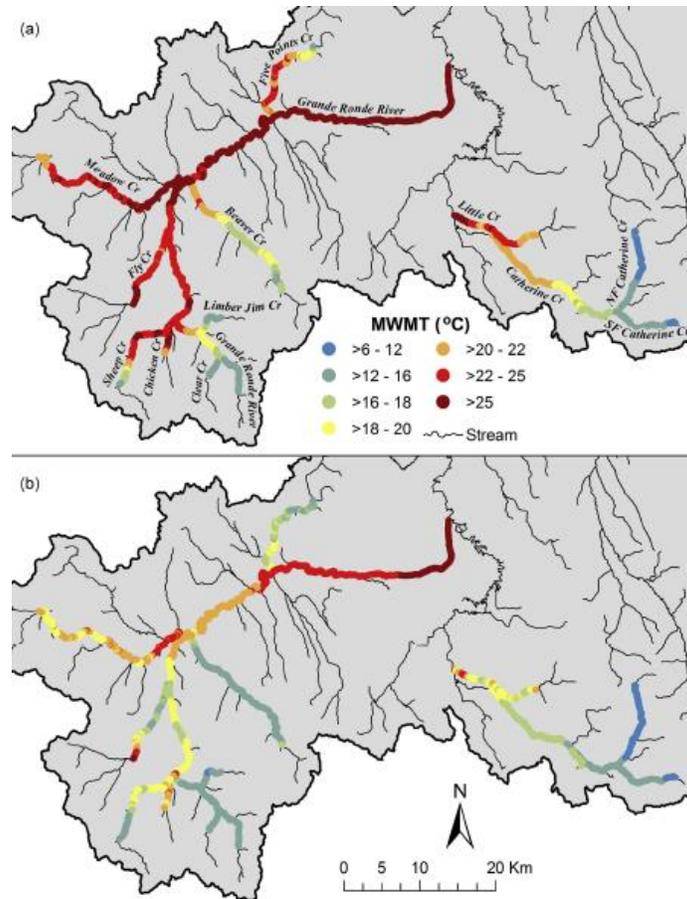


Figura 29: Mapa de la temperatura máxima semanal máxima simulada del agua (a) condiciones actuales y (b) condiciones de vegetación natural potencial (Justice et al., 2017).

Finalmente se llegó a la conclusión de que la restauración del bosque de ribera en estrechamiento del canal así como también en toda la cuenca podría compensar estos impactos del cambio climático y reducir las temperaturas máximas del agua en verano en aproximadamente 3.5 C en Upper Grande Ronde y 1.8 C en Catherine Creek (Justice et al., 2017).

### 3.6.1 Conectividad ecológica como reducción de la vulnerabilidad

La pérdida de conectividad longitudinal debido a presas y azudes, así como la fragmentación del hábitat fluvial para muchas especies de peces, es uno de los principales problemas a los que se enfrentan la mayoría de los ríos de España y del mundo.

Según la Estrategia Nacional de Infraestructura Verde y de la Conectividad y Restauración Ecológicas, la conectividad ecológica es necesaria para recuperar los ecosistemas españoles, prevenir el aislamiento genético de las especies de fauna y flora, facilitar las migraciones y aumentar la resiliencia de las comunidades frente a los impactos del cambio climático. Por ello, es crucial reducir los efectos de la fragmentación y de la pérdida de conectividad ecológica. (Rincón, 2019).



*Figura 30: La colocación de bloques de piedra frena la corriente del río y sirve de refugio y descansadero a los peces. Sustrato del lecho: las piedras de gran tamaño, los bloques y las gravas, que dejan recovecos entre sí, sirven de cobijos permanentes u ocasionales, según sea su tamaño y el del pez (Sanz, 2019).*

Otros objetivos de restauración son la creación de ríos heterogéneos y variados, con diversidad hidromorfológica como pozas, remansos, rápidos, refugios, zonas de reproducción, zonas deflectoras de corriente y refugios, etc. Estas zonas de protección de las fuertes corrientes, de agua para el refugio y la reproducción y de escondites contra los depredadores junto con la vegetación acuática y las cornisas y cuevas sumergidas en las orillas proporcionan refugios seguros (Sanz, 2019)



## 4 METODOLOGÍA

### 4.1 ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

Para la realización de trabajo se ha utilizado la base de datos de AdapteCCA ([escenarios.adaptecca.es](http://escenarios.adaptecca.es)). Se trata de un visor de escenarios de cambio climático donde se pueden consultar las proyecciones regionalizadas de cambio climático para España realizadas a partir de las proyecciones globales del Quinto Informe de Evaluación del IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático) en el marco de la iniciativa Escenarios PNACC, y concretamente de la colección de Escenarios PNACC 2017 (CAMREC. Plataforma sobre Adaptación al Cambio Climático en España).

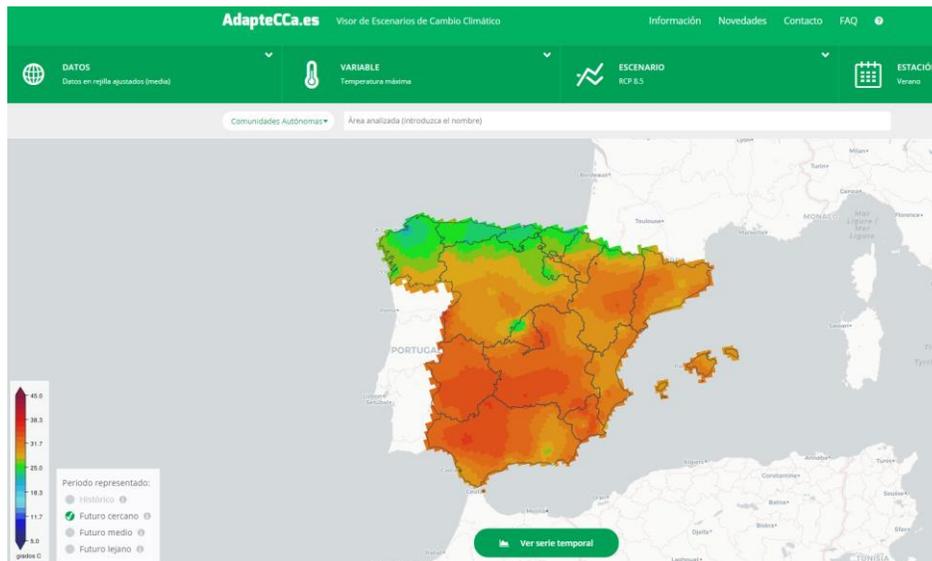


Figura 31: Visor escenarios de cambio climático AdapteCCA.

Los datos disponibles se nutren principalmente de dos fuentes: proyecciones puntuales de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) y proyecciones en rejilla procedentes de la iniciativa internacional Euro-CORDEX. Este visor permite obtener la temperatura del aire y a partir de ahí se ha calculado posteriormente la temperatura del agua.

La variación de temperatura del agua se ha estudiado en dos de los 4 nuevos escenarios de emisión, las denominadas Trayectorias de Concentración Representativas (RCP, por sus siglas en inglés). Éstas se caracterizan por su Forzamiento Radiativo (FR) total para el año 2100 que oscila entre 2,6 y 8,5W/m<sup>2</sup>. Los escenarios de emisiones de concentración que se han escogido son el RCP 4.5 para una previsión más optimista de las emisiones y RCP 8.5 que implica una predicción más pesimista de los años futuros. Estos escenarios se estudian para el periodo de años 2010-2040, 2040-2070 y 2070-2100 (*Observatorio de Salud y Cambio Climático*, s. f.).

	FR	Tendencia del FR	[CO <sub>2</sub> ] en 2100
RCP2.6	2,6 W/m <sup>2</sup>	decreciente en 2100	421 ppm
RCP4.5	4,5 W/m <sup>2</sup>	estable en 2100	538 ppm
RCP6.0	6,0 W/m <sup>2</sup>	creciente	670 ppm
RCP8.5	8,5 W/m <sup>2</sup>	creciente	936 ppm

Figura 32: Características de los escenarios de emisiones de concentración (*Observatorio de Salud y Cambio Climático*, 2021)

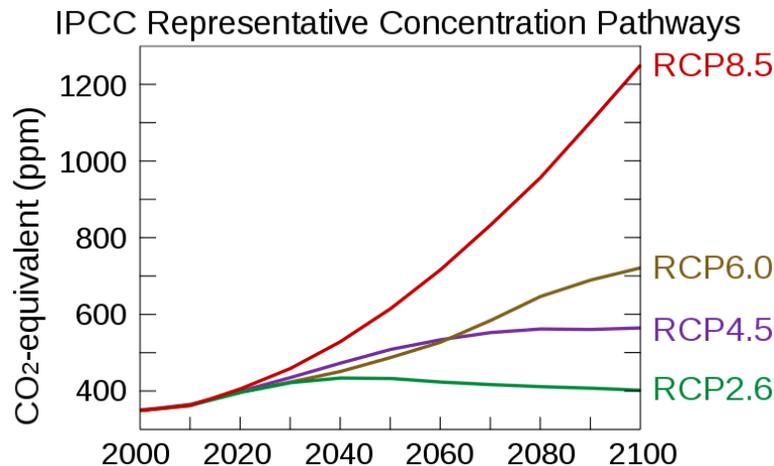


Figura 33 Gráfica de las predicciones de emisiones de CO<sub>2</sub> para los diferentes escenarios de cambio climático. (*Efbrazil*, 2020)

## 4.2 EVALUACIÓN DEL RIESGO

Este trabajo se centra en la aplicación de una metodología para la determinación de mapas peligrosidad, exposición, vulnerabilidad y riesgo frente al Cambio Climático de las especies piscícolas de aguas frías aplicado a la Demarcación Hidrográfica del Júcar para la especie trucha común. De esta manera se van a obtener mapas con el objetivo de evaluar el riesgo y así definir aquellas masas de agua que presenten riesgo muy alto para aplicar en ellas medidas de forma prioritaria (Estrela Segrelles & Pérez Martín, 2021).

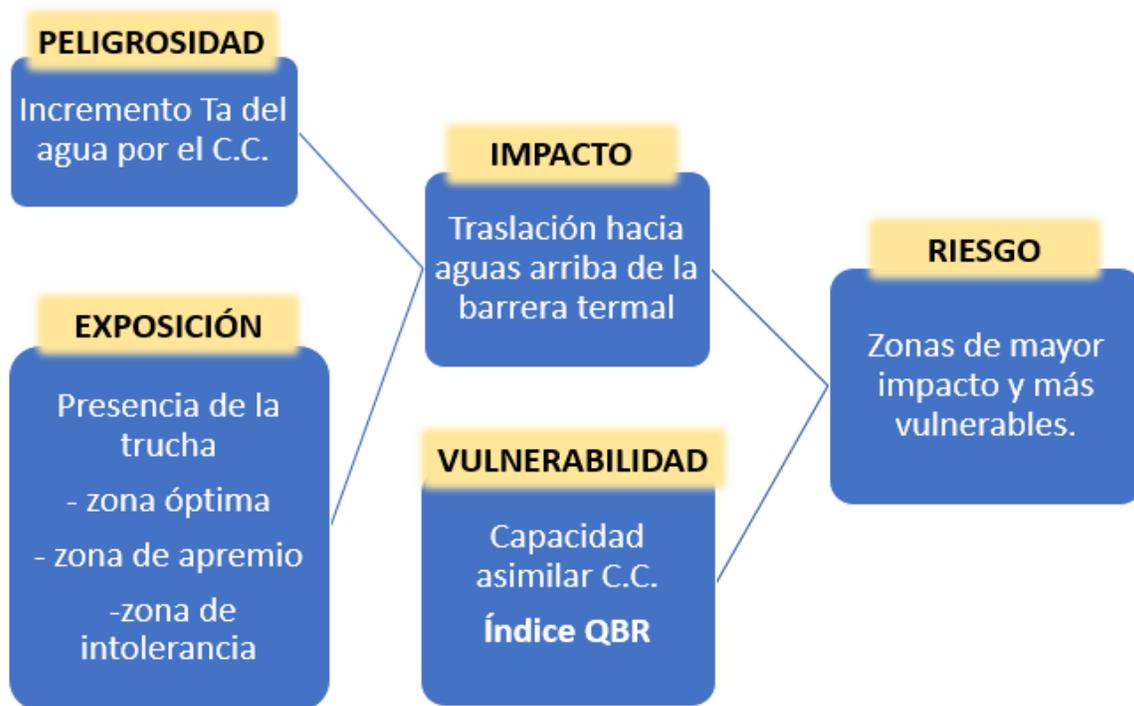


Figura 34: Esquema metodologías de los mapas.

#### 4.2.1 Mapa de peligrosidad

Los mapas de peligrosidad para los diferentes escenarios futuros muestran la distribución espacial y temporal del aumento de la temperatura del agua calculada a partir de la temperatura del aire.

Para realizar estos mapas se ha calculado la temperatura del agua mediante la siguiente fórmula:  $T_{\text{agua}} = A * T_{\text{aire}} + B$ , donde la  $T_{\text{agua}}$  es la temperatura del agua resultante de la fórmula, la  $T_{\text{aire}}$  es la temperatura del aire para cada tramo y A y B son parámetros establecidos para cada ecotipo de masa de agua de la DHJ en el Estudio de los impactos del cambio climático en los recursos hídricos y las masas de agua (CEDEX 2012).

#### 4.2.2 Mapa de exposición

El mapa de exposición muestra la clasificación de las masas de agua de la DHJ en función de si se encuentran en zona óptima para la habitabilidad de la especie, zona de apremio y zona de intolerancia como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 9: Zonificación del hábitat potencial actual de la trucha

Presencia de truchas	T agua (°C)
T optima	<18,7
T apremio	18,7 – 21,8
T barrera	>21,8

La zona óptima es la parte donde se da la mayor tasa de reproducción, la zona de apremio es la zona intermedia entre la zona óptima y la zona de intolerancia. Se conforma de un rango de temperatura del agua a partir del cual el número de individuos se reduce significativamente. La zona de intolerancia es la parte donde la temperatura del agua supera la temperatura máxima mensual que la especie puede soportar, y en consecuencia la trucha



no puede sobrevivir. Esta viene dada por la barrera termal que indica la temperatura máxima que puede tolerar una determinada especie.

### 4.2.3 Mapa de impacto

Los mapas de impacto cuantifican la traslación hacia aguas arriba de la barrera termal en cada uno de los escenarios de cambio climático, y se obtienen de la combinación del mapa de peligrosidad y del mapa de exposición.

En los mapas de impacto de los escenarios futuros, la zona de intolerancia se considera como zona de impacto muy alto, la zona de apremio como zona de impacto alto y la zona óptima como zona de impacto medio como se muestra en la siguiente tabla

Tabla 10: Clasificación de los impactos

Estado actual	Estado futuro	Grado de impacto
Óptimo	Óptimo	Impacto Medio
Óptimo	Apremio	Impacto Alto
Apremio	Apremio	Impacto Alto
Óptimo	Intolerancia	Impacto muy alto
Apremio	Intolerancia	Impacto muy alto
Intolerancia	Intolerancia	No impacto

### 4.2.4 Mapa de vulnerabilidad

El mapa de vulnerabilidad se obtiene mediante el índice de calidad del bosque de ribera QBR (Munné et al., 1998), y muestra la capacidad o falta de capacidad de estos hábitats de asimilar el incremento de temperatura.

Tabla 11: Clasificación Índice de Calidad de Ribera

<b>Clasificación QBR</b>
Muy bueno
Peor que muy bueno

Se han utilizado como datos de partida los resultados del programa de seguimiento del Plan Hidrológico de Cuenca de la Demarcación Hidrográfica del Júcar para el índice QBR y se han clasificado en estado Muy bueno y Peor que muy bueno, tal y como se establece en el Real Decreto 817/2015 de 11 de septiembre por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental. En el anexo II del RD 817/2015 se recogen las condiciones de referencia, máximo potencial ecológico y límites de clases de estado el límite de cambio de clase del índice QBR para las diferentes masas de agua.

#### 4.2.5 Mapa de riesgo

Los mapas de riesgo son el resultado de las zonas de mayor impacto y que son más vulnerables, y se obtienen mediante la combinación entre los mapas de impacto y el mapa de vulnerabilidad. El mapa clasifica las diferentes zonas de los ríos en riesgo medio, alto y muy alto.

Tabla 12: Clasificación de estados de riesgo

<b>IMPACTO</b>	<b>QBR Muy bueno</b>	<b>QBR Peor que muy bueno</b>
<b>Medio</b>	Medio	Medio
<b>Alto</b>	Medio	Alto
<b>Muy alto</b>	Alto	Muy alto

Gracias a estos mapas de riesgo se va a poder priorizar las zonas del territorio donde aplicar las medidas de adaptación.

## 5 APLICACIÓN

### 5.1 MAPAS DE PELIGROSIDAD

Los mapas de peligrosidad muestran la distribución espacial y temporal del aumento de temperatura del agua en las masas de agua de la Demarcación Hidrográfica del Júcar. En estos mapas se ha utilizado la temperatura del aire en el mes de agosto, debido a que en la Demarcación Hidrográfica del Júcar es el mes con mayor media de temperatura.

De esta forma se han obtenido los siguientes mapas de peligrosidad mostrados en la Figura 38 para toda la Confederación Hidrográfica del Júcar.

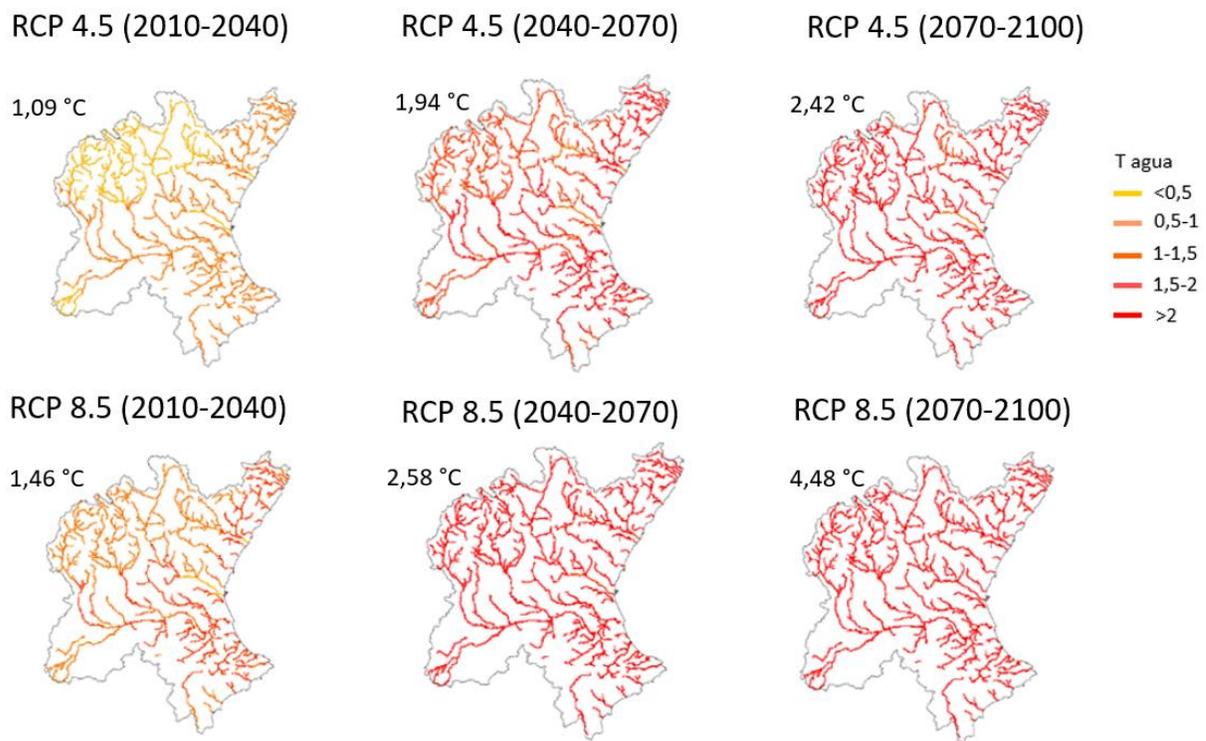


Figura 35: Mapas de Peligrosidad

Estos mapas indican un aumento de temperatura media del agua en agosto, de entre 1,09 – 1,46 °C a corto plazo, entre 1,94 – 2,58 °C a medio plazo y entre 2,42 – 4,48 °C a largo plazo.

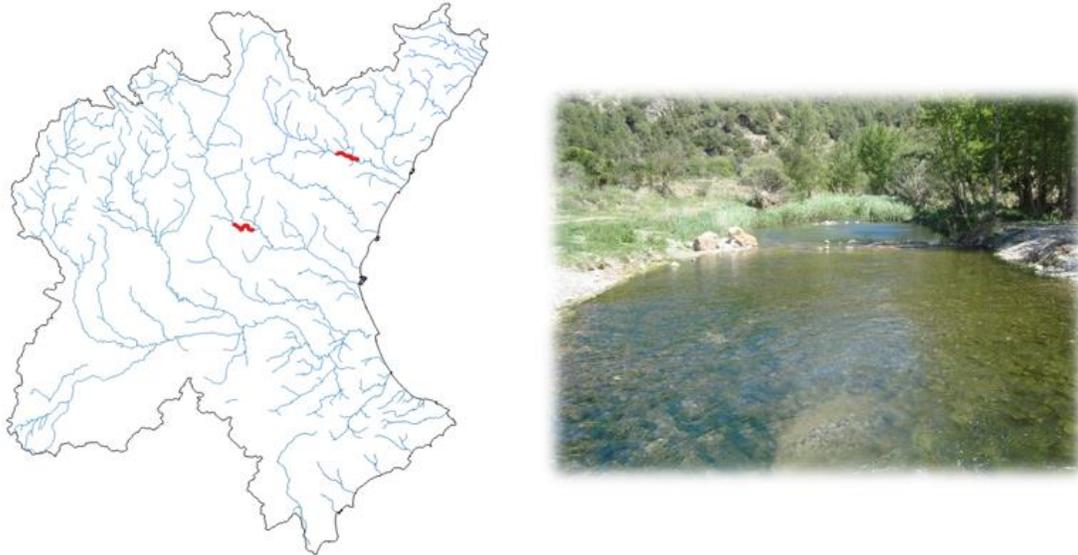


Figura 36: 1- Río Mijares: embalse de Vallat - embalse de Ribesalbes; 2- Río Turia: embalse de Benagéber - embalse de Loriguilla

Analizando detalladamente el caso del aumento de temperaturas en el río Mijares en el tramo entre el embalse de Vallat y el embalse de Ribesalbes y el río Turia en el tramo entre el embalse de Benagéber y el embalse de Loriguilla se obtienen los datos mostrados en la siguiente tabla.

Tabla 13: Parámetros tramo río Mijares y tramo río Turia

Río	T aire	Ecotipo	A	B	T agua
Mijares	20,98	R-T09	0,898	2,7849	21,62
Turia	21,16	R-T09	0,898	2,7849	21,78

Los datos de temperatura de aire de la Tabla 13 se han extraído de la Oficina Española de Cambio Climático, y el ecotipo R-T09 hace referencia a los ríos mineralizados de baja montaña mediterránea.

La Tabla 14 muestra los datos de temperatura del aire y la temperatura del agua y sus respectivos incrementos para los escenarios de cambio climático RCP 4.5 y RCP 8.5 en los periodos 2010-2040, 2040-2070 y 2070-2100 para el tramo del río Mijares desde el embalse del Vallat hasta el embalse de Ribesalbes y para el río Turia desde el embalse de Benagéber hasta el embalse de Loriguilla. Estos datos se han calculado también mediante la fórmula del CEDEX a partir del aumento de temperatura del aire modelado para los diferentes escenarios de cambio climático.

Tabla 14: Temperaturas del aire y del agua en los escenarios de cambio climático

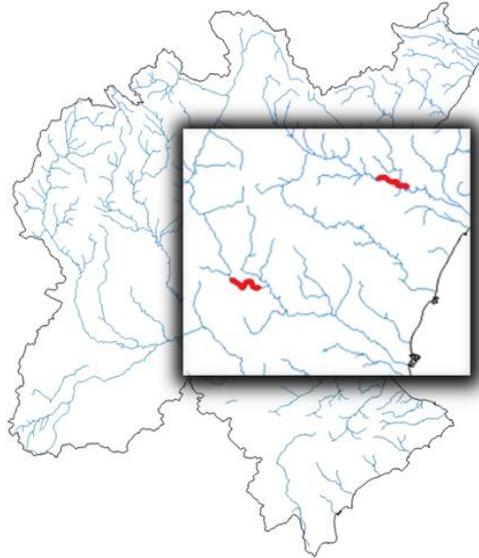
Escenarios de Cambio Climático	Río Mijares: embalse de Vallat - embalse de Ribesalbes				Río Turia: embalse de Benagéber - embalse de Loriguilla				
	$\Delta T$ aire	T aire	$\Delta T$ agua	T agua	$\Delta T$ aire	T aire	$\Delta T$ agua	T agua	
RCP 4.5	2010-2040	1,21	22,19	1,09	22,71	1,29	22,45	1,16	22,94
	2040-2070	2,16	23,14	1,94	23,57	2,34	23,50	2,10	23,89
	2070-2100	2,69	23,67	2,42	24,04	2,90	24,06	2,60	24,39
RCP 8.5	2010-2040	1,63	22,6	1,46	23,08	1,73	22,89	1,56	23,34
	2040-2070	2,87	23,85	2,58	24,2	3,14	24,30	2,82	24,60
	2070-2100	4,77	25,75	4,48	25,91	5,23	26,39	4,70	26,48



En este caso se puede observar que a corto plazo la temperatura sube en los tramos del río Mijares y el Turia en 1,1 para el escenario RCP 4.5 y 1,5 °C para el escenario RCP 8.5 aproximadamente, a medio plazo la temperatura se incrementará en los dos escenarios entre 2 y 2,65 °C respectivamente, y finalmente a largo plazo se producirá un aumento de temperaturas entre 2,5 y 4,6 °C en los respectivos escenarios de cambio climático RCP 4.5 y RCP 8.5.

## 5.2 MAPAS DE EXPOSICIÓN

Siguiendo el ejemplo anterior de los tramos del río Turia y el río Mijares se realiza el mapa de exposición.



*Figura 37: Río Mijares: embalse de Vallat - embalse de Ribesalbes; 2- Río Turia: embalse de Benagéber - embalse de Loriguilla*

Para realizar el siguiente mapa se debe tener en cuenta la temperatura del agua en cada tramo. En este caso, la temperatura del agua del río Mijares en el tramo entre el embalse de Vallat y el embalse de Ribesalbes es de 21,62 °C, mientras que la temperatura del agua en el río Turia en el tramo entre el embalse de Benagéber y el embalse de Loriguilla presenta un valor más elevado de 21,78 °C. Estos dos datos de temperatura han sido calculados mediante la fórmula del CEDEX con datos de temperatura del aire del mes de agosto.

*Tabla 15: Temperatura del agua de las masas analizadas del río Turia y el río Mijares.*

Río	T agua
Mijares	21,62 °C
Turia	21,78°C

Según los estudios observados de los límites termal de las truchas se ha realizado una clasificación de las diferentes zonas de habitabilidad dependiendo de si se trata de una zona óptima para las poblaciones, zona de apremio donde las truchas van a estar más amenazadas por presentar una mayor temperatura del agua y la zona de intolerancia con temperaturas que las truchas en general no soportan. Esta zona viene dada por la barrera termal que es la temperatura límite que las poblaciones pueden soportar. Las zonas de habitabilidad se han clasificado teniendo en cuenta los siguientes datos de temperatura mostrados en la Tabla 16.

Tabla 16: Clasificación de las diferentes zonas de habitabilidad dependiendo de la temperatura.

Presencia de truchas	T agua
T óptima	<18,7
T apremio	18,7 – 21,8
T barrera	>21,8

Atendiendo a la temperatura del agua de los tramos de río estudiados y la clasificación de las diferentes zonas de habitabilidad de la trucha establecidas, estos dos tramos del río Turia y el río Mijares se encuentran en la zona de apremio, esto significa que las truchas presentes en la zona se encuentran amenazadas por altas temperaturas. Debido a esto las poblaciones pueden estar reduciéndose debido a las condiciones de temperatura en las que se encuentran.

Siguiendo el mismo método se ha obtenido el mapa de exposición de toda la Demarcación Hidrográfica del Júcar que indica las diferentes zonas de habitabilidad de la trucha común en todo el territorio.

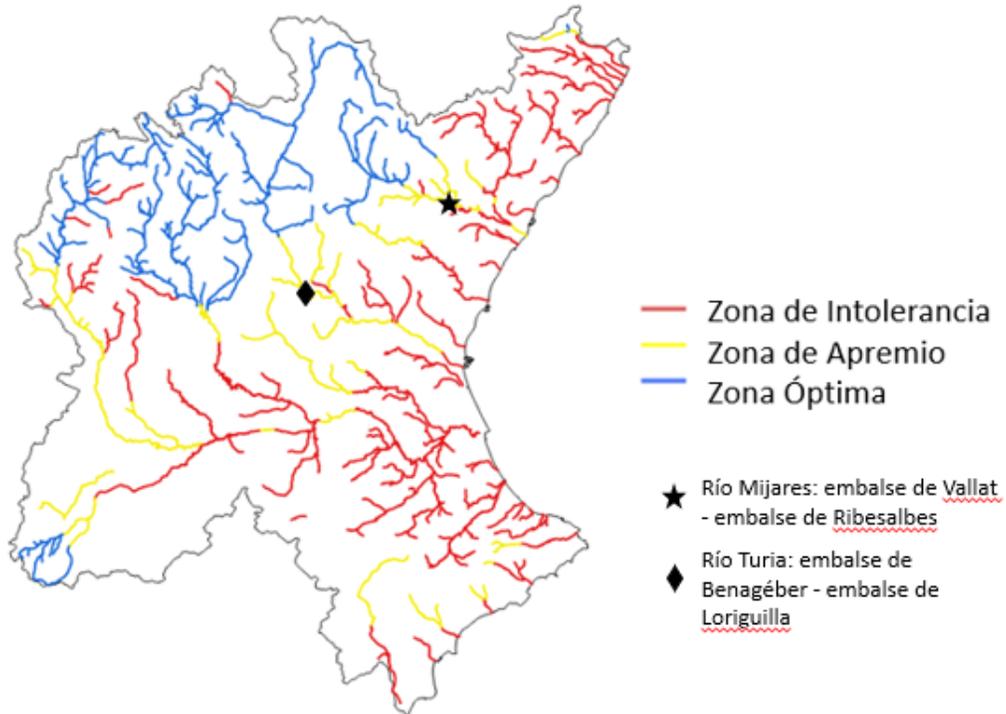


Figura 38: Mapa de Exposición

El mapa de exposición de la trucha común muestra la zona óptima de habitabilidad de la especie en azul, la zona de apremio en color amarillo y la zona de intolerancia, es decir temperaturas superiores a la barrera termal en color rojo.

### 5.3 MAPAS DE IMPACTO

Para realizar el mapa de Impacto se ha tenido en cuenta la temperatura del agua y la clasificación según la zona de habitabilidad de la trucha ya que se trata de una combinación del mapa de exposición y el mapa de peligrosidad.

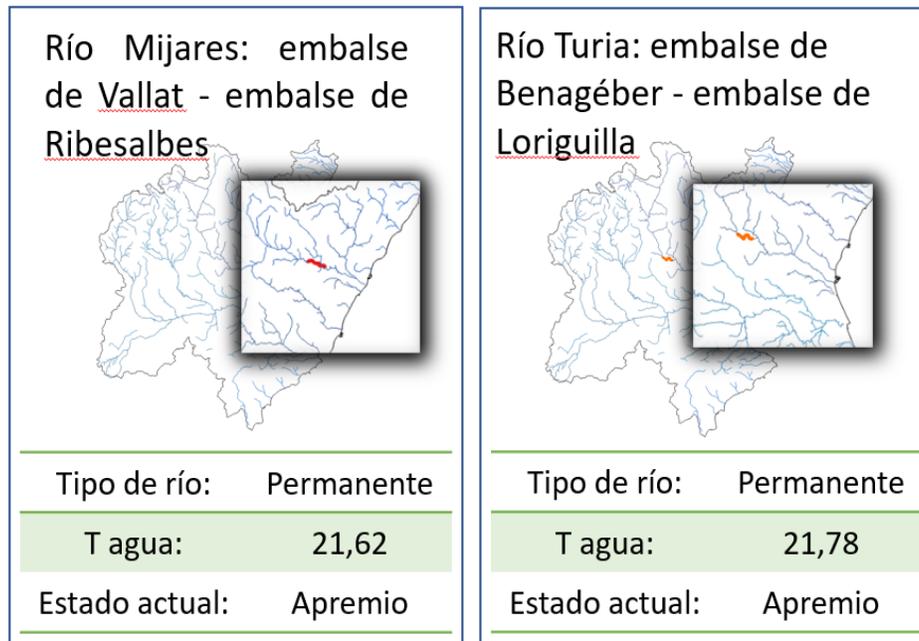


Figura 39: 1- Río Mijares: embalse de Vallat - embalse de Ribesalbes; 2- Río Turia: embalse de Benagéber - embalse de Loriguilla

Mediante los datos de agosto del estado actual de la masa de agua, combinado con los datos de los estados de las masas de agua en los diferentes periodos futuros según los escenarios de cambio climático RCP 4.5 y RCP 8.5, se obtiene el grado de impacto.

Teniendo en cuenta que en la situación actual de las dos masas de río estudiadas se encuentran en la zona de apremio y según el mapa de peligrosidad en un futuro la temperatura habrá aumentado lo suficiente como para clasificar esas dos masas como zonas de intolerancia, se puede observar que, combinando las dos clasificaciones se obtiene que en este caso las dos masas, tanto el tramo del Turia como el tramo del río Mijares van a

sufrir un impacto muy alto ya que la clasificación pasa de estar en la zona de apremio en la actualidad a encontrarse en la zona de intolerancia en el futuro.

En la siguiente tabla puede observarse este caso para los diferentes periodos futuros en los dos escenarios de cambio climático RCP4.5 y RCP 8.5. Se puede ver que incluso en el escenario más optimista estas dos zonas van a presentar un impacto muy alto.

*Tabla 17: Grados de impacto para el Río Mijares: embalse de Vallat - embalse de Ribesalbes y el Río Turia: embalse de Benagéber - embalse de Loriguilla*

<b>Escenarios de Cambio Climático</b>	<b>Periodo</b>	<b>Estado futuro Mijares</b>	<b>Grado de impacto Mijares</b>	<b>Estado futuro Turia</b>	<b>Grado de impacto Turia</b>
RCP 4.5	2010-2040	Intolerancia	Impacto muy alto	Intolerancia	Impacto muy alto
	2040-2070	Intolerancia	Impacto muy alto	Intolerancia	Impacto muy alto
	2070-2100	Intolerancia	Impacto muy alto	Intolerancia	Impacto muy alto
RCP 8.5	2010-2040	Intolerancia	Impacto muy alto	Intolerancia	Impacto muy alto
	2040-2070	Intolerancia	Impacto muy alto	Intolerancia	Impacto muy alto
	2070-2100	Intolerancia	Impacto muy alto	Intolerancia	Impacto muy alto

A continuación, siguiendo el mismo procedimiento realizado con los ejemplos de los dos tramos del río Mijares y el río Turia se han extraído seis mapas de la Demarcación Hidrográfica del Júcar, uno para cada escenario de cambio climático establecido.

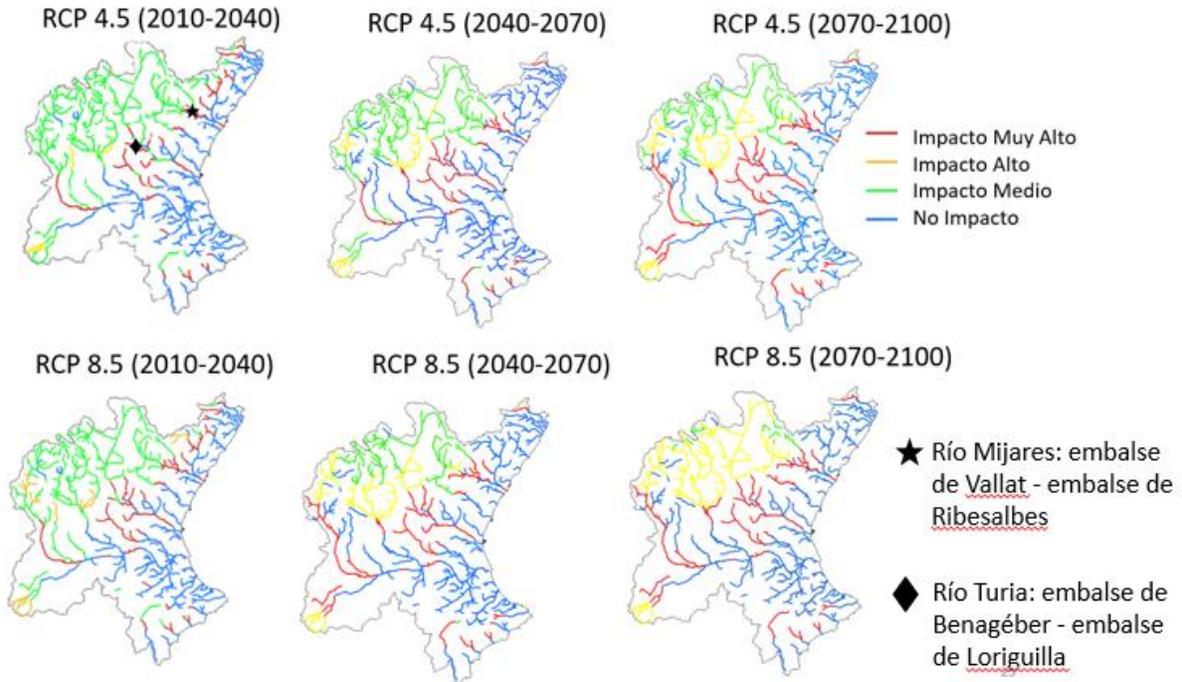


Figura 40: Mapas de impacto

Estos mapas muestran los tramos de río donde el hábitat la trucha común va a sufrir un mayor o menor grado de impacto. En rojo se aprecian las zonas con un impacto muy alto, que se encuentran por lo general en los tramos medios de los ríos. En amarillo, y por lo general a continuación de los tramos rojos, se encuentran los tramos que van a presentar impacto alto. En verde, que suele coincidir con los tramos que se encuentran en cabecera de los ríos, están coloreados los tramos de impacto medio, y finalmente en azul se muestra la zona de no impacto.

## 5.4 MAPAS DE VULNERABILIDAD

Para realizar el mapa de vulnerabilidad se emplea la clasificación del estado de la vegetación resultante de utilizar el índice QBR de Antoni Munné.

En las siguientes imágenes pertenecientes al tramo de río entre el embalse de Vallat y el embalse de Ribesalbes del río Mijares se puede observar el estado en el que se encuentra la vegetación. Este estado de vegetación corresponde a un valor de QBR de 30 de un valor de QBR de referencia establecido de 85. En consecuencia, la clasificación QBR de la vegetación de este tramo es “Peor que muy Buena”, como puede observarse en la Tabla 18.



Figura 41: Río Mijares: embalse de Vallat - embalse de Ribesalbes (Google Maps)

Tabla 18: Clasificación QBR río Mijares

Río Mijares		
VALOR QBR	VALOR DE REFERENCIA	CLASIFICACIÓN QBR
30	85	Peor que muy bueno

En cambio, en el tramo entre el embalse de Benagéber y el embalse de Loriguilla del río Turia puede verse en estas dos imágenes como presenta una vegetación arbolada y más

tupida, a diferencia del tramo estudiado del río Mijares que presentaba una vegetación más pobre compuesta por matorrales que limitaban en gran medida la sombra del lugar. En este tramo de río el valor de QBR de la masa es de 85 de un valor de referencia establecido de 85. Por ello, a diferencia del tramo visto anteriormente la clasificación QBR para este tramo de río del Turia es de “Muy Bueno”.



Figura 42: Río Turia: embalse de Benagéber - embalse de Loriguilla (Google Maps)

Tabla 19: Clasificación QBR río Turia

Río Turia		
VALOR QBR	VALOR DE REFERENCIA	CLASIFICACIÓN QBR
85	85	Muy bueno

Aplicando el procedimiento del ejemplo se obtiene el mapa de vulnerabilidad de toda la Demarcación Hidrográfica del Júcar que muestra la clasificación de la vegetación según el Índice del Estado de la Vegetación QBR de Antoni Munné.

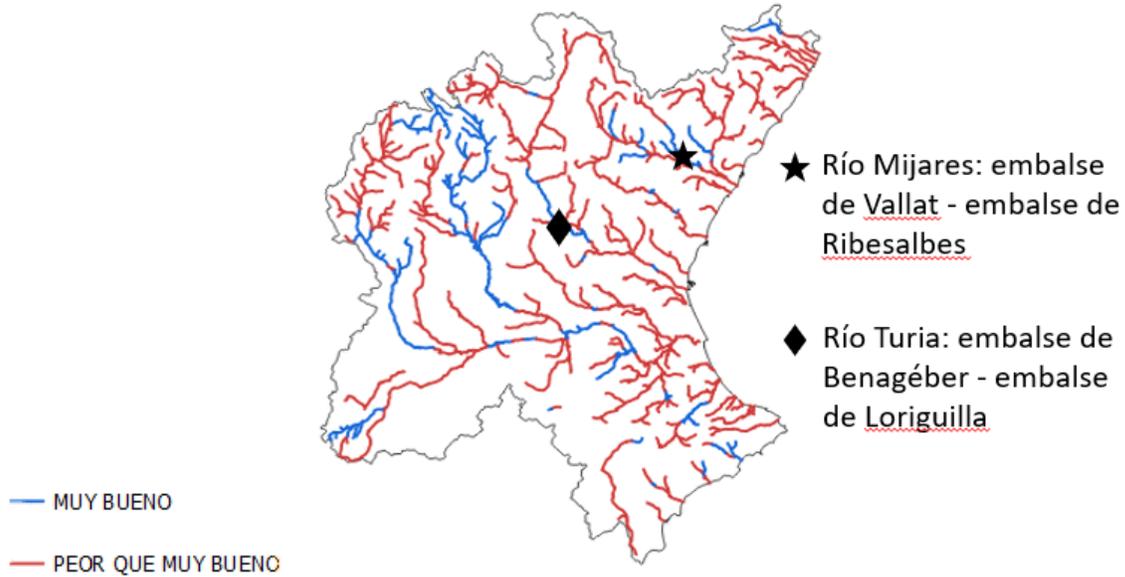


Figura 43: Mapa de Vulnerabilidad

El mapa de vulnerabilidad muestra las masas de agua que se encuentran en estado “Muy Bueno” identificándolas con el color azul y en estado “Peor que Muy Bueno” o no evaluado en color rojo. Gracias a este mapa se pueden identificar los hábitats con índice QBR bajo para saber los tramos que están menos capacitados para asimilar el incremento de temperatura.

## 5.5 MAPAS DE RIESGO

Los mapas de Riesgo son el resultado de las zonas de mayor impacto y las que son más vulnerables ya que se obtienen mediante la combinación entre los mapas de impacto y el mapa de vulnerabilidad.

Como puede observarse en la Tabla 20, si una masa de agua presenta un “Impacto Alto” y la clasificación de QBR es “Peor que Muy Buena” va a presentar un “Riesgo Alto”. En cambio, si presenta un “Impacto Alto” pero la clasificación de QBR es “Muy Buena” el Riesgo que sufre el tramo es Medio.

Tabla 20: Clasificación del Riesgo

<b>IMPACTO</b>	<b>QBR Muy bueno</b>	<b>QBR Peor que muy bueno</b>
<b>Medio</b>	Medio	Medio
<b>Alto</b>	Medio	Alto
<b>Muy alto</b>	Alto	Muy alto

Para el caso del tramo del río Mijares entre el embalse de Vallat y el embalse de Ribesalbes el Riesgo que presenta es “Muy Alto” debido a que el Impacto que sufría esta masa de agua era “Muy Alto” para todos los escenarios de cambio climático, y el Índice de calidad de Bosque de Ribera es “Peor que Muy Bueno”. En resultado el Riesgo que este tramo va a presentar es “Muy Alto” para los diferentes periodos futuros y para los dos escenarios de cambio climático (RCP 4,5 y RCP 8.5).

En cambio, en el río Turia entre el embalse de Benagéber y el embalse de Loriguilla el Riesgo que se da es “Alto”, y no “Muy Alto”. Esto se debe a que, aunque el Impacto que va a sufrir la masa de agua en todos los escenarios de cambio climático va a ser “Muy Alto”, el índice QBR que presenta tiene una clasificación “Muy Buena”.



En la siguiente tabla se muestra la clasificación del Riesgo de los dos tramos del río Turia y el río Mijares para los diferentes escenarios de cambio climático:

Tabla 21: Clasificación del Riesgo Río Mijares y río Turia

Escenarios de Cambio Climático	Periodo	Riesgo Mijares	Riesgo Turia
RCP 4.5	2010-2040	Muy alto	Alto
	2040-2070	Muy alto	Alto
	2070-2100	Muy alto	Alto
RCP 8.5	2010-2040	Muy alto	Alto
	2040-2070	Muy alto	Alto
	2070-2100	Muy alto	Alto

La diferencia entre el Riesgo de una masa de agua y otra viene dada por la vegetación presente en la zona. El tramo estudiado del río Turia tiene un QBR de valor “Muy Bueno”, esto significa que la zona tendrá una capacidad mayor para absorber los impactos producidos por el cambio climático, y como se puede ver en la Figura 46, la vegetación que existente es tupida y de carácter arbolada, lo que favorece la existencia de zonas de sombra que van a amortiguar el aumento de temperaturas que se va a dar en los diferentes escenarios futuros. Sin embargo, en el tramo del río Mijares la vegetación está más deteriorada y en consecuencia no va a existir la misma adaptación al impacto que va a presentar la otra masa.



*Figura 44: Río Turia: embalse de Benagéber - embalse de Loriguilla (Google Maps)*

Siguiendo el mismo procedimiento que en el caso anterior se han obtenido los seis mapas de riesgo de toda la Demarcación Hidrográfica del Júcar para los diferentes periodos de futuros y para los dos escenarios de cambio climático estudiados.

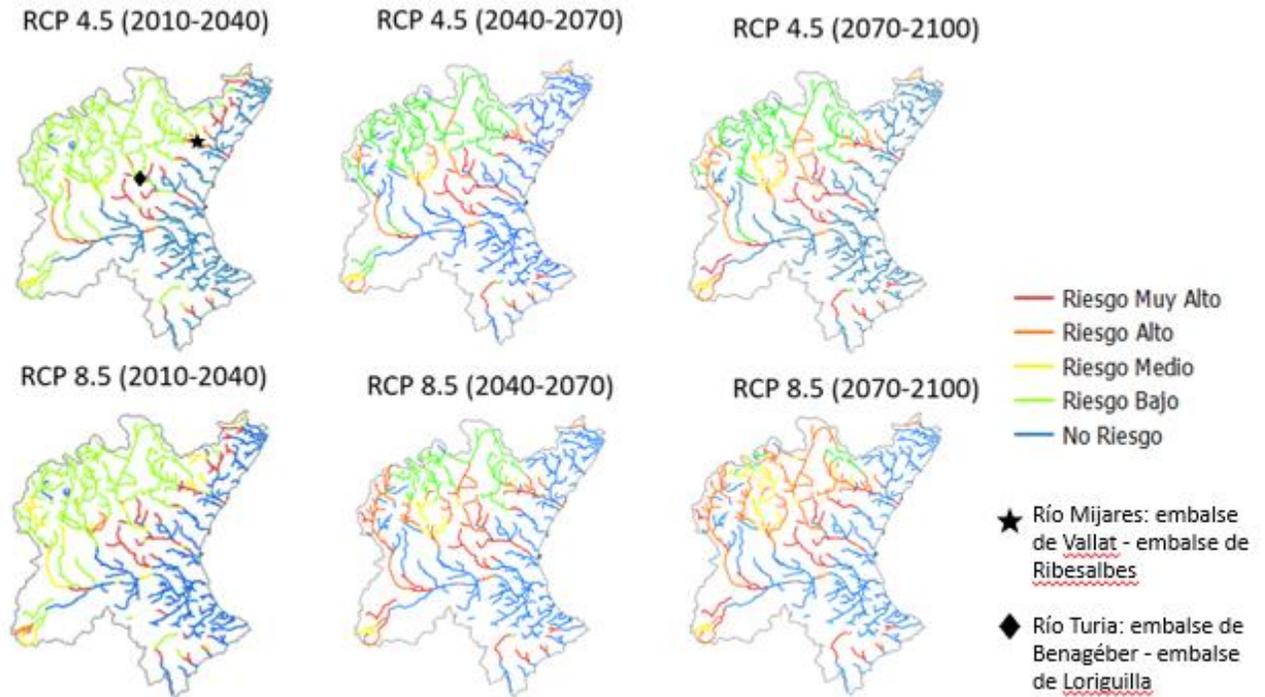


Figura 45: Mapas de Riesgo

Estos mapas de riesgo zonifican la Demarcación Hidrográfica del Júcar en zonas con riesgo bajo (verde), medio (amarillo), riesgo alto (naranja) y riesgo muy alto (rojo). Gracias a esta clasificación se pueden obtener las zonas con riesgo “Muy alto”, donde se priorizará la aplicación de medidas de reducción de riesgo.

## 5.6 ANÁLISIS POR RÍOS Y MEDIDAS DE ADAPTACIÓN

### 5.6.1 RÍO PALANCIA

#### 5.6.1.1 Análisis de la cabecera del Río Palancia

En este caso se analiza primeramente el estado del río Palancia y el riesgo que va a sufrir en el escenario de cambio climático RCP 8.5 para el periodo de años entre 2010-2040 y 2070-2100. El tramo de río analizado se divide en tres secciones, estas comprenden desde la cabecera del río hasta el azud Acequia de Sagunto, otro tramo desde este azud hasta otro azud llamado Acequia de Sargal y un tramo final comprendido entre este azud y el embalse de El Regajo. Este tramo del río Palancia desde la cabecera del río hasta el embalse del Regajo suma una longitud total de 53,8 km como puede verse en la Tabla 22.

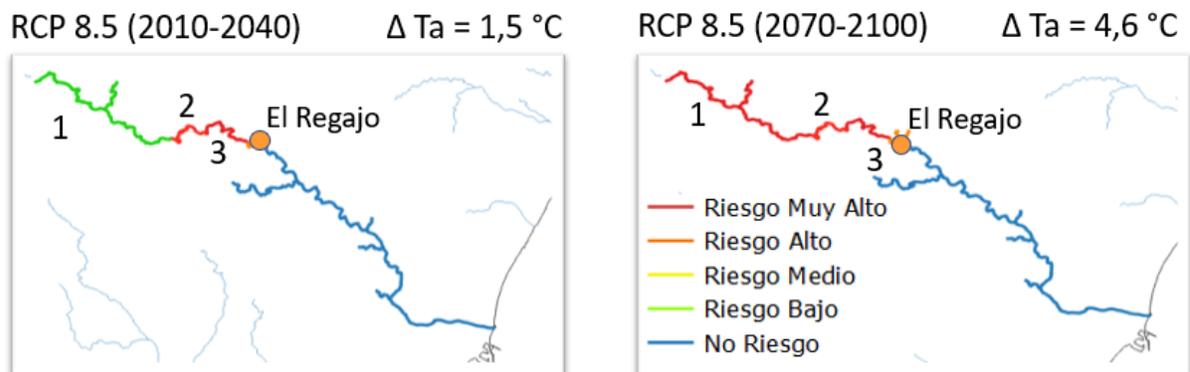


Figura 46: Mapas de Riesgo del río Palancia

Tabla 22: Km del tramo estudiado del río Palancia

Cod	Tramo de Río	Km
1	Cabecera - azud acequia de Sagunto	35,7 km
2	Azud acequia de Sagunto - azud del Sargal	8,3 km
3	Azud del Sargal - El Regajo	9,9 km
	<b>TOTAL</b>	<b>53,9 km</b>

Como se puede observar en la Figura 48 en el periodo de 2010 a 2040 el tramo 1 va a presentar un “Riesgo Bajo”, sin embargo, los tramos 2 y 3 se van a caracterizar por presentar un Riesgo Muy Alto” que lo hará más vulnerable al cambio climático. En este escenario la temperatura media del agua va a aumentar aproximadamente 1,5 °C.

Por otro lado, en un periodo de tiempo a largo plazo, es decir en el periodo de años entre 2070 y 2100 los tres tramos van a sufrir en el escenario de cambio climático 8.5 un “Riesgo muy Alto” y el aumento de temperatura medio va a ser de 4,6 °C.



Figura 47: Mapa vulnerabilidad río Palancia



*Figura 48: Vegetación del tramo: Azud de la acequia de Sagunto - azud del Sargal (Google Maps)*

El mapa de vulnerabilidad de la zona, Figura 49, y la Figura 50 que muestra el estado de la vegetación en ese tramo, indica que esta zona se caracteriza por presentar un índice de vegetación QBR “Muy Bajo”, entre 55 y 60 de 85 establecido como nivel de referencia.

Teniendo en cuenta el gran riesgo que va a sufrir la zona y el mal estado de la vegetación, una de las principales y más efectivas medidas que se pueden aplicar al tramo de río es el aumento y mejora del estado de la vegetación. Según el proyecto de REFRESH que expone que 100 m de restauración ribereña pueden reducir 1 °C la temperatura del río, esta medida de restauración aplicada en este caso conllevaría un efecto muy positivo en la zona.

### 5.6.1.2 Medidas propuestas en la cabecera del Río Palancia

Para el tramo de la cabecera del río Palancia se propone restaurar la vegetación de ribera y promover la regeneración natural desde el tramo de cabecera hasta el embalse de El Regajo. El objetivo de realizar una plantación para la mejora de la vegetación de ribera es, en este caso, el de aumentar el Índice QBR de 60 a 85 (valor de referencia establecido para el tramo).

La actuación prioritaria a realizar a corto plazo consiste en la restauración de 18,2 km en los tramos 2 y 3 ya que estas dos zonas de río se caracterizan por presentar un riesgo “Muy Alto” y de esta manera se busca crear sombra para ralentizar el aumento de la temperatura del agua provocada por la incidencia de los rayos de sol en el cauce del río.



Figura 49: Actuaciones a realizar a corto plazo en el río Palancia

La actuación que se propone para a realizar a largo plazo consiste en completar la restauración del tramo 1 que va desde la cabecera del río Palancia hasta el azud acequia de Sagunto con una plantación de 35,7 km. Aunque este tramo presenta un riesgo bajo, el QBR de la zona indica que la vegetación del lugar está muy deteriorada, (Índice QBR = 60/85). Por ello, mejorando las condiciones de este tramo, se pretende conseguir disminuir

la temperatura del agua del río en unos grados para que llegue aún más fría a los siguientes tramos que presentan un riesgo muy alto.



Figura 50: Actuaciones a realizar a largo plazo en el río Palancia

Tabla 23: Resumen de actuaciones de restauración a realizar a corto y a largo plazo en el río Palancia

Cod Tramo	Tramo de Río	Medidas de Restauración	Plazo de la Actuación	Km
1	Cabecera - azud acequia de Sagunto	Restauración Vegetación de Ribera	Largo Plazo	35,7 km
2	Azud acequia de Sagunto - azud del Sargal	Restauración Vegetación de Ribera	Corto Plazo	8,3 km
3	Azud del Sargal - El Regajo	Restauración Vegetación de Ribera	Corto Plazo	9,9 km
	<b>TOTAL</b>			<b>53,9 km</b>



## 5.6.2 RÍO MIJARES

### 5.6.2.1 Análisis de la cabecera y tramo medio del Río Mijares

En el caso del río Mijares es de especial importancia tener en cuenta las dos reservas naturales que presenta el río en la cabecera de cuenca y en el río Villahermosa. Estas dos zonas se declaran como reservas hidrológicas según el Acuerdo de Consejo de Ministros de 20 de noviembre de 2015.

En el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril se expone que “A los efectos del artículo 25 de la Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional, se podrán declarar como reserva hidrológica aquéllas masas que estando en muy buen estado o buen estado, tengan una relevancia especial, bien por su singularidad, representatividad de las distintas categorías o tipos de masas de agua, o por ser consideradas como sitios de referencia de la Directiva Marco del Agua (DMA).”

Estas zonas se clasifican en reservas según las siguientes características:

- el régimen y su estacionalidad,
- el origen de sus aportaciones,
- fondo de valle, trazado, morfología y geometría del cauce,
- la estructura y sustrato del lecho,
- características de sus riberas.

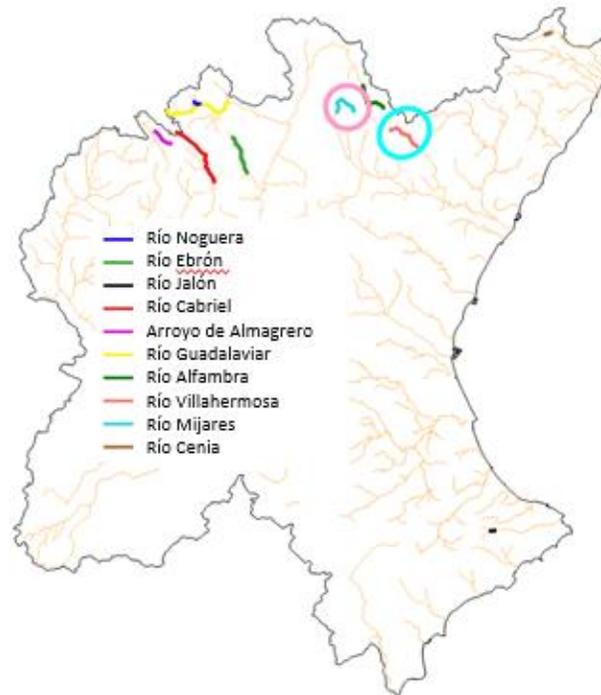


Figura 51: Reservas naturales fluviales (Demarcación Hidrográfica del Júcar, s. f.)

Tabla 24: Reservas naturales fluviales del río Mijares

Reservas Naturales	Riesgo 8.5 (2010-2040)	Riesgo 8.5 (2070-2100)	Presencia de Truchas	Valor QBR/ Valor Ref.
<b>Río Villahermosa: cabecera - barranco de la Canaleta</b>	Bajo	Bajo	SI	25/88
<b>Río Mijares: cabecera - barranco del Charco</b>	Bajo	Bajo	SI	50/88

Comenzando con el río Villahermosa, según se puede ver en la Figura 53 y la Tabla 24, este tramo de río que comprende desde la cabecera hasta el barranco de la Canaleta presenta un QBR peor que muy bueno, con unos valores asignados de 25 de 88 (establecido como valor de referencia). Por otro lado, el riesgo es bajo tanto a corto como a largo plazo y según la Demarcación Hidrográfica del Júcar es un tramo donde se ha confirmado la presencia de truchas.



La segunda reserva fluvial que comprende desde el tramo de cabecera del río hasta el barranco del charco presenta unas características similares a la reserva del río Villahermosa, a diferencia del valor de QBR ya que el estado de la vegetación en este tramo, aunque sigue siendo caracterizado como peor que muy bueno, se encuentra en mejor situación ya que presenta unos alores de 55 de 88 (valor de referencia).

Teniendo en cuenta el mal estado de la vegetación en ambos tramos y la importancia ecológica de la zona por presentar unas características que le confieren una denominación de reserva hidrológica y, además teniendo en cuenta que son lugares donde se pueden encontrar poblaciones de truchas es conveniente tener en cuenta estos dos tramos de río a la hora de priorizar las actuaciones de restauración y de adaptación al cambio climático en general.

A continuación, se analiza el resto del río Mijares para poder hallar las medidas de adaptación al cambio climático más convenientes.

En primer lugar, se puede ver el tramo 1 del río Mijares que comprende desde la cabecera de río hasta el embalse de Arenós. Esta zona es muy extensa y la suma de todos los tramos hace un total de 398,5 km de río hasta el embalse de Arenós.

Tabla 25: Tramos estudiados del río Mijares desde la cabecera hasta el embalse de Arenós

Cod	Tramo de Río	Km
1	Cabecera - barranco del Charco	17,7 km
2	Barranco del Charco - río Valbona	33,2 km
3	Río Valbona - manantial de Babor	95,3 km
4	Río Alcalá: cabecera - río Valbona	18,2 km
5	Río Valbona	18,1 km
6	Manantial de Babor - río Mora	46 km
7	Río Albentosa: cabecera - Manzanera	34,4 km
8	Río Albentosa: Manzanera - Mijares	17,1 km

9	Barranco de Fuendenarices	33 km
10	Embalse de Mora de Rubielos	20 km
11	Río Mora: embalse de Mora de Rubielos - Mijares	22 km
12	Río Mora - embalse de Arenós	19,2 km
13	Río Palomarejas: embalse de Balagueras - río Mijares	12,2 km
14	Río del Morrón	12,3 km
<b>TOTAL TRAMO RÍO</b>		<b>398,5 km</b>

RCP 8.5 (2010-2040) RCP 8.5 (2070-2100)

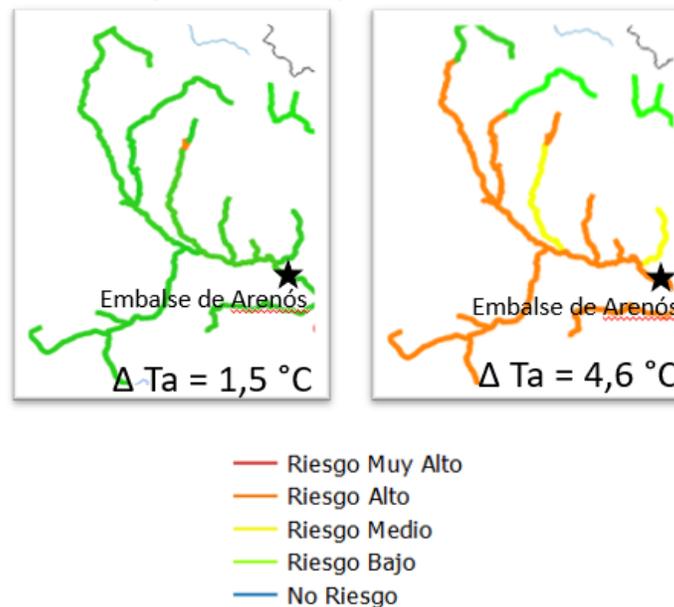


Figura 52: Mapa de riesgo río Mijares tramo 1

En la Figura 54 se muestra el grado de riesgo, en particular en el tramo 1 del Mijares que comprende desde el inicio en la cabecera del río hasta el embalse de Arenós. Puede verse que a corto plazo el riesgo que va a presentar la zona es bajo, aunque la temperatura aumente  $1,5 \text{ }^\circ\text{C}$  de media, mientras que a largo plazo en el mismo escenario de emisión de cambio climático (RCP 8.5) la temperatura va a aumentar  $4,6 \text{ }^\circ\text{C}$  de media y el riesgo en general también va a aumentar y va a pasar a ser alto en la mayoría de los segmentos de río.

En la siguiente imagen se observa que el QBR por lo general presenta una clasificación de “Peor que Muy Bueno” en gran parte de toda la zona. Es de esperar que a causa de este mal estado de la vegetación el riesgo a largo plazo empeore significativamente y pase a presentar esa clasificación de “Riesgo Alto”.

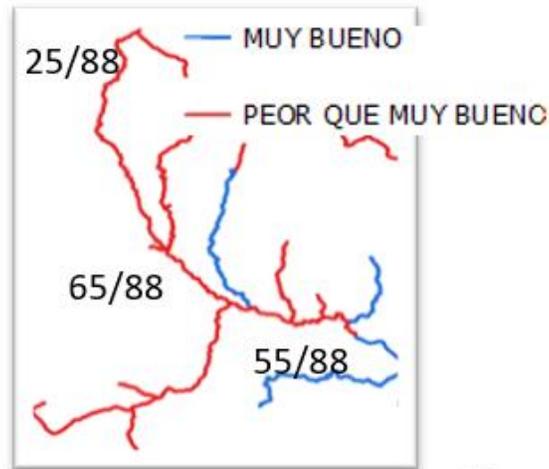


Figura 53: Mapa de Vulnerabilidad Tramo I río Mijares

Las medidas de restauración idóneas para este primer tramo del Mijares es el aumento y mejora de la vegetación de ribera en tramos hasta el embalse de Arenós, al igual que en el caso del río Palancia. Esto es debido a que los valores del Índice de calidad de ribera son muy bajos en comparación con el número de referencia establecido y, como se ha visto, el aumento de la calidad de la vegetación provoca un impacto muy positivo en el problema del aumento de temperatura del agua de río provocado por el aumento de temperatura del aire debido al cambio climático.

Por otro lado, este tramo presenta una zona caracterizada por tener masas de aguas subterráneas. Este tipo de masas tiene una gran importancia ecológica y es de especial interés su protección, al igual que la reserva hidrológica que presenta este tramo en la cabecera del río.



Figura 54: Ojos de Babor – Río Mijares (Google Maps)

Atendiendo al tramo 2 del río Mijares comprendido entre el embalse de Arenós y el embalse de Ribesalbes se observa que es una zona que presenta 4 embalses, aunque solo el de Arenós es de regulación, y que el riesgo que sufren prácticamente todos los segmentos del tramo es “Muy Alto”, independientemente de si se observa el impacto del cambio climático a corto (2010-2040) o a largo plazo (2070-2100).

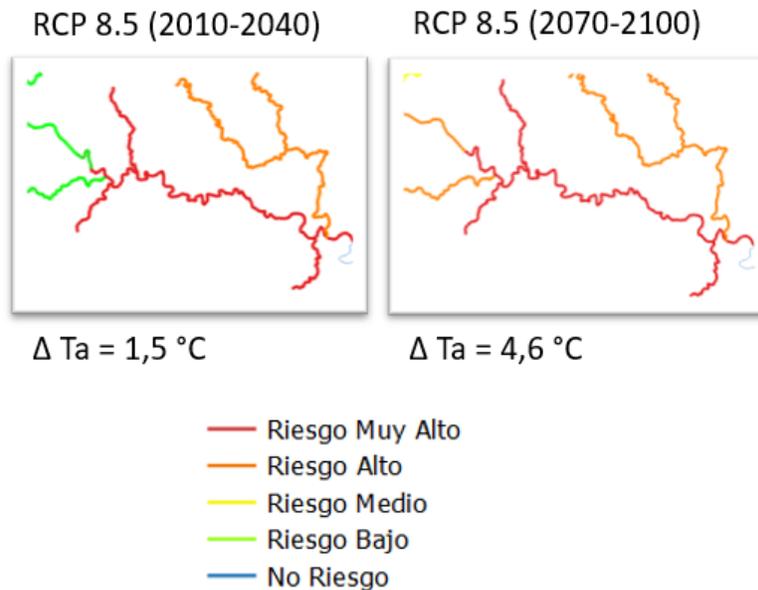


Figura 55: Mapa riesgo tramo 2 río Mijares

Tabla 26: Tramos estudiados del río Mijares desde el embalse de Arenós hasta el embalse de Ribesalbes

Cod	Tramo de Río	Km
16	Embalse de Arenós - embalse de Cirat	24
17	Embalse de Cirat - embalse de Vallat	15,2
18	Barranco de la Maymona	26,3
19	Río Montán	53
20	Río Cortes	79,6
21	Embalse de Vallat - embalse de Ribesalbes	17,1
22	Río Pequeño	5,9
	TOTAL TRAMO RÍO	221,1

La extensión del tramo 2 en total es de 221,1 km de río y como se ve en la Figura 58 y 59 la calidad de la vegetación es más pobre en comparación con otras zonas. Este tramo de río presenta una clasificación de QBR “Peor que Muy Buena” con unos valores de Índice entre 10-30 de 85 establecido como valor de referencia para el tramo.



Figura 56: Mapa Vulnerabilidad tramo 2 río Mijares



Figura 57: Vegetación tramo 2 río Mijares (Google Maps)

La vegetación de la zona se basa principalmente en matorrales y sólo cuenta con árboles dispersos que no son capaces de crear un amplio dosel que aumente la zona de sombreado.

Como medida de adaptación al cambio climático se propone como en los otros casos la restauración de la vegetación de ribera. Por otro lado, también se propone realizar sueltas periódicas de agua del embalse de Arenós. Para estas sueltas de agua se debe tener únicamente en cuenta el embalse de Arenós ya que es el único embalse de regulación.

El último tramo estudiado del río Mijares es el río Villahermosa, Este río mide una longitud aproximada de 85,4 km y el tramo comprende desde la cabecera del río hasta la desembocadura en el río Mijares.

Tabla 27: Tramo estudiado del río Mijares: Río Villahermosa

Cod	Río Villahermosa	Km
23	Cabecera - barranco de la Canaleta	34,9
24	Barranco de la Canaleta - barranco de Juaneta	8,8
25	Barranco de Juaneta - Ludiente	12,8
26	Mas del Plano de Herrera - río Mijares	28,8
	<b>TOTAL TRAMO RÍO</b>	<b>85,3</b>

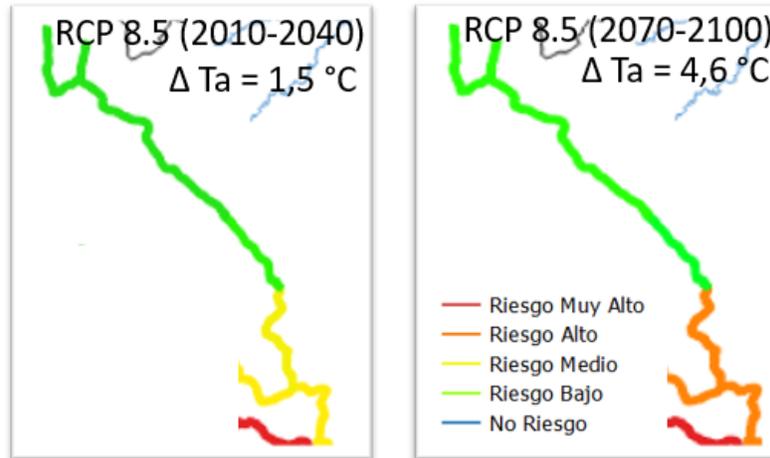


Figura 58: Mapa riesgo río Villahermosa

Esto río presenta en sus tramos altos un riesgo bajo frente a los impactos del cambio climático en todos los escenarios de cambio climático estudiados, aunque la temperatura media del agua aumentará entre 1,5 y 4,6 °C dependiendo del periodo de evaluación del riesgo.

Sin embargo, en los tramos bajos del río, en el tramo comprendido entre el Barranco de Juaneta y la desembocadura del río Mijares el riesgo es medio a corto plazo y alto a largo plazo.

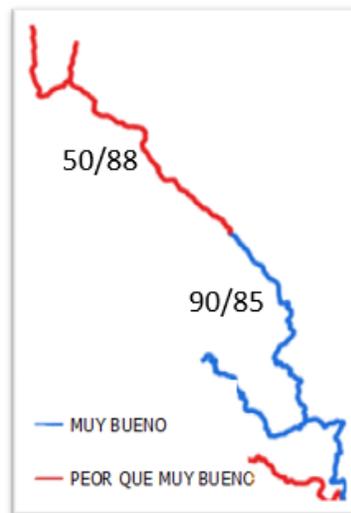


Figura 59: Mapa Vulnerabilidad río Villahermosa



Observando la calidad de la vegetación en el mapa de vulnerabilidad del río Villahermosa (Figura 61) se diferencian dos grandes zonas: una gran parte aguas arriba desde la cabecera del río que presenta un QBR con una clasificación peor que muy buena y con unos valores de 50 de 88 de referencia, y otra zona aguas abajo que termina en la desembocadura del río Villahermosa al río Mijares que presenta una QBR “Muy Bueno”.

La principal actuación a llevar a cabo en este tramo es la regeneración del bosque de ribera que se encuentra en mal estado. Esto incluiría una revegetación de 85,3 km desde la cabecera del río.

La sombra creada por el arbolado regenerado disminuiría la temperatura del agua en esos segmentos de río y la temperatura del río no sería tan elevada. A largo plazo, la actuación se podría prolongar a todo el resto del río, aunque la vegetación ya se encuentre en buen estado. En total, a largo plazo se restaurarían 85,3 km de ribera para poder prevenir mayores impactos del cambio climático.

### 5.6.2.2 Medidas para la cabecera y tramo medio del Río Mijares

La medida de restauración idónea para el Tramo 1 del Mijares, el cual comprende entre la cabecera de río hasta el embalse de Arenós, es el aumento y mejora de la vegetación de ribera. Se busca conseguir un efecto combinado de la plantación de la vegetación con la propia regeneración natural de la zona para recuperar sus funciones hidrológicas y ecológicas. Por otro lado, también es de especial importancia la identificación y preservación de los refugios térmicos, como el manantial de Babor que proporciona agua al río, así como permitir la recarga de los acuíferos conectado al río como en este caso el acuífero Javalambre oriental que alimenta el manantial de Babor y Mas Royo, de la Torca o el manantial de Escaleruela.

Para el segundo tramo del río Mijares comprendido entre el embalse de Arenós y el embalse de Ribesalbes, como medida de adaptación al cambio climático que se propone es, como en los otros casos, la restauración de la vegetación de ribera, es decir, aumentar tanto la cantidad como la calidad del bosque ribereño para que se puedan crear amplias zonas de sombreado que reduzcan significativamente la temperatura del agua en todo el tramo.

En este caso se puede aplicar otra medida de adaptación al cambio climático para reducir la temperatura del agua que se trata de realizar sueltas periódicas de agua del embalse de Arenós ya que el aumento del calado del río y la suelta de agua provoca una disminución de la temperatura de este.

En el tramo del río Villahermosa, es decir, en el tercer tramo, la principal actuación a llevar a cabo también es la regeneración del bosque de ribera que se encuentra en mal estado. Este río sin embargo no presenta un riesgo “Muy Alto” y las actuaciones pueden hacerse a largo plazo ya que presenta una preocupación menor, sin embargo, cuenta con una reserva natural fluvial y es de gran importancia llevar un seguimiento de la zona para evitar que pueda llegar a estar en una situación de riesgo mayor.

En resumen, a corto plazo se propone la restauración de la vegetación en 332,2 km de río del primer tramo, así como la preservación de las reservas naturales fluviales, la conservación del acuífero y de los manantiales alimentados por este. Para el tramo 2 se propone las sueltas de agua del embalse de Arenós para aumentar el calado y contribuir al enfriamiento el agua del río. También se recomienda la restauración del bosque de ribera entre los embalses de Arenós y de Ribesalbes, los cuales suman un total de 188,9 km de río. En total, sumando los dos tramos de río se propone a corto plazo una restauración de la vegetación de ribera de 521 km de río Mijares.

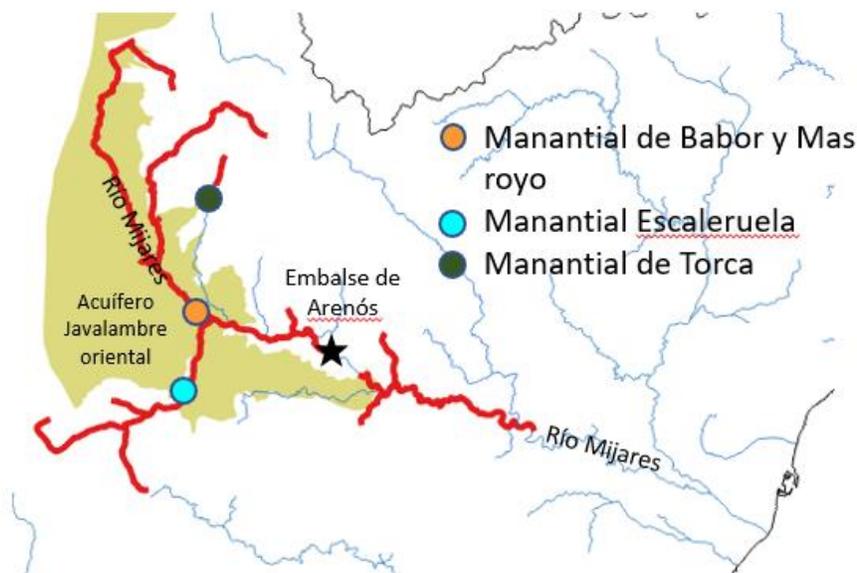


Figura 60: Actuaciones a realizar a corto plazo en el río Mijares

A largo plazo se propone la restauración de tramos de río que no presentan una vulnerabilidad al cambio climático tan crítica o que el riesgo que van a sufrir no es tan alto como en los otros casos. En total, la restauración a largo plazo comprendería 183,3 km de río divididos en 66,5 km del primer tramo, 31,5 km del segundo tramo y 85,3 km en el tramo tres, el cual integra el río Villahermosa. Por otro lado, a largo plazo también sería interesante aplicar medidas que mejoren la conectividad longitudinal del río para poder preservar las especies.

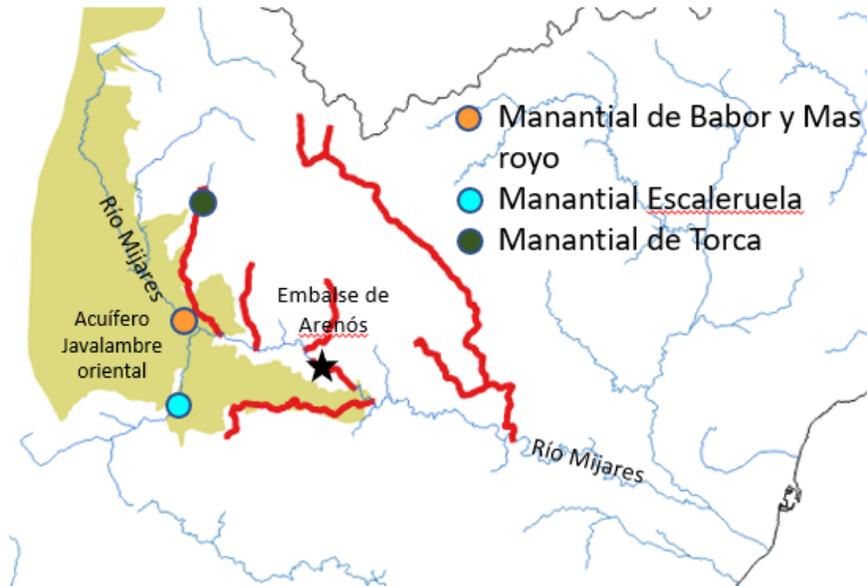


Figura 61: Actuaciones a realizar a largo plazo en el río Mijares

Tabla 28: Resumen de actuaciones de restauración a realizar a corto y a largo plazo en el río Mijares

Cod Tramo	Tramo de Río	Medidas de Restauración	Plazo de la Actuación	Km
<b>TRAMO 1</b>				
1	Cabecera - barranco del Charco	Restauración Vegetación de Ribera	Corto Plazo	17,7 km
1	Barranco del Charco - río Valbona	Restauración Vegetación de Ribera	Corto Plazo	33,2 km
1	Río Valbona - manantial de Babor	Restauración Vegetación de Ribera	Corto Plazo	95,3 km
1	Río Alcalá: cabecera - río Valbona	Restauración Vegetación de Ribera	Corto Plazo	18,2 km
1	Río Valbona	Restauración Vegetación de Ribera	Corto Plazo	18,1 km
1	Manantial de Babor - río Mora	Restauración Vegetación de Ribera	Corto Plazo	46 km
1	Río Albentosa: cabecera - Manzanera	Restauración Vegetación de Ribera	Corto Plazo	34,4 km



1	Río Albufera: Manzanera - Mijares	Restauración Vegetación de Ribera	Corto Plazo	17,1 km
1	Barranco de Fuendenarices	Restauración Vegetación de Ribera	Corto Plazo	33 km
1	Embalse de Mora de Rubielos	Restauración Vegetación de Ribera	Largo Plazo	20 km
1	Río Mora: embalse de Mora de Rubielos - Mijares	Restauración Vegetación de Ribera	Largo Plazo	22 km
1	Río Mora - embalse de Arenós	Restauración Vegetación de Ribera	Corto Plazo	19,2 km
1	Río Palomarejas: embalse de Balagueras - río Mijares	Restauración Vegetación de Ribera	Largo Plazo	12,2 km
1	Río del Morrón	Restauración Vegetación de Ribera	Largo Plazo	12,3 km
<b>1</b>	<b>TOTAL TRAMO 1</b>			<b>398,5 km</b>
<b>TRAMO 2</b>				
2	Embalse de Arenós - embalse de Cirat	Restauración Vegetación de Ribera Seltas de agua de Arenós	Corto Plazo	24 km
2	Embalse de Cirat - embalse de Vallat	Restauración Vegetación de Ribera Seltas de agua de Arenós	Corto Plazo	15,2 km
2	Barranco de la Maymona	Restauración Vegetación de Ribera	Largo Plazo	26,3 km
2	Río Montán	Restauración Vegetación de Ribera	Corto Plazo	53 km
2	Río Cortes	Restauración Vegetación de Ribera	Corto Plazo	79,6 km
2	Embalse de Vallat - embalse de Ribesalbes	Restauración Vegetación de Ribera Seltas de agua de Arenós	Corto Plazo	17,1 km
2	Río Pequeño	Restauración Vegetación de Ribera	Largo Plazo	5,9 km
<b>2</b>	<b>TOTAL TRAMO 2</b>			<b>221,1 km</b>



### TRAMO 3

3	Cabecera - barranco de la Canaleta	Restauración Vegetación de Ribera	Largo Plazo	34,9 km
3	Barranco de la Canaleta - barranco de Juaneta	Restauración Vegetación de Ribera	Largo Plazo	8,8 km
3	Barranco de Juaneta - Ludiente	Restauración Vegetación de Ribera	Largo Plazo	12,8 km
3	Mas del Plano de Herrera - río Mijares	Restauración Vegetación de Ribera	Largo Plazo	28,8 km
<b>3</b>	<b>TOTAL TRAMO 3</b>			<b>85,3 km</b>





## 6 RESUMEN Y CONCLUSIONES

---

Se ha visto que la trucha común se va a ver gravemente afectada por el aumento de temperatura debido al cambio climático ya que es una especie que necesita bajas temperaturas y no se adapta bien en ambientes más cálidos.

El aumento de la temperatura afecta diferente dependiendo de la etapa de vida de las truchas, y una alteración prolongada de las temperaturas podría cambiar el ciclo de vida y la época de freza de estas. Según la revisión bibliográfica la trucha común puede tolerar hasta temperaturas de 21,8 °C en treinta días, pero el intervalo de temperatura óptimo para la habitabilidad de esta especie es entre 10 y 20 °C.

La variación de temperatura del agua se ha estudiado para los escenarios de emisiones de RCP 4.5 y RCP 8.5. Estos escenarios han sido estudiados para el periodo de años 2010-2040, 2040-2070 y 2070-2100. Se esta temperatura se han obtenido los mapas de peligrosidad realizados, que muestran la distribución espacial y temporal del aumento de la temperatura del agua para el mes de agosto, a corto plazo la temperatura va a subir entre 1,09 y 1,46 °C, entre 1,94 y 2,58 °C a medio plazo y a largo plazo entre 2,42 y 4,48 °C, dependiendo del escenario RCP de cambio climático.

El mapa de exposición obtenido refleja las tres diferentes zonas en relación con la temperatura del agua: zona óptima para la habitabilidad de la especie, zona de apremio y zona de intolerancia. La zona optima comprende temperaturas menores a 18,7 °C, la zona de apremio se clasifica en temperaturas entre 18,7 °C y 21,8 °C, y la zona de intolerancia son tramos que presentan valores de temperatura mayores a la barrera termal, la cual se establece en 21,8 °C. Una vez identificadas las temperaturas tolerables por las truchas se ha observado en el mapa de exposición que el 56% de zonas es intolerable, el 23% de las donas de la confederación son de apremio y el 20% presentan un estado óptimo aproximadamente.



Observando el mapa de impacto obtenido a partir de los mapas de peligrosidad y exposición se ha podido ver que los tramos de río que presentan un impacto más elevado son los tramos intermedios.

El mapa de vulnerabilidad obtenido mediante el índice de calidad del bosque de ribera QBR (Munné et al., 1998), clasifica los diferentes tramos de río de la demarcación en “Muy bueno” y “Peor que muy bueno” dependiendo del estado de la vegetación de ribera que presentan. Al combinar el mapa de impacto con el mapa de vulnerabilidad, que muestra que el 75% de tramos de río de la confederación presenta un mal estado de la vegetación de ribera, se han obtenido los diferentes mapas de riesgo.

Los mapas de riesgo clasifican las diferentes zonas de los ríos en riesgo medio, alto y muy alto, lo que permite identificar las zonas de prioridad donde aplicar las medidas de adaptación. Estos mapas muestran que las zonas de un elevado impacto combinadas con un mal estado de la vegetación de ribera conducen a situaciones de riesgo “Muy Alto” para el futuro de la trucha común en muchas zonas de la Demarcación Hidrográfica del Júcar, en especial en los tramos medios de los ríos donde la temperatura del agua comienza a ser más alta.

Con el análisis concreto del río Palancia se ha obtenido que ciertos tramos van a sufrir un “Riesgo muy Alto”, y se estudia realizar un aumento y mejora de la vegetación de la zona ya que la calidad de la vegetación en este tramo es muy mala y se ha visto que la regeneración del bosque de ribera aumenta el sombreado y disminuye el calentamiento del agua. De este modo se propone una repoblación de carácter prioritaria de 18 km a corto plazo desde el Azud Acequia de Sagunto hasta el embalse del Regajo, y a largo plazo una repoblación de 35,7 km desde la cabecera del río Palancia hasta el Azud Acequia de Sagunto. En total, a corto y a largo plazo se realizaría una revegetación de 53,9 km en la parte alta del río Palancia, desde su nacimiento hasta el Regajo.

En el río Mijares se observa una situación similar a la del río Palancia, es decir, que muchos de los tramos analizados presentan un “Riesgo muy Alto” en los diferentes escenarios de cambio climático y la mala calidad de la vegetación en la mayor parte de las zonas aumenta la vulnerabilidad del río a sufrir mayores efectos en el futuro.



Las medidas que se proponen para este río dependen del tramo analizado. Desde el la parte de cabecera del río hasta el embalse de Arenós se propone una restauración ribereña de 332,2 km de río a corto plazo, a excepción del tramo comprendido entre el embalse Mora de Rubielos y el río Mijares en el que se propone la restauración a largo plazo de 66,5 km de longitud.

Por otro lado, también se ha visto que el río Mijares está alimentado por manantiales como el manantial de Babor y el manantial Mas Royo, el manantial de la Escaleruela o el de la Torca. El agua de estos manantiales proviene del acuífero Javalambre oriental, por lo cual también se propone la protección de este acuífero para poder asegurar la recarga natural del mismo y así poder mantener o mejorar el estado de los manantiales. De esta forma se espera más aporte de agua fresca al río que contribuirá a la ralentización del aumento de la temperatura del agua.

Desde el embalse de Arenós hasta el embalse de Ribesalbes se propone, al igual que en los tramos más altos del río, el aumento y la mejora de la vegetación desde un embalse a otro. Esta restauración comprende un total de 188,9 km de río a restaurar a corto plazo y 31,5 km de río a restaurar a largo plazo (tramo del Barranco de la Maymona). A corto plazo se propone combinar esta medida de mejora con el aumento de las sueltas de agua periódicas desde el embalse del Arenós para facilitar la reducción de la temperatura del río.

En el último tramo, que comprende el río Villahermosa, se propone una actuación a largo plazo de 85,3 km desde la cabecera de río hasta la desembocadura de este en el río Mijares ya que este río no presenta un gran riesgo a corto plazo y no precisa de actuaciones prioritarias.

Se ha visto que la restauración fluvial para devolver al ecosistema al su estado natural promoviendo la auto-restauración mejora la resiliencia del sistema ante los impactos del cambio climático con lo cual se propone como medida principal para la reducción de la vulnerabilidad en el hábitat potencial de la trucha común y los demás tramos de los ríos de la Demarcación Hidrográfica del Júcar que van a sufrir severos impactos producidos por el aumento de temperatura provocado por el cambio climático.





## 7 LÍNEAS FUTURAS

---

Una vez desarrollado el proyecto se han descubierto líneas de investigación con las que se puede mejorar y ampliar el espectro del problema. A continuación, se enumeran algunas de ellas:

En relación con el impacto del cambio climático puede ser interesante aplicar la metodología descrita a otras especies como la Bermejuela ya que presenta características similares a la trucha común en cuanto al hábitat potencial. Esta especie también habita en aguas frías y rápidas conviviendo con poblaciones de truchas y se encuentra en los ríos de la demarcación.

Otra posible e interesante línea de trabajo consiste en mejorar las ecuaciones empleadas en el estudio de todos los ríos para obtener resultados más precisos que puedan esclarecer con mayor precisión las medidas a llevar a cabo para la mejora de los lugares afectados.

Puesto que la Demarcación Hidrográfica del Júcar cuenta con ciertos tramos de ríos categorizados como reservas naturales fluviales sería conveniente el estudio y priorización de las actuaciones en ellas.

Partiendo de la base que, no se han analizado profundamente todos los ríos de la demarcación ni se han propuesto medidas específicas para cada tramo sería conveniente continuar el estudio del impacto del cambio climático en toda la Demarcación Hidrográfica del Júcar y proponer medidas específicas para cada tramo de río dependiendo de cada caso de estudio. Posteriormente se puede ampliar el estudio a las demás demarcaciones para evaluar el riesgo en todo el país.



En referencia al término refugio térmico al cual se refieren algunos artículos de los que se ha extraído información para realizar este estudio puede ser interesante centrarse en el estudio de la localización y/o creación de estos refugios que reducen la temperatura en ciertas zonas para ver si podría ser otra medida aplicable para la adaptación de los ríos al cambio climático.

## 8 REFERENCIAS

---

AdapteCCa. Visor de Escenarios de Cambio Climático (2021). Recuperado 13 de mayo de 2021, de [https://escenarios.adaptecca.es/#&model=eqm-multimodel&variable=tasmax&scenariopc85&temporalFilter=YEAR&layers=AREAS&period=MEDIUM\\_FUTURE&anomaly=RAW\\_VALUE](https://escenarios.adaptecca.es/#&model=eqm-multimodel&variable=tasmax&scenariopc85&temporalFilter=YEAR&layers=AREAS&period=MEDIUM_FUTURE&anomaly=RAW_VALUE)

Agency of Natural Resources. Vermont Fish & Wildlife Department (2021) Rainbow Trout Recuperado 13 de mayo de 2021, de <https://vtfishandwildlife.com/fish/fishing-opportunities/sportfish-of-vermont/rainbow-trout>

Alonso, C., Gortázar, J., García de Jalón, D. (2017). Trucha Común – *Salmo trutta*. En: *Enciclopedia Virtual de los Vertebrados Españoles*. Sanz, J. J., Elvira, B. (Eds.). Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid. <http://www.vertebradosibericos.org/>

Alonso, C., Gortázar, J., García de Jalón, D. (2017). Trucha Común – *Salmo trutta*. En: *Enciclopedia Virtual de los Vertebrados Españoles*. Sanz, J. J., Elvira, B. (Eds.). Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid. <http://www.vertebradosibericos.org/> TRUCHA DE ARROYO | Características, alimentación y hábitat usual. (2018, febrero 23). InfoMarina. <https://infomarina.net/trucha-de-arroyo/>

Ayllón, D., Railsback, S. F., Harvey, B. C., García Quirós, I., Nicola, G. G., Elvira, B., & Almodóvar, A. (2019). Mechanistic simulations predict that thermal and hydrological effects of climate change on Mediterranean trout cannot be offset by adaptive behaviour, evolution, and increased food production. *Science of The Total Environment*, 693, 133648. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133648>

Camps, M. A. (2015, julio 23). ¿Qué es una especie exótica y una invasora? All you need is Biology. <https://allyouneedisbiology.wordpress.com/2015/07/23/especies-exotica-invasora/>

Catálogo Español de Especies Exóticas Invasoras (MINECO).

Chapman, M., Satterfield, T., & Chan, K. M. A. (2020). How value conflicts infected the science of riparian restoration for endangered salmon habitat in America's Pacific Northwest: Lessons for the application of conservation science to policy. *Biological Conservation*, 244, 108508. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108508>

Cianfrani, C., Satizábal, H. F., & Randin, C. (2015). A spatial modelling framework for assessing climate change impacts on freshwater ecosystems: Response of brown trout (*Salmo trutta* L.) biomass to warming water temperature. *Ecological Modelling*, 313, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2015.06.023>

Coughlin, D. J., Wilson, L. T., Kwon, E. S., & Travitz, L. S. (2020). Thermal acclimation of rainbow trout myotomal muscle, can trout acclimate to a warming environment? *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 245, 110702. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2020.110702>

David, P. (2011). Hibridaciones de salmones y truchas en los ríos cantábricos. Recuperado 13 de mayo de 2021, de <http://www.naturalezacantabrica.es/2011/11/hibridaciones-de-salmones-y-truchas-en.html>

Demarcación Hidrográfica del Júcar. (2021). MITECO Recuperado 13 de mayo de 2021, de <https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/delimitacion-y-restauracion-del-dominio-publico-hidraulico/Catalogo-Nacional-de-Reservas-Hidrologicas/informacion/jucar/default.aspx>

Doadrio, I., España, Dirección General de Conservación de la Naturaleza, & Museo Nacional de Ciencias Naturales. (2002a). Atlas y libro rojo de los peces continentales de España. Dirección General de Conservación de la Naturaleza : Museo Nacional de Ciencias Naturales.

Doadrio, I., España, Dirección General de Conservación de la Naturaleza, & Museo Nacional de Ciencias Naturales. (2002b). Atlas y libro rojo de los peces continentales de España. Dirección General de Conservación de la Naturaleza : Museo Nacional de Ciencias Naturales.

Dugdale, S. J., Malcolm, I. A., Kantola, K., & Hannah, D. M. (2018). Stream temperature under contrasting riparian forest cover: Understanding thermal dynamics and heat exchange processes. *Science of The Total Environment*, 610-611, 1375-1389. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.198>

Ebersole, J. L., Liss, W. J., & Frissell, C. A. (2001). Relationship between stream temperature, thermal refugia and rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* abundance in arid-land streams in the northwestern United States. *Ecology of Freshwater Fish*, 10(1), 1-10. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0633.2001.100101.x>

Ellison, D., Morris, C. E., Locatelli, B., Sheil, D., Cohen, J., Murdiyarso, D., Gutierrez, V., Noordwijk, M. van, Creed, I. F., Pokorny, J., Gaveau, D., Spracklen, D. V., Tobella, A. B., Ilstedt, U., Teuling, A. J., Gebrehiwot, S. G., Sands, D. C., Muys, B., Verbist, B., ... Sullivan, C. A. (2017). Trees, forests and water: Cool insights for a hot world. *Global Environmental Change*, 43, 51-61. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.01.002>

Estrela Segrelles, C. & Pérez Martín M.A. (2021) Determinación de los mapas de peligrosidad, exposición, vulnerabilidad y riesgo asociados al cambio climático en España. *RETEMA (Revista Técnica de Medio Ambiente)*. N 228 pág. 150-153

Fundación Botín (2020) Seminario sobre la aplicación de técnicas de Machine Learning para la gestión de los recursos hídricos. Recuperado 13 de mayo de 2021, de



[//www.fundacionbotin.org/noticia/seminario-sobre-la-aplicacion-de-tecnicas-de-machine-learning-para-la-gestion-de-los-recursos-hidricos.html](http://www.fundacionbotin.org/noticia/seminario-sobre-la-aplicacion-de-tecnicas-de-machine-learning-para-la-gestion-de-los-recursos-hidricos.html)

Grabowski, Z. J., Watson, E., & Chang, H. (2016). Using spatially explicit indicators to investigate watershed characteristics and stream temperature relationships. *Science of The Total Environment*, 551-552, 376-386. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.02.042>

Infomarina (2021) Trucha Arcoíris. Características, alimentación y hábitat usual. (2018, febrero 22). InfoMarina. <https://infomarina.net/trucha-arcoiris/>

Justice, C., White, S. M., McCullough, D. A., Graves, D. S., & Blanchard, M. R. (2017). Can stream and riparian restoration offset climate change impacts to salmon populations? *Journal of Environmental Management*, 188, 212-227. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.12.005>

Lapointe, N. W. R. (2014). Effects of shoreline type, riparian zone and instream microhabitat on fish species richness and abundance in the Detroit River. *Journal of Great Lakes Research*, 40, 62-68. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2013.02.004>

McKean, J. R., & Johnson, D. M. (2019). Difficulties for cost-benefit analysis in the 2020 environmental impact statement to recover the endangered wild salmon and steelhead in the Columbia River Basin. *Journal of Environmental Management*, 246, 434-443. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.05.099>

Merriam, E. R., Fernandez, R., Petty, J. T., & Zegre, N. (2017). Can brook trout survive climate change in large rivers? If it rains. *Science of The Total Environment*, 607-608, 1225-1236. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.049>

Ministerio de Agricultura, Alimentación y medio ambiente. Confederación Hidrográfica del Júcar (2014) Documentos iniciales Ciclo de planificación hidrológica 2015–2021. Recuperado 14 de mayo de 2021, de [https://www.chj.es/es-es/medioambiente/planificacionhidrolologica/Documents/Plan-Hidrologico-cuenca-2015-2021/DocIniciales\\_DHJ\\_2015\\_2021.pdf](https://www.chj.es/es-es/medioambiente/planificacionhidrolologica/Documents/Plan-Hidrologico-cuenca-2015-2021/DocIniciales_DHJ_2015_2021.pdf)

Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Confederación Hidrográfica del Júcar (2015) Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar (Memoria). Ciclo de planificación hidrológica 2015 - 2021 (s. f.). Recuperado 14 de mayo de 2021, de [https://www.chj.es/Descargas/ProyectosOPH/Consulta%20publica/PHC-2015-2021/PHJ1521\\_Memoria\\_151126.pdf](https://www.chj.es/Descargas/ProyectosOPH/Consulta%20publica/PHC-2015-2021/PHJ1521_Memoria_151126.pdf)

Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Observatorio de Salud y Cambio Climático (2021). Nuevos escenarios de emisión:RCPs. Recuperado 13 de mayo de 2021, de [http://www.oscc.gob.es/es/general/salud\\_cambio\\_climatico/Nuevos\\_escenarios\\_emision\\_RCPs.htm](http://www.oscc.gob.es/es/general/salud_cambio_climatico/Nuevos_escenarios_emision_RCPs.htm)

Ministerio de Medio Ambiente. Programa AGUA (2007) Estudio general sobre la Demarcación Hidrográfica del Júcar. Recuperado 13 de mayo de 2021, de



[https://www.chj.es/es-es/medioambiente/planificacionhidrologica/Documents/Plan-Hidrologico-cuenca-2009-2015/Est\\_Gral\\_CHJ\\_ini.pdf](https://www.chj.es/es-es/medioambiente/planificacionhidrologica/Documents/Plan-Hidrologico-cuenca-2009-2015/Est_Gral_CHJ_ini.pdf)

Ministerio para Transición Ecológica y Reto Demográfico. (2020, noviembre 18). El impacto del cambio climático en el ciclo hidrológico. [https://www.youtube.com/watch?v=VnGsmutkOiM&ab\\_channel=MinisterioTransici%C3%B3nEcol%C3%B3gicaYRetoDemogr%C3%A1fico](https://www.youtube.com/watch?v=VnGsmutkOiM&ab_channel=MinisterioTransici%C3%B3nEcol%C3%B3gicaYRetoDemogr%C3%A1fico)

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2021) Inventario Español de Especies Terrestres. Vertebrados. Peces Continentales. Recuperado 13 de mayo de 2021, de <https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/inventarios-nacionales/inventario-especies-terrestres/inventario-nacional-de-biodiversidad/bdn-ieet-atlas-vert-peces.aspx>

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (2021). Inventario Nacional Salmo trutta. Recuperado 13 de mayo de 2021, de [https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/inventarios-nacionales/salmo\\_trutta\\_tcm30-199080.pdf](https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/inventarios-nacionales/salmo_trutta_tcm30-199080.pdf)

Moir, H. J., & Pasternack, G. B. (2008). Relationships between mesoscale morphological units, stream hydraulics and Chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) spawning habitat on the Lower Yuba River, California. *Geomorphology*, 100(3), 527-548. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2008.02.001>

Muñoz-Mas, R., Lopez-Nicolas, A., Martínez-Capel, F., & Pulido-Velazquez, M. (2016). Shifts in the suitable habitat available for brown trout (*Salmo trutta* L.) under short-term climate change scenarios. *Science of The Total Environment*, 544, 686-700. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.11.147>

Muñoz-Mas, Rafael, Marcos-García, P., Lopez-Nicolas, A., Martínez-García, F. J., Pulido-Velazquez, M., & Martínez-Capel, F. (2018). Combining literature-based and data-driven fuzzy models to predict brown trout (*Salmo trutta* L.) spawning habitat degradation induced by climate change. *Ecological Modelling*, 386, 98-114. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2018.08.012>

NetMap (2021). Thermal Refugia. Recuperado 13 de mayo de 2021, de [http://www.netmaptools.org/Pages/NetMap\\_Analysis\\_Types/thermal\\_refugia.htm](http://www.netmaptools.org/Pages/NetMap_Analysis_Types/thermal_refugia.htm)

Null, S. E., Medellín-Azuara, J., Escrivá-Bou, A., Lent, M., & Lund, J. R. (2014). Optimizing the dammed: Water supply losses and fish habitat gains from dam removal in California. *Journal of Environmental Management*, 136, 121-131. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.01.024>

Parra Montañés, I., & Parra Montañés, I. (2012, junio 29). Estrategias vitales de la trucha común «*Salmo trutta*» en el límite meridional de su distribución [Info:eu-repo/semantics/doctoralThesis]. Universidad Complutense de Madrid. <https://eprints.ucm.es/id/eprint/17920/>



Plataforma sobre Adaptación al Cambio Climático en España (2021) Cambio climático y recursos hídricos en España—Aplicación CAMREC. Recuperado 13 de mayo de 2021, de <https://www.adaptecca.es/cambio-climatico-y-recursos-hidricos-en-espana-aplicacion-camrec>

Real Decreto 817/2015, de 11 de septiembre, por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental. (s. f.). 76.

Sáez, J. M. S. (2017). Viabilidad de las poblaciones de trucha (salmo trutta) del centro de la Península Ibérica: El reto del cambio climático [Http://purl.org/dc/dcmitype/Text, Universidad Politécnica de Madrid]. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=185138>

Sanz, G. R. (2019). Aplicación de la teoría de grafos a la ecología fluvial: Análisis de la pérdida de conectividad longitudinal en los ríos españoles por la presencia de presas [Http://purl.org/dc/dcmitype/Text, Universidad Politécnica de Madrid]. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=255452>

Slee, B. (2014). Scoping of solutions in the Dee catchment, UK.

Stewart, I. T., Rogers, J., & Graham, A. (2020). Water security under severe drought and climate change: Disparate impacts of the recent severe drought on environmental flows and water supplies in Central California. *Journal of Hydrology X*, 7, 100054. <https://doi.org/10.1016/j.hydroa.2020.100054>

Swartz, A., Roon, D., Reiter, M., & Warren, D. (2020). Stream temperature responses to experimental riparian canopy gaps along forested headwaters in western Oregon. *Forest Ecology and Management*, 474, 118354. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118354>

Wehrly, K. E., Wang, L., & Mitro, M. (2007). Field-Based Estimates of Thermal Tolerance Limits for Trout: Incorporating Exposure Time and Temperature Fluctuation. *Transactions of the American Fisheries Society*, 136(2), 365-374. <https://doi.org/10.1577/T06-163.1>