



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ETS INGENIEROS DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

TRABAJO DE FIN DE MASTER

Estudio de medidas de adaptación al cambio climático frente al riesgo de pérdida de hábitats de especie de aguas frías en la Demarcación Hidrográfica del Júcar.

Presentado por

Mulet Rojas, Carlos

Para la obtención del

Master Universitario en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos

Curso: 2021/2022

Fecha: Enero de 2022

Tutor: Pérez Martín, Miguel Ángel



Agradecimientos

Me gustaría mostrar mi más sincero agradecimiento a Miguel Ángel, mi tutor, por todo lo aprendido durante la elaboración del presente trabajo y por su guía en los momentos difíciles. Ha sido un placer volver a trabajar juntos.

Además, agradecer y dedicárselo a mis amigos y a mis compañeros de la CHJ, los cuales me empujaban y animaban cada día. Con ellos esta última etapa del máster y de experiencia profesional ha sido increíble. Muchas gracias.



Resumen

El trabajo aborda la problemática relacionada con el cambio climático y la consecuencia de un aumento de la temperatura del agua en ríos y embalses a lo largo del presente siglo. De ocurrir repercutiría de forma negativa sobre las especies de aguas frías.

Por lo tanto, este trabajo final de máster ha buscado establecer una serie de medidas relacionadas con la vegetación de ribera para corregir el problema derivado del aumento de la temperatura del agua y así preservar el hábitat potencial de la trucha común. Este efecto y beneficio derivado de la actuación sobre la especie se divide en dos tramos temporales, uno a corto plazo antes de llegar a mitad de siglo y otro a largo plazo que abarca el espectro más desfavorable de eventualidades.

Para ello se cuantifica el efecto de las medidas mediante un modelo elaborado expresamente para medir la respuesta térmica del río y así comprobar el beneficio que reporta la vegetación de ribera. Esto se efectúa realizando un balance térmico mediante un análisis y cuantificación de los parámetros radiativos y no radiativos que entran y salen al río.

Para el estudio se abordan directamente 3 tramos ubicados en el Alto y Medio Júcar, dentro de la provincia de Cuenca y Albacete. Estas corresponden con la cabecera, el tramo comprendido entre la ciudad de Cuenca y el embalse de Alarcón y desde el embalse de Alarcón hasta el de El Molinar.

Mediante el modelo propio desarrollado y empleando datos de la serie histórica de temperatura del aire y del agua proporcionados por la Confederación Hidrográfica del Júcar, se simula junto con otros parámetros el comportamiento actual y futuro de la temperatura del agua. Para ello lo que se hace es simular tres zonas del estudio para calibrar el modelo y mediante uno de esos puntos se valida el mismo. La finalidad es relacionar la temperatura del agua con la cobertura que proporciona la vegetación para asignar las medidas de aumento de la cobertura riparia en las zonas necesarias.

Del análisis del modelo queda demostrado como hay una gran diferencia entre una zona abierta sin nada de cobertura vegetal a otra donde estuviese completamente cubierto. En base al modelo queda definido que para reducir 1°C la temperatura del agua habría que aumentar la cubierta vegetal de la zona del entorno de un 10%. La actuación resulta necesaria en los 95 km que separan Cuenca de Alarcón, donde se debería aumentar la vegetación de ribera entre un 10 y un 20%. De la misma forma, entre Alarcón y Molinar, la alteración que presenta es tan fuerte a lo largo de los 152 km, que se requeriría de un incremento del bosque de ribera de entre 20 a 30%.



Resum

El treball aborda la problemàtica relacionada amb el canvi climàtic i la conseqüència d'un augment de la temperatura de l'aigua en rius i embassaments al llarg del present segle. D'ocórrer repercutiria de manera negativa sobre les espècies d'aigües fredes.

Per tant, aquest treball final de màster ha buscat establir una sèrie de mesures relacionades amb la vegetació de ribera per a corregir el problema derivat de l'augment de la temperatura de l'aigua i així preservar l'hàbitat potencial de la truita comuna. Aquest efecte i benefici derivat de l'actuació sobre l'espècie es divideix en dos trams temporals, un a curt termini abans d'arribar a meitat de segle i un altre a llarg termini que abasta l'espectre més desfavorable d'eventualitats.

Per a això es quantifica l'efecte de les mesures mitjançant un model elaborat expressament per a mesurar la resposta tèrmica del riu i així comprovar el benefici que reporta la vegetació de ribera. Això es *efectua realitzant un balanç tèrmic mitjançant un *anàlisi i quantificació dels paràmetres radiatius i no radiatius que entren i ixen al riu.

Per a l'estudi s'aborden directament 3 trams situats en l'Alt i Mitjà Xúquer, dins de la província de Conca i Albacete. Aquestes corresponen amb la capçalera, el tram comprés entre la ciutat de Conca i l'embassament d'Alarcón i des de l'embassament d'Alarcón fins al del *Molinar.

Mitjançant el model propi desenvolupat i emprant dades de la sèrie històrica de temperatura de l'aire i de l'aigua proporcionats per la Confederació Hidrogràfica del Xúquer, se simula juntament amb altres paràmetres el comportament actual i futur de la temperatura de l'aigua. Per a això el que es fa és simular tres zones de l'estudi per a calibrar el model i mitjançant un d'aqueixos punts es valida el mateix. La finalitat és relacionar la temperatura de l'aigua amb la cobertura que proporciona la vegetació per a assignar les mesures d'augment de la cobertura ripària en les zones necessàries.

De l'anàlisi del model queda demostrat com hi ha una gran diferència entre una zona oberta sense gens de cobertura vegetal a una altra on estiguera completament cobert. Sobre la base del model queda definit que per a reduir 1 °C la temperatura de l'aigua caldria augmentar la coberta vegetal de la zona de l'entorn d'un 10%. L'actuació resulta necessària en els 95 km que separen Cuenca d'Alarcón, on s'hauria d'augmentar la vegetació de ribera entre un 10 i un 20%. De la mateixa forma, entre Alarcón i Molinar, l'alteració que presenta és tan forta al llarg dels 152 km, que es requeriria d'un increment del bosc de ribera d'entre 20 a 30%.



Abstract

The work addresses the problems related to climate change and the consequence of an increase in water temperature in rivers and reservoirs throughout this century. If it occurs, it would have a negative impact on cold water species.

Therefore, this final master's thesis has sought to establish a series of measures related to riverbank vegetation to correct the problem derived from the increase in water temperature and thus preserve the potential habitat of common trout. This effect and benefit derived from the action on the species is divided into two time frames, one in the short term before reaching the middle of the century and the other in the long term that covers the most unfavorable spectrum of eventualities.

To do this, the effect of the measurements is quantified by means of a model developed expressly to measure the thermal response of the river and thus verify the benefit of the riverside vegetation. This is done by carrying out a thermal balance through an analysis and quantification of the radiative and non-radiative parameters that enter and leave the river.

For the study, 3 sections located in the Upper and Middle Júcar, within the province of Cuenca and Albacete, are directly addressed. These correspond to the headwaters, the section between the city of Cuenca and the Alarcón reservoir and from the Alarcón reservoir to El Molinar.

Through the own model developed and using data from the historical series of air and water temperatures provided by the Júcar Hydrographic Confederation, the current and future behavior of water temperature is simulated along with other parameters. For this, what is done is to simulate three areas of the study to calibrate the model and through one of these points it is validated. The purpose is to relate the water temperature with the cover provided by the vegetation in order to assign measures to increase riparian cover in the necessary areas.

From the analysis of the model it is shown that there is a great difference between an open area without any vegetation cover to another where it is completely covered. Based on the model, it is defined that to reduce the water temperature by 1°C, the vegetation cover in the surrounding area would have to be increased by 10%. The action is necessary in the 95 km that separate Cuenca de Alarcón, where riverside vegetation should be increased by between 10 and 20%. In the same way, between Alarcón and Molinar, the alteration that it presents is so strong along the 152 km, that it would require an increase of the riparian forest of between 20 to 30%.



Índice

1	Introducción y objetivos.....	1
2	Ámbito.....	3
3	Antecedentes.....	7
3.1	Escenarios de cambio climático.....	7
3.2	Tolerancia termal para la especie de aguas frías.....	11
3.3	Indicador de calidad para la vegetación de ribera.....	14
3.3.1	Vegetación de ribera.....	16
3.4	Estudio de la demarcación para determinar las zonas de riesgo ..	18
3.4.1	Mapa de Peligro.....	19
3.4.2	Mapa de Exposición	21
3.4.3	Mapa de Impacto.....	23
3.4.4	Mapa de Vulnerabilidad	25
3.4.5	Mapa de Riesgo.....	27
3.5	Análisis de estudios previos de modelos de balance térmico	40
3.6	Caracterización y zonificación de los embalses	43
3.6.1	Embalse La Toba.....	43
3.6.2	Embalse de Alarcón.....	45
3.6.3	Embalse de El Molinar	47
4	Metodología general de análisis.....	50
4.1	Modelo y proceso de calibración para comprender el funcionamiento del modelo de balance de energía.....	51
4.2	Explicación del modelo térmico.....	53
4.2.1	Entrada de datos	54
4.2.2	Radiación solar de onda corta	55
4.2.3	Radiación atmosférica de onda larga	55
4.2.4	Radiación del agua de onda larga	57
4.2.5	Calor latente	57
4.2.6	Calor sensible	59
4.2.7	Variación de la temperatura del agua	59
5	Análisis de la temperatura del río.....	61
5.1	Análisis preliminar de la temperatura del agua	61
5.1.1	Perfiles de temperatura de embalses	66
5.1.2	Perfiles de oxígeno de embalses.....	69
6	Modelo de simulación temperatura del agua.....	74



6.1	Calibración del modelo térmico	74
6.1.1	Tramo de cabecera.....	75
6.1.2	Tramo aguas arriba del embalse de Alarcón	79
6.1.3	Tramo aguas arriba del embalse El Molinar	83
6.2	Simulación del comportamiento en embalses	87
6.3	Validación del modelo	89
6.3.1	Enero	90
6.3.2	Julio	92
7	Resultados del modelo térmico del agua.	95
7.1	Balance energético del agua.....	95
7.2	Influencia de la cobertura vegetal	99
8	Simulación de escenarios.	102
8.1	Simulación escenario SSP2 4.5 corto plazo (2010-2040)	103
8.2	Simulación escenario SSP5 8.5 largo plazo (2070-2100)	104
8.3	Influencia de la cobertura vegetal para mitigar el cambio climático 105	
9	Propuesta de medidas a nivel de estudio.....	107
9.1	Medidas para mitigar el riesgo a corto plazo.....	108
9.1.1	Tramo de Tragacete	109
9.1.2	Tramo de El Castellar	110
9.1.3	Tramo de Alcalá del Júcar	111
9.1.4	Síntesis de medidas a corto plazo	112
9.2	Medidas para mitigar el riesgo a largo plazo.....	113
9.2.1	Tramo de Tragacete	114
9.2.2	Tramo de El Castellar	115
9.2.3	Tramo de Alcalá del Júcar	116
9.2.4	Síntesis de medidas a largo plazo	117
10	Resumen y conclusiones.	119
11	Líneas futuras.	123
12	Referencias.	124
Anejo I: Relación del TFM con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030.....		127
Relación del trabajo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible		127
Descripción de la alineación con los ODS		128
Anejo II: Relación de estaciones foronómicas y altura de lámina de agua		
130		

Índice de figuras

Figura 1. Puente y azud en el río Júcar en Alcalá del Júcar (GeshidroLAN, 15/Jul/2009).....	2
Figura 2. Ámbito territorial de la Demarcación Hidrográfica del Júcar y localización del estudio (CHJ)	3
Figura 3. Nacimiento del río Júcar, manantiales del estrecho de San Blas (Foto de Autor)	4
Figura 4. Ortofoto del río Júcar y afluentes (rojo zona objeto de estudio)	5
Figura 5. Proyecciones sobre las emisiones de dióxido de carbono para cada Senda Socio-económica compartida (IPCC, 2021)	9
Figura 6. Cambio de la temperatura global de la superficie en relación con el periodo 1850-1900 (IPCC, 2021)	9
Figura 7. Trucha común (<i>Salmo trutta</i>) (Atlas y Libro Rojo de los Peces) ..	11
Figura 8. Presencia real de la trucha común (<i>Salmo trutta</i>) en España (Atlas y Libro Rojo de los Peces, 2001).....	12
Figura 9. Zonificación de la habitabilidad de la especie en relación con la temperatura del agua (Pérez Martín, M.A.,2020)	13
Figura 10. Máxima temperatura media diaria y máxima temperatura máxima diaria para la trucha común (Wehrly & Wang, 2007).....	13
Figura 11. Masas de agua de la categoría río clasificadas según su ecotipo en la DHJ (CHJ 2016)	15
Figura 12. Mapa de usos del suelo en el ámbito del estudio (adaptación SIOSE)	17
Figura 13. Componentes que definen el riesgo derivado del cambio climático.(PNAAC, 2020).....	18
Figura 14. Mapa de peligrosidad asociado al escenario SSP2 4.5 para la cuenca del Júcar desde cabecera hasta el embalse El Molinar en °C.(Adaptado de Pérez Martín, M.A.)	19
Figura 15. Mapa de peligrosidad asociado al escenario SSP5 8.5 para la cuenca del Júcar desde cabecera hasta el embalse El Molinar en °C (Adaptado de Pérez Martín, M.A.).....	20
Figura 16. Mapa de exposición potencial a partir del límite termal de 21.8°C para la cuenca del Júcar desde cabecera hasta el embalse El Molinar.(Adaptado de Pérez Martín, M.A.)	21
Figura 17. Adaptación de la presencia de la trucha común a partir del Atlas y Libro Rojo de los Peces para la cuenca del Júcar desde cabecera hasta el embalse El Molinar.....	22
Figura 18. Mapa de impacto potencial para el escenario SSP2 4.5 para la cuenca del Júcar desde cabecera hasta el embalse El Molinar (Adaptado de Pérez Martín, M.A.)	23
Figura 19. Mapa de impacto potencial para el escenario SSP5 8.5 para la cuenca del Júcar desde cabecera hasta el embalse El Molinar.(Adaptado de Pérez Martín, M.A.)	24

Figura 20. Mapa del índice QBR para la cuenca del Júcar desde cabecera hasta el embalse El Molinar.(Adaptado de Pérez Martín, M.A.)	25
Figura 21. Mapa de Vulnerabilidad para la cuenca del Júcar desde cabecera hasta el embalse El Molinar.(Adaptado de Pérez Martín, M.A.)	26
Figura 22. Mapa de riesgo para el escenario SSP2 4.5 para la cuenca del Júcar desde cabecera hasta el embalse El Molinar.(Adaptado de Pérez Martín, M.A.).....	28
Figura 23. Vista del río Júcar en el embalse El Picazo (SIA Júcar).....	29
Figura 24. Vista del río Júcar desde carretera de Fuensanta (SIA Júcar)..	29
Figura 25. Vista aguas abajo de la estación de aforos 08036 Los Frailes (SIA Júcar)	30
Figura 26. Vista del río Júcar a su paso por Valdeganga (SIA Júcar)	30
Figura 27. Vista río Júcar desde el puente en camino cerca de la ctra. CM-3218 (SIA Júcar)	31
Figura 28. Vista río Júcar desde el paraje Peña Águila, Junto a ctra. CM-3218 (SIA Júcar)	31
Figura 29. Mapa de riesgo para el escenario SSP5 8.5 para la cuenca del Júcar desde cabecera hasta el embalse El Molinar.(Adaptado de Pérez Martín, M.A.).....	32
Figura 30. Vista desde la presa del Henchidero en el río Júcar aguas abajo de Alarcón (SIA Júcar)	33
Figura 31. Vista de la presa del Henchideras desde el puente de Tebar (SIA Júcar)	33
Figura 32. Vista aguas abajo del río Júcar desde el puente de Tébar (SIA Júcar)	34
Figura 33. Vista del río Júcar y puente del Picazo (SIA Júcar).....	34
Figura 34. Río Marimota por Villarejo Periesteban en el paraje Prado Saludador (SIA Júcar)	35
Figura 35. Río Marimota o Belvis en el paraje El Chorrillo (SIA Júcar)	35
Figura 36. Arroyo Valhermoso en el Paraje Mimbreras, vista desde ctra. CUV-8031(SIA Júcar).....	36
Figura 37. Río Valdemembra en El Peral, cerca de la ctra N-320 (SIA Júcar)	36
Figura 38. Río Valdemembra a su paso por Quintanar del Rey (SIA Júcar)	37
Figura 39. Río Valdemembra a su paso por Motilleja en el paraje La Balsa (SIA Júcar)	37
Figura 40. Río Arquillo a su paso por Balazote (SIA Júcar)	38
Figura 41. Canal M ^a Cristina a su paso por el puente de la Sabina en ctra. AB-2201(SIA Júcar)	38
Figura 42. Canal de María Cristina a su paso por el paraje Hoya de las Ánimas, vista del puente en la ctra. B-4 entre Valdeganga y Casas de Juan Nuñez (SIA Júcar).....	39
Figura 43. Vista aguas abajo Canal María Cristina, Barranco de Cañahorro - Casas de Juan Nuñez (SIA Júcar)	39

Figura 44. Procesos que afectan al intercambio de calor en la interfaz agua-aire (Kalinowska, M.B., 2019).....	40
Figura 45. Energía total de flujo en la interfaz aire-agua para distintos tipos de condiciones de ribera (Stephen J. Dugdale, 2018).....	41
Figura 46. Presa de La Toba en el río Júcar en Uña (GeshidroLAN, 15/Jul/2010).....	43
Figura 47. Embalse de la Toba en el río Júcar en Uña (SIA Júcar)	44
Figura 48. Vista aérea del embalse La Toba (Google Satellite extraída en QGis).....	44
Figura 49. Presa de Alarcón en el río Júcar en Alarcón (GeshidroLAN, 8/Jun/2012)	45
Figura 50. Embalse de Alarcón, vista desde la presa de Alarcón (SIA Júcar)	45
Figura 51. Vista aérea del embalse de Alarcón (Google Satellite extraída en QGis).....	46
Figura 52. Presa de El Molinar en el río Júcar en Villa de Ves (GeshidroLAN, 9/Abr/2010).....	47
Figura 53. Vista del embalse de El Molinar en el río Júcar en Villa de Ves (SIA Júcar)	47
Figura 54. Vista aérea del embalse El Molinar (Google Satellite extraída en QGis).....	48
Figura 55. Zonificación y comportamiento físico del embalse en función de la profundidad (AquaticEcosystems).....	48
Figura 56. Proceso metodológico seguido para el desarrollo del modelo de temperatura	50
Figura 57. Modelo conceptual de intercambios de energía en el río para la interfaz aire-agua	52
Figura 58. Procesos que afectan al intercambio de calor en la interfaz agua-aire (Adaptación Kalinowska, M.B., 2019).....	53
Figura 59. Simplificación de los agentes implicados en el balance de energía	54
Figura 60. Representación de los valores de la función de viento para los distintos autores entre 0 y 3 m/s.....	58
Figura 61. Arroyo Salado en su encuentro con el río Júcar (SIA Júcar).....	62
Figura 62. Mapa de las 49 estaciones de calidad seleccionadas y temperatura media asociada al mes de Julio	63
Figura 63. Perfil longitudinal de temperaturas para el río Júcar desde arroyo de Almagrero hasta embalse Molinar para el mes de Julio	64
Figura 64. Perfil anual de temperatura del aire, agua superficial y agua en profundidad para el embalse de Alarcón (°C).....	66
Figura 65. Perfil anual de temperatura del aire, agua superficial y agua en profundidad para el embalse de La Toba (°C).....	67
Figura 66. Perfil anual de temperatura del aire, agua superficial y agua en profundidad para el embalse El Molinar (°C).....	68
Figura 67. Rango de tolerancia de oxígeno disuelto en peces (IMIDA, 2021)	70

Figura 68. Perfil anual de oxígeno disuelto y rango de tolerancias para el embalse de Alarcón (mgO ₂ /L)	71
Figura 69. Perfil anual de oxígeno disuelto y rango de tolerancias para el embalse de La Toba (mgO ₂ /L)	71
Figura 70. Perfil anual de oxígeno disuelto y rango de tolerancias para el embalse de El M (mgO ₂ /L)	72
Figura 71. Zonas de calibración del modelo de temperatura en base al Mapa de Exposición potencial.....	74
Figura 72. Ortofoto río Júcar a su paso por Tragacete (Google Earth)	75
Figura 73. Valores de la irradiancia directa anual en Tragacete	76
Figura 74. Valores de la irradiancia difusa anual en Tragacete.....	77
Figura 75. Simulación de la temperatura del agua para Tragacete y contraste con la observada	78
Figura 76. Ortofoto río Júcar a su paso por azud El Castellar (Google Earth)	79
Figura 77. Valores de la irradiancia directa anual en El Castellar	80
Figura 78. Valores de la irradiancia difusa anual en El Castellar	81
Figura 79. Simulación de la temperatura del agua para El Castellar y contraste con la observada	82
Figura 80. Ortofoto río Júcar a su paso por Alcalá del Júcar (Google Earth)	83
Figura 81. Valores de la irradiancia directa anual en Alcalá del Júcar	84
Figura 82. Valores de la irradiancia difusa anual en Alcalá del Júcar	85
Figura 83. Simulación de la temperatura del agua para Alcalá del Júcar y contraste con la observada	86
Figura 84. Simulación de la temperatura del agua para el embalse de Alarcón y contraste con la observada.....	88
Figura 85. Localización del punto de validación dentro de la zona de estudio	89
Figura 86. Estación de aforos ROEA 8091 El Castellar (Google Earth).....	90
Figura 87. Usos del suelo circundantes a la localización El Castellar (adaptación SIOSE)	91
Figura 88. Simulación, contraste y validación de la temperatura del agua para El Castellar para la serie promedios anuales observados del mes de enero entre 1998 a 2020	92
Figura 89. Simulación, contraste y validación de la temperatura del agua para El Castellar para la serie promedios anuales observados del mes de julio entre 1998 a 2020	93
Figura 90. Diagrama de flujo de energía con entradas, salidas y balance global.....	96
Figura 91. Equilibrio entre la radiación de onda larga del aire entrante y la radiación de onda larga del agua saliente	97
Figura 92. Balance global con el diferencial de radiaciones de ondas largas	97
Figura 93. Simulación del comportamiento térmico del río con 0% cobertura vegetal.....	99



Figura 94. Simulación del comportamiento térmico del río con 100% cobertura vegetal.....	100
Figura 95. Correlación entre la temperatura del agua y el grado de cobertura vegetal.....	100
Figura 96. Correlación Temperatura agua-cobertura vegetal en todo el ámbito del estudio	101
Figura 97. Simulación del aumento producido sobre la temperatura del aire y del agua para el escenario CC SSP2 4.5	103
Figura 98. Simulación del aumento producido sobre la temperatura del aire y del agua para el escenario CC SSP5 8.5	104
Figura 99. Correlaciones entre la temperatura del agua y el grado de cobertura vegetal para los distintos escenarios de cambio climático para los tres tramos evaluados	106
Figura 100. Localización de los puntos evaluados y los riesgos asociados a corto plazo.....	108
Figura 101. Simulación del aumento producido sobre la temperatura del aire y del agua para el escenario CC SSP2 4.5 en Tragacete	109
Figura 102. Simulación del aumento producido sobre la temperatura del aire y del agua para el escenario CC SSP2 4.5 en Castellar	110
Figura 103. Simulación del aumento producido sobre la temperatura del aire y del agua para el escenario CC SSP2 4.5 en Alcalá del Júcar	111
Figura 104. Resumen de las medidas del incremento de la cobertura vegetal a corto plazo.....	112
Figura 105. Localización de los puntos evaluados y los riesgos asociados a largo plazo.....	113
Figura 106. Simulación del aumento producido sobre la temperatura del aire y del agua para el escenario CC SSP5 8.5 en Tragacete	114
Figura 107. Simulación del aumento producido sobre la temperatura del aire y del agua para el escenario CC SSP5 8.5 en Castellar	115
Figura 108. Simulación del aumento producido sobre la temperatura del aire y del agua para el escenario CC SSP5 8.5 en Alcalá del Júcar	116
Figura 109. Resumen de las medidas del incremento de la cobertura vegetal a largo plazo.....	117



Índice de tablas

Tabla 1. Estimación del incremento de temperatura del aire para las Sendas Socio-económicas Compartidas en los tres periodos de impacto (Adaptación IPCC, 2021).....	10
Tabla 2. Niveles de calidad y valor asociado de QBR según F.E.M. Research Group	14
Tabla 3. Condiciones de referencia para estado muy bueno de los cuatro ecotipos de río en el ámbito del estudio según RD 817/2015	15
Tabla 4. Criterio de evaluación de los mapas de riesgo	27
Tabla 5. Caracterización de volumen y superficie máxima para los principales embalses	43
Tabla 6. Coeficientes asociados a la emisividad del aire en base a parámetros empíricos.....	56
Tabla 7. Tabla de coeficientes empíricos de la función de velocidad del viento	58
Tabla 8. Temperatura media, incremento medio de temperatura y QBR promediado para tramos de estaciones de calidad para el mes de Julio ...	65
Tabla 9. Parámetros climatológicos para Tragacete	76
Tabla 10. Parámetros climatológicos para El Castellar	80
Tabla 11. Parámetros climatológicos para Alcalá del Júcar	84
Tabla 12. Relación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible con el trabajo	127

1 Introducción y objetivos.

El presente estudio efectúa una evaluación acerca del comportamiento térmico y las tendencias futuras que mostrará el río Júcar a lo largo del siglo. Este trabajo queda enmarcado en el tramo del mismo correspondiente con el curso Medio-Alto del Júcar.

La problemática encontrada está relacionada con un aumento de la temperatura del agua en ríos y embalses a lo largo del presente siglo como consecuencia derivada del cambio climático. Este hecho repercutiría de forma negativa sobre las especies de aguas frías.

Por lo tanto, el objetivo perseguido por este trabajo final de master ha sido establecer una serie de medidas para corregir el problema derivado del aumento de la temperatura del aire.

Para cuantificar el efecto de las medidas se ha desarrollado un modelo propio de la respuesta térmica del río para comprobar el beneficio que reporta la vegetación de ribera. El modelo empleado está basado en formulaciones de tipo empírico desarrollada por distintos autores para comprobar los efectos producidos a nivel térmico sobre el río. Para ello, se efectuará un balance térmico analizando y cuantificando los parámetros radiativos y no radiativos que entran y salen al mismo. Por último, quedará cuantificado el porcentaje de dosel arbóreo que habrá que disponerse para garantizar unas condiciones de hábitat potencial para la trucha común.

Es evidente que el cambio climático ya es una realidad y sus impactos derivados se muestran por todo el planeta, a través de diferentes señales. Ya se conocen y se han recopilado datos acerca del cambio ocurrido sobre diferentes tipos de fenómenos que son contundentes.

De cara al futuro la comunidad científica también estudia y realiza predicciones en base a lo acontecido para dar una aproximación de lo que puede suceder. Prueba de ello es el informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (AR6 actualmente) relativo a los impactos de un calentamiento global de 1,5 °C sobre los niveles preindustriales y las sendas de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero para limitar dicho calentamiento. Este es claro cuando busca llevar a cabo acciones para frenar el cambio climático. El informe contempla distintas posibilidades de evolución en forma de escenarios donde el más optimista plantea un aumento de la temperatura del planeta en 1,5°C lo que comportaría serias consecuencias.

Para poder conservar en la medida de lo posible las especies que habitan en dichos ecosistemas, se deben considerar las condiciones naturales del hábitat que desarrollan en el río. Es por eso que se buscará la forma de compatibilizar, mediante una serie de medidas de recuperación de la vegetación de ribera, el incremento de la temperatura del aire con la temperatura del agua en la que la especie es capaz de desarrollarse.

A lo largo del estudio se encontrará:

- En el apartado 3 se incluye el ámbito del estudio donde se expone la localización y el alcance.
- Dentro del apartado 4 los antecedentes tratan los conceptos previos sobre cambio climático, especie de aguas frías del entorno y vegetación de ribera conociendo las zonas de riesgo.
- El apartado 5 introduce y explica el modelo de simulación desarrollado.
- En el apartado 6 se analiza el comportamiento térmico actual del río Júcar.
- Dentro del apartado 7 se simula la temperatura del agua calibrando y validando el modelo diario desarrollado.
- El apartado 8 expone los resultados obtenidos y muestra la influencia de la cobertura riparia.
- En el apartado 9 están simulados los efectos del cambio climático sobre el río analizando los escenarios para un futuro.
- Dentro del apartado 10 quedan recogidas medidas para cada tramo.



Figura 1. Puente y azud en el río Júcar en Alcalá del Júcar (GeshidroLAN, 15/Jul/2009)

2 Ámbito.

La Demarcación Hidrográfica del Júcar se encuentra situada geográficamente en el extremo central este de la Península Ibérica. Esta limita con las demarcaciones del Ebro al norte, Segura al sur y la del Tajo, Guadiana y Guadalquivir al oeste, bordeada por el Mediterráneo al este. La superficie total del territorio de la demarcación es de 42.735 km².



Figura 2. Ámbito territorial de la Demarcación Hidrográfica del Júcar y localización del estudio (CHJ)

En el interior de la Demarcación, el río Júcar es un río mediterráneo que tiene su nacimiento en el Cerro de San Felipe, en la serranía de Tragacete, en la provincia de Cuenca. El origen se debe a una serie de manantiales, nutridos por un acuífero calizo, que van incorporándose al cauce del río como puede verse en la figura siguiente. Este, finalmente desemboca en la ciudad de Cullera, después de haber recorrido 498 km.



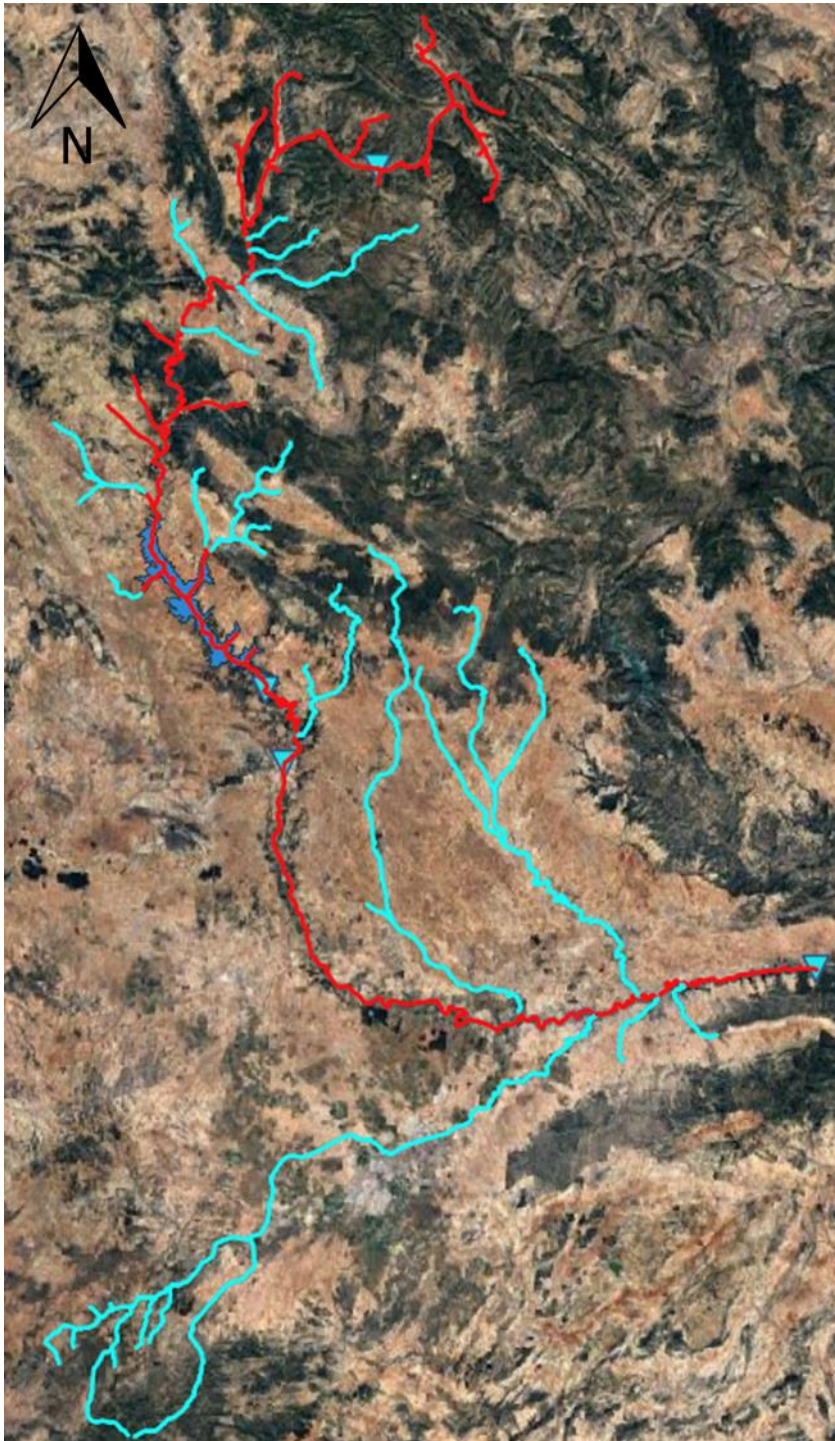
Figura 3. Nacimiento del río Júcar, manantiales del estrecho de San Blas (Foto de Autor)

El tramo donde se encuentra enmarcado el estudio pertenece a la cabecera y tramo medio del río Júcar. Este comprende desde la propia cabecera en Huélamo hasta el embalse de El Molinar, incluidas en esta sección, 52 masas de agua diferenciadas. Estas están clasificadas de la 18.01 a la 18.19, incluyendo afluentes intermedios.

El análisis del estudio se centrará única y exclusivamente en la afección y la repercusión sobre el propio río Júcar, por ser el curso principal y presentar la mayor importancia. Pese a ello, se representa el conjunto formado también por sus afluentes para caracterizar el conjunto y tener la visión global del sistema dado que un sistema fluvial está relacionado en todo su conjunto. En la siguiente figura pueden observarse el conjunto de las masas de agua referidas destacadas en color rojo. Por tanto las masas de agua de aplicación del estudio son:

1. Río Júcar: Cabecera-Huélamo.
2. Río Júcar: Huélamo-Embalse de La Toba.
3. Río Júcar: Embalse de La Toba-Azud de Villalba.
4. Río Júcar: Azud de Villalba-Río Huécar.
5. Río Júcar: Río Huécar-Embalse de Alarcón.
6. Río Júcar: Embalse de Alarcón-Azud Hechinderos.
7. Río Júcar: Azud Hechinderos-Embalse del Picazo.
8. Río Júcar: Embalse del Picazo-Carretera Fuensanta.
9. Río Júcar: Carretera Fuensanta-Paraje Los Guardas.
10. Río Júcar: Paraje Los Guardas-Río Valdemembra.
11. Río Júcar: Río Valdemembra-Barranco del Espino.
12. Río Júcar: Barranco del Espino-Canal de María Cristina.

- 13. Río Júcar: Canal de María Cristina-Arroyo de Ledaña.
- 14. Río Júcar: Arroyo de Ledaña-Alcalá del Júcar.
- 15. Río Júcar: Alcalá del Júcar-Azud Medidor del Bosque.
- 16. Río Júcar: Alcalá del Júcar-Azud Medidor del Bosque.
- 17. Río Júcar: Azud Medidor del Bosque-Embalse de El Molinar.



Leyenda:




-  Zona de actuación
-  Afluentes, barrancos y cursos secundarios
-  Presas

Figura 4. Ortofoto del río Júcar y afluentes (rojo zona objeto de estudio)

3 Antecedentes.

3.1 Escenarios de cambio climático

Gracias a la constante observación del clima y a la elaboración de distintos escenarios de cambio climático, hoy en día es posible conocer cuáles han sido las tendencias en el cambio del clima hasta el momento actual y de esta forma, poder estimar la posible evolución futura con el objetivo de poder planificar y adaptarse a las respuestas más convenientes.

Un escenario climático se obtiene simulando el clima global con un modelo de circulación general, o modelo climático global (MCG), al cual se le da una hipótesis determinada de escenario de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

Hay que considerar que los escenarios climáticos no deben ser ideados como predicciones precisas de lo que va a suceder, pero sí como representaciones plausibles de las situaciones futuras en relación al clima y sus potenciales efectos. Estos escenarios son, por lo tanto, un elemento fundamental a la hora de analizar los posibles riesgos climáticos futuros en distintos ámbitos de actuación; permitiendo adaptar y facilitar la toma de decisiones a la hora de confrontar los impactos del cambio climático.

El seguimiento de las variables climáticas esenciales definidas por el Sistema Mundial de Observación del Clima (SMOC), permite obtener los datos necesarios tanto para la vigilancia y el estudio del sistema climático como para generar las proyecciones climáticas. Estas proyecciones permiten aproximar como podría ser la evolución del clima en el futuro partiendo de diferentes escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), los cuales quedan definidos a nivel internacional por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio climático (IPCC).

Sin embargo, los modelos utilizados para generar proyecciones globales de cambio climático no tienen la resolución adecuada para ser utilizados en los estudios de impacto del cambio climático. Para su uso a escala regional o local en ámbitos naturales y socioeconómicos es necesario generar escenarios regionalizados de cambio climático o proyecciones climáticas. Estos permiten apreciar los efectos del clima en regiones o territorios más concretos.

Por lo tanto, el término “proyección regionalizada” se empleará para identificar un escenario climático generado por un MCG, bajo un escenario de emisiones determinado y regionalizado mediante una técnica dada de proyección local. Cada proyección climática es una hipótesis climática que es susceptible de ser analizada para estudiar los impactos que producirá.

A nivel nacional, la Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética, en su artículo 17, establece que el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC) constituye el instrumento de planificación básico para promover la acción coordinada y coherente frente a los efectos del cambio climático en España. Establece tanto los contenidos específicos como el contenido básico que deberá incorporar.

Desde su inicio, el PNACC ha producido proyecciones regionalizadas para España, utilizando los modelos climáticos empleados en los sucesivos informes de evaluación del IPCC y mediante el método de los análogos de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) se ha procedido a regionalizarlo. En la actualidad, el IPCC ha elaborado su VI Informe de Evaluación (AR6) que, igual que los anteriores, incluye un paquete de proyecciones globales, basadas en los modelos considerados más fiables.

Las proyecciones regionalizadas para España del PNACC de 2020 se realizaron a partir del Quinto Informe de evaluación del IPCC. Las tendencias que marcan más importantes a destacar son:

- Aumento de las temperaturas máximas y mínimas
- Mayor número de días cálidos
- Aumento de la duración de las olas de calor
- Reducción moderada de las precipitaciones
- Ligera disminución de la nubosidad
- Ascenso del nivel medio del mar
- Aumento de la temperatura del agua del mar
- Aumento de la evapotranspiración
- Disminución de los caudales medios de los ríos
- Disminución de la recarga de los acuíferos
- Incremento de las sequías
- Lluvias torrenciales e inundaciones

Como se comentaba anteriormente, los escenarios de emisiones son representaciones plausibles sobre las futuras tendencias de las emisiones de gases de efecto invernadero. Estas son capaces de provocar una modificación en el balance energético del planeta, lo cual se denomina como “forzamiento radiativo”. Este puede definirse como el cambio producido sobre el flujo radiativo neto en la tropopausa, por efecto del cambio de un factor externo al sistema climático, como puede ser por el aumento de la concentración de dióxido de carbono o de la energía emitida por el sol. Este se mide en vatios por metro cuadrado (W/m^2). Si el forzamiento radiativo es positivo, habrá un calentamiento y si el forzamiento es negativo habrá un enfriamiento del sistema climático.

El AR6 del IPCC definió cuatro escenarios de emisión, denominados Sendas Socio-económicas Compartidas (SSP, por sus siglas en inglés). A continuación, se establecen los escenarios desde el más moderado al más intenso y se muestra una figura representativa de la evolución de emisiones de GEI.

- SSP1 2.6: forzamiento radiativo alcanzado en 2100 de 2.6 W/m².
- SSP2 4.5: forzamiento radiativo alcanzado en 2100 de 4.5 W/m².
- SSP3 7.0: forzamiento radiativo alcanzado en 2100 de 7.0 W/m².
- SSP5 8.5: forzamiento radiativo alcanzado en 2100 de 8.5 W/m².

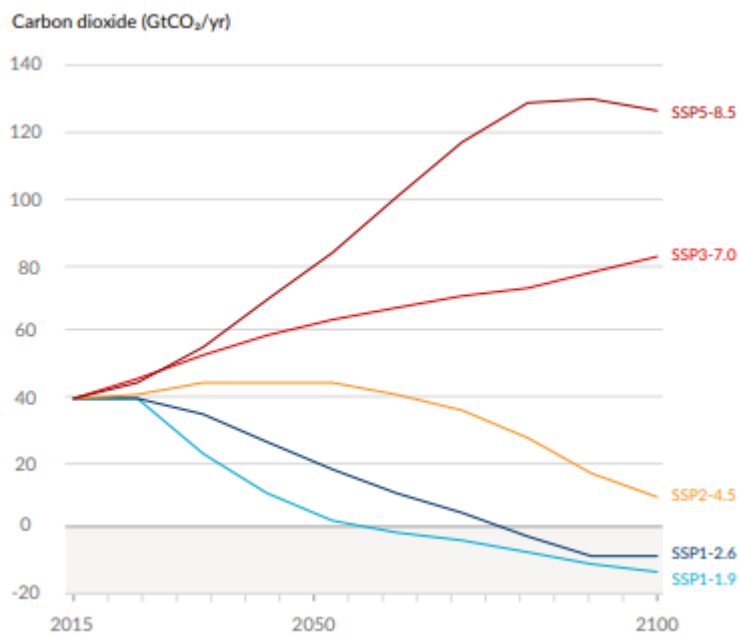


Figura 5. Proyecciones sobre las emisiones de dióxido de carbono para cada Senda Socio-económica compartida (IPCC, 2021)

El rango del incremento de temperaturas producido respecto al periodo 1850-1900 queda recogido en la siguiente gráfica del IPCC donde cada senda describe un rango plausible para 2100.

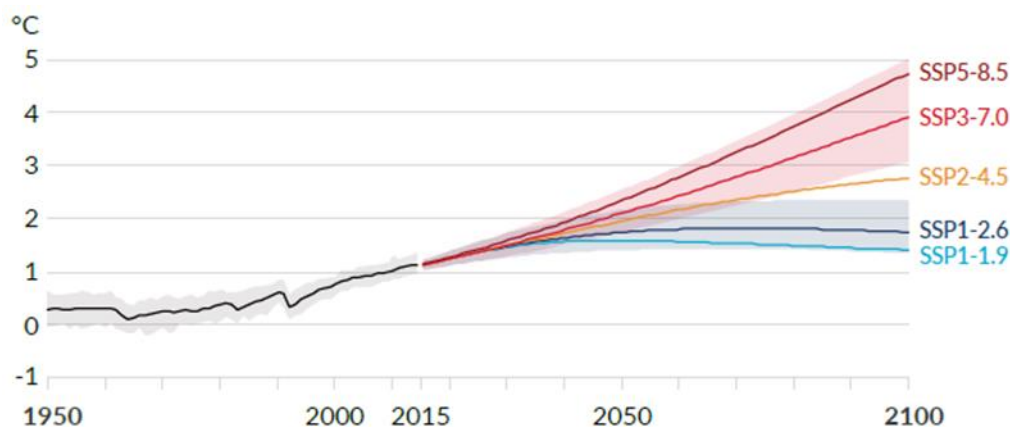


Figura 6. Cambio de la temperatura global de la superficie en relación con el periodo 1850-1900 (IPCC, 2021)

Cada senda tiene asociados una base de datos de emisiones, sustancias contaminantes, concentraciones de gases de efecto invernadero y usos del suelo hasta 2100. Además, para medir su evolución se establecen tres periodos de impacto (PI), los cuales conllevan asociados un intervalo probable del aumento de la temperatura del aire asociada, siendo estos:

- PI1: 2010-2040 (Corto plazo).
- PI2: 2040-2070 (Medio plazo).
- PI3: 2070-2100 (Largo plazo).

Escenario	Corto plazo, 2021-2040		Medio plazo, 2041-2060		Largo plazo, 2081-2100	
	Mejor estimación (°C)	Rango muy probable (°C)	Mejor estimación (°C)	Rango muy probable (°C)	Mejor estimación (°C)	Rango muy probable (°C)
SSP1-1.9	1.5	1.2 a 1.7	1.6	1.2 a 2.0	1.4	1.0 a 1.8
SSP1-2.6	1.5	1.2 a 1.8	1.7	1.3 a 2.2	1.8	1.3 a 2.4
SSP2-4.5	1.5	1.2 a 1.8	2.0	1.6 a 2.5	2.7	2.1 a 3.5
SSP3-7.0	1.5	1.2 a 1.8	2.1	1.7 a 2.6	3.6	2.8 a 4.6
SSP5-8.5	1.6	1.3 a 1.9	2.4	1.9 a 3.0	4.4	3.3 a 5.7

Tabla 1. Estimación del incremento de temperatura del aire para las Sendas Socio-económicas Compartidas en los tres periodos de impacto (Adaptación IPCC, 2021)

3.2 Tolerancia termal para la especie de aguas frías

Una de las consecuencias más importantes del cambio climático será la repercusión del incremento de la temperatura del agua sobre las especies de aguas frías. Este apartado, por tanto, dará una visión global de la especie afectada en cuestión y de la repercusión que tiene la temperatura sobre su habitabilidad y número de miembros.

El tramo de estudio tiene como especie condicionante de aguas frías a la trucha común, *Salmo trutta* (Linnaeus, 1758). Esta especie es un pez con talla media (menor a 100 cm de longitud) y un peso máximo de 20 kg. Realmente en España, esta especie rara vez alcanza los 60 cm y 10 kg de peso. Consta de una morfología muy variable, con una cabeza grande provista de dientes. Presenta dos aletas dorsales, la primera de ellas consta de 9 a 11 radios ramificados y la segunda es de tipo adiposo. Tienen escamas muy pequeñas y la coloración que presentan es variable, normalmente con manchas negras y rojas oceladas, que no están presentes en la aleta caudal como puede observarse en la siguiente figura.



Figura 7. Trucha común (*Salmo trutta*) (Atlas y Libro Rojo de los Peces)

España presenta dos tipos de poblaciones distintas en función del comportamiento. La primera es migradora y se distribuye tanto por los ríos de Galicia como los de la cordillera cantábrica. La segunda es sedentaria y vive en los demás ríos españoles. Por otro lado, desde una perspectiva genética, existen tres grandes grupos, uno compuesto por todos los ríos mediterráneos hasta la cuenca del Segura, un segundo grupo formado por los ríos del sur de España en las sierras de Cazorla, Segura y Sierra Nevada y un tercero que agrupa todos los ríos atlánticos excepto los del Guadalquivir. Para las poblaciones atlánticas, la cuenca del Duero tiene presencia de algunos marcadores genéticos únicos. La presencia dentro de España para la península ibérica puede observarse en el mapa a continuación.

Esta especie desarrolla su vida en aguas frías y rápidas. Su alimentación está basada principalmente en invertebrados bentónicos, insectos y moluscos.

Llevan a cabo un único período de freza entre los meses de noviembre y enero, cuando la temperatura del agua se encuentra entre 5 y 10°C. La incubación dura más de 40 días y las condiciones deben ser a 10°C. El periodo para alcanzar la madurez sexual dista entre dos y tres años de vida, donde algunas poblaciones atlánticas realizan migraciones al mar y regresan al río para finalizar el ciclo reproductor.

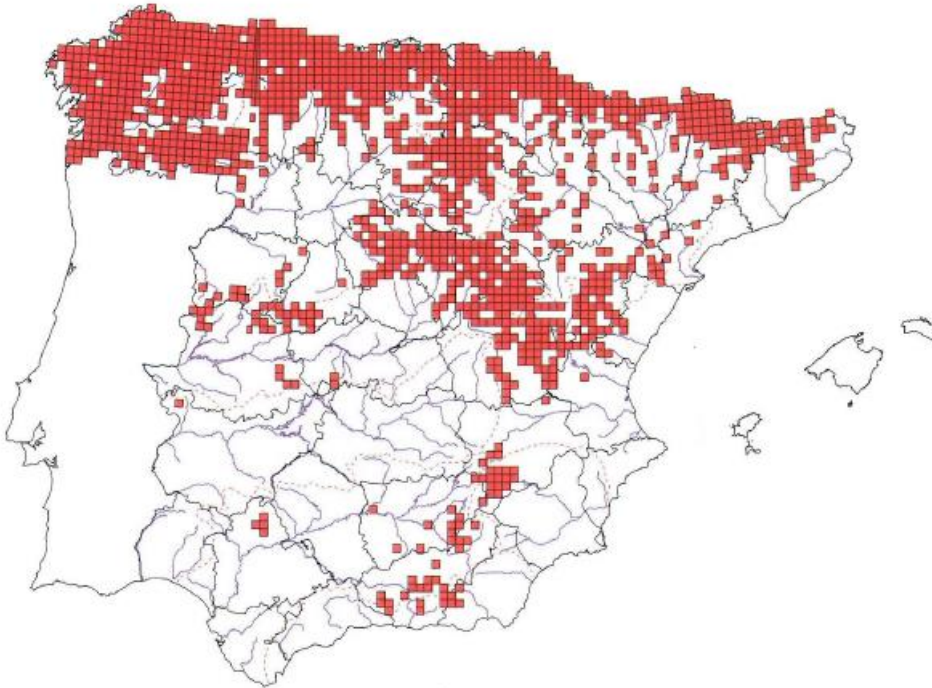


Figura 8. Presencia real de la trucha común (*Salmo trutta*) en España (Atlas y Libro Rojo de los Peces, 2001)

Al tratarse de una especie de aguas frías, el impacto asociado a un aumento en la temperatura del agua como consecuencia del cambio climático comporta una pérdida de hábitat para esta como representa la figura a continuación. Hay representadas tres zonas diferenciadas, estando en el centro el intervalo óptimo donde puede encontrarse la mayor población de individuos. Como partes a diferenciar, la primera es la barrera termal, está ubicada alrededor de los 21.8°C de temperatura media del agua mensual. Su valor máximo para un tiempo de exposición reducido podría alcanzar incluso los 25°C. Esta barrera separa la zona de intolerancia de la de apremio fisiológico y representa la temperatura que puede soportar la especie antes de la pérdida total del hábitat.

En los extremos está la zona de intolerancia, aquí la temperatura excedería la barrera termal, superando la temperatura máxima mensual que la especie puede soportar. La zona intermedia entre la óptima y la de intolerancia corresponde al apremio fisiológico, se entra en este intervalo cuando la temperatura del agua excede los 18.7°C. Dentro de esta zona el número de individuos comienza a reducirse significativamente.

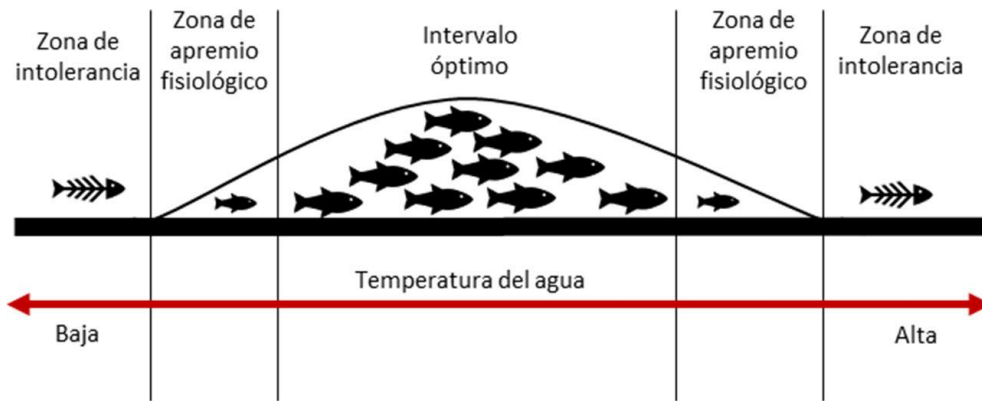


Figura 9. Zonificación de la habitabilidad de la especie en relación con la temperatura del agua (Pérez Martín, M.A.,2020)

El intervalo de tiempo en el que la especie puede soportar los efectos de la temperatura del agua antes de ver reducido su hábitat potencial queda recogido en la siguiente figura en base al estudio de los autores Kevin E. Werly y Lizhu Wang. La trucha común podría soportar la barrera termal de 21.8°C hasta un periodo de exposición de 28 días.

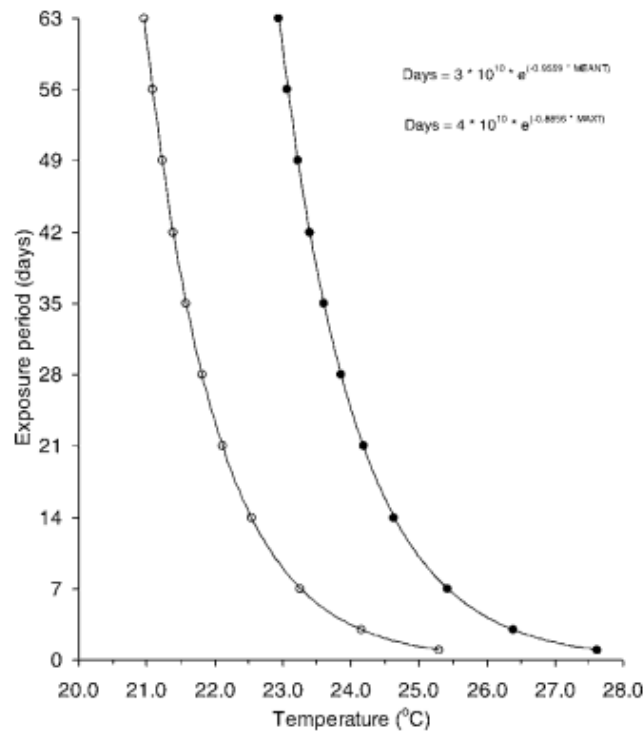


Figura 10. Máxima temperatura media diaria y máxima temperatura máxima diaria para la trucha común (Wehrly & Wang, 2007)

Por lo tanto, el rango de temperaturas máximo soportado por la especie variará en función de la temperatura media del agua y la duración a la exposición.

3.3 Indicador de calidad para la vegetación de ribera

El Índice de Calidad del Bosque de Ribera (QBR por su acrónimo en inglés) es una herramienta que recoge tanto aspectos biológicos como morfológicos del lecho del río, así como de su zona inundable. Su finalidad es realizar una evaluación de la calidad ambiental de las riberas.

Como condicionantes morfológicos están integrados tanto la variación y profundidad de la anchura del río, como la estructura y sustrato del lecho de este así como la estructura de la zona ribereña.

En base al análisis de los condicionantes, el QBR proporciona un valor que dista entre 0 y 100 puntos, en función de la calidad de más pésima a un estado de mejor conservación. El nivel de calidad y el valor se recogen en la siguiente tabla.

Nivel de calidad	QBR
Bosque de ribera sin alteraciones, calidad muy buena, estado natural	≥ 95
Bosque ligeramente perturbado, calidad buena	75-90
Inicio de alteración importante, calidad intermedia	55-70
Alteración fuerte, mala calidad	30-50
Degradación extrema, calidad pésima	≤ 25

Tabla 2. Niveles de calidad y valor asociado de QBR según F.E.M. Research Group

Además, según 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 su anexo 2 establece las condiciones de referencia, el máximo potencial ecológico y los límites de clases de estado de cada uno de los indicadores de los elementos de calidad. Estos permiten evaluar el estado o potencial ecológico de las masas de agua tipo río en este caso. Como uno de los indicadores de referencia empleados, se usa el QBR el cual irá referido en función del ecotipo de río en cuestión. Haciendo referencia a este aspecto, las masas de agua categoría río se clasifican en función de los ecotipos debido a que el sistema utilizado para la caracterización de los cursos fluviales ha sido el sistema B que establece la Directiva Marco del Agua (DMA) en su Anexo II y que se desarrolla en la Instrucción de Planificación Hidrológica (IPH).

Por lo tanto, en la Demarcación Hidrográfica del Júcar (DHJ) quedan caracterizados 9 ecotipos distintos de río. Puede observarse en la siguiente figura que el ecotipo predominante es de “Ríos mineralizados de baja montaña mediterránea” seguido por “Ríos de montaña mediterránea calcárea”.



Figura 11. Masas de agua de la categoría río clasificadas según su ecotipo en la DHJ (CHJ 2016)

De las masas de agua presentes en la DHJ, dentro de la zona de estudio solo se presentan 4 ecotipos distintos correspondientes al curso Medio-Alto del Júcar, para los cuales la siguiente tabla los recoge además la condición de referencia y los porcentajes límite para el cambio de clase.

Código ecotipo	Descripción	Condición de referencia	Límites de cambio de clase de estado
R-T05	Ríos manchegos	58	0,862
R-T09	Ríos mineralizados de baja montaña mediterránea	85	0,941
R-T12	Ríos de montaña mediterránea calcárea	88	0,795
R-T16	Ejes mediterráneo- continentales mineralizados	85	0,857

Tabla 3. Condiciones de referencia para estado muy bueno de los cuatro ecotipos de río en el ámbito del estudio según RD 817/2015

La forma de estipularlos por los criterios de seguimiento y evaluación del estado es establecer un valor del QBR como condición de referencia del buen estado del indicador y un porcentaje sobre este para el cual el parámetro se reconoce como muy bueno o si está por debajo como peor que bueno.

3.3.1 Vegetación de ribera

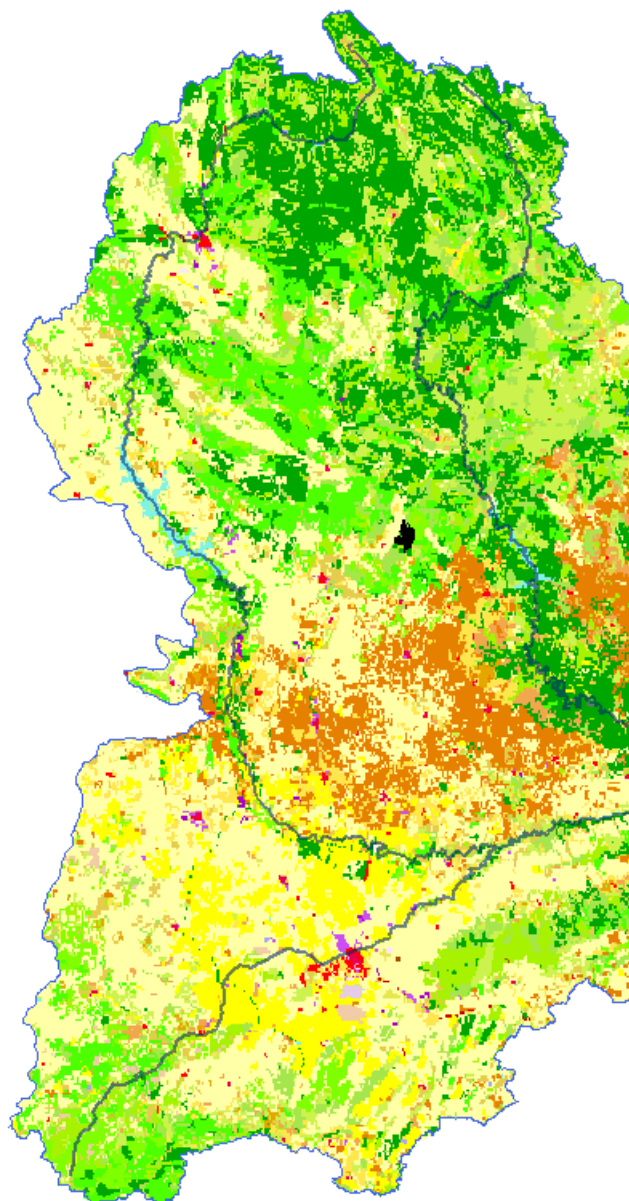
Para caracterizar el tipo de vegetación local se ha recurrido al empleo del visor cartográfico cuya base ha sido el Sistema de Información de Ocupación del Suelo de España (SIOSE). Como puede observarse en el siguiente mapa, se han extraído los usos del suelo para la cuenca del río Júcar hasta el embalse de El Molinar. Queda por lo tanto caracterizado el curso principal del río Júcar por un color azul oscuro como curso fluvial y la siguiente relación de predominio de ribera:

- Bosque de coníferas
- Bosque mixto
- Bosque de frondosas
- Cultivo herbáceo
- Pastizal o herbazal
- Combinación de cultivos con vegetación
- Suelo desnudo

El predominio del bosque de coníferas está caracterizado por pinar salgareño con encinas y sabinas, donde el pino salgareño (subsp. *salzmannii*) es la variante endémica occidental de *Pinus nigra*, especie abundantemente distribuida en las montañas circunmediterráneas (Regato, P. & Del Río, M., 2009).

Los bosques propiamente del pino salgareño, *Thalictrum tuberosi*-*Pinetum salzmannii* (Regato 1992) son: bosques mesófilos sobre sustratos dolomítico-calcáreos de las montañas más continentales del Sistema Ibérico sur-occidental (Serranía de Cuenca, Montes Universales), caracterizados por la abundancia de especies esciófilas herbáceas y arbustivas en el sotobosque (*Thalictrum tuberosum*, *Rosa pimpinellifolia*, *Amelanchier ovalis*, *Viola reichenbachiana*, *Lathyrus filiformis*), y la presencia dispersa de sabinas albar (*Juniperus thurifera*), enebro común (*Juniperus communis*) y quejigos (*Quercus faginea*).

El piso inferior del dosel arbóreo (entre los 600 y los 1000 metros) se extiende por las zonas basales de la serranía de Cuenca (Villalba de la Sierra, Portilla y Arcos de la Sierra). El estrato arbustivo sobre sustratos básicos se compone de sabinas negrals, esplegares, tomillares, aliagares y erizales, acompañados por un estrato herbáceo de fenalares y lastonares. Mientras que sobre sustratos arenosos dominan los jarales, brezales y cantuesares. Las riberas de los principales cursos fluviales están flanqueadas por alamedas negras (*Populus nigra*) y saucedas (*Salix*).



Cubierta terrestre SIOSE
(Escala > 1:100.000)

- | | |
|--|---|
| Prado | Temporalmente desarbolado por incendios |
| Combinación de cultivos | Suelo desnudo |
| Combinación de cultivos con vegetación | Zona húmeda y pantanosa |
| Bosque de frondosas | Turbera |
| Bosque de coníferas | Marisma |
| Bosque mixto | Salina |
| Pastizal o herbazal | Curso de agua |
| Matorral | Lago o laguna |
| Combinación de vegetación | Embalse |
| Playa, duna o arenal | Lámina de agua artificial |
| Roquedo | Mar |
| | Glaciar y/o nieve perpetua |

Figura 12. Mapa de usos del suelo en el ámbito del estudio (adaptación SIOSE)

3.4 Estudio de la demarcación para determinar las zonas de riesgo

En los apartados precedentes se ha caracterizado el cambio climático con las consecuencias derivadas que conlleva a nivel de incremento de temperatura del aire y, por consiguiente, del aumento de la temperatura del agua. Se ha presentado también la tolerancia termal de la trucha común para el rango de la temperatura del agua a la que se podría exponer como consecuencia del cambio climático y el efecto que tendría repercutido como consecuencia. Además, también se ha proporcionado la visión del indicador de calidad del QBR para la vegetación de ribera y como en función de la calidad de la zona presentará mejores condiciones morfológicas.

Estos conceptos eran necesarios, dado que a continuación se expone el proceso de determinación y caracterización para la elaboración de los mapas de riesgos. Los cambios en el sistema climático y los procesos socioeconómicos, son impulsores de los diferentes componentes del riesgo. Estos mapas de riesgo persiguen un objetivo claro y se van a utilizar para determinar y caracterizar espacialmente las zonas del estudio afectadas por el cambio climático, demarcando donde es necesario la implantación de medidas y la prioridad a la hora de actuar. Para la elaboración de este mapa se sigue la siguiente metodología, donde para determinar los impactos, se aborda la combinación de las variables de peligrosidad y exposición, y los riesgos, mediante el cruce de dicho impacto con la vulnerabilidad expuesta de manera gráfica mediante el uso de mapas “Determinación de los mapas de peligrosidad, exposición, vulnerabilidad y riesgo asociados al cambio climático en España” (Pérez Martín, M.A., 2020). Finalmente, se tendrá el riesgo que se clasificará en función de cuatro intervalos sean estos: muy alto, alto, medio, bajo o nulo.

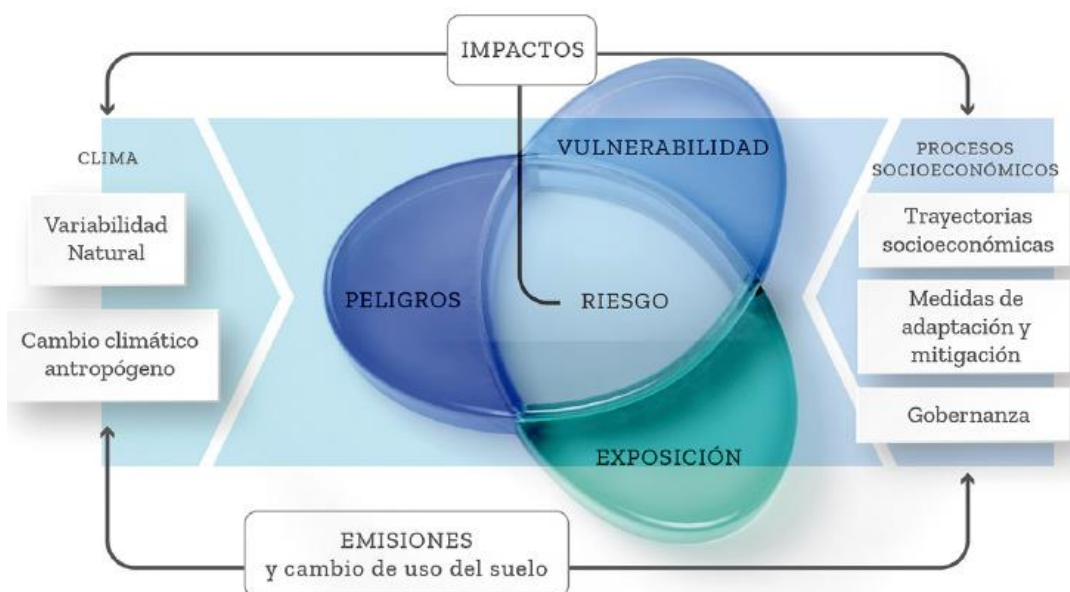
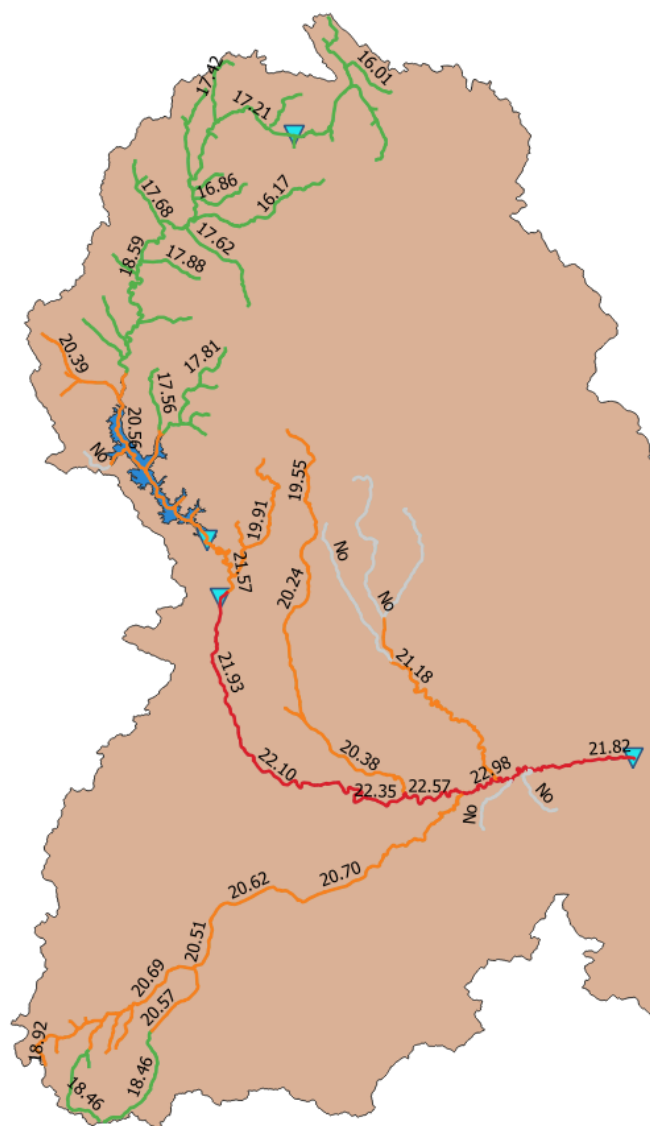


Figura 13. Componentes que definen el riesgo derivado del cambio climático. (PNAAC, 2020)

3.4.1 Mapa de Peligro

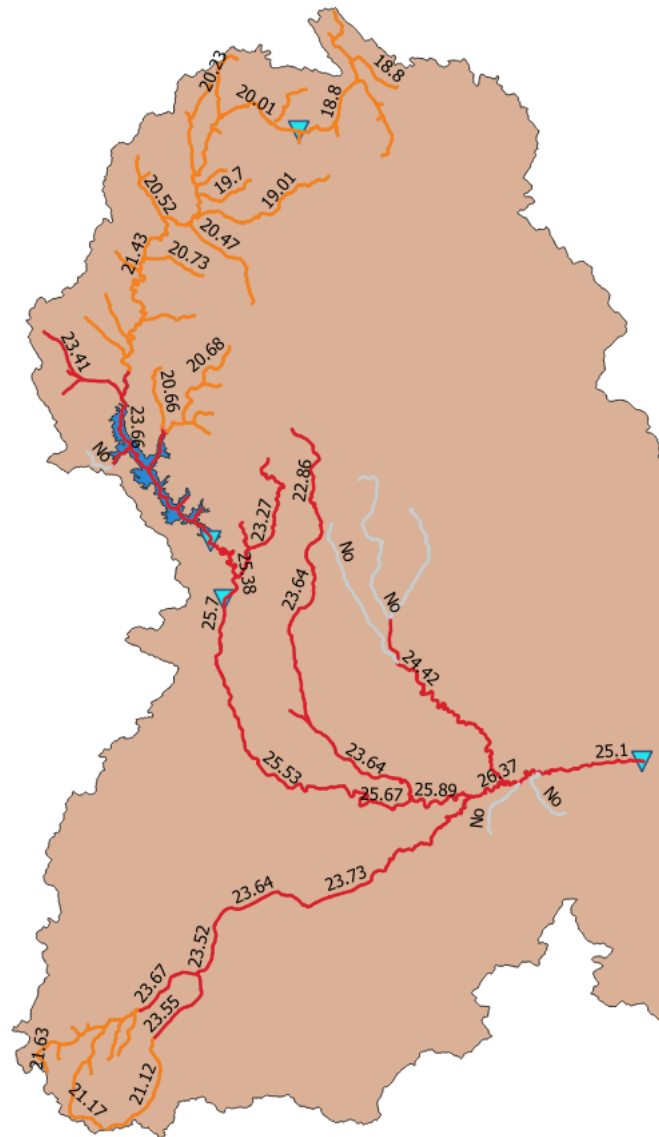
En base al IPCC, queda definido el peligro como los sucesos o tendencias físicas relacionadas con el clima o los impactos físicos de éste que muestran la distribución espacial y temporal de una determinada variable en los diferentes escenarios de cambio climático planteados.

Aquí toman ya su papel las diferentes proyecciones climáticas regionalizadas, donde se trabajó con los factores de temperatura del agua para el mes de agosto, proveniente de las variables meteorológicas, para los escenarios de emisiones SSP2 4.5 y SSP5 8.5, considerándose estos los más factibles de entre las distintas previsiones. Se presentan a continuación las figuras asociadas a los mapas de peligrosidad.



Leyenda:
■ T. agua > Barrera Termal. ■ T. agua > Zona Apremio. ■ T. agua < Zona Apremio. ■ No medido.

Figura 14. Mapa de peligrosidad asociado al escenario SSP2 4.5 para la cuenca del Júcar desde cabecera hasta el embalse El Molinar en °C. (Adaptado de Pérez Martín, M.A.)



Leyenda:

■ T. agua > Barrera Termal. ■ T. agua > Zona Apremio. ■ T. agua < Zona Apremio. ■ No medido.

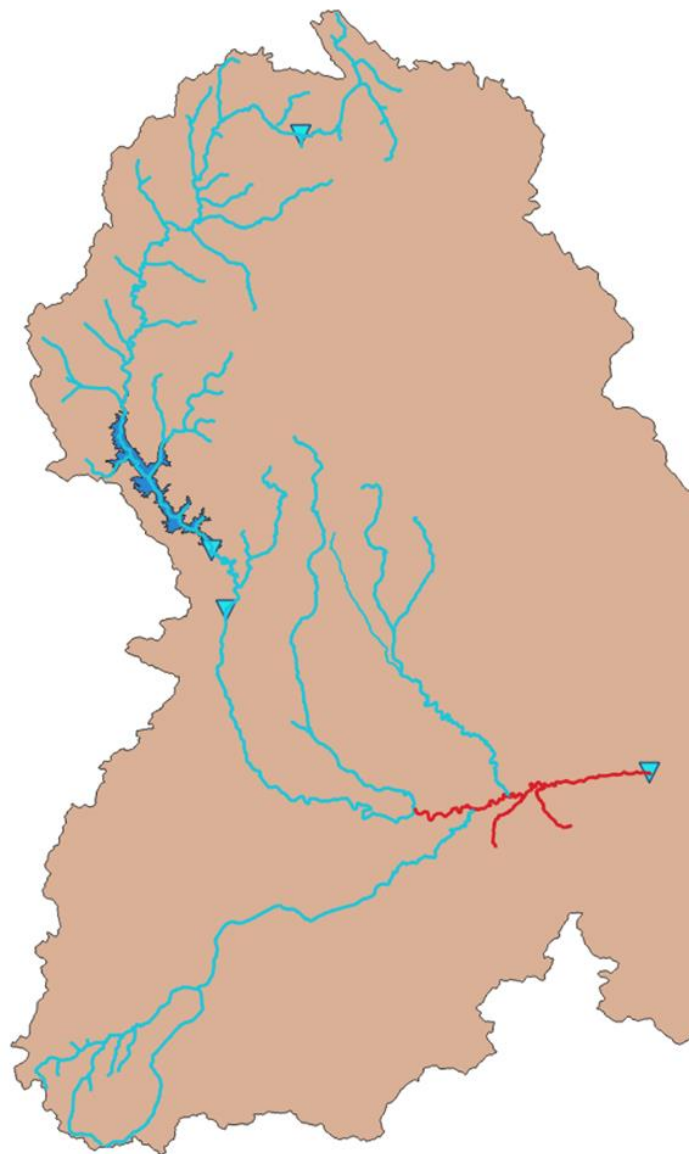
Figura 15. Mapa de peligrosidad asociado al escenario SSP5 8.5 para la cuenca del Júcar desde cabecera hasta el embalse El Molinar en °C (Adaptado de Pérez Martín, M.A.)

Para el escenario favorable correspondiente al primer mapa, se ha comprobado como la temperatura del agua excede la barrera termal desde el embalse El Picazo hasta el embalse El Molinar. Exceptuando la zona correspondiente a la cabecera, el resto de masas de agua se encuentran en zona de apremio fisiológico.

Por otro lado, observando el escenario más desfavorable correspondiente al segundo mapa, todas las masas de agua pasan a exceder la zona de apremio fisiológico. Además, sobrepasan la barrera termal las masas de agua del río Marimota, embalse de Alarcón y de este todas en descenso hacia aguas abajo del mismo. Del río Arquillo y Mirón sus cabeceras quedan en zona de apremio y aguas abajo pasan la barrera termal.

3.4.2 Mapa de Exposición

El ICCP define la exposición como la presencia de personas; medios de subsistencia; especies o ecosistemas; funciones, servicios y recursos ambientales; infraestructura; o activos económicos, sociales o culturales en lugares y entornos que podrían verse afectados negativamente. En este caso sería la presencia potencial o real de la especie de la trucha común. La figura siguiente muestra en primer lugar el mapa potencial elaborado a partir del límite termal de la especie de 21.8°C, y como segundo contraste el elaborado a partir de la presencia real proveniente del Atlas y Libro Rojo de los Peces (MMA, 2001).

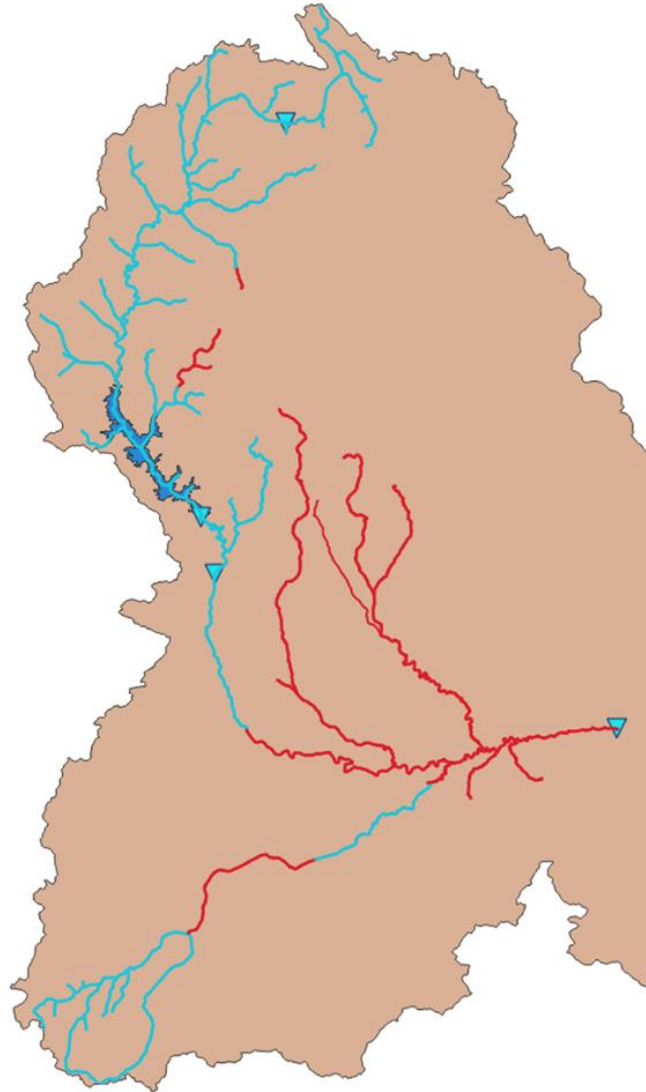


Leyenda:

 Presencia potencial.  Hábitat no potencial.

Figura 16. Mapa de exposición potencial a partir del límite termal de 21.8°C para la cuenca del Júcar desde cabecera hasta el embalse El Molinar. (Adaptado de Pérez Martín, M.A.)

Reflejado en este mapa, debido al límite termal, no se daría la presencia potencial de la trucha común desde aguas abajo del río Júcar con su confluencia con el río Valdemembra hasta el embalse El Molinar, correspondiendo al final del alcance del estudio.



Leyenda:

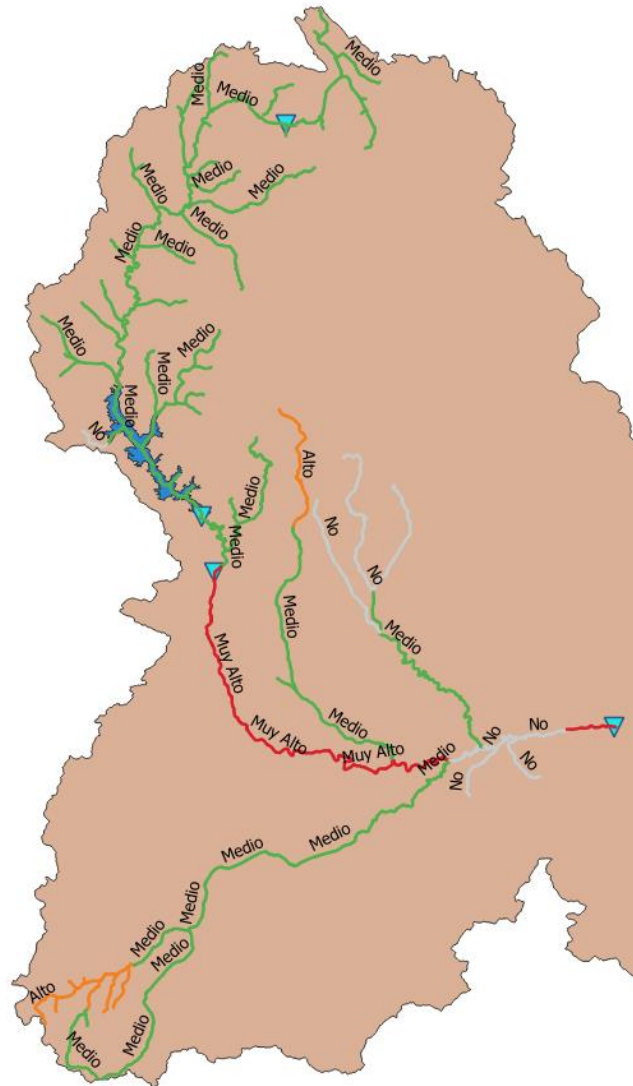
 Presencia real.  No detectado.

Figura 17. Adaptación de la presencia de la trucha común a partir del Atlas y Libro Rojo de los Peces para la cuenca del Júcar desde cabecera hasta el embalse El Molinar.

Para este otro supuesto, según el Atlas y Libro Rojo de los Peces, no se encontraría la presencia de la especie en el río Arquillo, Valdemembra, arroyo Ledaña, río Gritos ni en el río Júcar a partir de la carretera Fuensanta.

3.4.3 Mapa de Impacto

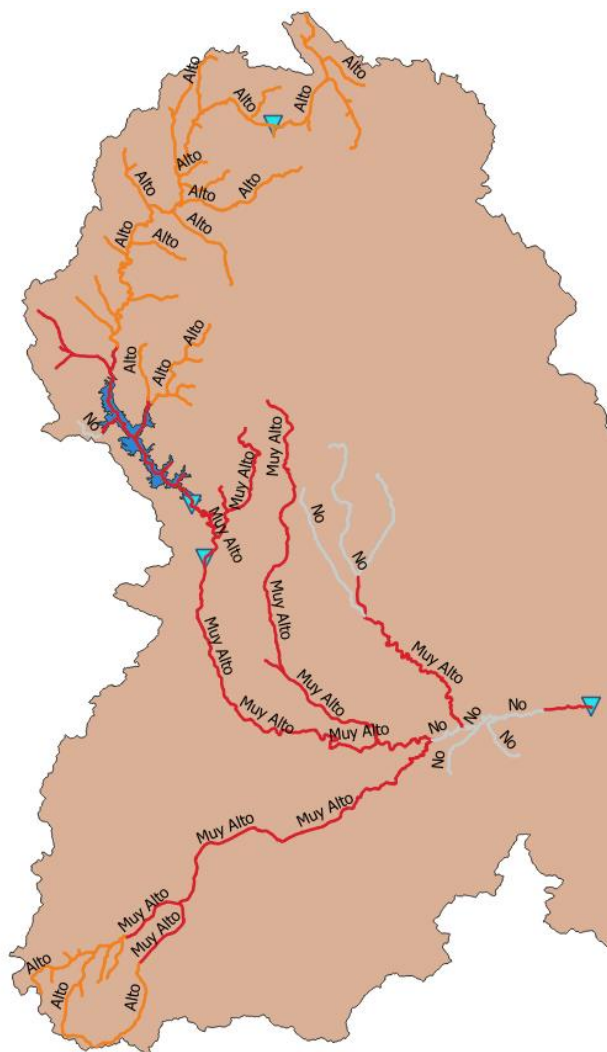
Cruzándose los mapas de peligro con los de exposición se obtienen los mapas de impacto potencial. Estos proporcionan una idea del posible impacto del cambio climático para la variable considerada, en este caso, la trucha común. Se presentan a continuación dos figuras asociadas a los mapas de impacto correspondientes a dos escenarios de cambio climático.



Leyenda:

Impacto Muy alto. Impacto Alto. Impacto Bajo. No Impacto.

Figura 18. Mapa de impacto potencial para el escenario SSP2 4.5 para la cuenca del Júcar desde cabecera hasta el embalse El Molinar (Adaptado de Pérez Martín, M.A.)



Leyenda:

■ Impacto Muy alto. ■ Impacto Alto. ■ Impacto Bajo. ■ No Impacto.

Figura 19. Mapa de impacto potencial para el escenario SSP5 8.5 para la cuenca del Júcar desde cabecera hasta el embalse El Molinar. (Adaptado de Pérez Martín, M.A.)

El impacto se ha graduado según los siguientes criterios: si en una masa con presencia potencial en la actualidad la temperatura del agua en agosto supera la barrera termal, entrando en la zona de intolerancia de la especie, se define un Impacto Muy Alto; si el incremento de temperatura produce un cambio del intervalo óptimo a la zona de apremio, se considera un Impacto Alto. Finalmente se considera No Impacto en las zonas de intolerancia actual.

La comparativa entre ambos escenarios, como se podía observar en los mapas de peligro, conforme aumenta la temperatura del agua como consecuencia del cambio climático, aumenta el impacto producido. Esto se aprecia directamente en las cabeceras del río Arquillo y Mirón así como desde la cabecera del Júcar hasta Alarcón y aguas debajo de este. El aumento de la temperatura afecta sobre todo al tramo medio, que en el presente estudio alcanza hasta el embalse El Molinar.

3.4.4 Mapa de Vulnerabilidad

El IPCC define la vulnerabilidad como la propensión o predisposición a ser afectado negativamente. En el ámbito tratado, la vulnerabilidad puede comprender diversidad de conceptos y elementos que incluyen la sensibilidad o susceptibilidad al daño y la falta de capacidad de respuesta y adaptación, y deberá tener en cuenta tanto las características de la variable en sí, así como las del medio en el que se encuentra. Por lo tanto, puede entenderse como la capacidad del sistema de asimilar el peligro sin sufrir daños. Este queda determinado a partir del estado de la vegetación de ribera. En las consideraciones que se realiza, un buen estado de la vegetación de ribera proporciona zonas de sombreado y reduce la cantidad de radiación solar incidente sobre el agua, además de proporcionar refugios para los peces. En contrapartida, un peor estado de la vegetación de ribera hace que el sistema sea más vulnerable al incremento de temperatura. A continuación, se recoge el mapa del QBR de la zona de estudio, el código de color gris refleja la falta del valor.

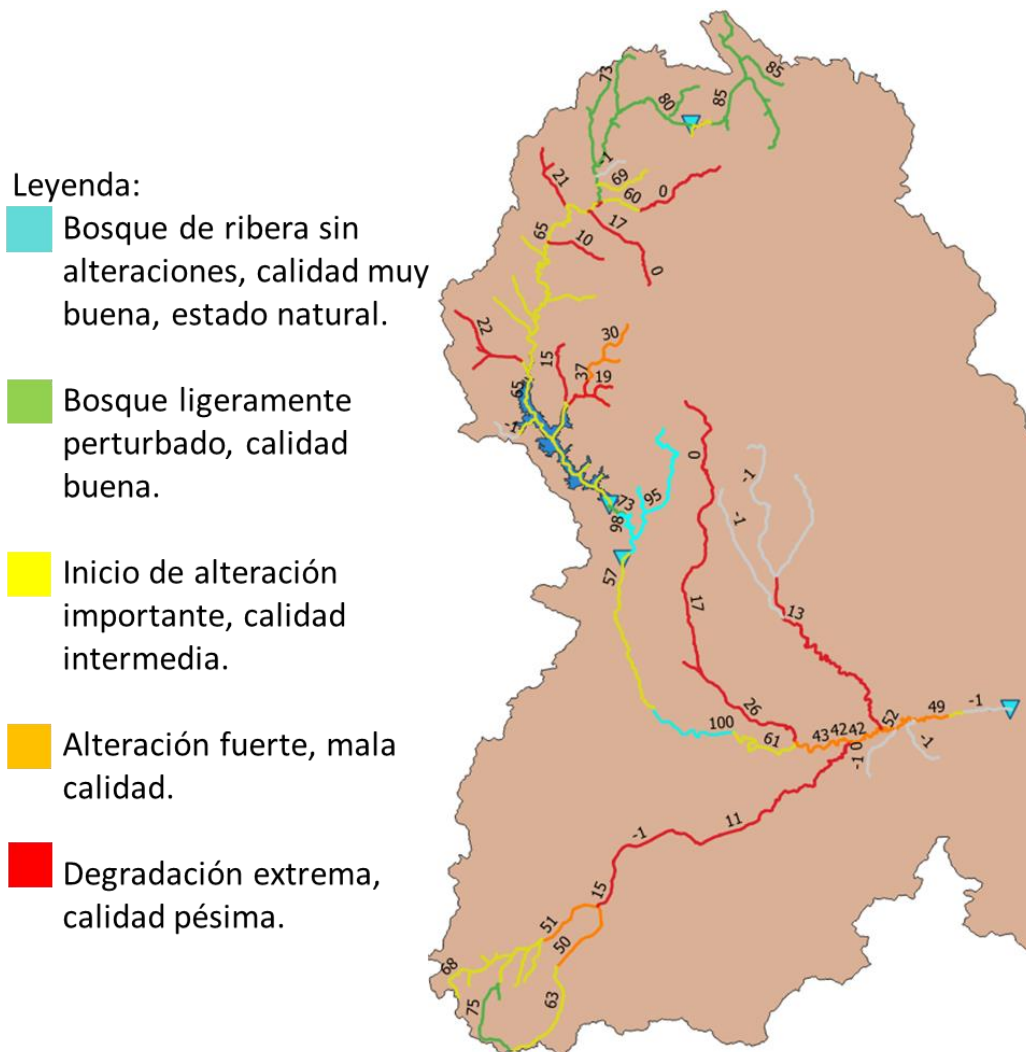


Figura 20. Mapa del índice QBR para la cuenca del Júcar desde cabecera hasta el embalse El Molinar. (Adaptado de Pérez Martín, M.A.)

Una vez caracterizado el índice QBR para cada masa de agua, en función de su ecotipo se valora su condición bajo el siguiente criterio.

- Valoración de estado como muy bueno:

$$\frac{\text{Valor QBR}}{\text{Condición de referencia}} \geq \text{Límite de cambio de clase de estado}$$

- Valoración de estado como peor que bueno:

$$\frac{\text{Valor QBR}}{\text{Condición de referencia}} < \text{Límite de cambio de clase de estado}$$

La vulnerabilidad resulta significativa dado el número de masas de agua en un estado peor que el deseado. El siguiente mapa refleja la condición del estado de la zona del estudio, quedando indeterminadas las masas de agua tipo embalse al no disponer de ecotipo asociado.



Figura 21. Mapa de Vulnerabilidad para la cuenca del Júcar desde cabecera hasta el embalse El Molinar. (Adaptado de Pérez Martín, M.A.)

3.4.5 Mapa de Riesgo

Estos definen las consecuencias eventuales en situaciones en que algo de valor está en peligro, siendo el desenlace incierto, reconociendo la diversidad de valores. Son empleados también para referirse a las posibilidades, cuando el resultado es incierto, de que ocurran consecuencias adversas en ámbitos relacionados con la vida, los medios de subsistencia, la salud, los ecosistemas y las especies, los bienes económicos, sociales y culturales o los servicios (incluidos los ambientales) y la infraestructura.

Del cruce de los mapas de impacto potencial y vulnerabilidad se obtienen los mapas de riesgo. Estos serán finalmente los que indiquen en qué zonas se deberá actuar de forma prioritaria, dado que además de ser zonas con alta probabilidad de sufrir impacto presentan un mal estado de conservación. A continuación, puede observarse el primer mapa asociado a una actuación inmediata. El segundo proveniente de un escenario a largo plazo requerirá de actuación a medio plazo. Los criterios de calificación del riesgo quedan recogidos en la siguiente tabla.

Riesgo	Vulnerabilidad Baja	Vulnerabilidad Alta
Impacto Medio	Medio	Medio
Impacto Alto	Medio	Alto
Impacto Muy Alto	Alto	Muy alto

Tabla 4. Criterio de evaluación de los mapas de riesgo

3.4.5.1 Actuación inmediata

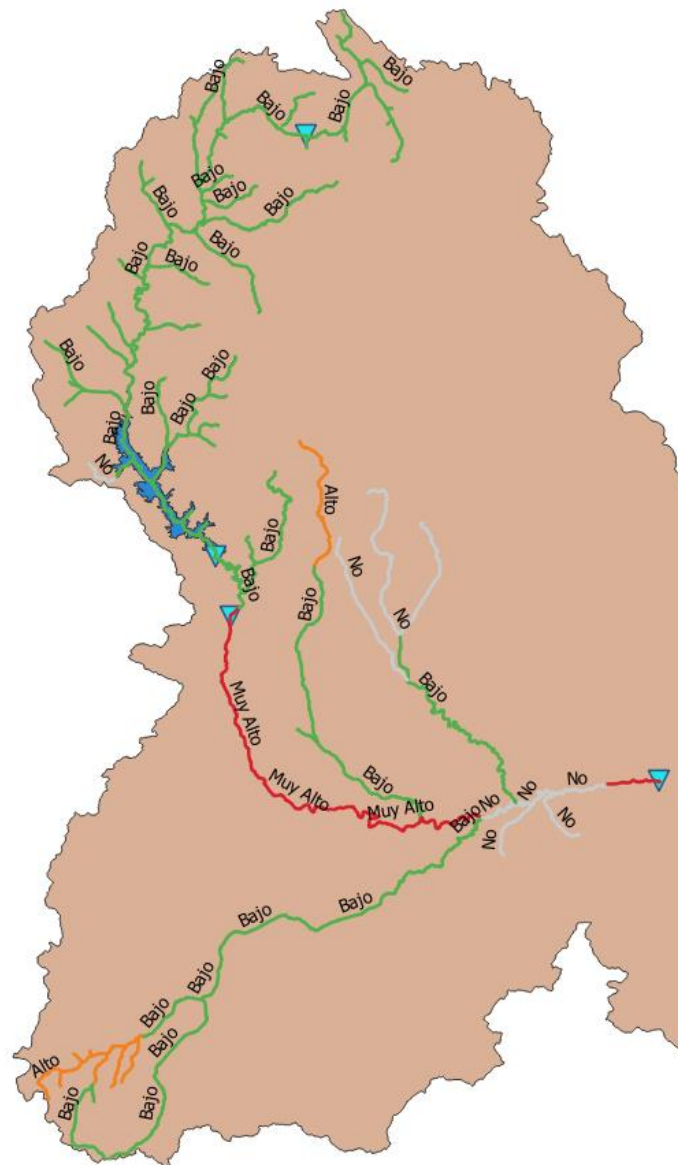


Figura 22. Mapa de riesgo para el escenario SSP2 4.5 para la cuenca del Júcar desde cabecera hasta el embalse El Molinar. (Adaptado de Pérez Martín, M.A.)

Para determinar el mapa asociado a la actuación inmediata, hay que considerar que las zonas más afectadas serán las asociadas al periodo de impacto correspondiente al corto plazo (2010-2040). Por lo tanto, habrá que proporcionar prioridad a aquellas zonas afectadas en el escenario de emisiones más optimista de los dos estudiados (SSP2 4.5), pues serán las más prioritarias para la aplicación de medidas de adaptación dado que resulta el escenario más favorable.

Esta zona de actuación inmediata queda caracterizada por el curso medio del río Júcar, siendo las masas de agua con mayor probabilidad de sufrir impacto las correspondientes al río Júcar desde el embalse de Picazo hasta la confluencia con el Canal de María Cristina, y el último tramo hasta alcanzar el embalse de El Molinar. Como forma de caracterización de este tramo de

actuación se incorporan una serie de imágenes extraídas del Sistema de Información del agua de la Confederación Hidrográfica del Júcar (SIA Júcar) recopiladas desde aguas arriba (el Picazo) hacia aguas abajo (Canal María Cristina).



Figura 23. Vista del río Júcar en el embalse El Picazo (SIA Júcar)



Figura 24. Vista del río Júcar desde carretera de Fuensanta (SIA Júcar)



Figura 25. Vista aguas abajo de la estación de aforos 08036 Los Frailes (SIA Júcar)



Figura 26. Vista del río Júcar a su paso por Valdeganga (SIA Júcar)



Figura 27. Vista río Júcar desde el puente en camino cerca de la ctra. CM-3218 (SIA Júcar)



Figura 28. Vista río Júcar desde el paraje Peña Águila, Junto a ctra. CM-3218 (SIA Júcar)

3.4.5.2 Actuación a medio plazo

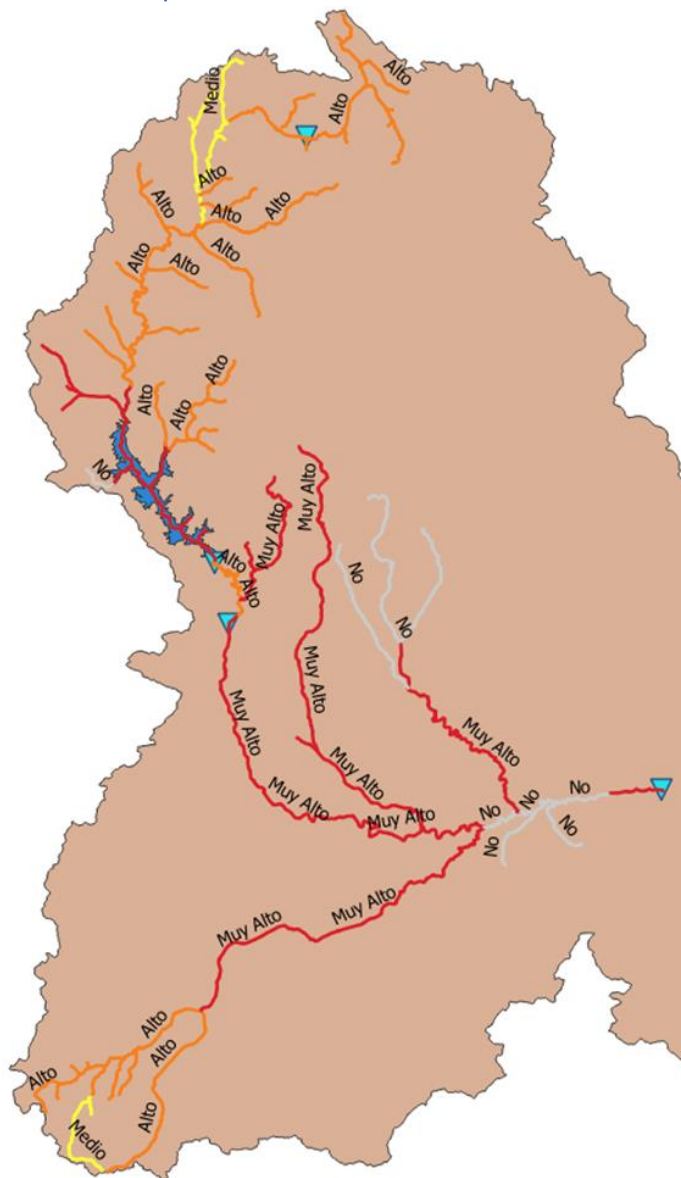


Figura 29. Mapa de riesgo para el escenario SSP5 8.5 para la cuenca del Júcar desde cabecera hasta el embalse El Molinar. (Adaptado de Pérez Martín, M.A.)

Con este segundo mapa de riesgo se caracteriza la zona de actuaciones correspondiente al medio plazo. Como puede observarse, la repercusión del impacto tiene una gran consecuencia incluso a zonas de cabecera antes no afectadas. Este representa el escenario más desfavorable; siendo las masas de agua mayormente afectadas las correspondientes al río Marimota, arroyo Vallehermoso, río Valdemembra, río Arquillo, Canal de María Cristina y el río Júcar desde el embalse de Alarcón hasta el embalse de El Molinar. Como en la actuación previa, se caracterizan los distintos tramos adicionales incluidos en el medio plazo de forma fotográfica para conocer el estado actual y entender el riesgo que existe a futuro. Como primera adición queda recogido el tramo Alarcón - Picazo.



Figura 30. Vista desde la presa del Henchidero en el río Júcar aguas abajo de Alarcón (SIA Júcar)



Figura 31. Vista de la presa del Henchideras desde el puente de Tebar (SIA Júcar)



Figura 32. Vista aguas abajo del río Júcar desde el puente de Tébar (SIA Júcar)



Figura 33. Vista del río Júcar y puente del Picazo (SIA Júcar)

A continuación, están recogidas las imágenes referentes al río Marimota ubicado aguas arriba de la cola del embalse de Alarcón.



Figura 34. Río Marimota por Villarejo Periesteban en el paraje Prado Saludador (SIA Júcar)



Figura 35. Río Marimota o Belvis en el paraje El Chorrillo (SIA Júcar)

Seguidamente pueden observarse las relacionadas con el arroyo Vallehermoso.



Figura 36. Arroyo Valhermoso en el Paraje Mimbreras, vista desde ctra. CUV-8031(SIA Júcar)

Río Valdemembra desde aguas arriba hacia confluencia con río Júcar.



Figura 37. Río Valdemembra en El Peral, cerca de la ctra N-320 (SIA Júcar)



Figura 38. Río Valdemembra a su paso por Quintanar del Rey (SIA Júcar)



Figura 39. Río Valdemembra a su paso por Motilleja en el paraje La Balsa (SIA Júcar)

Río Arquillo desde aguas abajo de su confluencia con el río Miron hasta la confluencia con el río Júcar.



Figura 40. Río Arquillo a su paso por Balazote (SIA Júcar)

Tramo medio-bajo del Canal de María Cristina y barranco Cañahorro hasta confluencia con el río Júcar.



Figura 41. Canal M^a Cristina a su paso por el puente de la Sabina en ctra. AB-2201(SIA Júcar)



Figura 42. Canal de María Cristina a su paso por el paraje Hoya de las Ánimas, vista del puente en la ctra. B-4 entre Valdeganga y Casas de Juan Núñez (SIA Júcar)



Figura 43. Vista aguas abajo Canal María Cristina, Barranco de Cañahorro - Casas de Juan Nuñez (SIA Júcar)

3.5 Análisis de estudios previos de modelos de balance térmico

Una vez caracterizado el contexto previo de estos antecedentes, van a presentarse diversos estudios europeos en materia de clima y calentamiento del agua de ríos pertenecientes al norte y este de la Unión Europea. Estos estudios previos sirvieron como punto de partida para el desarrollo del presente trabajo; a continuación, se van a recoger los aspectos más importantes a destacar con las diversas metodologías y conclusiones extraídas de ellos que constituirán la base para la elaboración del modelo en siguientes apartados.

Lo principal que se deduce es que la descripción para el intercambio de calor entre el agua del río y los alrededores del río suele ser muy complicada. Los procesos involucrados suelen depender de factores locales y temporales. A menudo se da por sentado que cuantos más factores se tengan en cuenta en el modelo, mejor será este, pero no siempre es así por la complejidad y la incertidumbre que conllevan. Al mismo tiempo, se esperan los resultados exactos a pesar de la disponibilidad de una cantidad insuficiente de datos de entrada.

Sin entrar en mayor detalle, los modelos que desarrollan los autores se basan en efectuar un balance de términos radiativos dependientes e independientes de la temperatura del agua como se muestra en la figura siguiente.

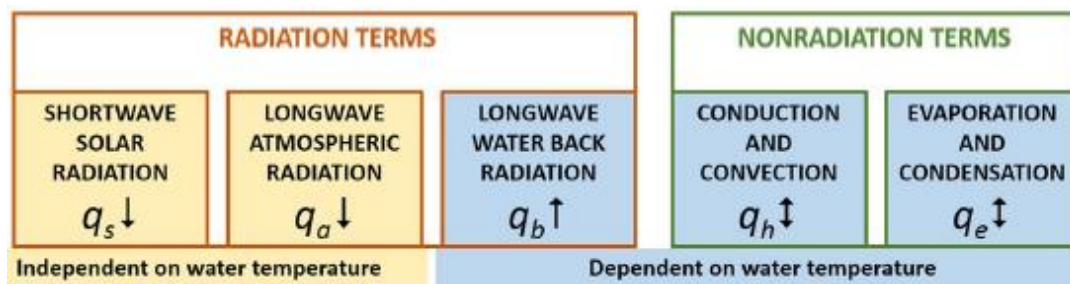


Figura 44. Procesos que afectan al intercambio de calor en la interfaz agua-aire (Kalinowska, M.B., 2019)

Uno de los principales términos que no aparecen y se suelen simplificar obviándolos son las interacciones entre el lecho del río y el agua de la corriente. Esto es debido a que son complejas y dependen de muchos factores locales y temporales como el flujo de agua subterránea-corriente, el sombreado, la morfología del lecho y la heterogeneidad geológica. Como comentan los estudios es difícil evaluarlos de manera confiable. Por ello, en la modelización de la contaminación térmica, en ocasiones se omiten diferentes términos de intercambio de calor con el medio ambiente, como se comentaba del calor con el fondo, los bancos y los sedimentos, resulta ser común.

En los estudios analizados, suele ser común la comparación de distintos tramos de un río o distintos ríos en base a su vegetación de ribera. En base a como está caracterizada en cuanto a su tipo de cobertura, tipología, densidad y distribución, estos demuestran cómo cambian las entradas y salidas de energía al flujo de agua. Ejemplo de ello es la siguiente figura donde se comparan tres corrientes de agua en Escocia presentando distintas tipologías de cobertura a ser: pastizales abiertos (OS), bosques caducifolios (SNS) y plantaciones comerciales de coníferas (CS).

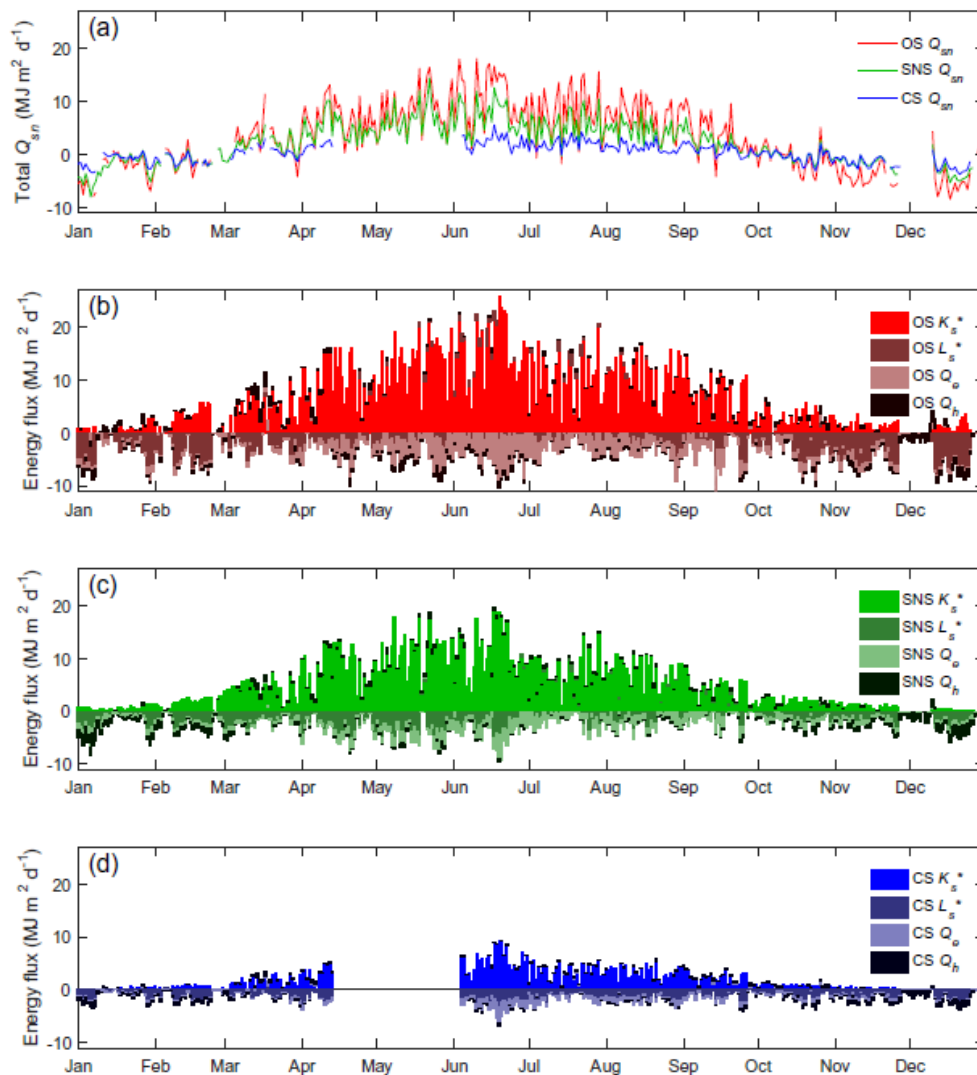


Figura 45. Energía total de flujo en la interfaz aire-agua para distintos tipos de condiciones de ribera (Stephen J. Dugdale, 2018)

La última tipología de cobertura, por sus características y distribución genera una mayor protección frente a la radiación solar que las anteriores. La variabilidad interanual que se produce en el microclima ribereño, el intercambio de energía y la temperatura de los arroyos era típicamente mayor en los páramos (ejemplo los pastizales) que en el bosque, especialmente durante la primavera y el verano. Esto presenta especial interés para mitigar esos efectos que comporta el cambio climático. Dado que como comentan algunos de estos estudios, se espera un clima

cambiante, vinculado a concentraciones elevadas de gases de efecto invernadero, que produzca un mayor flujo de radiación de onda larga de la atmósfera y, en consecuencia, temperaturas del aire elevadas, aumento de los flujos de calor sensible de la atmósfera y temperaturas elevadas del agua subterránea. Por lo tanto, la sombra en la superficie del arroyo por la vegetación ribereña representa una medida potencial para mitigar la variabilidad térmica y los extremos.

Esto se incorpora ya a las políticas y ejemplo de ello es Reino Unido, donde las Directrices sobre bosques y agua recomiendan la provisión de sombra en los bosques nativos donde prevalecen los salmónidos, dado que es una especie de aguas frías como se comentaba en su apartado vulnerable.

En base a otro de los estudios como demuestra el proyecto REFRESH, mediante el empleo de franjas riparias se puede mejorar las condiciones de temperatura del agua del río y estas no tienen por qué ser necesariamente extensas. Para ello han analizado cinco arroyos templados de tierras bajas en Dinamarca y comparando tramos abiertos y boscosos.

El experimento se llevó a cabo durante julio, agosto y septiembre, período de máxima temperatura del aire y cobertura del dosel. El estudio muestra que 100 m de bosque ribereño redujeron la temperatura del agua de los arroyos en hasta 1° C en comparación con la temperatura de un alcance abierto. Si la longitud del bosque ribereño se extiende hasta 500 m y la cobertura del dosel está entre el 75 y el 90%, el efecto de sombra aumenta y la temperatura puede reducirse en 2–3 °C. Por lo tanto, aumentar la cobertura del dosel en longitudes relativamente cortas puede ser útil (REFRESH, 2014).

Debido a que las macrófitas proporcionan un hábitat estructural para muchos peces y macroinvertebrados, los investigadores de REFRESH sugieren combinar la forestación ribereña con tramos abiertos para reducir la temperatura del arroyo y también permitir la presencia de plantas acuáticas para mejorar la diversidad del hábitat.

Cabe recalcar y es importante saber que las comparaciones entre estudios deben hacerse con precaución porque la configuración espacial de la cuenca en la que se realiza un estudio puede influir en la magnitud de las diferencias de temperatura observadas.

Para concluir, las distintas estrategias de conservación y restauración de la zona ribereña podrían contribuir a combatir la pérdida de biodiversidad y cumplir las metas de la Estrategia de Biodiversidad 2020. Como metas se presentaban detener el deterioro del estado de todas las especies y hábitats cubiertos por la legislación de la UE sobre la naturaleza, y mejorar y mantener los ecosistemas mediante infraestructura verde y la restauración fluvial.

3.6 Caracterización y zonificación de los embalses

Dentro del presente estudio, además de las masas de agua fluyente tipo río se encuentran principalmente tres masas de agua tipo embalse, las cuales serán de especial interés más adelante para conocer profundamente el comportamiento térmico del conjunto. Estas corresponden a las masas de agua 18.03 Embalse de La Toba, ubicada en la provincia de Cuenca, dentro de lo que sería el curso alto del Júcar. Ubicada también dentro de la provincia de Cuenca, aguas abajo se encontraría la masa 18.07 Embalse de Alarcón, esta correspondería al curso medio del Júcar. Por último y para finalizar la zona del estudio, aguas abajo, en la provincia de Albacete se localiza la última masa de agua, la 18.19 Embalse de El Molinar.

Masa de agua	Nombre	Superficie máxima (ha)	Volumen máximo (hm ³)
18.03	La Toba	124,24	9,7
18.07	Alarcón	6.840	1.118
18.19	Molinar	70,92	4

Tabla 5. Caracterización de volumen y superficie máxima para los principales embalses

3.6.1 Embalse La Toba



Figura 46. Presa de La Toba en el río Júcar en Uña (GeshidroLAN, 15/Jul/2010)



Figura 47. Embalse de la Toba en el río Júcar en Uña (SIA Júcar)

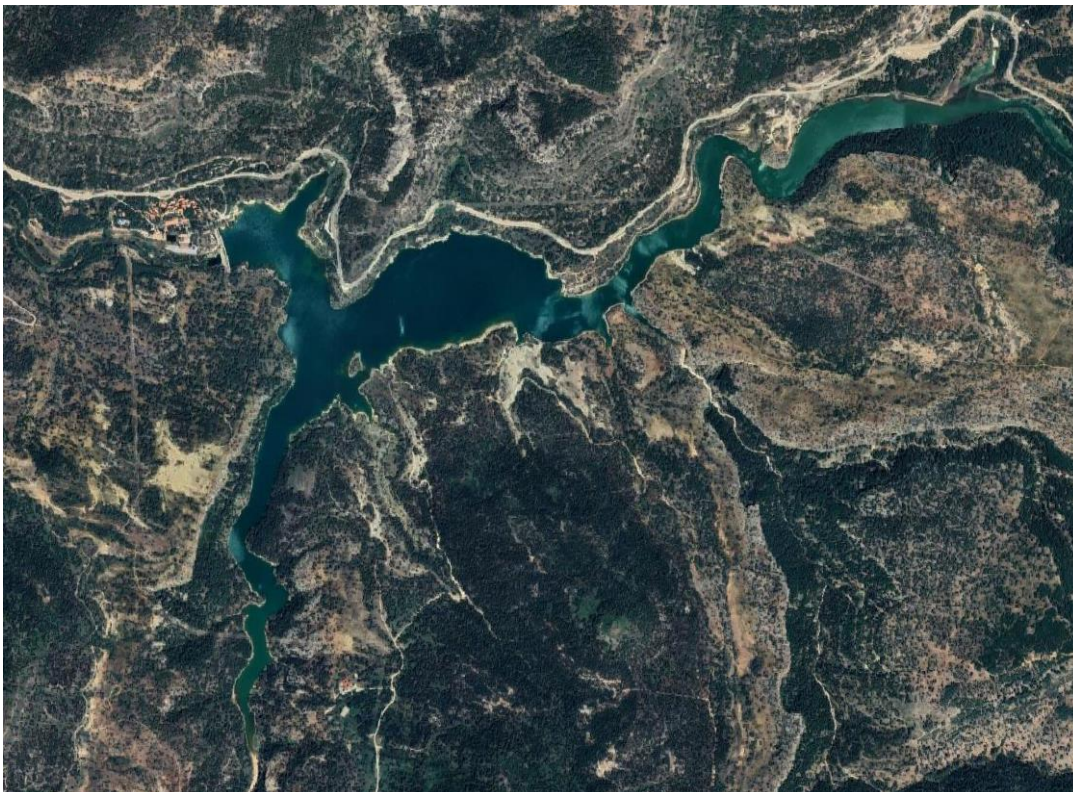


Figura 48. Vista aérea del embalse La Toba (Google Satellite extraída en QGis)

3.6.2 Embalse de Alarcón



Figura 49. Presa de Alarcón en el río Júcar en Alarcón (GeshidroLAN, 8/Jun/2012)



Figura 50. Embalse de Alarcón, vista desde la presa de Alarcón (SIA Júcar)



Figura 51. Vista aérea del embalse de Alarcón (Google Satellite extraída en QGis)

3.6.3 Embalse de El Molinar



Figura 52. Presa de El Molinar en el río Júcar en Villa de Ves (GeshidroLAN, 9/Abr/2010)



Figura 53. Vista del embalse de El Molinar en el río Júcar en Villa de Ves (SIA Júcar)



Figura 54. Vista aérea del embalse El Molinar (Google Satellite extraída en QGis)

Una vez caracterizados, la estructura del perfil vertical que describe un embalse sigue la siguiente figura. Normalmente se pueden distinguir tres zonas, pronunciándose el efecto en embalses más profundos como puede ser el caso de Alarcón. Se distinguirá una variación térmica y de oxígeno disuelto en función de la capa analizada siendo:

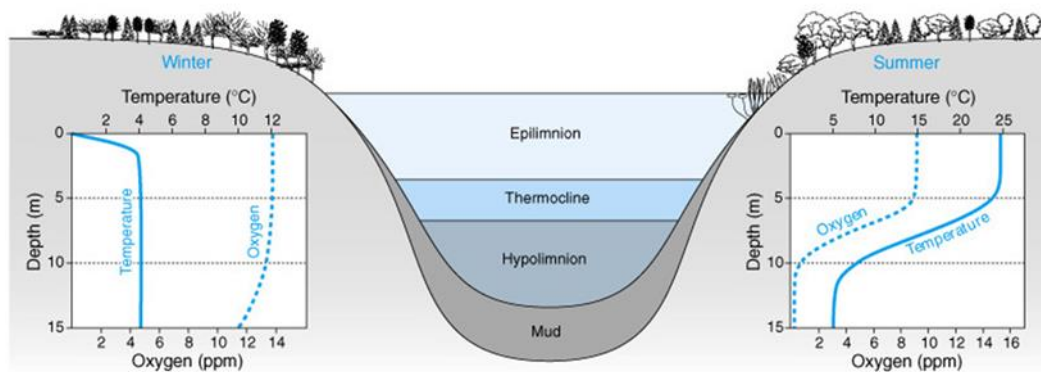


Figura 55. Zonificación y comportamiento físico del embalse en función de la profundidad (AquaticEcosystems)

- Epilimnion: corresponde con la capa más superficial afectada directamente por los factores climatológicos. Debido a esta situación se encuentra a mayor temperatura, pues recibe la radiación solar incidente y como consecuencia de los intercambios directos de la interfaz aire-agua se encuentra más oxigenada.
- Metalimnion: conforme se va descendiendo en el embalse se puede encontrar una zona donde se produce el gradiente en la temperatura más pronunciado. En él puede darse el fenómeno denominado termoclina, esto produce una desconexión química de la capa superficial con la profunda del embalse como consecuencia de la variación de la temperatura. El efecto directo que se puede destacar es el marcado descenso del oxígeno disuelto y su falta de renovación.



- Hipolimnion: resulta la capa inferior, es más fría y densa que las anteriores. Por la localización del estudio, si el embalse es lo suficientemente profundo, presentará niveles reducidos de oxígeno durante el periodo estival y meses posteriores, esto será debido a la inercia térmica y las condiciones de temperatura ambiental.

Estas ideas y conceptos adquirirán mayor trasfondo en siguientes apartados donde se analizará cuantitativamente los perfiles citados, teniéndose una visión general junto con el conjunto del río.

4 Metodología general de análisis.

El siguiente apartado va a presentar y explicar la metodología general seguida cuya finalidad persigue la elaboración de un modelo propio que simule la temperatura del agua y que gracias a él sea posible evaluar y cuantificar las medidas que se propongan. Para facilitar la comprensión del proceso de desarrollo puede observarse el esquema siguiente formado por tres bloques diferenciados, donde lo primero es comprender como se comporta el río a nivel térmico. Lo segundo y fundamentado en el estudio de la demarcación, pasa por determinar los mapas de riesgos, vistos estos en los antecedentes. Por último, una vez caracterizado y comprendido el comportamiento del río, se introducen todos los datos y parámetros de partida en el modelo térmico, el cual se va a explicar y fundamentar en la presente metodología.

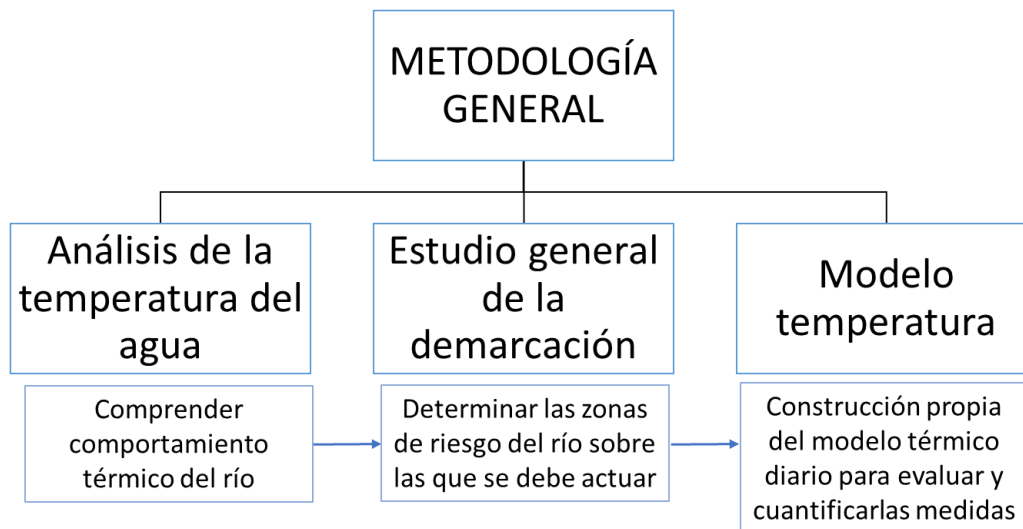


Figura 56. Proceso metodológico seguido para el desarrollo del modelo de temperatura

4.1 Modelo y proceso de calibración para comprender el funcionamiento del modelo de balance de energía

El modelo de balance térmico desarrollado para la elaboración del presente trabajo ha tomado como base la formulación de Kyung y Chapra (Kyung Sub Kim, Steven C. Chapra, 1997) adaptada según diversos autores como Kalinowska (Kalinowska, M.B., 2019) y el método Penman-Monteith (FAO, 1990). Su finalidad es evaluar el cambio que se produce en la temperatura del agua del río a escala diaria realizando un balance entre la energía entrante y saliente a este de forma iterativa. Es de interés destacar, como ha podido observarse en diversos estudios consultados, que la determinación de la interacción río-lecho comprende una dificultad adicional de cálculo. Ello es debido a que evaluar realmente la energía intercambiada es complejo y lleva a efectuar investigación y monitorización en campo para poder evaluar la temperatura a una profundidad dada del fondo del lecho, pasando por conocer el material que lo compone y las aportaciones de agua subterránea que llegan al río.

La metodología de trabajo desarrollada pasa por tener el sistema río, como muestra la siguiente figura a modo de esquema, donde alimentan al modelo unos datos de entrada. Se produce el balance de energía entre la interfaz río-aire, donde no interactúa el lecho. Para calibrar el modelo, tanto la vegetación de ribera como la profundidad del río tienen un papel importante dado que describen el tramo concreto que está siendo estudiado. La caracterización y modificación de la vegetación de ribera se realiza en términos porcentuales, variando desde un 0% que se asociaría a un índice de QBR de calidad pésima, a un 100% asociado a una calidad excelente propia de presentar un estado natural. En términos del modelo, la variación de la cobertura vegetal afectaría directamente a la radiación solar incidente puesto que, a mayor cobertura, la incidencia sobre el río por la proyección de sombra reduciría la energía que llega al agua.

La simulación que efectúa el modelo comprende un año promedio, lo cual corresponde a simular el comportamiento del río para 365 días de un año natural. El resultado que aporta el balance corresponde al incremento de la temperatura del agua para el día i , el cual se incorpora al valor de la temperatura del agua previo para conformar el valor de la temperatura para el día $i+1$. Este valor obtenido es la entrada de datos de una serie de iteraciones bajo las mismas condiciones, pero variando este parámetro de entrada. Estas producen una convergencia para obtener el valor final del incremento de temperatura producido, siendo este el valor de la salida de los resultados. A modo de resumen la figura siguiente representa las interacciones que ocurren dentro de los procesos de intercambio de energía donde se presentan los términos implicados que serán explicados en el siguiente apartado, así como la formulación asociada a ellos.

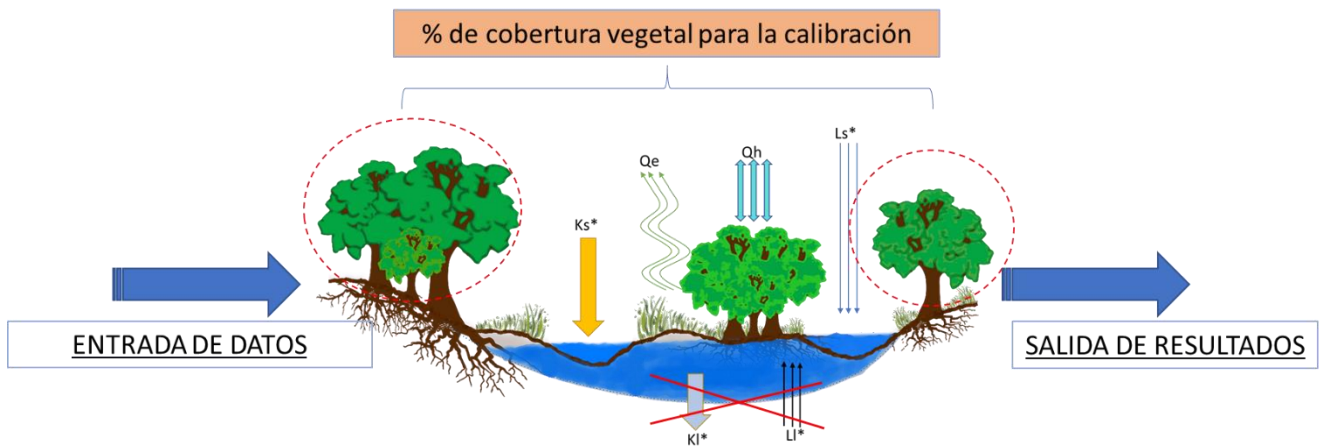


Figura 57. Modelo conceptual de intercambios de energía en el río para la interfaz aire-agua

De la figura, los procesos implicados son los siguientes:

- K_s^* : Radiación de Onda Corta Neta
- L_s^* : Radiación de Onda Larga Neta
- K_l^* : Radiación de Onda corta Neta del lecho
- L_l^* : Radiación de Onda Larga Neta del lecho
- Q_h : Calor Sensible (aumento temperatura masa fluida)
- Q_e : Calor Latente (cambio de estado)

De la terminología empleada, los parámetros dispuestos quedan reflejados en términos netos (*) una vez se han efectuado las entradas y las salidas asociadas a los mismos, quedando reflejadas como positivas si gana energía el río y negativas si cede energía a la atmosfera. Tanto el calor sensible como el calor latente, dependiendo de cuál es el elemento que cede al otro, pueden tener signo positivo o negativo.

4.2 Explicación del modelo térmico

Entrando en la base de cálculo del modelo térmico, para el presente trabajo se ha elaborado un modelo de balance energético el cual adapta diversos autores como los mencionados en el apartado anterior. El funcionamiento del modelo es la simulación de la temperatura del agua para un río o embalse a partir de la temperatura del aire y otros parámetros característicos del lugar de estudio. La metodología desarrollada a continuación recoge toda la formulación empleada, así como las unidades métricas en que se encuentran. Una vez establecidos los parámetros de entrada (desarrollados en la entrada de datos) el objetivo del balance energético es calcular la energía total del flujo resultante de las diversas entradas y salidas de energía al río. Estas entradas y salidas son resultado de procesos tanto radiativos, por la llegada o emisión de ondas cortas o largas, como no radiativos propios de los procesos de intercambio de calor entre cuerpos por rozamiento de las partículas, así como por procesos relacionados con el cambio de estado de la materia. Por lo tanto, a continuación queda recogida la ecuación de balance energético y la figura representativa de los términos que la integran para a lo largo del apartado desarrollarlos y explicarlos con completo detalle.

$$\text{Energía Total del Flujo } (Q_n) = K_s^* + L_s^* - L_b \pm Q_h \pm Q_e$$

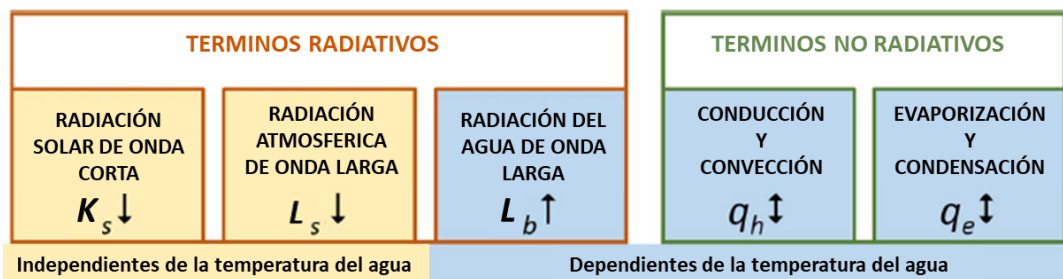


Figura 58. Procesos que afectan al intercambio de calor en la interfaz agua-aire (Adaptación Kalinowska, M.B., 2019)

Están diferenciados los procesos que se producen por radiación de los que no, así como los términos dependientes directamente de la temperatura del agua de los que son independientes, pues indicar que, al ser un balance unos compensaran a otros conforme varíe la temperatura del agua.

Por lo tanto, los términos expuestos se han adaptado a la figura del modelo conceptual de intercambio de energía para proporcionar una visión esquemática de las entradas y salidas al río representado en la siguiente figura.

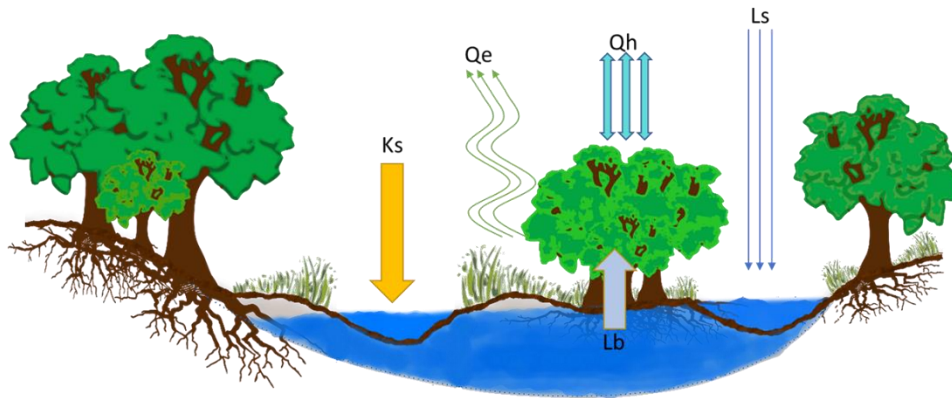


Figura 59. Simplificación de los agentes implicados en el balance de energía

4.2.1 Entrada de datos

Como datos de partida para alimentar el modelo realizado se tienen los siguientes parámetros discretizados para cada uno de los meses del año. Para evitar en la medida de lo posible las grandes fluctuaciones en meses continuos, estas variables de entrada están interpoladas para que el parámetro del mes en cuestión afecte y este afectado por el parámetro del mes anterior y el siguiente de manera porcentual para cada día. Quedan recogidos en base a la fuente de obtención de los mismos:

- Parámetros extraídos de AEMET para la estación climatológica más cercana al punto de estudio.
 - Temperatura media del aire
 - Velocidad del viento media
 - Humedad relativa
 - Presión del aire

- Parámetros extraídos del PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) mediante la herramienta de radiación solar para la localización concreta del estudio.
 - Datos diarios de radiación solar directa y difusa

Así mismo, deberá realizarse una estimación inicial de los siguientes parámetros, los cuales servirán para llevar a cabo la calibración del modelo al punto estudiado:

- Temperatura inicial del agua a fecha de 1 de enero
- Profundidad del tramo de río objeto del análisis
- % de cobertura riparia inicial estimado

4.2.2 Radiación solar de onda corta

La energía transmitida por el sol atraviesa las capas de la atmosfera y llega a la superficie del agua como radiación solar de onda corta global, esta puede discretizarse como la combinación de la resultante directa y difusa. Cuando la radiación solar de onda corta llega a la superficie del agua, una pequeña parte de la energía es reflejada de vuelta a la atmosfera por lo que se conoce como efecto albedo y lo restante penetra en la superficie del agua aportando un incremento de energía. Lo anteriormente descrito conforma la siguiente formula:

$$\text{Radiación solar onda corta } (K_s) = K_{si}(1 - A)$$

Donde:

- K_s : Radiación solar de onda corta (W/m^2)
- K_{si} : Radiación solar de onda corta incidente (W/m^2)
- A : Albedo (coeficiente de reflexión para la radiación de onda corta)

De las dos componentes descritas de la radiación solar de onda corta directa y difusa, se considera que la cobertura de la vegetación de ribera afecta tan solo a la primera de las componentes, reduciendo este término de energía de manera porcentual asociado a la calidad de la vegetación de la zona de estudio. La misma componente difusa se aplicaría al 100% sin sufrir reducción alguna.

Por otra parte, el Albedo es una medida de la reflectividad de la superficie del agua. Este depende principalmente del color de la superficie (cuanto más oscura es la superficie, más pequeño es el albedo), y para el agua, varía entre el 1 y 10% dependiendo de la claridad del agua, las condiciones de la superficie tales como: longitud de onda, concentración de clorofila, profundidad del agua, etc. Otro factor a tener en cuenta es el ángulo solar, el agua presenta un albedo más alto para un ángulo solar bajo.

4.2.3 Radiación atmosférica de onda larga

La atmósfera, como todos los objetos terrestres, emite radiación de onda larga (radiación de cuerpo negro). El valor de la radiación atmosférica de onda larga depende principalmente de la temperatura del aire. Esto se debe a que cualquier material con una temperatura por encima del cero absoluto emite radiación, según la ley de Stefan-Boltzmann de 1884 proporcional a la cuarta potencia de la temperatura absoluta del objeto. Esto se describe en la siguiente formula:

$$\text{Radiación atm. onda larga } (L_s) = E * \sigma * (T_a + 273.15)^4$$

Donde:

- L_s : Radiación atmosférica de onda larga (W/m^2)
- E : Emisividad atmosférica
- σ : Constante de Stefan–Boltzmann $5.670373 \cdot 10^{-8}$ ($W/m^2 \cdot K^4$)

- T_a : Temperatura del aire ($^{\circ}\text{C}$)

La emisividad atmosférica resulta un problema a la hora de aplicar la ecuación por la dificultad en su determinación. Por lo general su término depende de la temperatura del aire y de la presión de vapor del aire, e_a (mb=hPa). Por lo tanto, se describe la obtención de la presión de saturación y de vapor como:

$$e_s(T) = r_1 * \exp\left(\frac{r_2 * T}{T + r_3}\right)$$

$$e_a(T) = e_s * \frac{RH}{100}$$

Con: $r_1=6.12$ (mb), $r_2=17.27$ y $r_3=237.3$ ($^{\circ}\text{C}$) como coeficientes empíricos. Temperatura (T) en $^{\circ}\text{C}$ y humedad relativa (RH) en %.

A continuación, quedaran recogidos los distintos autores y la formulación asociada para determinar la emisividad atmosférica. Los coeficientes empleados quedan asociados a unidades de temperatura del aire ($^{\circ}\text{C}$) y presión de vapor del aire (mb). Debido a la variación del parámetro, para reducir el error cometido en la emisividad del aire por la localización de los coeficientes empíricos usados en el cálculo, la emisividad empleada final resultará de la media aritmética de los valores obtenidos de los siguientes autores:

Brunt (1932):	$E = 0.55 + 0.065 * \sqrt{e_a}$
Swinbank (1963):	$E = 9.365 * 10^{-6} * (T_a + 273.15)^2$
Idso and Jackson (1969):	$E = 1 - 0.26 * \text{Exp}(-7.77 * 10^{-4} * (273.15 - T_a))$
Brutsaert (1975):	$E = 1.24 * \left(\frac{e_a}{T_a + 273.15}\right)^{0.14}$
Idso (1981):	$E = 0.7 + 5.95 * 10^{-5} * e_a * \text{Exp}\left(\frac{1500}{T_a + 273.15}\right)$
Bignami (1995):	$E = 0.684 + 0.056 * e_a$

Tabla 6. Coeficientes asociados a la emisividad del aire en base a parámetros empíricos

4.2.4 Radiación del agua de onda larga

Del mismo modo que todos los objetos terrestres emiten radiación, el agua también emite radiación de onda larga. Esta puede contribuir de forma significativa a la pérdida de calor de la superficie del agua y de manera similar a la radiación atmosférica de onda larga, también se puede calcular usando la ley de Stefan-Boltzmann mediante la adaptación de la siguiente ecuación:

$$\text{Radiación agua onda larga } (L_b) = \varepsilon * \sigma * (T_w + 273.15)^4$$

Donde:

- L_s : Radiación atmosférica de onda larga (W/m^2)
- ε : Emisividad del agua
- σ : Constante de Stefan–Boltzmann $5.670373 * 10^{-8}$ ($W/m^2 \cdot K^4$)
- T_w : Temperatura del agua ($^{\circ}C$)

La emisividad del agua depende de factores tales como la transparencia de esta o de la suavidad de la superficie. Por diversos autores, puede establecerse un rango de aplicación entre 0.9 y 0.99, aunque en el presente trabajo se va a emplear 0.97 (Kyung Sub Kim, Steven C. Chapra, 1997)

4.2.5 Calor latente

Relacionado con la evaporización y la condensación, este es el fenómeno producido por la energía agregada o eliminada de una sustancia, la cual provoca un cambio de estado en ella. Los principales fenómenos asociados son el cambio en la materia de sólido a líquido, de líquido a gaseoso, de sólido a gaseoso y los consiguientes procesos inversos. La evaporización es proporcional a la diferencia entre la presión de saturación sobre la superficie del agua y la misma sobre el aire que tiene por encima. Para el cálculo se ha empleado la siguiente formulación:

$$\text{Calor latente } (Q_e) = f_{(u)} * (e_s - e_a)$$

Donde:

- Q_e : Calor latente (W/m^2)
- $f(u)$: Función de velocidad del viento ($W/m^2 \cdot mb$)
- e_s : Presión de saturación sobre la superficie del agua (mb)
- e_a : Presión de vapor por encima de la superficie del agua (mb)

La función de velocidad del viento normalmente es una función lineal o cuadrática del estilo:

$$f_{(u)} = b_0 + b_1 * u + b_2 * u^2$$

Donde los términos b_0 , b_1 , b_2 son coeficientes empíricos empleados en la terminología de distintos autores, con cada uno asociado distintos valores recogidos en la siguiente tabla.

	Brady (1969)	Miller and Street (1972)	Czernuszenko (1990)	Marciano and Harbeck (1952)	Ryan (1973)	Meyer (1928)	Thoman and Mueller (1987)
b ₀	6.9	7.42	0	0	6.9	8.4	19
b ₁	0	0	3.75	2.47	3.07	3.07	0
b ₂	0.34	0.49	0	0	0	0	0.95

Tabla 7. Tabla de coeficientes empíricos de la función de velocidad del viento

Pueden encontrarse autores anteriores a Meyer como sería Trabert (1896) el cual propone una función del siguiente estilo:

$$f(u) = 11.25 * \sqrt{u}$$

Trabert aplica un coeficiente empírico propio y considera la raíz cuadrada de la velocidad del viento. Su método como puede verse a continuación, para velocidades del viento propias del ámbito del estudio, proporcionarían resultados similares que los aportados por Meyer. La siguiente grafica representa los resultados obtenidos por los distintos autores empleando sus coeficientes específicos para velocidades de viento comprendidas entre 0 y 3 m/s.

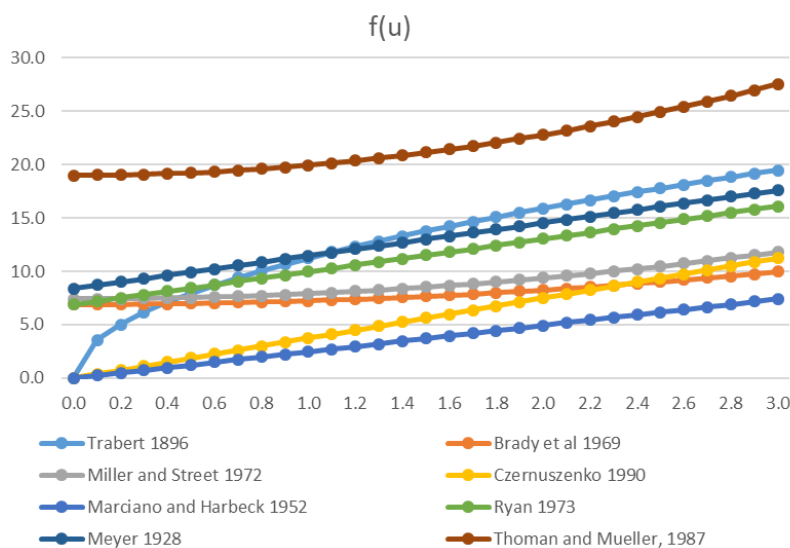


Figura 60. Representación de los valores de la función de viento para los distintos autores entre 0 y 3 m/s

Como puede observarse, hay una gran disparidad de resultados en la función del viento como consecuencia del empleo de los coeficientes específicos propios de cada lugar estudiado por los distintos autores. Por ello, el presente modelo empleará la función de viento siendo esta la resultante de la media aritmética de los resultados obtenidos por los seis primeros autores de la tabla de coeficientes anterior para la velocidad de viento propia del emplazamiento seleccionado.

4.2.6 Calor sensible

Asociado a los fenómenos de conducción y convección, este es el proceso de intercambio de calor entre cuerpos de diferentes temperaturas, que están en contacto directo. Consiste en transmitir la energía cinética del movimiento caótico de partículas como consecuencia de sus colisiones. El proceso conduce a la igualación de la temperatura entre los cuerpos. La convección es un proceso de transferencia de calor asociado con el movimiento macroscópico de la materia. Ambos procesos tienen lugar en la frontera de la interfaz del agua y el aire. Este puede describirse utilizando la ecuación:

$$\text{Calor sensible } (Q_h) = C_b * \frac{P_a}{P_0} * f(u) * (T_a - T_w)$$

Donde:

- Q_h : Calor sensible (W/m^2)
- C_b : Coeficiente de Bowen ≈ 0.62 ($mb/^\circ C$)
- P_a : Presión del aire zona de estudio (mb)
- P_0 : Presión del aire de referencia 1013 (mb)
- $f(u)$: Función de velocidad del viento ($W/m^2 \cdot mb$)
- T_a : Temperatura del aire ($^\circ C$)
- T_w : Temperatura del agua ($^\circ C$)

El coeficiente de Bowen se ha adaptado del Ratio de Bowen (Bowen, 1926) por Kalinowska (Kalinowska, 2019) aproximándolo a 0.62 $mb/^\circ C$ a modo de simplificación para el cálculo del calor sensible. La función de la velocidad del viento empleará el mismo resultado que el calculado para el calor latente.

4.2.7 Variación de la temperatura del agua

A partir del balance energético se determina la variación de la temperatura del agua en base a la 2ª Ley de Fick para un medio isótropo realizando la simplificación de que el fluido se analiza para un punto concreto y de manera estacionaria. El incremento o decremento producido sobre la temperatura del agua queda añadido a la temperatura de esta para el día en cuestión y así por aproximación mediante iteraciones llegar a la temperatura final. Esta última será el valor que retroalimentará la T_w para el día siguiente.

$$\text{Variación Térmica } (\Delta T) = \frac{dT}{dt} = \frac{Q_n}{\rho_w * c_{pw} * d}$$

Siendo desde $i=1$ a 365 días:

$$T_{w,i+1} = T_{w,i} + \Delta T_{i,final}$$

Donde:

- Q_n : Energía total del flujo (W/m^2)
- ρ_w : Densidad del agua (kg/m^3)



- c_{pw} : Calor específico del agua ($W/kg \cdot ^\circ C$)
- d: Profundidad de la masa de agua considerada (m)

Finalmente, para realizar el contraste y la validación de los resultados obtenidos de la temperatura del agua simulada, se compararán con los valores proporcionados por la CHJ para la serie histórica entre 1998 a 2020. Estos valores son mediciones realizadas in situ para una serie de estaciones de medición de calidad de aguas en la zona de estudio. Se tienen disponibles valores reales de la temperatura del agua para tan solo algunos días concretos y destacar que dependiendo de la estación seleccionada no están disponibles para todos los años de la serie. Por lo tanto, para realizar la comparación se efectuará la media aritmética de los valores disponibles a lo largo de la serie para cada mes.

Para comprender mejor esta información referente a las mediciones reales en el río, y por ende el comportamiento térmico de este, el siguiente apartado efectuará el análisis referido a estas estaciones de medición de la calidad proporcionando una visión de conjunto antes de ver los resultados extraídos del modelo.

5 Análisis de la temperatura del río.

En el presente apartado va a desarrollarse la información aportada por la CHJ para efectuar el análisis de la temperatura del agua del río Júcar desde la cabecera hasta el embalse de El Molinar. La información ha sido sintetizada mediante el empleo de mapas y gráficas para poder tener toda la visión general del conjunto de estaciones de calidad. Es importante destacar que se conoce de la presencia de manantiales naturales que realizan aportaciones al río, pero no ha sido posible la evaluación para obtener la incidencia directa que tienen sobre el conjunto. Todo ello será analizado en el primer punto y se complementará además con una visión específica de los tres embalses que quedan emplazados dentro el estudio.

Una vez caracterizada la realidad, para conocer el comportamiento del sistema en su conjunto, se procede a introducir los parámetros de entrada en el modelo desarrollado y así poder interpretar los resultados obtenidos, efectuando la calibración del mismo en cada emplazamiento que vaya a ser simulado. Adicionalmente y como indicador de contraste, se efectuará el mismo proceso para la simulación del comportamiento térmico de algún embalse tanto a nivel de temperatura superficial como en profundidad. Todo ello queda recogido en los siguientes subapartados con mayor nivel de detalle.

5.1 Análisis preliminar de la temperatura del agua

En el subapartado se desarrolla el perfil de temperatura del agua desde la cabecera del estudio hasta el embalse de Molinar. Este perfil está formado por la media de los datos medidos en 49 estaciones o puntos de medición y ha permitido caracterizar para el mes de julio la temperatura tanto del río como superficialmente los embalses. El siguiente mapa de temperaturas muestra de forma georreferenciada la posición en la cuenca de las estaciones de medida, incorporando la media aritmética de los valores de temperatura medidos para la serie de disponible entre 1998 a 2020.

De manera análoga queda recogido el perfil longitudinal en base a los puntos kilométricos desde aguas arriba hacia aguas abajo, resultando de interés la tendencia térmica que va adquiriendo el río desde su nacimiento hasta el curso medio.

Como se puede observar en cabecera, el río Júcar presenta temperaturas bajas incluso para el propio mes de Julio, dado que los orígenes de las aportaciones de este son debidos a que se nutre de una serie de manantiales provenientes del acuífero calizo que tiene debajo. Esto junto al hecho de que se incorporan al curso fluvial diversos arroyos como pueden ser el Arroyo

Salado, Arroyo de Fuente Jordana o Arroyo de la Noguera durante este curso temprano, donde el río presenta aún escaso calado, anchura y discurre por un entorno conservado de forma natural, esto hace posible el tener temperaturas entre 13 y 15°C.

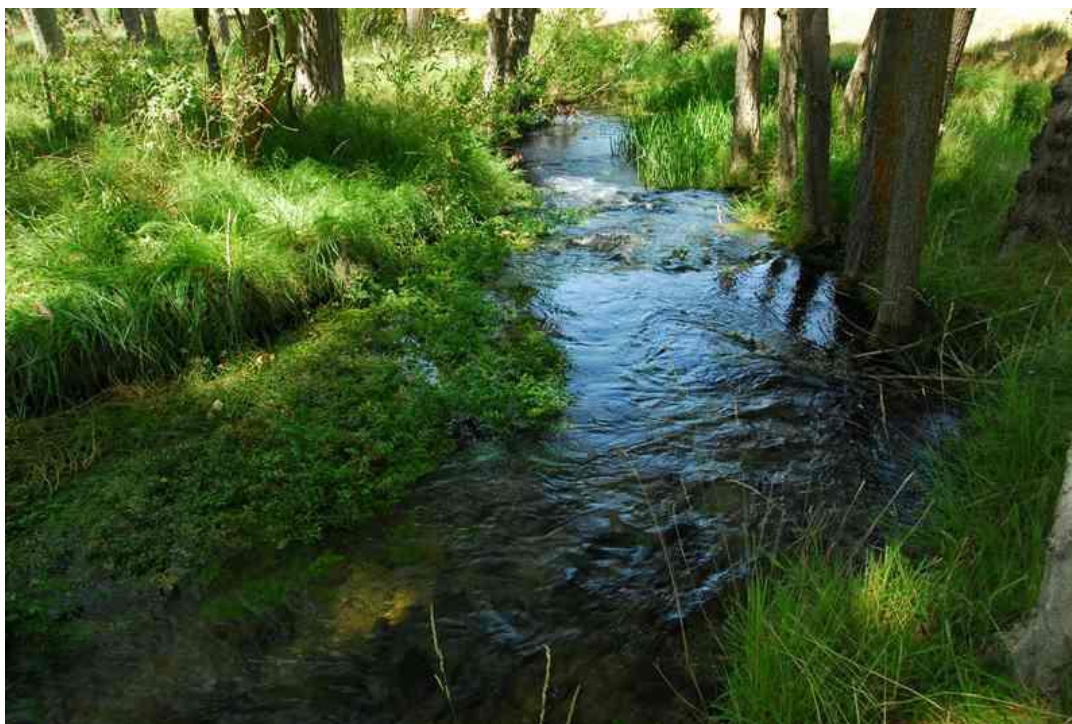


Figura 61. Arroyo Salado en su encuentro con el río Júcar (SIA Júcar)

Aguas abajo de este primer tramo de cabecera, pasando Tragacete y el Molino de Juan Romero, se encuentra el primer embalse del estudio el cual corresponde a La Toba. De manera directa lo que puede apreciarse es que se incrementa rápidamente la temperatura del agua en las estaciones de medición emplazadas en los puntos de cola, intermedio y de presa. Lo que lleva a interpretar es que, al tratarse de un embalse, esta masa de agua que recibe aportaciones del río, pero permanece estacionaria, tiene mayor superficie de incidencia de la radiación solar. Este hecho ocurre también tanto en el embalse de Alarcón como en El Molinar, siendo estos puntos un foco para calentar el agua de superficie. De la misma forma que se observa este aumento de temperatura en el agua embalsada, también queda reflejado como aguas debajo de los embalses la temperatura de esta disminuye. Este efecto queda constatado también para los tres embalses y se analizará en mayor detalle dentro del siguiente subapartado, haciendo un pequeño avance de que en función de la profundidad del embalse y del punto por el cual se realiza el vertido al río, tiene una cierta repercusión el verter agua de superficie o por fondo. Destacar también las diversas aportaciones de fuentes naturales y arroyos como en el caso de La Toba son la Fuente del Abrevadero o los arroyos de las Pasaderas y el del Calorzo, los cuales pueden realizar aportaciones que en la mezcla con el río disminuirían la temperatura.

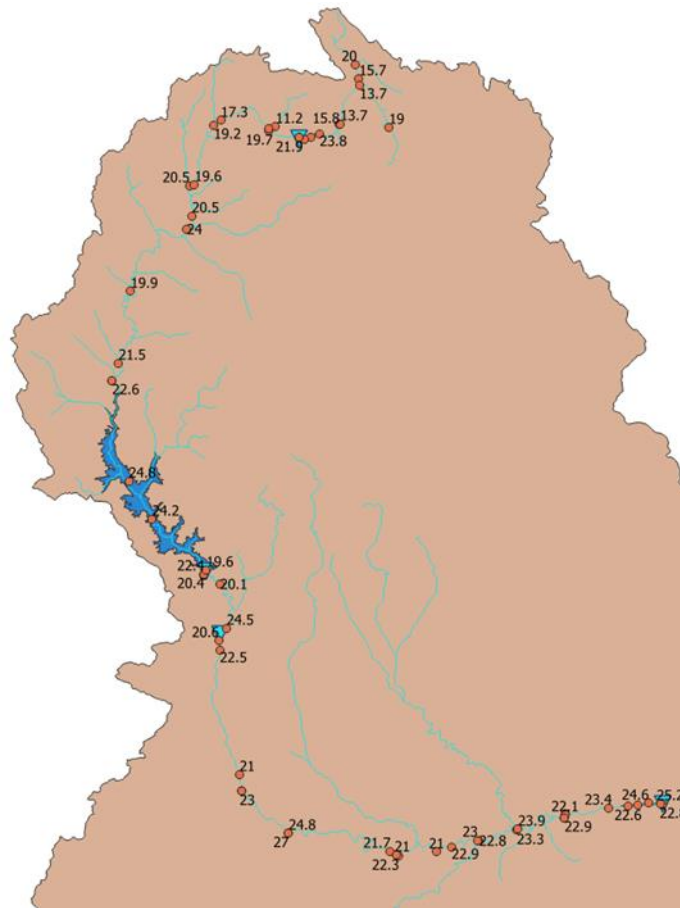


Figura 62. Mapa de las 49 estaciones de calidad seleccionadas y temperatura media asociada al mes de Julio

Igualmente, durante el transcurso del flujo, las condiciones morfológicas no son las mismas como se observaba en las imágenes del río para el mapa de riesgo. La variación del QBR constatada también da más idea de zonas con un mejor estado y por tanto una mayor vegetación de ribera proporcionando sombra al río. Por lo tanto, en tramos donde se vea mayormente expuesto a la incidencia directa de la radiación solar, junto que cambien las condiciones del trazado y varíe su profundidad, comportará una variación de la temperatura. Esto puede observarse en el perfil longitudinal siguiente, donde a pesar de que el desarrollo que sigue es al alza, representado por la línea tendencial roja, las estaciones de medición describen continuas subidas y bajadas en la temperatura del agua. Esta variación descrita conforme discurre el río desde el tramo alto al tramo medio va disminuyendo su efecto, reduciéndose los incrementos en los tramos fuera de los embalses. Queda recogida a continuación la figura del perfil de temperaturas en función de su punto kilométrico.

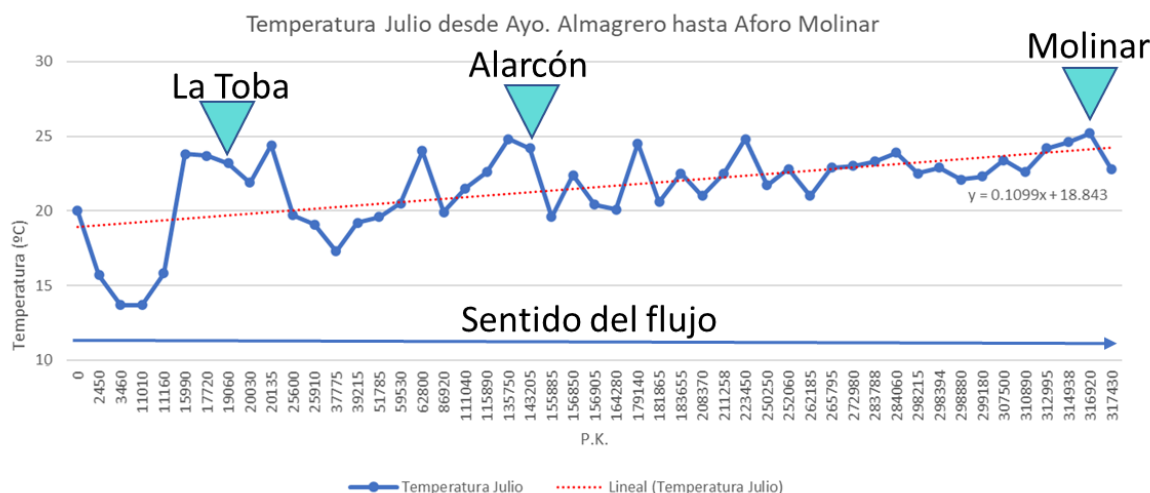


Figura 63. Perfil longitudinal de temperaturas para el río Júcar desde arroyo de Almagrero hasta embalse Molinar para el mes de Julio

Del perfil destacar los elementos de presas representados con un triángulo invertido sobre el punto de la estación correspondiente al cuerpo de presa, siendo el punto anterior a la izquierda el referente a la medición en el punto medio del embalse y el anterior a este el punto de medición en la cola del mismo. Partiendo de una temperatura de referencia en Tragacete entre 14 y 16°C, antes de llegar a Alarcón ya alcanzaría los 20°C y dentro del embalse de Molinar los 25°C. Esto supone una variación de unos 10°C entre cabecera y final del estudio que si bien se desarrolla a lo largo de 300 kilómetros hay que considerar que los mayores incrementos térmicos se producen al llegar al embalse de La Toba y El Molinar como queda reflejado en la tabla promedio siguiente para discretizar por tramos.

La tabla mencionada agrupa principalmente por masas de agua, separando las de tipo embalse de las de tipo río, y a su vez estas últimas agrupadas por tramos con QBR similares las estaciones de medición de calidad. La principal utilidad recae en tener evaluado los incrementos que se producen de manera promediada entre la temperatura del agua antes de llegar a un embalse y una vez lo alcanza. De forma similar esta evaluada la diferencia que se produce en la salida, determinando así una vez el agua queda reintegrada al río, cual es la temperatura media que alcanza. Resulta de interés observar como el índice de calidad de la vegetación de ribera aguas abajo de La Toba y Alarcón es considerablemente bueno. Esto se traduce en que, durante su recorrido por estas, la variación de la temperatura que se produce es importante para mitigar en cierta medida el aumento sufrido durante el paso por el embalse.

		Promedio de Valores de temperatura por tramos Julio (°C)																	
Cabecera	ΔT	Embalse Toba	ΔT	Toba-Cuenca	ΔT	Cuenca-Alarcón	ΔT	Embalse Alarcón	ΔT	Alarcón-Picazo	ΔT	Picazo-Alcalá del Júcar	ΔT	Alcalá del Júcar-Bco. Espino	ΔT	Bco. Espino-Molinar	ΔT	Embalse Molinar	
																			20
		23.8		19.7		24		24.8		22.4		23		23		23.4		24.2	
		23.7		19.1		19.9		24.2		20.4		24.8		22.8		22.6		24.6	
		23.2		17.3		21.5		19.6		20.1		21.7		23.9				25.2	
		21.9		19.2		22.6				24.5		22.8		22.5					
		24.4		19.6						20.6		22.3		22.9					
				20.5						22.5		21		22.1					
														22.3					
Promedio	7.6	23.4	-4.2	19.2	2.8	22	0.9	22.9	-1.1	21.8	0.8	22.6	0.2	22.8	0.2	23	1.7	24.7	
QBR	85	65		76.5		65		65		85.5		57		51		-		-	
		Valor promedio de temperatura de todo el perfil: 21.7																	

Tabla 8. Temperatura media, incremento medio de temperatura y QBR promediado para tramos de estaciones de calidad para el mes de Julio

5.1.1 Perfiles de temperatura de embalses

Mirando detalladamente el comportamiento que presentan los embalses de La Toba, Alarcón y Molinar, va a analizarse la evolución de la temperatura del agua tanto a nivel superficial como la reflejada por la medida a la máxima profundidad muestreada por la CHJ. Esto queda recogido para el promedio de un año hidrológico entre los meses de octubre a septiembre. Destacar que las mediciones en profundidad analizadas no se han llevado todos los meses a las mismas profundidades, siendo durante los meses fríos de carácter más superficial y durante los periodos cálidos se alcanzan mayores profundidades de muestreo.

Comenzando con el de mayor relevancia, el embalse de Alarcón es con diferencia el que mayor capacidad presenta de la CHJ, se trata de un embalse interanual el cual tiene una capacidad máxima de 1118 Hm³. Las profundidades de muestreo que se ha tenido constancia para el mes de agosto rondarían los 42 metros. La temperatura media anual del aire ronda los 20°C estando la del agua en torno a 16.5°C.

Durante el periodo de invierno, la variación que hay entre la temperatura superficial y la profunda no es relevante dado que hay poca diferencia apreciada. Por otro lado, durante el periodo estival la diferencia esta notablemente incrementada llegando a haber variaciones entre 12°C de la superficie y el fondo. Este hecho es interesante de cara a los desembalses hipolimnics ya que comportaría una mezcla de agua reduciendo la temperatura aguas abajo.

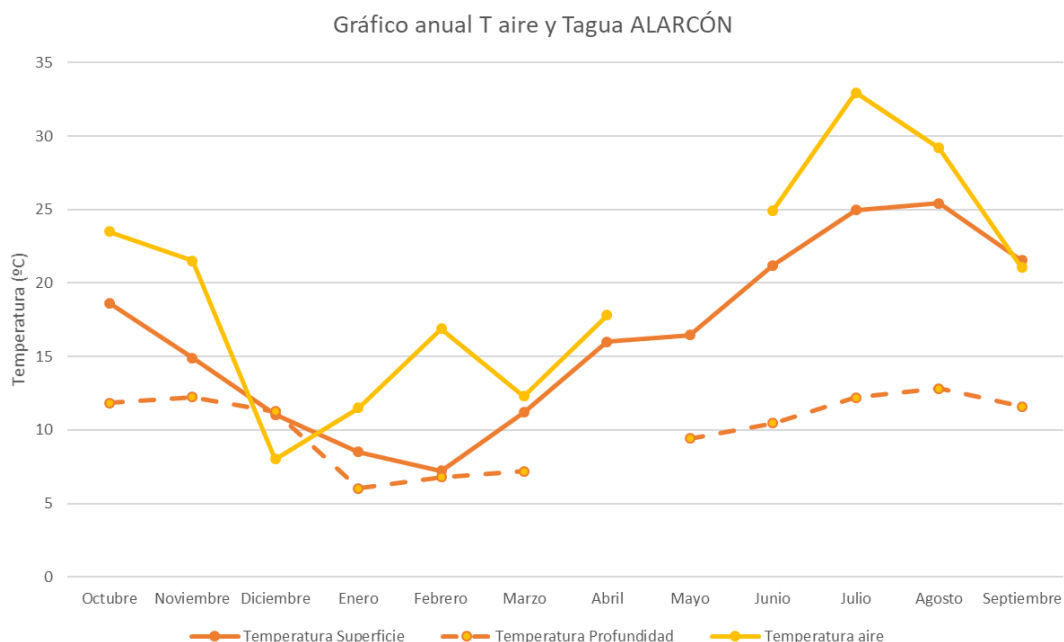


Figura 64. Perfil anual de temperatura del aire, agua superficial y agua en profundidad para el embalse de Alarcón (°C)

Destacar de la figura anterior, que dentro de los meses que se han promediado para obtener el perfil a lo largo del año hidrológico, ha habido meses con mayores datos recopilados durante más años que otros. Es por ello que puede ser el extraño perfil que traza la temperatura del aire en comparación al que desarrolla el del agua.

Analizando ahora La Toba y El Molinar, que son embalses notablemente más reducidos, puede reconocerse un comportamiento distinto entre ellos debido a la profundidad que tienen y a la posición geográfica. Comenzando por este primero, su volumen máximo son 9.7 Hm³ y al encontrarse en el tramo alto, cerca de la cabecera, presenta una temperatura media anual tanto del aire con 16°C, como del agua, menor que los otros. Se sigue manifestando una variación térmica entre el agua superficial y profunda, no tan acusada como en Alarcón, pero en el mes de Julio presenta casi 7°C de diferencia. Al estar en el tramo alto donde hay presencia de manantiales y fuentes, estas aportaciones ayudan durante la época estival a que haya una temperatura de fondo menor. A continuación, puede observarse la relación entre las tres temperaturas de forma promediada para cada mes en base a las medidas disponibles.

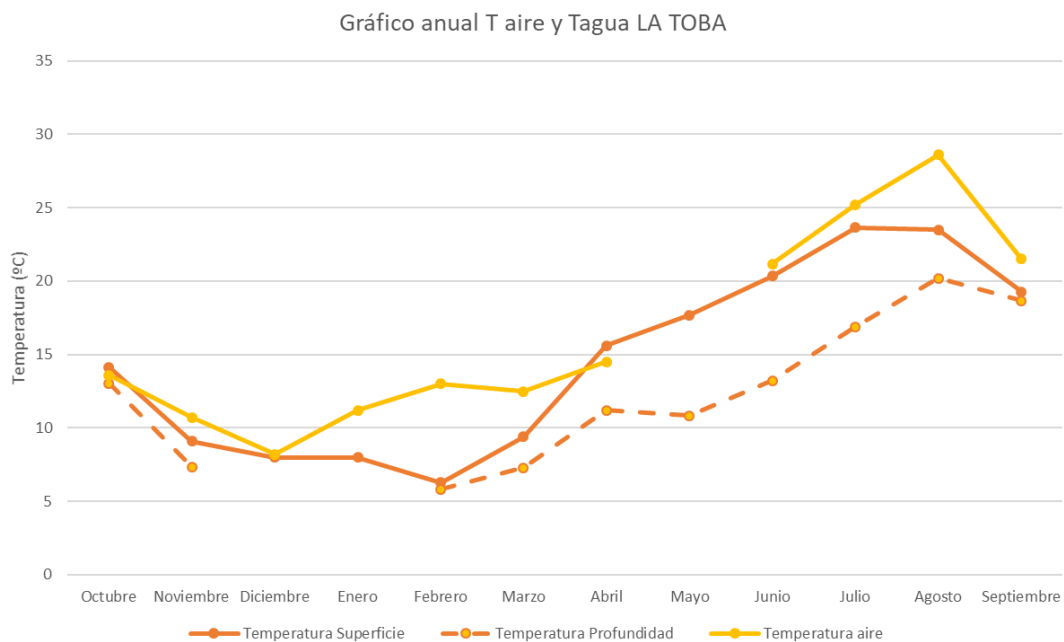


Figura 65. Perfil anual de temperatura del aire, agua superficial y agua en profundidad para el embalse de La Toba (°C)

El embalse de El Molinar es el último de esta serie de embalses. Ubicado en el tramo medio del Júcar, su volumen máximo es de 4 Hm³, siendo el que menor capacidad tiene de los tres. La temperatura media del aire está cerca de los 20°C. La diferencia de temperatura entre superficie y fondo ya no es tan relevante, tan solo habría una variación de 1.5°C para Julio, por lo que ambas guardan bastante similitud.

La grafica siguiente muestra la misma relación entre temperaturas para Molinar que los casos anteriores. Cabe destacar las acusadas fluctuaciones en la temperatura del aire que son debido a los pocos valores disponibles para realizar el promedio en el mes en cuestión.

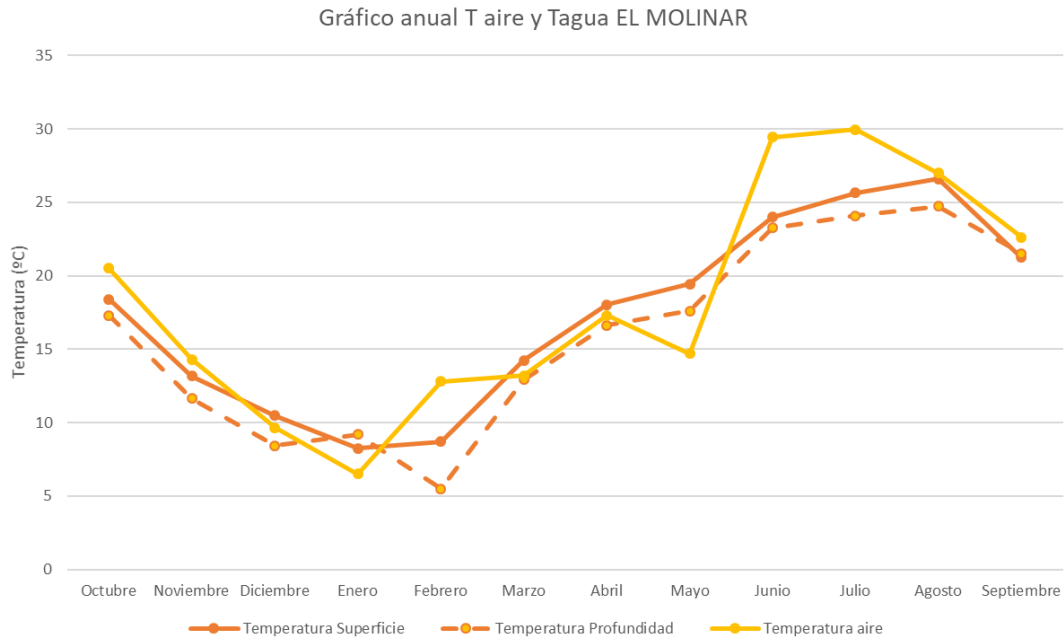


Figura 66. Perfil anual de temperatura del aire, agua superficial y agua en profundidad para el embalse El Molinar (°C)

5.1.2 Perfiles de oxígeno de embalses

De la misma forma que en el apartado anterior se recogía el perfil de temperaturas a lo largo del año hidrológico, a continuación, quedan recogidas las concentraciones de oxígeno disuelto, tanto a nivel superficial en los embalses como en el fondo. Resulta de interés este análisis dado que otro motivo de pérdida de hábitat puede estar relacionado con la disminución de la presencia de oxígeno durante largos periodos de tiempo, ya que conlleva un impacto directo sobre las poblaciones de peces. Este factor tan solo quedará caracterizado por los datos provenientes de las mediciones realizadas por la CHJ, no siendo de alcance del presente TFM su cálculo o modelado.

El comportamiento que pueden seguir los ríos naturales debido a la vegetación acuática, la morfología, la turbulencia y el caudal, además de los fenómenos meteorológicos, favorecen los procesos de oxigenación de este. En cambio, en los embalses, donde se tiene un mayor volumen de agua de forma estática, esta interacción con el oxígeno se produce gracias a los fenómenos meteorológicos, junto con la vegetación acuática propia, y a la relación entre la interfaz aire-agua. El mezclado de este oxígeno se da como consecuencia de la acción del viento y del cambio en la densidad del agua, favoreciendo así la circulación en todas las capas del embalse. Si un embalse presenta estratificación debido al fenómeno de la termoclina, la desconexión química que se produce hace que no haya una recirculación completa del oxígeno cayendo rápidamente las concentraciones conforme aumenta la profundidad.

Este descenso del oxígeno disuelto tiene distintos rangos asociados a las tolerancias de las especies piscícolas siendo entre 7 a 10 mgO₂/l el intervalo propicio para darse un crecimiento en la población y que pueda darse cierta abundancia en la población de peces registrada. Conforme va reduciéndose la presencia del oxígeno, llegando a intervalos entre 4 a 6 mgO₂/l, la especie se encuentra en una zona de estrés. El tiempo de exposición dentro de este intervalo influye en la reducción de la población de peces. Para situaciones con menor presencia de oxígeno disuelto, de 2 a 4 mgO₂/l, la especie entraría en el rango de hipoxia. Aquí se estaría en un intervalo peligroso para las comunidades piscícolas que deberían abandonar el lugar dado que presentarían dificultades para realizar sus funciones vitales. Por último, entre 0 a 2 mgO₂/l se estaría en zona de anoxia, un rango de oxígeno demasiado bajo para poder presentar vida piscícola. La representación y afección a los peces del conjunto de intervalos de oxígeno disuelto queda recogida en la siguiente figura de manera ilustrativa y ayudará a entender la situación en los embalses.



Figura 67. Rango de tolerancia de oxígeno disuelto en peces (IMIDA, 2021)

Entrando a analizar los perfiles de oxígeno disuelto de Alarcón, La Toba y El Molinar, lo primero que puede observarse es la relación que tiene los perfiles de temperatura y de oxígeno. Es común para los tres embalses que durante los meses estivales se produce la mayor disminución del oxígeno tanto a nivel superficial como en los perfiles más profundos. Esta disminución se trataba en el apartado caracterización y zonificación de embalses dentro de los antecedentes.

Comenzando dada su importancia con el embalse de Alarcón, su perfil de oxígeno disuelto en superficie favorece la abundancia de las poblaciones piscícolas durante todo el año, estando en intervalos entre 7.7 a 12 mgO₂/l. Por otro lado, el perfil de oxígeno a las mayores profundidades medidas muestra esa tendencia estacional propias de la presencia de la termoclina. Los datos recogidos en la siguiente figura muestran como, a falta de conocer abril al no disponer de valores, entre mayo y agosto el perfil iría fluctuando entre la zona de hipoxia y estrés. Después de este periodo, septiembre, octubre y noviembre son meses donde el oxígeno cae a niveles de anoxia llegando incluso a desaparecer. Este hecho puede estar propiciado por el calentamiento superficial del agua durante el verano, donde la inercia térmica del perfil de profundidades completo dilata en el tiempo la desconexión química del embalse. A partir del mes de diciembre los niveles de oxígeno se recuperan en gran medida llegando a valores propios de superficie debido a que en estos meses invernales los muestreos que se realizaron tenían un carácter más superficial.

Cabe destacar que, para los tres embalses, todos los valores reflejados a continuación provienen de la serie histórica (1998 a 2020) de mediciones disponibles. Hay meses e incluso un gran número de años donde no se recoge valor alguno y los que están reflejados en las gráficas están promediados en el mes estudiado.

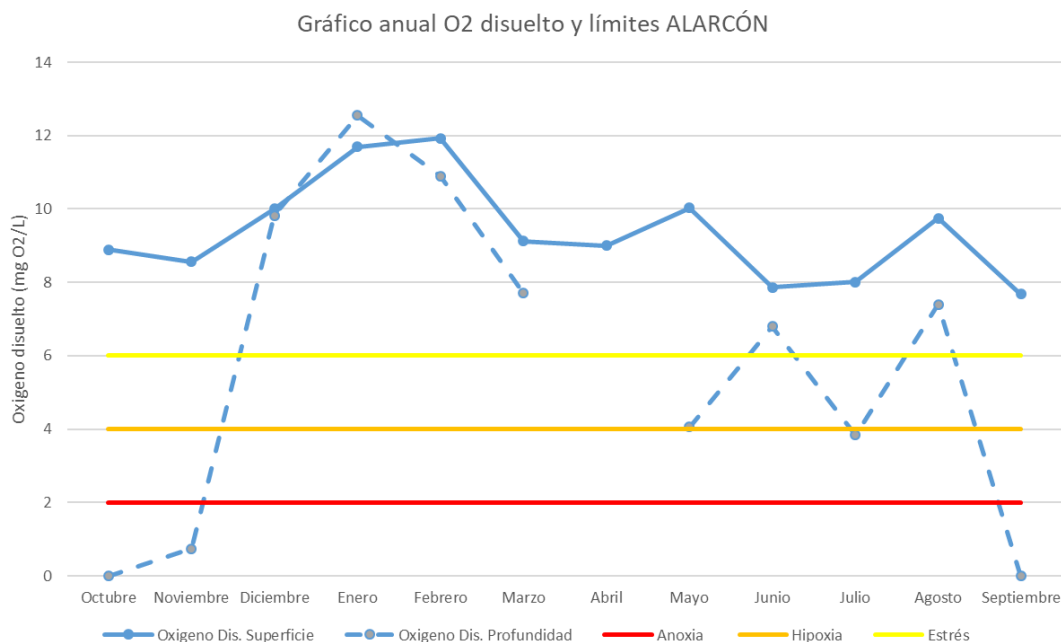


Figura 68. Perfil anual de oxígeno disuelto y rango de tolerancias para el embalse de Alarcón (mgO₂/L)

Continuando con el embalse de La Toba, ubicado en cabecera, presenta similares concentraciones de oxígeno disuelto en superficie que Alarcón, entre 7.2 y 12.4 mgO₂/l, favoreciendo las poblaciones piscícolas. En profundidad, a falta de conocer los valores correspondientes a los meses de diciembre y enero, el perfil que desarrolla es paralelo al de superficie siendo el periodo estival donde se produce una diferencia más pronunciada, hasta estar entre intervalos de hipoxia y estrés.

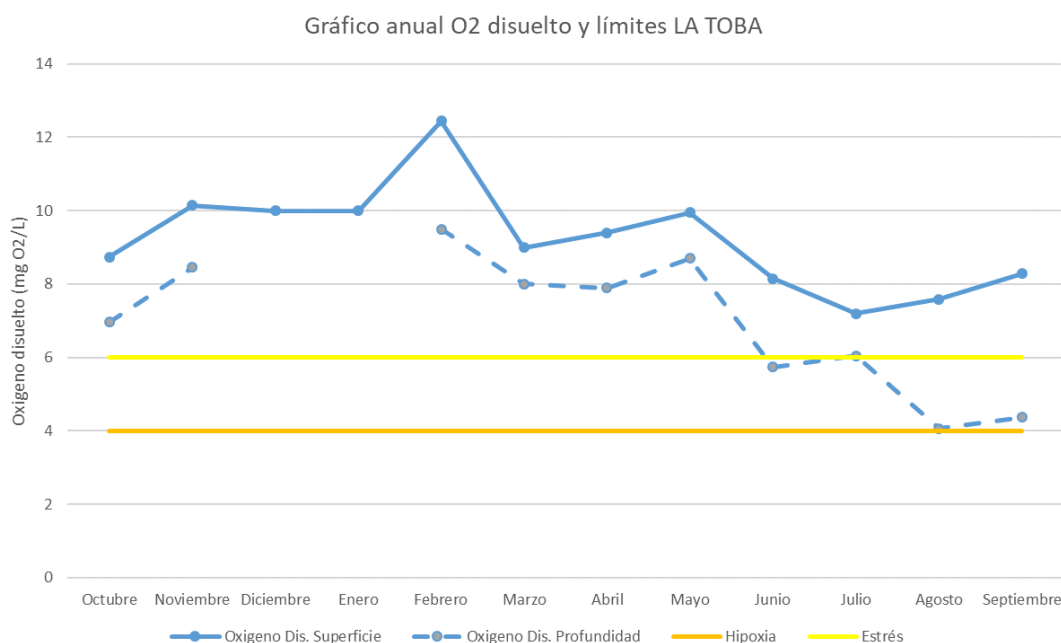


Figura 69. Perfil anual de oxígeno disuelto y rango de tolerancias para el embalse de La Toba (mgO₂/L)

Por último, el embalse de El Molinar, pese a ser el que más temperatura presenta en verano, es el que mejores niveles de oxígeno disuelto presenta en profundidad. El oxígeno en superficie también es sensiblemente mayor estando en un intervalo entre 8.5 a 13 mgO₂/l a lo largo del año y de forma más constante. En la figura siguiente puede observarse como el perfil en profundidad es bastante coincidente con el superficial para gran parte del año. Únicamente durante el periodo estival, como ocurría en los dos anteriores casos, se produce una disminución del perfil de oxígeno, cruzando en julio y septiembre la barrera del estrés.

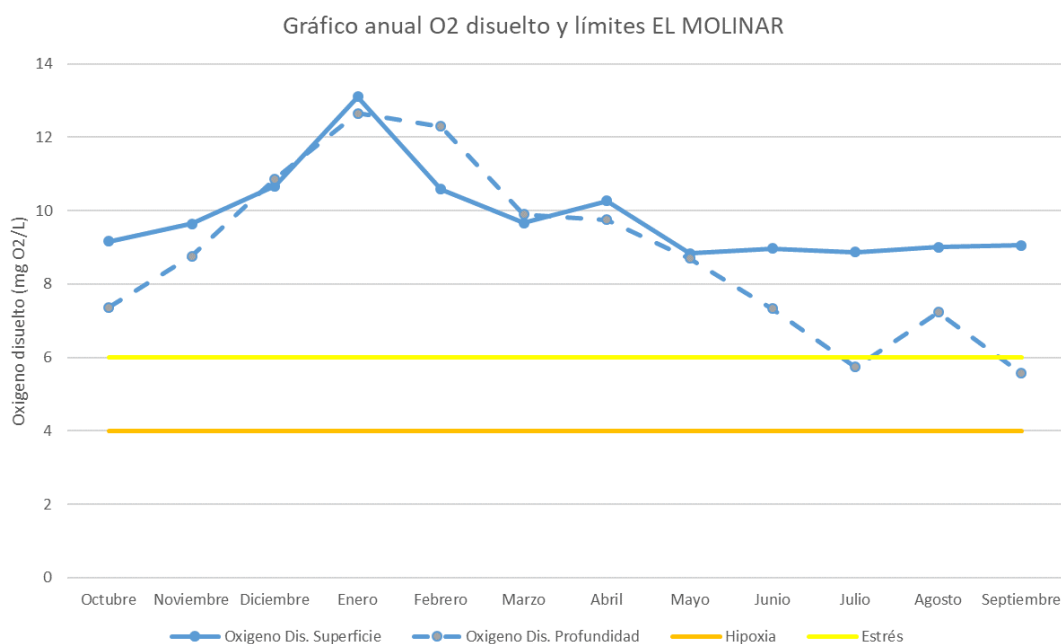


Figura 70. Perfil anual de oxígeno disuelto y rango de tolerancias para el embalse de El M (mgO₂/L)

Este embalse es de los tres mencionados el que mejores condiciones de oxígeno disuelto presenta, siendo también el que menor volumen de agua comprende. Este hecho puede favorecer que se produzca la mezcla de oxígeno durante todo el año al tener menor profundidad la capa de agua en el vaso del embalse. A modo de contraste, de los datos registrados para el periodo de años analizados, la profundidad máxima muestreada en Molinar ha sido de 9 metros mientras que en La Toba esta es de 11 metros.

Destacar también el hecho de que cruzando los perfiles de temperatura con los de oxígeno disuelto, uno puede darse cuenta de cómo en Molinar siendo el que mejores condiciones de oxígeno presenta, también es donde para el periodo estival la temperatura del agua se encuentra entre 21.5 y 24.7°C en profundidad. Estas temperaturas exceden la barrera termal de la trucha común de 21.8°C y por consiguiente no se da la presencia en el embalse. Para el embalse de La Toba se dan tanto las condiciones de temperatura del agua en profundidad para los meses estivales como de oxígeno disuelto,

pudiendo tener la especie presencia potencial como se recogía en los mapas de exposición.

Por otro lado, el embalse de Alarcón, teniendo presencia la especie en los mapas de exposición tanto potencial como real, según el estudio *Estimación de la biomasa piscícola en dos embalses de la Demarcación, dentro del programa de investigación de la Directiva Marco del Agua. Embalse de Alarcón* (CHJ, 2017) llevado a cabo en agosto de 2017 demuestra que no tiene presencia. Del estudio se extrae que la densidad de especies piscícolas está dominada por la lucioperca (*Sander lucioperca*) representando un 60%, seguida por el alburno (*Alburnus alburnus*) con 26% de abundancia. En representación de la biomasa cambian los porcentajes dominando la carpa de espejos (*Cyprinus carpio specularis*) con un 73%, siguiéndole la lucioperca con un 24%. Considerar además que todas estas especies detectadas son alóctonas.

Se desconoce la causa real de la ausencia de la trucha común en el embalse. Este hecho puede estar motivado por la dominancia de las especies alóctonas sobre las propias, pero además, hay que considerar que durante el periodo estival se produce una doble casuística en Alarcón. Por un lado, el promedio de la temperatura superficial del agua en verano está en torno a 23°C, superior a la barrera termal. Por otro lado, el hecho de estar entre zona de estrés e hipoxia a partir de mayo incluso alcanzando la anoxia en septiembre en las zonas más profundas, donde la temperatura del agua se sitúa sobre los 12°C, no favorece la presencia de la especie de aguas frías.

6 Modelo de simulación temperatura del agua.

6.1 Calibración del modelo térmico

El modelo térmico desarrollado va a particularizarse para las condiciones que desarrollan 3 puntos distintos en el ámbito del estudio como quedará reflejado en la figura siguiente. Por lo tanto, se calibrará para simular las condiciones que reflejaría la temperatura del agua un año promedio en un punto ubicado en cabecera, cerca de la zona del nacimiento del río Júcar. Como segundo enlazamiento se tomará una zona aguas arriba del embalse de Alarcón para caracterizar el flujo que llega a la cola del embalse. Para finalizar, el último emplazamiento estará ubicado antes de llegar al embalse El Molinar. La elección de los puntos de estudio para el modelo responde a dos factores; por un lado, se busca caracterizar y ver cómo responde el modelo en puntos que se consideran sensibles y por el otro, realizar la elección en lugares donde la estación de medición de calidad de la CHJ tenga un registro de datos de temperatura de aire y agua suficientemente extenso para tener valores representativos con los que realizar una comparación de los valores obtenidos en el modelo.

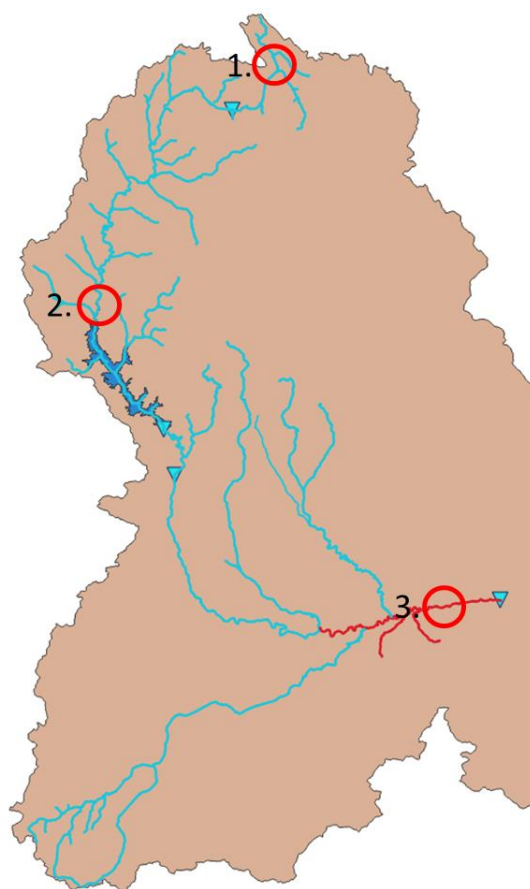


Figura 71. Zonas de calibración del modelo de temperatura en base al Mapa de Exposición potencial

6.1.1 Tramo de cabecera

El punto elegido en cabecera corresponde con el paso del río Júcar por la población de Tragacete (Cuenca). Este tramo permitirá caracterizar una zona con muy buena calidad de vegetación de ribera y de aportaciones por manantiales y arroyos al río. Por tanto, se observará en el modelo desarrollado las diferencias que se producen entre las mediciones reales y la simulación para valorar las aportaciones de fuentes y manantiales naturales. Otro factor común que se va a incluir en los tres tramos será la inclusión de la zona de apremio y la barrera termal para la trucha, de forma que quede cuantificado el tiempo de exposición, para estudiar su situación actual y compararla con las variaciones producidas como consecuencia del cambio climático.

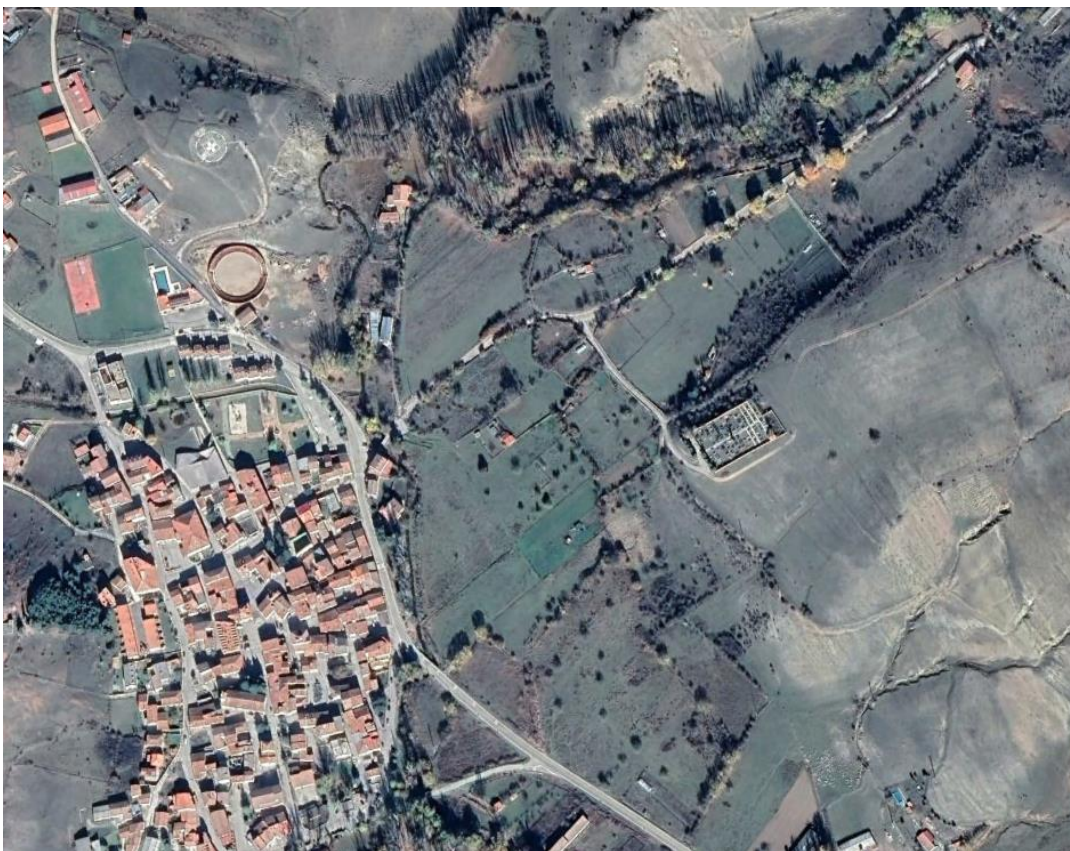


Figura 72. Ortofoto río Júcar a su paso por Tragacete (Google Earth)

Lo primero que va a recogerse son los valores de los parámetros de entrada del modelo promediados para cada mes. La temperatura del aire para el mes en cuestión se ha extraído de los valores medidos por las estaciones de calidad de la CHJ efectuando la media aritmética de los datos disponibles. La velocidad del viento, humedad relativa y la presión del aire se han obtenido de la estación meteorológica AEMET más próxima al punto en cuestión, en este caso la de Teruel. Estos parámetros quedan recogidos en la siguiente tabla. Recordar que dentro del modelo estos valores serán interpolados, buscando reducir las variaciones por la localización, dado que

la estación meteorológica cercana queda ubicada a alrededor de 60 kilómetros del lugar estudiado.

	Temperatura aire (°C)	Velocidad viento (m/s)	Humedad relativa (%)	Presión aire (hPa)
Enero	8.2	1.52	73	917.6
Febrero	10.8	1.76	66	918.7
Marzo	11.5	2.04	60	910.1
Abril	12.7	2.18	61	908.8
Mayo	16.3	2.00	59	911.5
Junio	21.6	2.27	53	909.9
Julio	27.4	2.21	47	912.1
Agosto	25.7	1.95	48	910.9
Septiembre	21.8	1.67	57	912.9
Octubre	18.1	1.44	67	915.3
Noviembre	15.8	1.55	72	908.6
Diciembre	8.5	1.41	75	909

Tabla 9. Parámetros climatológicos para Tragacete

El PVGIS permite por su parte seleccionar el lugar donde quiere obtenerse el valor de la radiación solar. Se extraen, por tanto, el promedio de los datos diarios de irradiancia para cada mes con una inclinación y azimut de 0°. Para no incluir una extensa tabla con los valores horarios para la radiación directa y difusa, están recogidos estos de forma gráfica mediante un diagrama 3D de superficie.

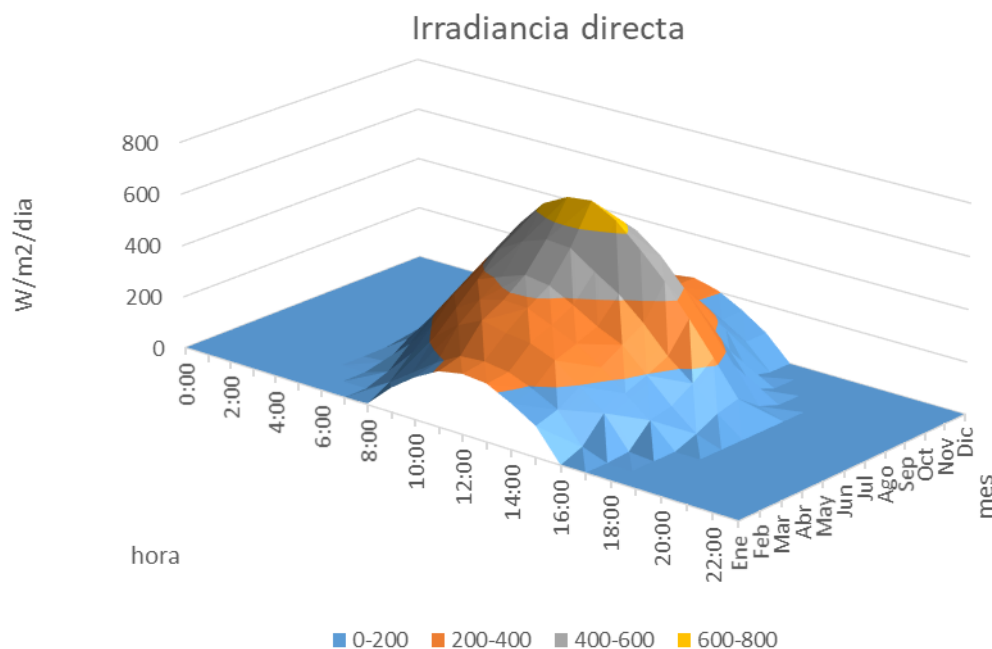


Figura 73. Valores de la irradiancia directa anual en Tragacete

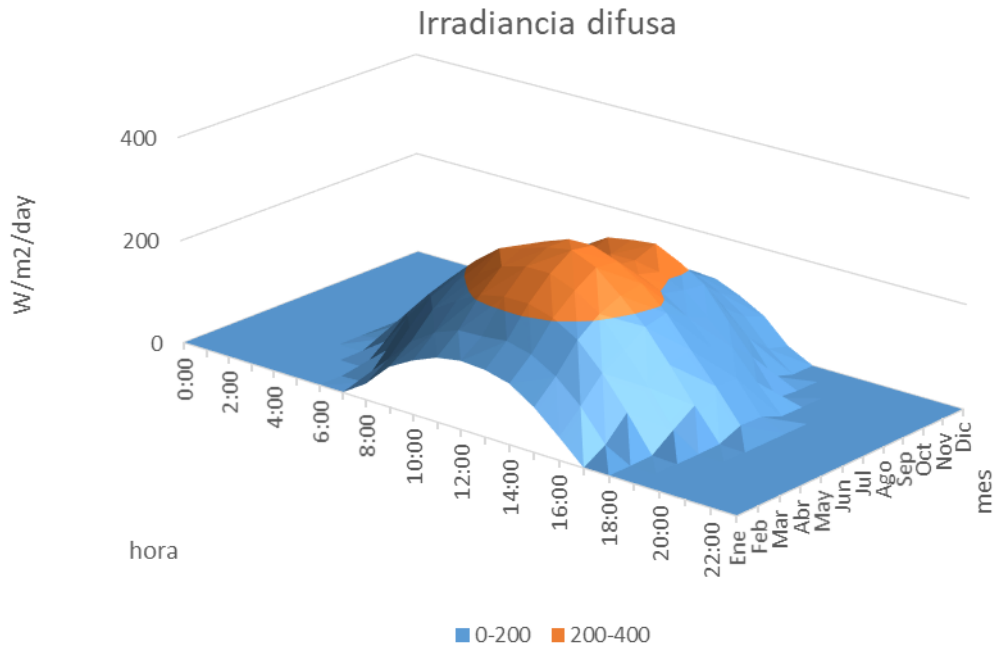


Figura 74. Valores de la irradiancia difusa anual en Tragacete

En ambos casos la distribución que sigue la irradiancia presenta los valores máximos durante el periodo estival. El pico en la radiación directa queda reflejado en el mes de julio con $689 W/m^2/día$, mientras que para la difusa, este se produce en el mes de junio con $279 W/m^2/día$. Como puede observarse durante estos meses el factor de exposición es mayor al producirse un mayor número de horas de sol al día.

Introducidos los parámetros de entrada del lugar de estudio queda disponer los valores propios que servirán para calibrar el modelo. La temperatura inicial del agua se vio afectada por los parámetros de entrada y por las aportaciones que recibe el río estando a mayor temperatura como se puede observar en la figura a continuación. Por tanto, queda dispuesta a $4^{\circ}C$ después del proceso iterativo en base a la temperatura final para el mes de diciembre. Otro de los valores para calibrarlo corresponde a la profundidad del río, que se ha determinado de forma aproximada mediante consulta fotográfica, como podían ser imágenes del tramo mostradas anteriormente, y mediante consulta de estaciones foronómicas cercanas, en este caso la estación ROEA (Red Oficial de Estaciones de Aforo) 8126 de Venta de Juan Romero (Anuario de aforos). Para este tramo se ha determinado en base a lo anterior una profundidad de 0.7 metros, como promedio anual de los 5 últimos años de registros disponibles (2013-2017). El último de los parámetros corresponde con la cobertura actual de la vegetación riparia de la zona. De manera similar al anterior, mediante consulta fotográfica y empleando el mapa de vulnerabilidad con un estado de calidad buena, se ha asociado al tramo para calibrarlo un porcentaje de cobertura del 95%. Esto reduce significativamente la repercusión que tiene la radiación solar de onda

corta directa sobre el agua, dado que queda reducida en el anterior porcentaje llevándose todo el peso la difusa.

Dispuestos el conjunto de parámetros de entrada y valores de calibración, queda recogida en la siguiente figura la simulación obtenida en el modelo de la temperatura del agua mediante la línea de color naranja.

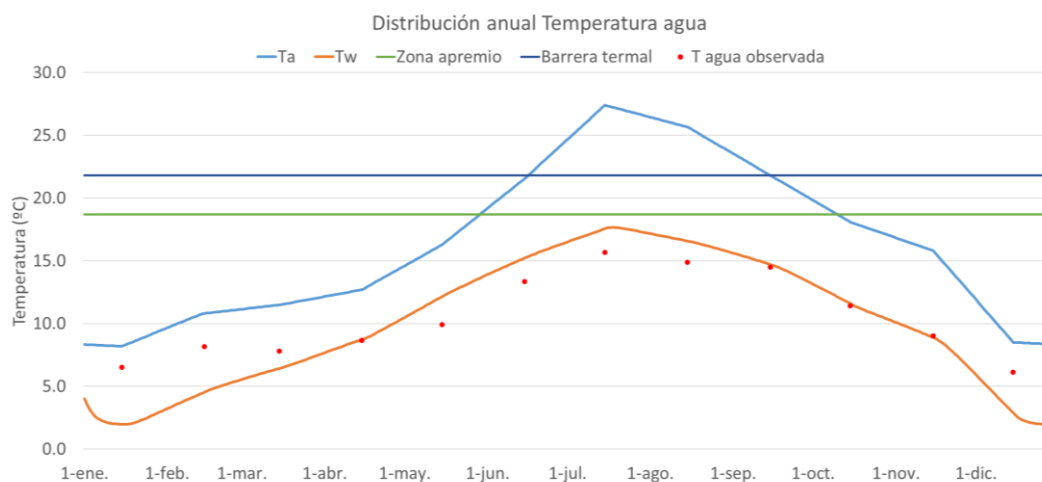


Figura 75. Simulación de la temperatura del agua para Tragacete y contraste con la observada

Los puntos rojos representan los valores promedio de la temperatura del agua muestreada por la CHJ en la serie histórica de datos, representados en la mitad de cada mes. Queda reflejado por tanto de forma gráfica la similitud entre lo observado y lo simulado.

Como puede comprobarse entre abril a noviembre la aproximación es satisfactoria produciéndose pequeñas variaciones en la temperatura por exceso. Por el contrario, los meses invernales registran diferencias mayores a 3°C por defecto, donde se considera que las aportaciones subterráneas tienen una gran importancia para mantener una temperatura del agua próxima a la del aire. Se desconoce los puntos concretos de las aportaciones, pero en base a estudios del Instituto Geológico y Minero de España (IGME), la cuenca Alta del Júcar presenta formaciones como Chorro-Colleras, Benejama o el acuífero Pontiense donde las temperaturas de estas varían entre 10 a 15°C las cuales ayudarían a mantener una temperatura del agua durante periodos fríos.

Por otro lado, en la simulación quedan recogidas dos bandas correspondientes a la entrada de la trucha común en la zona de apremio (18.7°C, línea verde) y al límite de la barrera termal (21.8°C, línea azul oscuro). En ningún caso la temperatura del agua supera la zona de apremio, ni durante el periodo estival, por lo tanto, la especie de aguas frías en el tramo de cabecera goza de las condiciones necesarias para desarrollar su población en base a la condición térmica.

6.1.2 Tramo aguas arriba del embalse de Alarcón

El punto establecido aguas arriba del embalse de Alarcón corresponde con la ubicación del puente El Castellar, recibiendo la estación de calidad de aguas el mismo nombre. El lugar se encuentra a pocos kilómetros del municipio de Mota de Altarejos y a 10 kilómetros aproximadamente de la cola del embalse.



Figura 76. Ortofoto río Júcar a su paso por azud El Castellar (Google Earth)

Como en el anterior subapartado, primero van a recogerse los valores de los parámetros de entrada del modelo promediados para cada mes. La temperatura del aire para el mes en cuestión se ha extraído de los valores medidos por las estaciones de calidad de la CHJ efectuando la media aritmética de los datos disponibles. La velocidad del viento, humedad relativa y la presión del aire se han obtenido de la estación meteorológica AEMET más próxima al punto en cuestión, en este caso la de Cuenca. Estos parámetros quedan recogidos en la siguiente tabla. Se vuelve a destacar que dentro del modelo estos valores serán interpolados, buscando reducir las variaciones por la localización, dado que la estación meteorológica en cuestión queda ubicada a alrededor de 20 kilómetros del lugar estudiado. Comparando la tabla siguiente con la de los parámetros de Tragacete, puede observarse como al alejarse de la cabecera, la temperatura del aire se incrementa sensiblemente. En cuanto a la velocidad, humedad y presión los parámetros son similares en ambos casos dado la altitud análoga entre las estaciones de Teruel y Cuenca.

	Temperatura aire (°C)	Velocidad viento (m/s)	Humedad relativa (%)	Presión aire (hPa)
Enero	9.7	1.35	73	914.9
Febrero	11.3	1.24	67	916.3
Marzo	16	2.04	60	907.8
Abril	17.5	1.92	60	906.8
Mayo	18.8	1.91	56	909.5
Junio	23.4	2.15	48	908
Julio	28.1	2.04	41	910.4
Agosto	27	1.81	45	909
Septiembre	25.2	1.7	55	910.8
Octubre	17.8	1.62	67	909.9
Noviembre	13.2	1.42	73	912.7
Diciembre	12.9	1.64	76	906.2

Tabla 10. Parámetros climatológicos para El Castellar

El PVGIS permite por su parte seleccionar el lugar donde quiere obtenerse el valor de la radiación solar. Se extraen, por tanto, el promedio de los datos diarios de irradiancia para cada mes con una inclinación y azimut de 0°. Como en el caso anterior, para no incluir una extensa tabla con los valores horarios para la radiación directa y difusa, están recogidos estos de forma gráfica mediante un diagrama 3D de superficie.

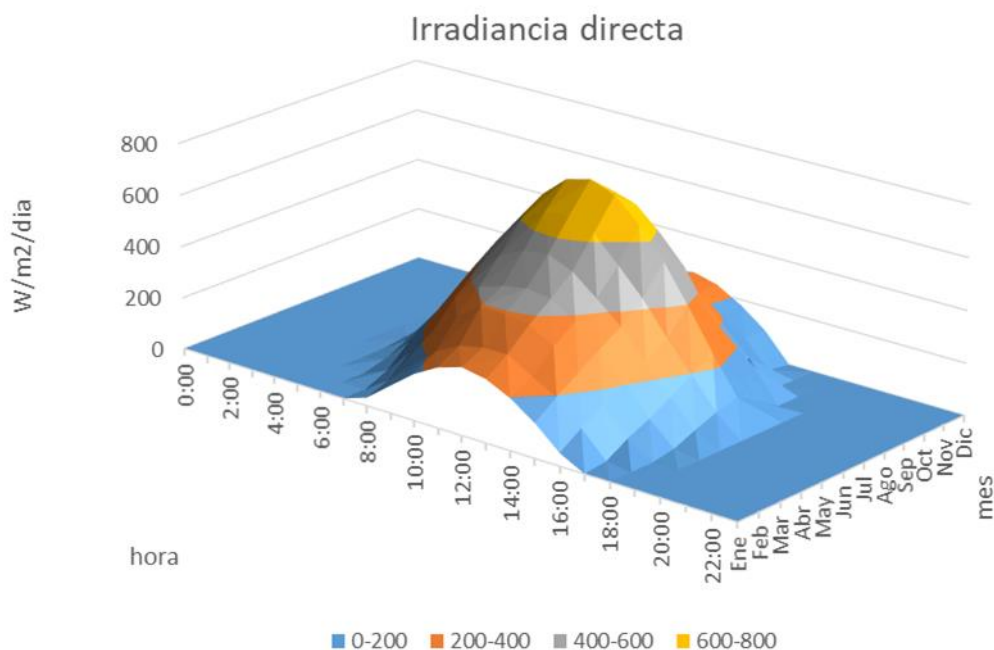


Figura 77. Valores de la irradiancia directa anual en El Castellar

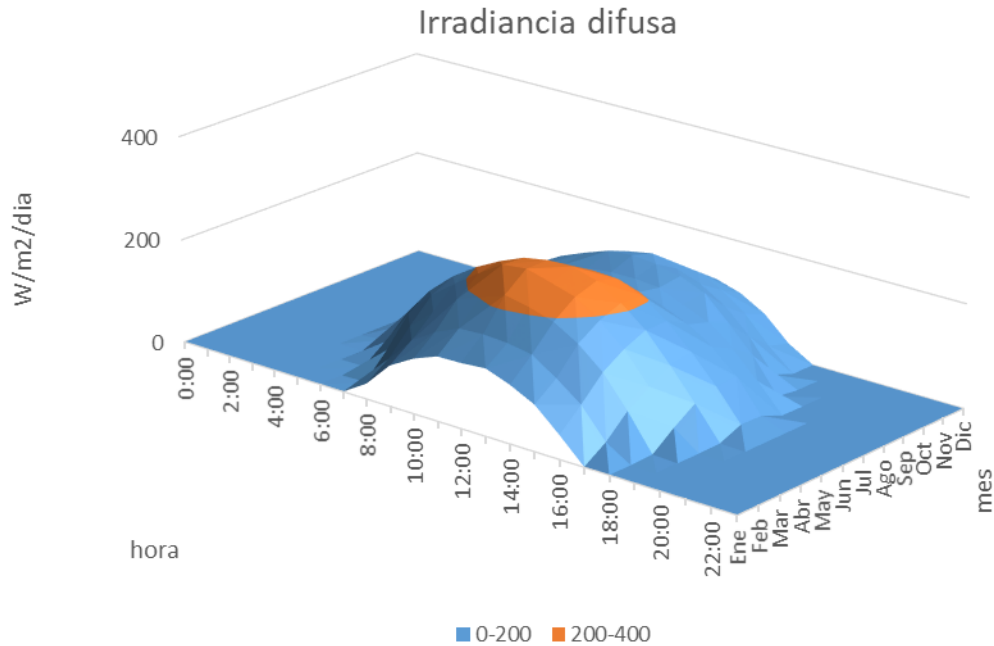


Figura 78. Valores de la irradiancia difusa anual en El Castellar

De forma similar la distribución que sigue la irradiancia presenta los valores máximos durante el periodo estival. El pico en la radiación directa queda reflejado en el mes de julio con $774 W/m^2/día$, mientras que para la difusa, este se produce en el mes de junio con $229 W/m^2/día$. Comparados con los valores en el tramo alto, la proporción de radiación directa ha aumentado mientras que la indirecta se ha reducido en proporciones casi similares. Además, durante el periodo estival, el factor de exposición es mayor al producirse un mayor número de horas de sol al día de 15 horas frente a las 10 del invierno.

Dispuestos los parámetros de entrada del lugar de estudio queda introducir los valores propios que servirán para calibrar el modelo. La temperatura inicial del agua queda determinada a $8^{\circ}C$ después del proceso iterativo en base a la temperatura final para el mes de diciembre. Otro de los valores para calibrarlo corresponde a la profundidad del río, que se ha determinado de forma aproximada mediante consulta fotográfica, como podían ser imágenes del tramo mostradas anteriormente, y mediante consulta de estaciones foronómicas, cercanas en este caso la estación ROEA 8091 de El Castellar (Anuario de aforos). Para este tramo se ha determinado en base a lo anterior una profundidad de 0.5 metros como promedio anual de los 5 últimos años de registros disponibles (2013-2017), considerando que la sección del río es bastante más reducida que en su paso por la sección rectangular de la estación de aforos. Esto repercute en el diferencial para el cálculo de la variación térmica diaria. El último de los parámetros corresponde con la cobertura actual de la vegetación riparia de la zona. De manera similar al anterior, mediante consulta fotográfica y empleando el mapa de vulnerabilidad con un estado de calidad intermedia, se ha asociado

al tramo para calibrarlo un porcentaje de cobertura del 62%, quedando reducida en el porcentaje la radiación directa.

Dispuestos el conjunto de parámetros de entrada y valores de calibración, queda recogida en la siguiente figura la simulación obtenida en el modelo de la temperatura del agua mediante la línea de color naranja.

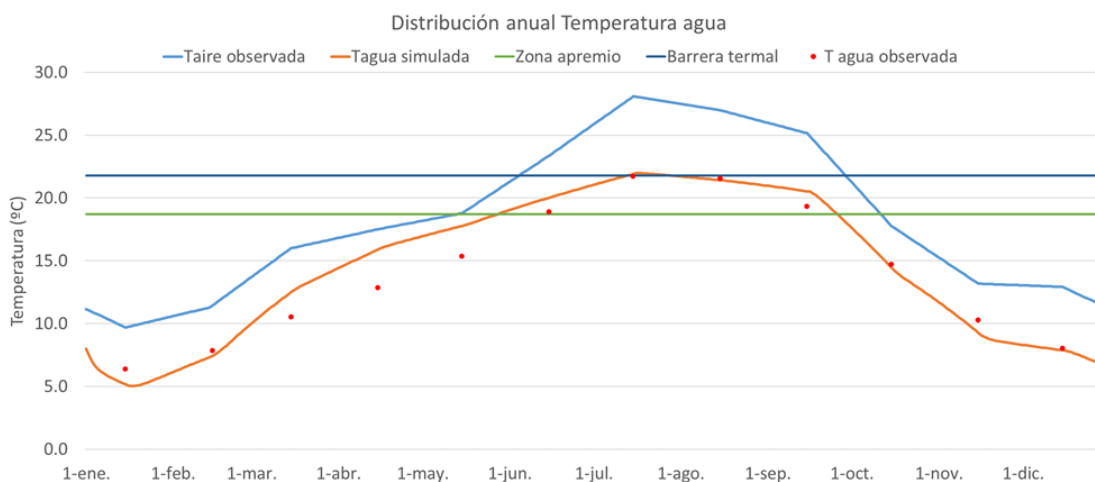


Figura 79. Simulación de la temperatura del agua para El Castellar y contraste con la observada

Los puntos rojos representan los valores promedio de la temperatura del agua muestreada por la CHJ en la serie histórica de datos, representados en la mitad de cada mes. Queda reflejado por tanto de forma gráfica la similitud entre lo observado y lo simulado.

Puede comprobarse que durante todo el año la aproximación es satisfactoria en gran medida produciéndose una pequeña variación por exceso durante el periodo de primavera de alrededor de 2°C. A diferencia de la simulación en el tramo de cabecera, para este tramo intermedio se consigue una simulación perfecta de los periodos de mayor frío y calor, siendo de los tres lugares estudiados el de mayor correlación de temperaturas. Este punto por tanto ayudará a validar el modelo.

Como en el caso anterior, en la simulación quedan recogidas las bandas correspondientes a la entrada de la trucha común en la zona de apremio (18.7°C, línea verde) y al límite de la barrera termal (21.8°C, línea azul oscuro). La temperatura del agua supera la zona de apremio fisiológico durante 153 días, lo que corresponde con algo más del periodo estival. Esta exposición prolongada fuera de la zona optima podría reducir la población presente durante el verano. Por otro lado, el límite con la barrera termal queda rebasado durante 18 días lo cual, al no ser un periodo mayor a un mes, no ve reducido completamente su hábitat.

6.1.3 Tramo aguas arriba del embalse El Molinar

El último lugar estudiado corresponde con el río Júcar a su paso por la población de Alcalá del Júcar, este sitio se encuentra a 14 kilómetros aproximadamente de la cola del embalse de El Molinar.



Figura 80. Ortofoto río Júcar a su paso por Alcalá del Júcar (Google Earth)

De idéntica forma a los anteriores tramos, primero van a recogerse los valores de los parámetros de entrada del modelo promediados para cada mes. La temperatura del aire para el mes en cuestión queda extraída de los valores medidos por las estaciones de calidad de la CHJ efectuando la media aritmética de los datos disponibles. La velocidad del viento, humedad relativa y la presión del aire se han obtenido de la estación meteorológica AEMET más próxima al punto en cuestión, en este caso la de Albacete. Estos parámetros quedan recogidos en la siguiente tabla. Se vuelve a destacar que dentro del modelo estos valores serán interpolados, buscando reducir las variaciones por la localización, dado que la estación meteorológica en cuestión queda ubicada a alrededor de 40 kilómetros del lugar estudiado.

Realizando la misma comparativa con las tablas anteriores, puede observarse como al estudiar un tramo más bajo, la temperatura del aire se incrementa sensiblemente durante los meses de verano y disminuye durante el invierno. En cuanto a la velocidad, humedad y presión los parámetros son similares, produciéndose un ligero ascenso en las dos primeras y más notable en la presión al reducirse la altitud.

	Temperatura aire (°C)	Velocidad viento (m/s)	Humedad relativa (%)	Presión aire (hPa)
Enero	9.3	1.87	77	947.2
Febrero	12.3	2.06	71	948.2
Marzo	16.8	2.42	63	939.9
Abril	16.1	2.34	60	938.7
Mayo	24	2.16	55	940.7
Junio	23.4	2.08	49	938.9
Julio	28.9	2.13	44	940.5
Agosto	28.5	1.89	49	939.2
Septiembre	24.7	1.57	59	941.7
Octubre	15.1	1.48	70	941.5
Noviembre	13	1.78	76	944.4
Diciembre	10.8	1.61	80	938.7

Tabla 11. Parámetros climatológicos para Alcalá del Júcar

El PVGIS queda seleccionado al lugar donde quiere obtenerse el valor de la radiación solar y se extrae el promedio de los datos diarios de irradiancia para cada mes con una inclinación y azimut de 0°. Como en los apartados anteriores, para no incluir una extensa tabla con los valores horarios para la radiación directa y difusa, están recogidos estos de forma gráfica mediante un diagrama 3D de superficie.

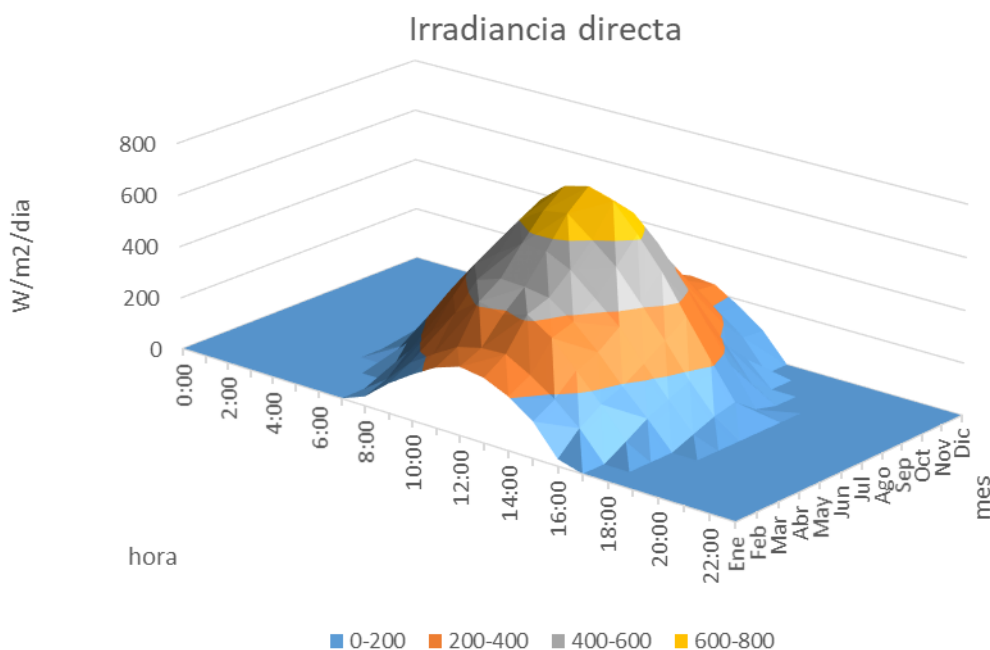


Figura 81. Valores de la irradiancia directa anual en Alcalá del Júcar

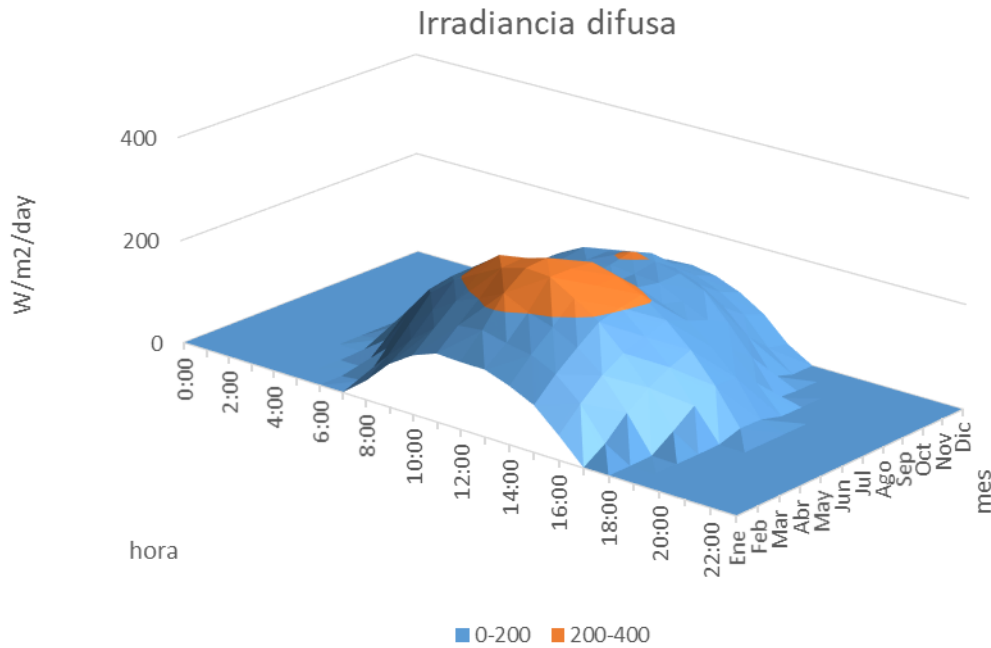


Figura 82. Valores de la irradiancia difusa anual en Alcalá del Júcar

De igual forma, la distribución que sigue la irradiancia presenta los valores máximos durante el periodo estival. El pico en la radiación directa queda reflejado en el mes de julio con 747 W/m²/día, mientras que para la difusa, este se produce en el mes de junio con 246 W/m²/día. Comparados con los valores en el tramo anterior, la proporción de radiación directa ha disminuido mientras que la indirecta ha aumentado en proporciones similares como había sucedido en la primera comparativa. Se tiene igualmente durante el periodo estival 15 horas de radiación al día frente a las 10 del invierno.

Dispuestos los parámetros de entrada del lugar de estudio queda introducir los valores propios que servirán para calibrar el modelo. La temperatura inicial del agua queda determinada a 6°C después del proceso iterativo en base a la temperatura final para el mes de diciembre. Otro de los valores para calibrarlo corresponde a la profundidad del río, que se ha determinado de forma aproximada mediante consulta fotográfica, como podían ser imágenes del tramo mostradas anteriormente, y mediante consulta de estaciones foronómicas cercanas, en este caso la estación ROEA 8144 de Alcalá del Júcar (Anuario de aforos). Para este tramo se ha determinado en base a lo anterior una profundidad de aproximadamente 0.4 metros como promedio anual de los 2 últimos años de registros disponibles (2016-2017). El último de los parámetros corresponde con la cobertura actual de la vegetación riparia de la zona. Siendo como en los casos anteriores, mediante consulta fotográfica y empleando el mapa de vulnerabilidad con un estado de calidad mala, se ha asociado al tramo para calibrarlo un porcentaje de cobertura del 54%, quedando reducida en este la radiación directa.

Dispuestos el conjunto de parámetros de entrada y valores de calibración, queda recogida en la siguiente figura la simulación obtenida en el modelo de la temperatura del agua mediante la línea de color naranja.

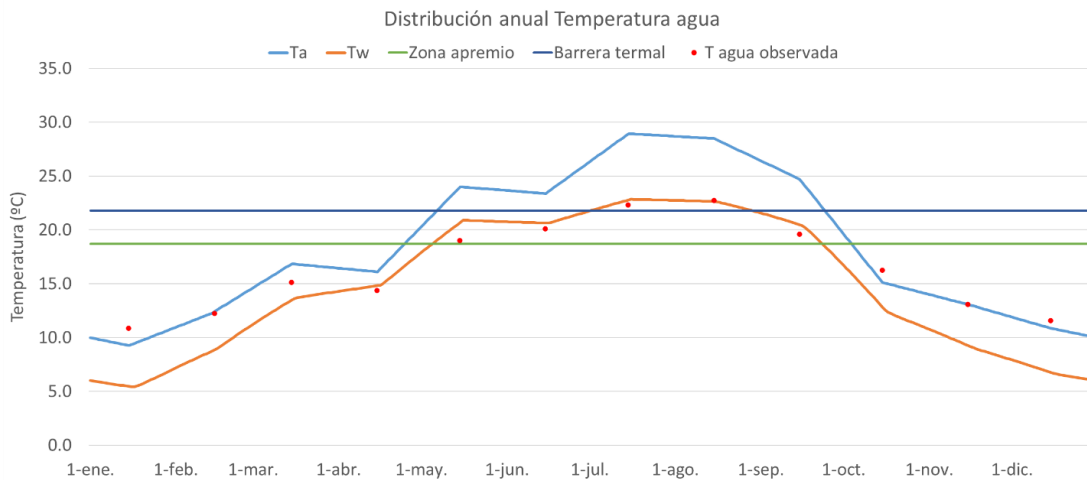


Figura 83. Simulación de la temperatura del agua para Alcalá del Júcar y contraste con la observada

Los puntos rojos representan los valores promedio de la temperatura del agua muestreada por la CHJ en la serie histórica de datos, representados en la mitad de cada mes. Queda reflejado por tanto de forma gráfica la similitud entre lo observado y lo simulado.

Se observa como la aproximación realizada, de los tres tramos estudiados, es la menos buena, produciéndose una variación por defecto durante el periodo de otoño e invierno de hasta 4°C. Considerar también que para el periodo de máximas temperaturas se produce una muy buena aproximación, lo cual servirá para la simulación de futuros escenarios en apartados siguientes. De igual forma que en la simulación en el tramo de cabecera, para este tramo intermedio de la cuenca se considera que las aportaciones subterráneas tienen una gran importancia para mantener una temperatura del agua próxima a la del aire durante los periodos fríos, pero se desconocen y aproximan térmicamente como en cabecera por el estudio del IGME.

Al igual que en los anteriores tramos, en la simulación quedan recogidas ambas bandas correspondientes a la entrada de la trucha común en la zona de apremio (18.7°C, línea verde) y la barrera termal (21.8°C, línea azul oscuro). La temperatura del agua supera la zona de apremio fisiológico durante 141 días, periodo aproximado del verano. Esta exposición prolongada fuera de la zona optima podría reducir la población presente durante el verano. El dato más importante corresponde con el límite con la barrera termal que queda rebasado durante 59 días lo cual es un periodo excesivo y la trucha ve reducido completamente su hábitat como se observaba en los mapas de exposición.

6.2 Simulación del comportamiento en embalses

Debido a la importancia que representa el embalse de Alarcón como masa de agua en el conjunto del estudio y en la Demarcación es necesario simular su comportamiento como en el caso de los tramos estudiados. Para ello, como ha venido introduciéndose anteriormente, la diferencia térmica es bastante significativa entre el agua que se encuentra en superficie y la de mayor profundidad. Por lo tanto, a continuación, se simulará el comportamiento a lo largo del año para una capa superficial (entre 1 y 5 metros de profundidad) y una profunda (entre 33 y 40 metros) para contrastar los valores representados por el modelo y la media de la serie de la CHJ.

Como parámetros de entrada, por proximidad a El Castellar, se emplean los datos correspondientes de la estación meteorológica de Cuenca y los propios de la temperatura del aire de la zona como consecuencia de la falta de disponibilidad de estos últimos en el lugar del embalse. De la misma manera, por proximidad se extrapolan los valores provenientes del PVGIS al observar escasa variación por la pequeña diferencia espacial entre ambos puntos.

Establecidos los parámetros de entrada, se indican los valores que se emplearán para calibrar el modelo en el embalse. La temperatura inicial del agua queda determinada a 8°C después del proceso iterativo obtener una temperatura final para el mes de diciembre de 9.7°C. Los valores para la profundidad son los anteriores mencionados y para la cobertura actual de la vegetación riparia de la zona, pese a que empleando el mapa de vulnerabilidad este indica una calidad intermedia, al ser una masa de agua muy modificada el porcentaje de cobertura se ha reducido a un 25% para la zona de agua superficial.

La cobertura para la radiación solar directa en los estratos profundos se dispondrá como el 100% de esta, no como consecuencia de la vegetación de ribera sino por las profundidades mencionadas. Esto es como resultado de que las capas más profundas estarían ya alejadas de la zona fótica del embalse que es hasta donde alcanza la luz. Esta estructura vertical queda determinada por la penetración de la radiación solar fotosintéticamente activa en los sistemas acuáticos para producir o descomponer materia orgánica. Esta penetración depende de la absorción luminosa propia del agua, pero sobretodo de la absorción debida a los componentes disueltos y a los componentes en suspensión como se ha interpretado en base al estudio consultado de la universidad de Granada *Atenuación de luz en embalses del sur-este de la Península Ibérica* (León-Palmero, E., Reche, I., Morales-Baquero, R., 2017). Sin profundizar en mayor medida en el tema, ya que se aleja del objeto de este trabajo, esta profundidad se determina en el estudio mencionado para 12 embalses, mediante el coeficiente de extinción vertical de la luz y de la profundidad de visión del disco de Secchi.

Estos valores serán propios para cada masa de agua, siendo desconocidos para el embalse de Alarcón, por lo tanto, como la mayor profundidad fótica conseguida en el estudio de los embalses es de 25.6 metros, se considera que se sobrepasa esta zona para Alarcón y no alcanza radiación solar directa a la hora de simular la temperatura del agua. Los resultados tanto a nivel superficial como en profundidad quedan recogidos en la siguiente figura.

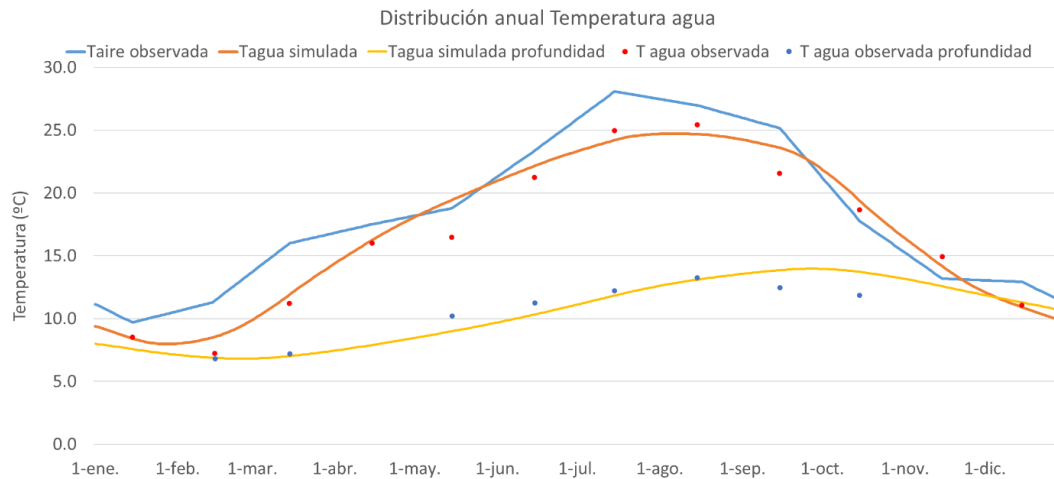


Figura 84. Simulación de la temperatura del agua para el embalse de Alarcón y contraste con la observada

Como se puede observar, la modelización de la temperatura del agua a partir de 33 metros de profundidad proporciona un buen ajuste con los valores observados, presentando una temperatura anual contenida entre los 7 a 14°C. Por otro lado, a nivel superficial se produce una mayor variación en los valores obtenidos, pero en promedio el ajuste que realiza la curva se adapta de forma satisfactoria a los observados. La temperatura anual queda contenida en un intervalo mayor que en el caso anterior, presentando 9°C en invierno y hasta 25°C durante el mes de julio. Debido a esto, durante 113 días se supera la barrera termal, correspondiente al periodo estival.

Recalcar nuevamente como se veía en los perfiles de oxígeno disuelto que a partir del mes de mayo se entraba ya en zona de hipoxia y de estrés, estando en niveles de anoxia de septiembre a noviembre. Como se comentaba en apartados anteriores, una problemática que se presenta a nivel de embalse resulta que para los meses que la temperatura superficial es más alta, la especie de aguas frías podría encontrar dificultades viendo su hábitat potencial reducido debido a que las capas profundas la concentración de oxígeno disuelto se encuentra en intervalos desfavorables para la población piscícola. Por lo tanto, si se considera efectuar desembalses hipolimnics para reducir la temperatura del río, el agua que aportaría sería más fría pero pobre a niveles de oxígeno.

6.3 Validación del modelo

Una vez valorados los resultados aportados por las simulaciones, se concluye que de los tres tramos estudiados el que mejor representa la realidad observada por la correlación que muestra es el de El Castellar, ubicado en la siguiente figura antes del embalse de Alarcón. Para el proceso de validación van a tomarse los extremos de temperatura del aire correspondientes al mes de enero como el más frío y el mes de julio como el más caluroso. Por lo tanto, se tomará el promedio de la serie de datos observados de la CHJ entre 1998 y 2020 para cada mes con los parámetros de entrada propios de estos.

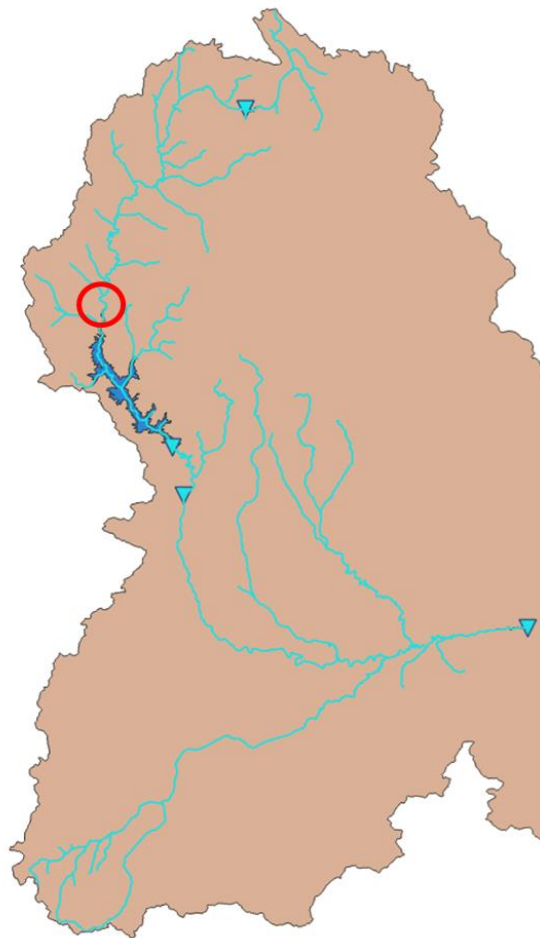


Figura 85. Localización del punto de validación dentro de la zona de estudio

Para ambos meses de validación, se emplean los calados medidos en la estación de aforos ROEA 8091 El Castellar, ubicada a 6 kilómetros aguas abajo del punto de estudio. Para esto hay que considerar que, como se realizó en la simulación del tramo, la sección del río en el punto estudiado es del orden de la mitad que la correspondiente a la estación de aforos como ha podido comprobarse en las ortofotos. Se ha efectuado la simplificación en base a los datos disponibles, considerando que la curva de gasto no será

igual en una sección de hormigón como es la de la estación de aforos a una sección transversal natural de cauce, que el calado sea del doble al ser la mitad la sección.

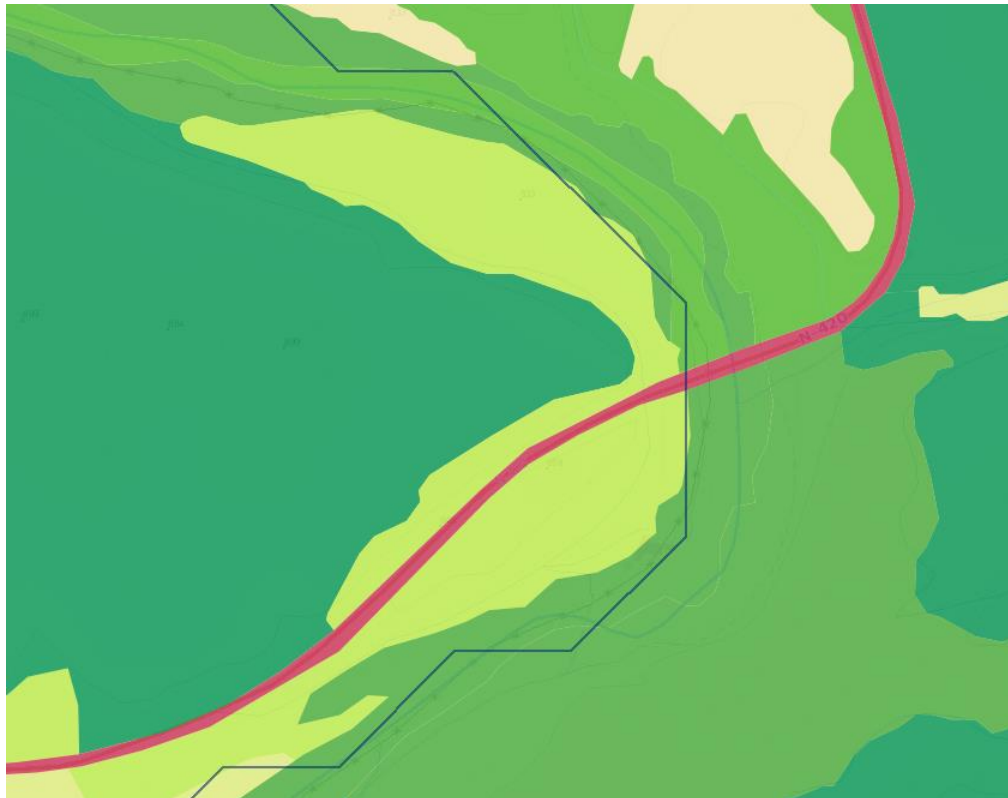


Figura 86. Estación de aforos ROEA 8091 El Castellar (Google Earth)

6.3.1 Enero

Para la caracterización de los parámetros de calibración se parte de los valores iniciales empleados en el tramo de El Castellar y se considera el efecto estacional como condiciones de contorno. Respecto a la profundidad del río Júcar, para el mes de enero, el calado queda determinado a 0.5 metros como promedio anual de los 5 últimos años de registros disponibles en base al Anuario de aforos para este mes.

Por otro lado, la vegetación de ribera de la zona colindante corresponde a bosque de frondosas como muestra el mapa siguiente proveniente del SIOSE. Esta queda conformada principalmente por álamo o chopo negro y por sauces, ambos de hoja caduca o semiperenne en algunas familias de esta última especie. Por ello la cobertura de la vegetación de ribera sufrirá una reducción hasta un 35%, por tanto, reduce en menor medida la radiación solar directa.



Cubierte terrestre SIOSE
(Escala > 1:100.000)

- | | |
|--|---|
|  Prado |  Bosque de coníferas |
|  Combinación de cultivos |  Bosque mixto |
|  Combinación de cultivos con vegetación |  Pastizal o herbazal |
|  Bosque de frondosas |  Matorral |
| |  Combinación de vegetación |

Figura 87. Usos del suelo circundantes a la localización El Castellar (adaptación SIOSE)

Siendo estos parámetros constantes de igual forma que los valores de entrada de humedad, velocidad del viento y presión, la única variable que cambia entre los sucesivos años será la temperatura del aire en base a los valores observados. Como último parámetro, la temperatura inicial del agua queda determinada a 5°C después del proceso iterativo obtener una temperatura final para el último de los años simulados de 5.4°C.

En la siguiente figura queda representada mediante la línea azul la temperatura del aire observada de la serie, con la línea naranja la temperatura del agua simulada y con los puntos rojos los valores anuales de la temperatura del agua observada para el mes.

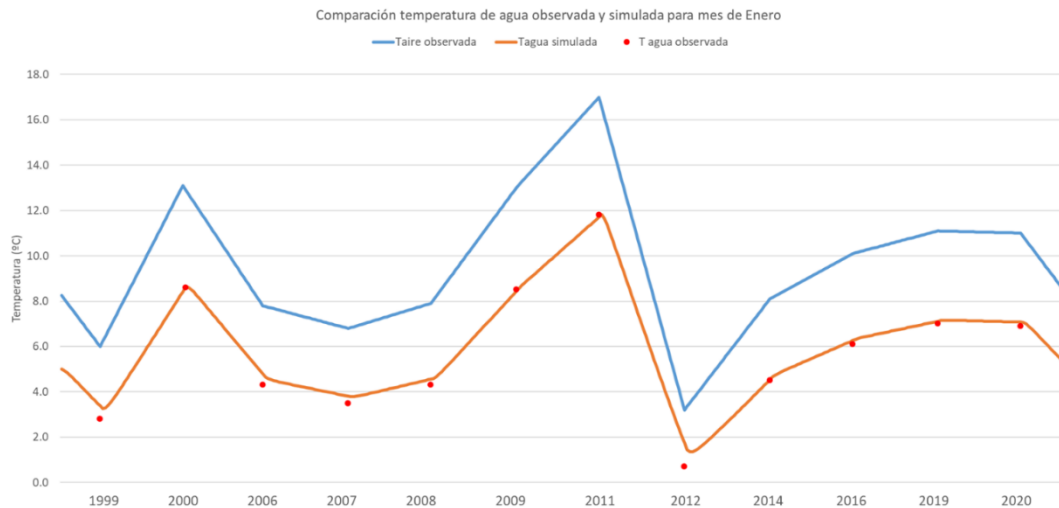


Figura 88. Simulación, contraste y validación de la temperatura del agua para El Castellar para la serie promedios anuales observados del mes de enero entre 1998 a 2020

La variación promedio de la media aritmética de la temperatura del agua simulada con los valores observados para los 12 años de datos disponibles es inferior a 1°C, por lo tanto, se concluye que el ajuste es satisfactorio validándose la simulación en el tramo El Castellar para el mes más frío.

6.3.2 Julio

De idéntica forma que, en el subapartado anterior, la caracterización de los parámetros de calibración quedan conformados por los valores iniciales empleados en el tramo de El Castellar, se tiene también en cuenta la consideración del efecto estacional como condiciones de contorno. Respecto a la profundidad del río Júcar, para el mes de enero, el calado queda determinado a 0.4 metros como promedio anual de los 5 últimos años de registros disponibles en base al Anuario de aforos para este mes.

La vegetación de ribera de la zona colindante corresponde como se ha mencionado a bosque de frondosas. La cobertura de esta no sufrirá una reducción de follaje al ser un mes estival, por lo tanto, se emplea como factor de cobertura un 62%. Esto reducirá en la máxima medida la radiación solar directa como sucedía en la simulación anual del tramo.

Estos parámetros son constantes de igual forma que los valores de entrada de humedad, velocidad del viento y presión, la única variable que se modifica entre los sucesivos años es la temperatura del aire en base a los valores observados. Como último parámetro, la temperatura inicial del agua queda determinada a 23°C después del proceso iterativo obtener una temperatura final para el último de los años simulados de 22.6°C.

En la siguiente figura queda representada mediante la línea azul la temperatura del aire observada de la serie, con la línea naranja la temperatura del agua simulada y con los puntos rojos los valores anuales de la temperatura del agua observada para el mes.

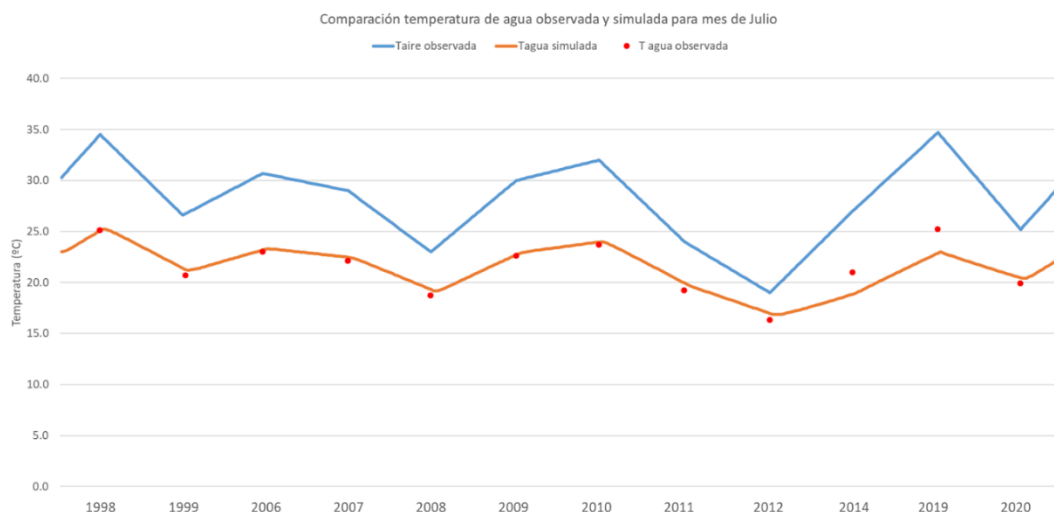


Figura 89. Simulación, contraste y validación de la temperatura del agua para El Castellar para la serie promedios anuales observados del mes de julio entre 1998 a 2020

La variación promedio de la media aritmética de la temperatura del agua simulada con los valores observados para los 12 años de datos disponibles es de 1.1°C, por lo tanto, se concluye que el ajuste es satisfactorio al estar en el entorno de 1°C validándose así la simulación en el tramo El Castellar para el mes más caluroso.

A efectos del estudio cabe destacar que el periodo estival corresponde al más peligroso por la subida de las temperaturas como consecuencia del cambio climático. Debido a esto hay que considerar que las mejores correlaciones deben presentarse para los meses de julio y agosto. Por lo tanto, una vez validado van a compararse de los tres tramos la variación estos meses entre lo observado y lo simulado:

- Tragacete:
 - Julio: 1.6°C
 - Agosto: 1.6°C
- El Castellar:
 - Julio: 0
 - Agosto: 0.2°C
- Alcalá del Júcar:
 - Julio: 0.2°C
 - Agosto: 0.3°C

Por presentar mayor correlación, se simulará El Castellar en el apartado correspondiente para determinar las consecuencias del cambio climático.

7 Resultados del modelo térmico del agua.

Después de la simulación de los tramos y la validación del modelo, uno de los primeros hitos que se consigue, como se mencionaba anteriormente, es determinar que el modelo desarrollado para este trabajo refleja en muy buena medida el comportamiento que presenta el río Júcar en el tramo estudiado del puente de El Castellar. Este tramo correspondiente al curso alto del Júcar dentro de la provincia de Cuenca tiene una gran importancia dada su localización a pocos kilómetros de la cola del embalse de Alarcón. Permite por tanto caracterizar y estudiar la evolución de la temperatura del agua que llega al embalse, así como analizar posibles efectos y evaluar las medidas a medio plazo dado que el riesgo está comprendido entre alto y muy alto.

Por lo tanto, se analizarán los resultados obtenidos para caracterizar como es el flujo de energía del río por un lado; y por el otro va a determinarse gracias al modelo cuanta influencia tiene la vegetación de ribera sobre la temperatura del agua.

7.1 Balance energético del agua

Para empezar a comentar los resultados obtenidos, se muestra en primer lugar cual es el flujo de energía en el río para este punto a lo largo del año. De los parámetros citados en el modelo se puede observar como las componentes siguen una distribución normal, produciéndose los mayores niveles de energía para el mes de julio.

El balance va a representarse en un diagrama de columnas donde cada mes estará compuesto por tres de las mismas. Por un lado, está representado el flujo de energía positivo, el cual genera un aumento de la temperatura del agua como consecuencia de la entrada de energía al balance. Esta corresponde a la primera de las tres columnas de la siguiente figura compuesta por los colores azul y verdes. Por otro lado, está el flujo de energía negativo, que comporta una pérdida de energía del agua. Corresponde con la segunda columna representada en valor absoluto y conformada por colores cálidos. La tercera columna corresponde con el balance final del flujo y muestra la diferencia final del balance entre las entradas y salidas de energía. Como se observa el balance es sensiblemente similar por la parte positiva y la negativa siendo los factores determinantes que más aportan la radiación de onda larga y onda corta del aire y por el otro la radiación de onda larga del agua. De este puede determinarse que, cuando el balance es positivo, dentro del mes la temperatura del agua

aumenta y viceversa cuando es menor. Refleja por tanto la tendencia vista durante la simulación.

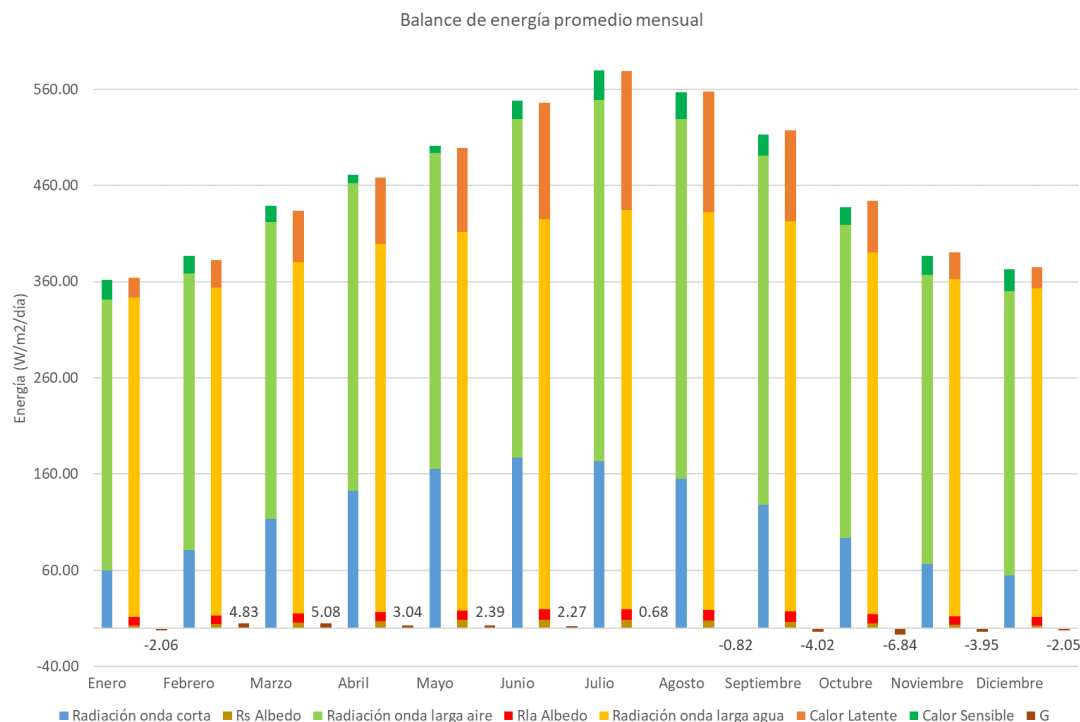


Figura 90. Diagrama de flujo de energía con entradas, salidas y balance global

Destacar del balance como el calor sensible es positivo o negativo en función de la diferencia que se produce entre la temperatura del agua y el aire. En función del grado de cobertura la radiación de onda corta tendrá mayor o menor peso, nunca anulándose, ya que la vegetación de ribera influye sobre la parte correspondiente a la radiación directa sin afectar a la difusa.

Denotar que pese al gran peso que ejerce la radiación de onda larga del agua debido a la emisividad de esta, el promedio de la **emisividad del aire** en base a los autores consultados establece una media entorno a un **77%** mientras que se ha tomado por el mismo motivo un valor para la **del agua del 97%**. Por tanto, pese a que la temperatura del agua es menor a la del aire, esta primera emite más radiación al aire de la que recibe por el mismo tipo de onda. Igualmente hay que destacar que ambas componentes se basan en la emisión de radiación infrarroja por diferencia de temperaturas. De tener dos cuerpos conformados por el mismo material y estando a la misma temperatura ambos emitirían y recibirían entre ellos la misma energía y por lo tanto, estarían en equilibrio. En la siguiente figura se aprecia como el agua y el aire mantienen un determinado equilibrio para cada mes siendo la diferencia entre ambas energías de $50 \text{ W/m}^2/\text{día}$ ocasionado por la diferencia entre las emisividades como se comentaba anteriormente.

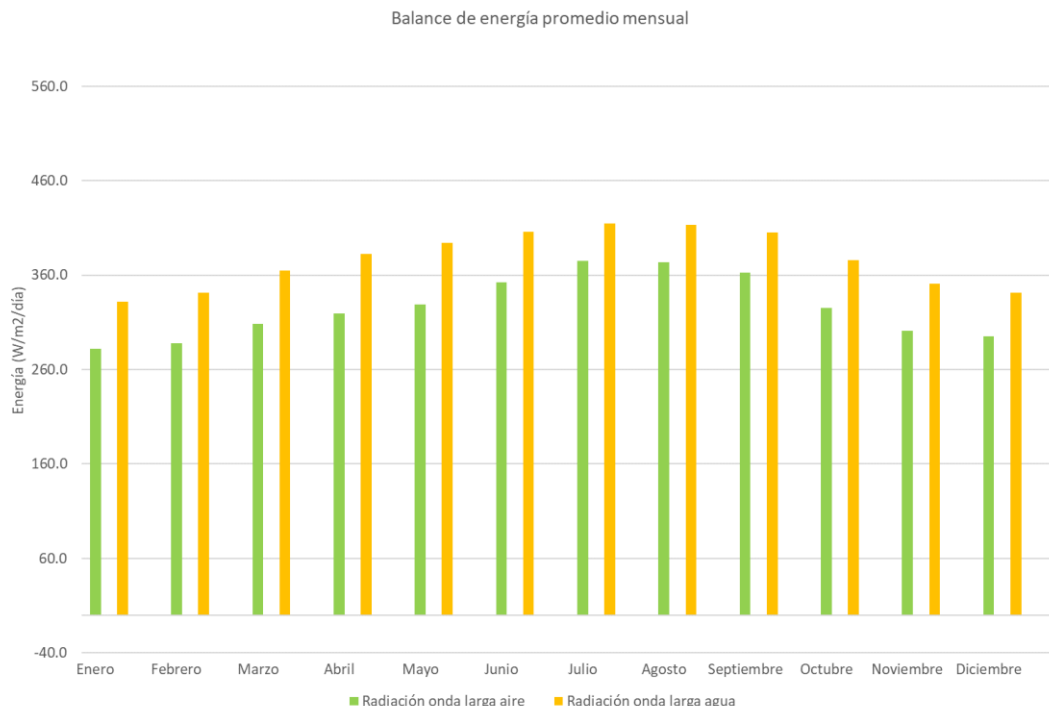


Figura 91. Equilibrio entre la radiación de onda larga del aire entrante y la radiación de onda larga del agua saliente

En el balance global diario una energía prácticamente compensa a la otra presentando así especial relevancia la cobertura vegetal para reducir la radiación solar incidente. Por tanto, este es el fenómeno radiativo más importante del balance que produce el aumento de la temperatura del agua como se observa en la siguiente figura.

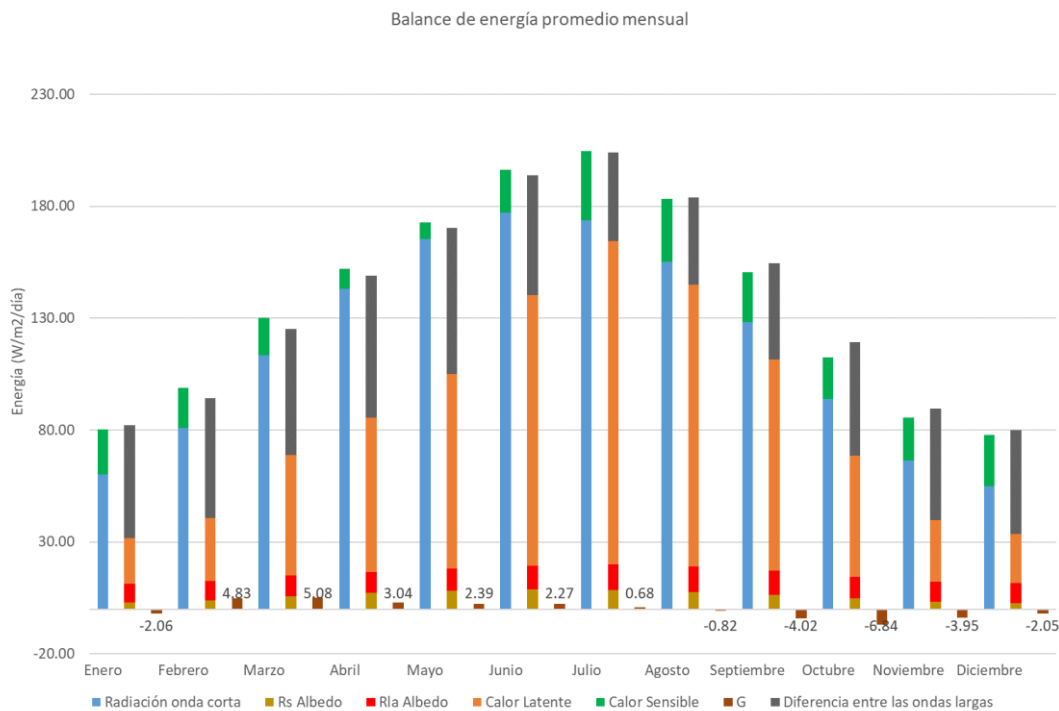


Figura 92. Balance global con el diferencial de radiaciones de ondas largas

Recordar también de los elementos mencionados que conforman el balance cuál es su origen:

- Radiación de onda corta: energía proveniente de la radiación solar la cual es la suma de la directa y la difusa.
- Albedo proveniente de la radiación de onda corta: parte de la energía reflejada de vuelta a la atmosfera proveniente de la radiación de onda corta.
- Radiación de onda larga del aire: radiación de cuerpo negro proveniente de la atmosfera que depende principalmente de la temperatura del aire.
- Albedo proveniente de la radiación de onda larga: parte de la energía reflejada de vuelta a la atmosfera proveniente de la radiación de onda larga del aire (del aire al agua) la cual depende de la temperatura del aire.
- Radiación de onda larga del agua: de forma similar, el agua también emite radiación de onda larga (del agua al aire) la cual depende de la temperatura del agua.
- Calor latente: fenómeno derivado de la evaporización y la condensación, producido cuando la energía provoca un cambio de estado en la sustancia. Es función de la velocidad del viento y la presión de vapor.
- Calor sensible: fenómeno derivado de la conducción y convección, se produce por intercambio de calor entre cuerpos de diferentes temperaturas en contacto directo. La energía cinética de las partículas se transmite como consecuencia de sus colisiones. Es función de la velocidad del viento y la diferencia de temperaturas entre aire y agua.
- G: balance energético global como resultado de la adición de todos los términos.

7.2 Influencia de la cobertura vegetal

Uno de los aspectos claves a la hora de combatir el cambio climático pasa por aprovechar el dosel arbóreo que ofrece la vegetación de ribera como herramienta de gestión para reducir la radiación solar directa que llega a la superficie del agua. El proyecto REFRESH (REFRESH, 2014) bajo el marco de medio ambiente, incluido en este el cambio climático, de la Unión Europea estudió en arroyos templados de tierras bajas en Dinamarca. Determinó como la presencia de bosque ribereño tiene un efecto de enfriamiento que resulta significativo para coberturas de entre 75 y 90% con tramos continuos no necesariamente demasiado extensos.

Para este proyecto, se ha podido comprobar mediante el modelo desarrollado como serían las consecuencias de no existir vegetación de ribera. Como muestra la figura siguiente, la temperatura del agua aumentaría todo el año, siguiendo una distribución normal, imitando la temperatura del aire. Esto comportaría que la trucha común estaría en la zona de apremio desde el mes de abril hasta octubre y cruzando la barrera termal desde abril hasta octubre también. Este extenso periodo de tiempo tendría consecuencias fatales para la especie dado que quedaría anulado su hábitat útil.

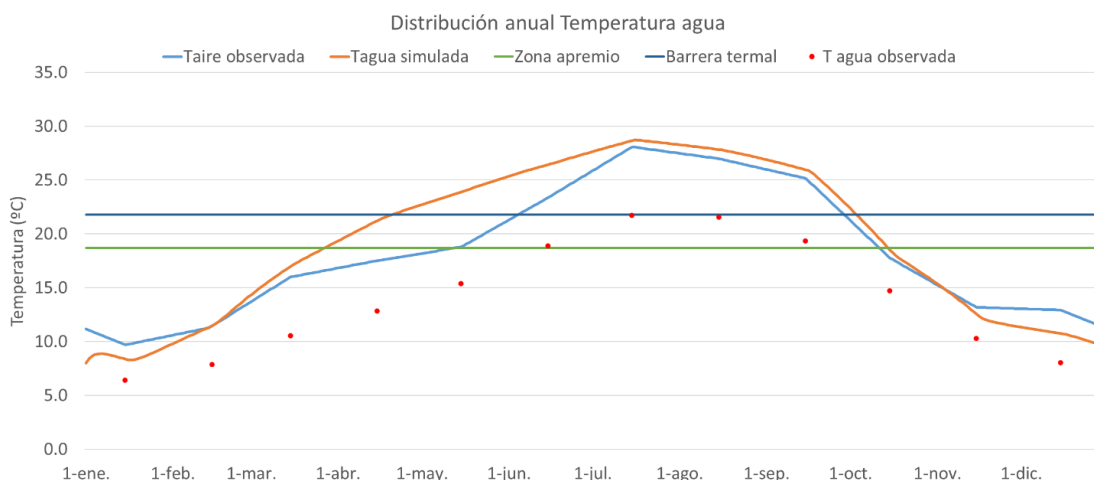


Figura 93. Simulación del comportamiento térmico del río con 0% cobertura vegetal

Por otro lado, se ha comprobado como si el río estuviese cubierto al 100%, la radiación solar directa sería nula, esto comportaría que la temperatura del agua sería 11.1°C menor que la del aire para el mes de Julio. Con ello se tendría una temperatura del agua para todo el año que se mantendría por debajo de la zona de apremio, con una temperatura del agua para el periodo estival por debajo de los 17°C. Esto supone que de la situación actual se reduciría casi 5°C como puede observarse en la figura a continuación.

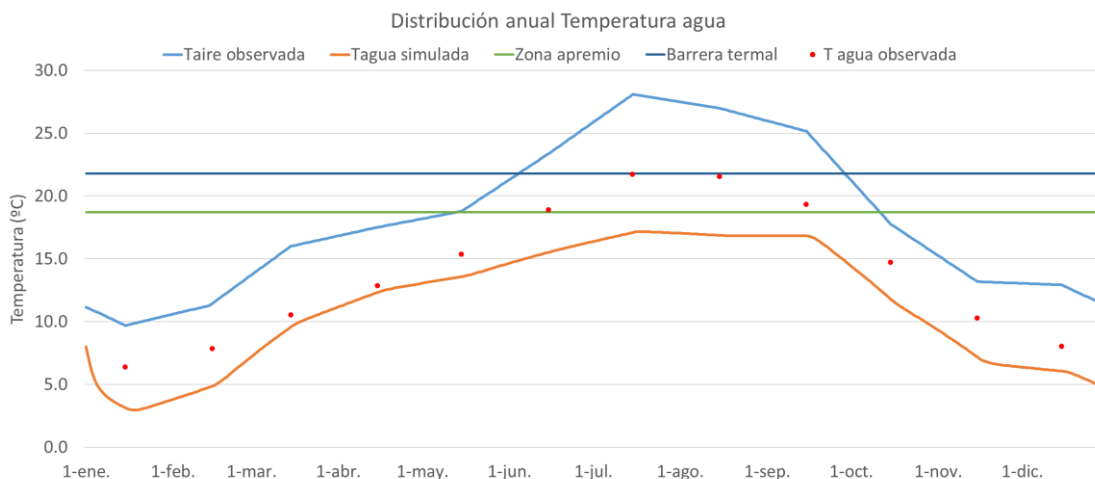


Figura 94. Simulación del comportamiento térmico del río con 100% cobertura vegetal

La variación más significativa está reflejada durante el verano, siendo estos los meses más desfavorables de cara a los efectos del cambio climático por ser los que conllevan mayor temperatura del aire, por lo cual queda comprobado que la cobertura de la vegetación de ribera tiene efectos beneficiosos directos como se mencionaba al principio del subapartado.

A forma de correlación, queda recogida la relación reflejada por el modelo de forma gráfica mediante la siguiente figura. Como eje de abscisas está dispuesta la temperatura del agua y en ordenadas en el origen queda el porcentaje de cobertura vegetal relacionado. Queda ajustado por tanto a la nube de puntos para la temperatura promedio del mes de julio un polinomio de grado 2 que presenta un coeficiente de determinación del 99%.

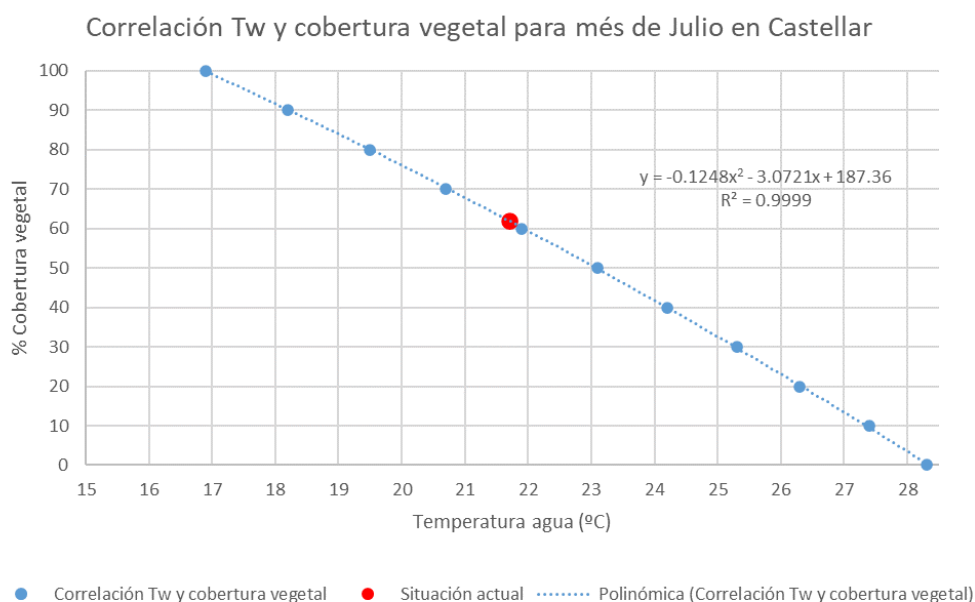


Figura 95. Correlación entre la temperatura del agua y el grado de cobertura vegetal

Por lo tanto, mediante la correlación, se puede determinar como para estar por debajo de la barrera termal de 21.8°C (en valores promedios para el mes) se necesitaría estrictamente un 61% de cobertura riparia. Esto como se ha comprobado en la simulación del tramo, para un 62% de cobertura había 18 días que no cumplían. Aquí se tratan por tanto valores promedio, por lo que el balance de la media ponderada de las temperaturas del agua para el mes estará por debajo del límite, de forma que se mantiene por debajo de 28 días el tiempo de exposición que puede soportar la trucha común. Este factor estudiado por Kevin E. Werly y Lizhu Wang es interesante dado que resultaría más restrictivo conseguir que no se superase la temperatura ni un solo día, hecho que no es preciso como demuestran.

Si el criterio fuese más restrictivo y se quisiera mantener la temperatura del agua por debajo de la zona de apremio fisiológico, para que la comunidad piscícola no viese reducido su número, habría que aumentar el porcentaje de cobertura hasta el 83% para mantener la temperatura del agua en promedio por debajo de los 18.7°C.

De la misma forma que para el tramo de Castellar, queda ajustada la correlación para el mes de julio para los tramos de cabecera en tragacete como el tramo medio en Alcalá del Júcar. Destacando la situación actual, se puede observar como por el emplazamiento, exceptuando la cabecera, los otros dos tramos que abarcan la mayor parte del estudio son similares en comportamiento térmico a nivel de cobertura vegetal.

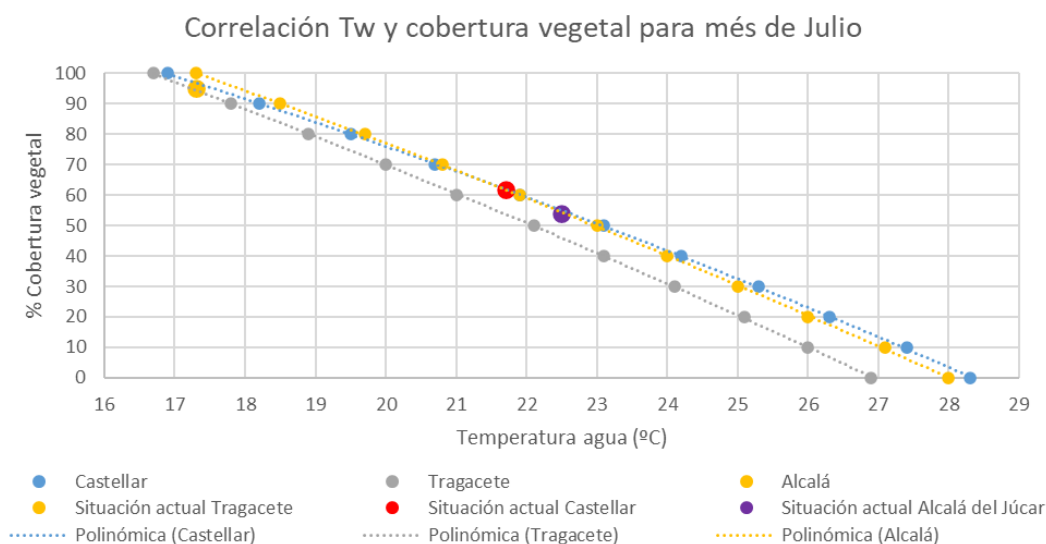


Figura 96. Correlación Temperatura agua-cobertura vegetal en todo el ámbito del estudio

Queda determinado por tanto como para reducir la temperatura del agua, bajo el marco del cambio climático, la vegetación de ribera juega un papel importante. Además, indirectamente se consiguen dos efectos, por un lado, esto permite proteger o restaurar las áreas ribereñas y estas a su vez consiguen amortiguar las temperaturas más altas del agua y mitigar sus posibles efectos negativos en los ecosistemas.

8 Simulación de escenarios.

El aumento de la temperatura media superficial es una de las evidencias más representativas del cambio climático. La evolución de la temperatura media anual en España respecto a un periodo de referencia también permite observar las diferencias respecto al incremento de la temperatura media a nivel mundial.

Para la selección de las proyecciones climáticas que van a utilizarse, se ha seguido las recomendaciones y criterios que han transmitido AEMET y la Oficina Española de Cambio Climático (OECC). El PNACC ha sido quien ha producido las proyecciones regionalizadas para España utilizando los modelos climáticos empleados en los informes de evaluación del IPCC.

La OECC recomendó que se eligieran proyecciones del RCP 8.5 y del RCP 4.5 (actualmente SSP5 8.5 y SSP2 4.5 después del informe AR6 del IPCC). Esta sugerencia se basa en que abarcan el espectro más razonable y se fundamenta en la evolución reciente de las emisiones de GEI, en las previsiones que había de la cumbre de París de 2015 y en la mayor disponibilidad de información. Por lo tanto, para la elaboración de este apartado, van a considerarse ambos en las proyecciones desarrolladas para los escenarios, comenzando por el más favorable a corto plazo y continuando por el menos favorable para un periodo a largo plazo.

A continuación, mediante el modelo calibrado y validado se procede a realizar la simulación para los distintos escenarios de cambio climático para el punto de estudio elegido correspondiente al tramo de EL Castellar.

Hay que considerar que para las simulaciones solo se ha modificado la temperatura del aire como parámetro de entrada en función del incremento de temperatura del aire esperado, como se indicaba en la *Tabla 1*. Por lo tanto, sin disponer del incremento producido sobre la radiación incidente, se ha considerado que la radiación solar de onda corta quedaría igual que la empleada en el apartado 5. Se produce un incremento de la temperatura del aire afectando así a los términos dependiente de esta en el balance, por ello es esperable que comporte un incremento en el flujo radiativo. Esto se traduce en una mayor energía que llega al agua, aumentando así la temperatura de esta respecto a lo visto en las simulaciones anteriores.

8.1 Simulación escenario SSP2 4.5 corto plazo (2010-2040)

El periodo inmediato atribuible al corto plazo (periodo entre los años 2010 a 2040), corresponde con el escenario más favorable SSP2 4.5, estima que el pico de emisiones de CO₂ se alcance en 2050 con un forzamiento radiativo estabilizado en 4.5 W/m². Estos niveles de CO₂ alcanzarían las 650 ppp con una estimación del incremento de la temperatura del aire en torno a 2°C. Se ha introducido en el modelo este aumento de la temperatura del aire, y comportaría un incremento de la temperatura del agua para el periodo estival alrededor de 1.2°C. Este incremento queda reflejado en la siguiente figura donde, partiendo de la simulación del tramo, la línea azul oscuro representaría la temperatura del aire incrementada uniformemente 2°C a la actual y la línea amarilla la temperatura del agua simulada en base a esta.

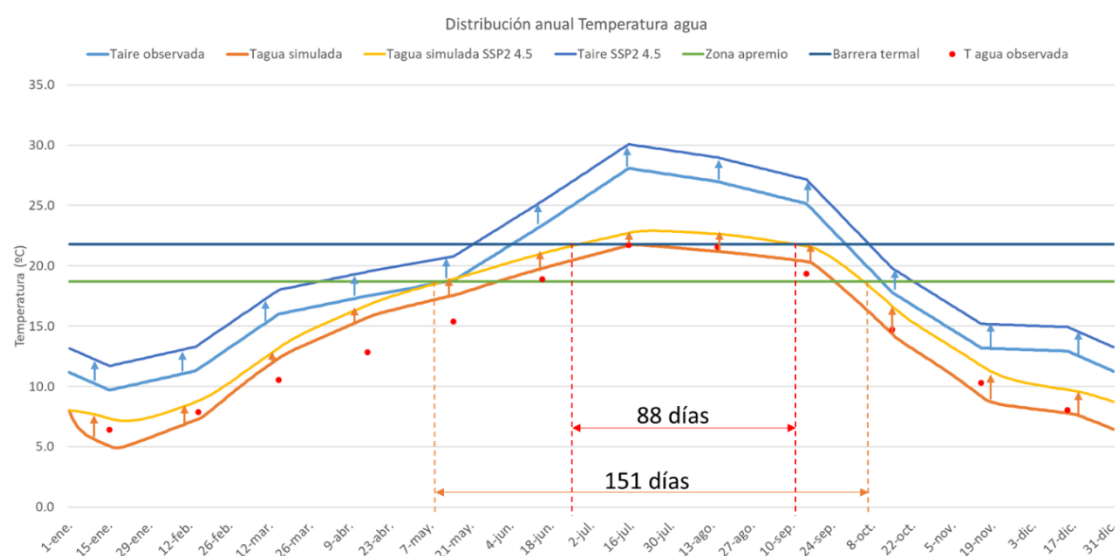


Figura 97. Simulación del aumento producido sobre la temperatura del aire y del agua para el escenario CC SSP2 4.5

Las líneas correspondientes a la entrada en la zona de apremio fisiológico y la barrera termal se han mantenido para observar el cambio. Este incremento en la temperatura del agua ha comportado como consecuencias para la trucha común:

- Desde finales de junio a principios de septiembre se supera barrera termal, lo cual son un total de 88 días.
- Entre mayo y octubre la especie entra en zona de apremio fisiológico, correspondiente a un periodo de 151 días.

Por lo tanto, se entiende que ya con el periodo comprendido en la zona de apremio, la población sufriría una reducción importante del número de individuos. Presentando también casi 3 meses por encima de la barrera termal, si se recuerda la figura 7, el tiempo de exposición supera lo que la especie podría soportar comportando la desaparición del hábitat.

8.2 Simulación escenario SSP5 8.5 largo plazo (2070-2100)

Para un periodo de consecuencias más intermedio, atribuible al largo plazo (periodo entre los años 2070 a 2100), se considera el escenario más desfavorable atribuido al SSP5 8.5. Para él se estima que el pico de emisiones de CO₂ se alcance en 2100 con un forzamiento radiativo estabilizado en 8.5 W/m². Estos niveles de CO₂ podrían exceder las 1000 ppm con una estimación del incremento de la temperatura del aire en torno a 4°C. Se ha introducido en el modelo este aumento de la temperatura del aire, y comportaría un incremento de la temperatura del agua para el periodo estival alrededor de 2.4°C. Este incremento queda reflejado en la siguiente figura donde, como en el apartado anterior, partiendo de la simulación del tramo la línea azul oscuro representaría la temperatura del aire incrementada uniformemente 4°C a la actual y la línea amarilla la temperatura del agua simulada en base a esta.

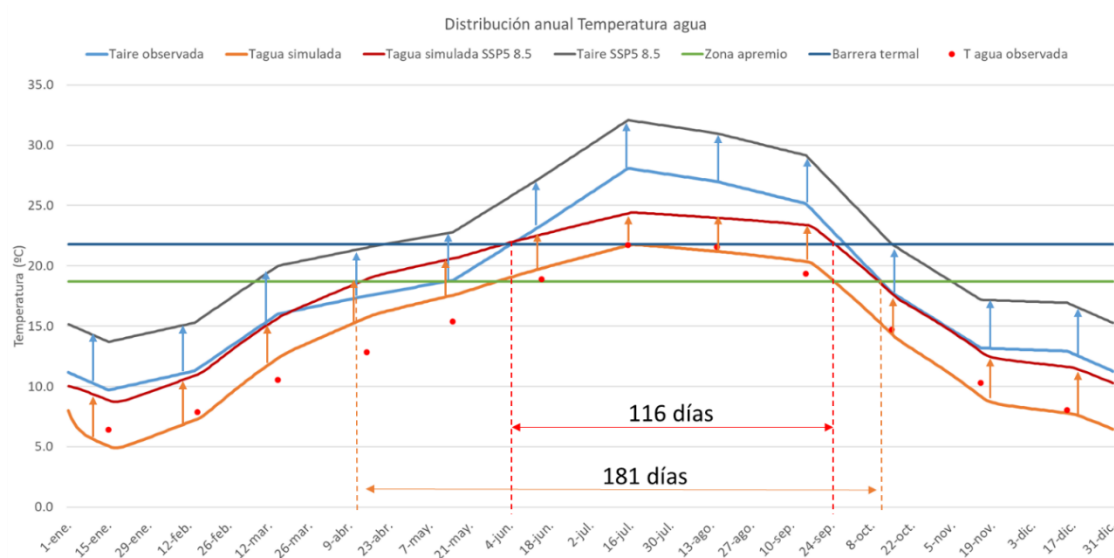


Figura 98. Simulación del aumento producido sobre la temperatura del aire y del agua para el escenario CC SSP5 8.5

Se han mantenido las líneas correspondientes a la entrada en la zona de apremio fisiológico y la barrera termal. Este incremento en la temperatura del agua ha comportado como consecuencias para la trucha común:

- Desde principios de junio a finales de septiembre se supera barrera termal, lo cual son un total de 116 días.
- Entre abril y octubre la especie entra en zona de apremio fisiológico, correspondiente a un periodo de 181 días.

Por lo tanto, se prolonga todavía más el periodo comprendido dentro de la zona de apremio. La población de la trucha sufriría una reducción aún más importante del número de individuos. Bajo este escenario, serían 4 meses por encima de la barrera termal, donde el tiempo de exposición se incrementa, no pudiendo soportarlo y desapareciendo el hábitat.

8.3 Influencia de la cobertura vegetal para mitigar el cambio climático

Considerando lo observado en las gráficas anteriores, un incremento de 2°C de la temperatura del aire se traduce en un aumento de 1.2°C la temperatura del agua como muestra el primer escenario de cambio climático considerado. Del segundo se extrae que un incremento de la temperatura del aire de 4°C, comporta un aumento de la temperatura del agua de 2.4°C. El objetivo perseguido pasa por paliar este incremento de la temperatura del agua propiciado por el cambio climático.

Para ello se dispone de las anteriores correlaciones como resultado de la simulación del modelo con la temperatura del aire actual y la de ambos escenarios de cambio climático determinando así la temperatura del agua en función del grado de cobertura vegetal. Se observa como la diferencia entre la nulidad de cobertura y presentarse un 100% de esta se traslada a que hay una diferencia de la temperatura del agua alrededor de 11°C.

Por tanto, para mantener la media de la temperatura del agua para el mes de julio por debajo de los 21.8°C correspondientes a la barrera termal, habría que incrementar la cobertura que ofrece el dosel arbóreo de la vegetación de ribera del 61% necesario actualmente a un 72% para el escenario de cambio climático más favorable y de un 61% a un 83% para el menos favorable. La correlación obtenida por la modelación de los escenarios de cambio climático mostrados en subapartados anteriores queda recogida en la siguiente gráfica. El escenario favorable correspondiente al SSP2 4.5 muestra la siguiente distribución polinómica de segundo orden:

$$y = -0.118x^2 - 3.3961x + 201.75$$

Este presenta un coeficiente de determinación del 100%; y como escenario menos favorable se corresponde al escenario SSP5 8.5 con la siguiente distribución con un coeficiente de determinación del 99%:

$$y = -0.1229x^2 - 3.1522x + 209.66$$

Esto mismo elaborado para el tramo entre Cuenca y Alarcón se ha efectuado para el tramo de cabecera y para el tramo entre Alarcón y Molinar. Las tres gráficas se pueden observar en la siguiente pagina.

Al final de las siguientes correlaciones elaboradas a modo de ábacos se pueden trasladar a que para mejorar 1°C la temperatura del agua, el porcentaje de cobertura tiene que aumentarse aproximadamente en un 8.5%. Este incremento de la vegetación de ribera en longitudes suficientemente extensas es lo que permite reducir la temperatura del agua como consecuencia de la sombra generada, reduciendo así la incidencia de la radiación solar directa.

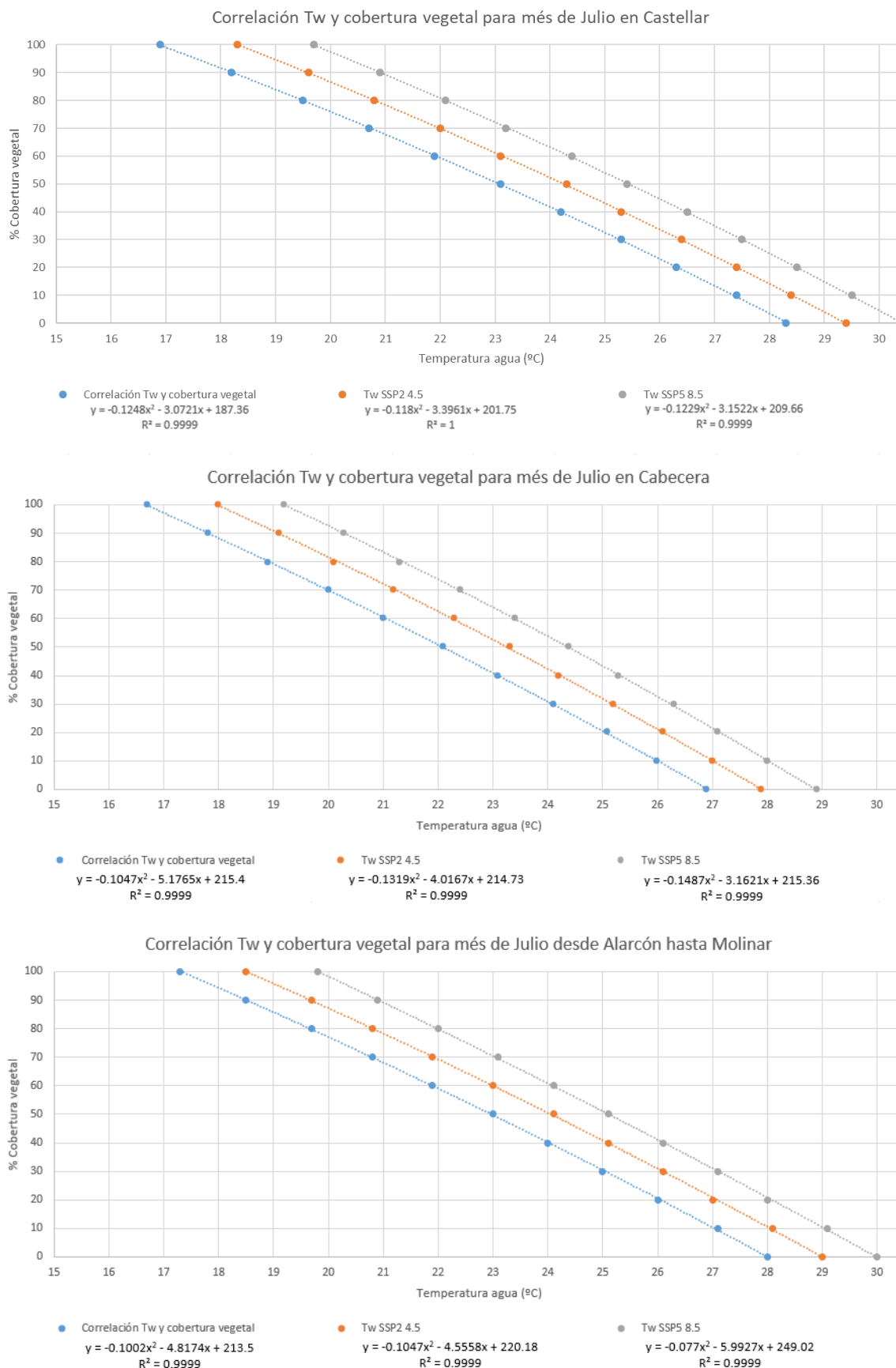


Figura 99. Correlaciones entre la temperatura del agua y el grado de cobertura vegetal para los distintos escenarios de cambio climático para los tres tramos evaluados

9 Propuesta de medidas a nivel de estudio.

Las líneas futuras que se plantean en base a el incremento de temperatura del aire como consecuencia del cambio climático muestran como para los meses de verano la temperatura del agua aumentaría hasta niveles que podrían exceder la barrera termal de la trucha común para muchos de los tramos del río Júcar como indicaban los mapas de peligro. En base a los resultados obtenidos en la simulación de los escenarios de cambio climático para el punto de El Castellar, se ha comprobado como la temperatura esperada del agua es mayor que la considerada en estos mapas. Por tanto, para caracterizar el estudio completamente pese a que las simulaciones no materializaban de la misma forma la realidad, va a realizarse la misma evaluación de los escenarios SSP2 y SSP5 tanto para el punto en cabecera como para el tramo final del estudio.

El objetivo es determinar y cuantificar unas medidas en consonancia con la línea estudiada del efecto de la cobertura riparia y con su incremento como elemento de atenuación de la radiación incidente. Por lo tanto, recogiendo los porcentajes de representación de la cobertura en cada tramo estudiado en el apartado de la simulación, van a introducirse las condiciones de cada escenario climático y así, variando la cobertura, determinar en porcentaje cuanto debería aumentar esta para que la media de temperaturas del agua del mes más desfavorable se mantenga por debajo de los 21.8°C de la barrera termal para la trucha común.

9.1 Medidas para mitigar el riesgo a corto plazo

Conociendo el mapa de riesgo a corto plazo, se superponen sobre este los tres tramos del río Júcar los cuales se están evaluando para disponer una serie de medidas correctoras frente al cambio climático en el caso del escenario más favorable para las actuaciones inmediatas.

La primera zona reconocible corresponde con el tramo de cabecera, la cual según el riesgo asociado bajo deberían darse unas condiciones de tal forma que la actuación debería ser nula o mínima. De la misma forma, el segundo tramo correspondiente desde la ciudad de Cuenca hasta el embalse de Alarcón presenta el mismo perfil de riesgo bajo lo cual se contrastará en el subapartado correspondiente. Por último, como tercer tramo se abarcaría desde el embalse de Alarcón hasta el embalse de El Molinar. En este tramo de extensos kilómetros para el corto plazo no habría riesgo entre Alarcón y el embalse El Picazo; pero si destacar como en el tramo final no se muestra riesgo porque ya en la actualidad se excedería la barrera termal.

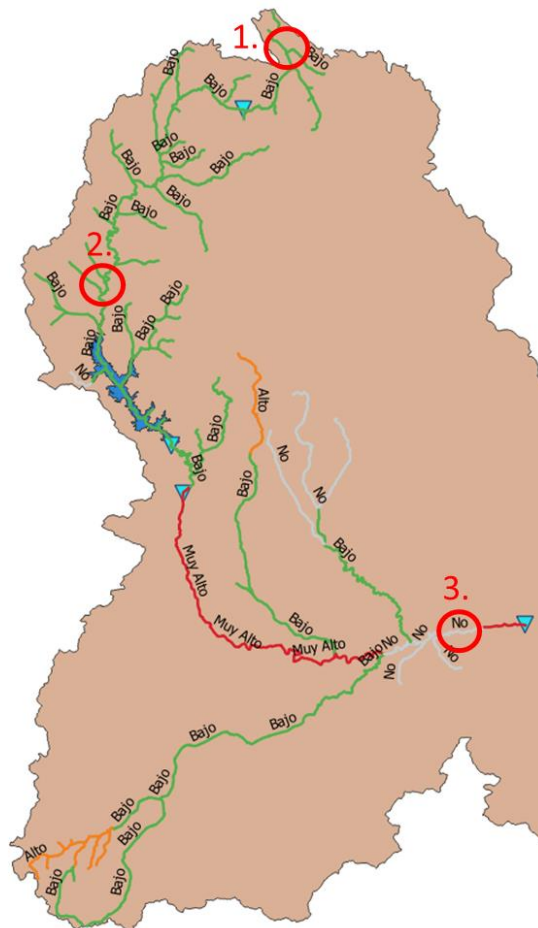


Figura 100. Localización de los puntos evaluados y los riesgos asociados a corto plazo

9.1.1 Tramo de Tragacete

Comenzando con el tramo ubicado en cabecera, este mostraba un riesgo bajo dado que el impacto es medio y la vulnerabilidad baja. El valor del QBR asociado es de 85 puntos, lo que corresponde a un estado de la vegetación de ribera muy bueno. A esta calidad se le atribuyó un valor de la cobertura del 95%. El peligro asociado a la temperatura final del agua y la presencia de la trucha común para la zona de Tragacete resultaba bajo. Esto concuerda con la obtención de la temperatura promedio del agua para el mes de julio, donde se obtuvieron 17.8°C que es menor al límite de la barrera termal y además de la zona de apremio fisiológico. Esta simulación puede observarse en la siguiente figura, donde el periodo de mayor temperatura corresponde al mes de julio. En los resultados que se han obtenido, la zona de apremio queda excedida durante escasos días, si se considera el promedio del mes el valor obtenido queda por debajo de 18.7°C.

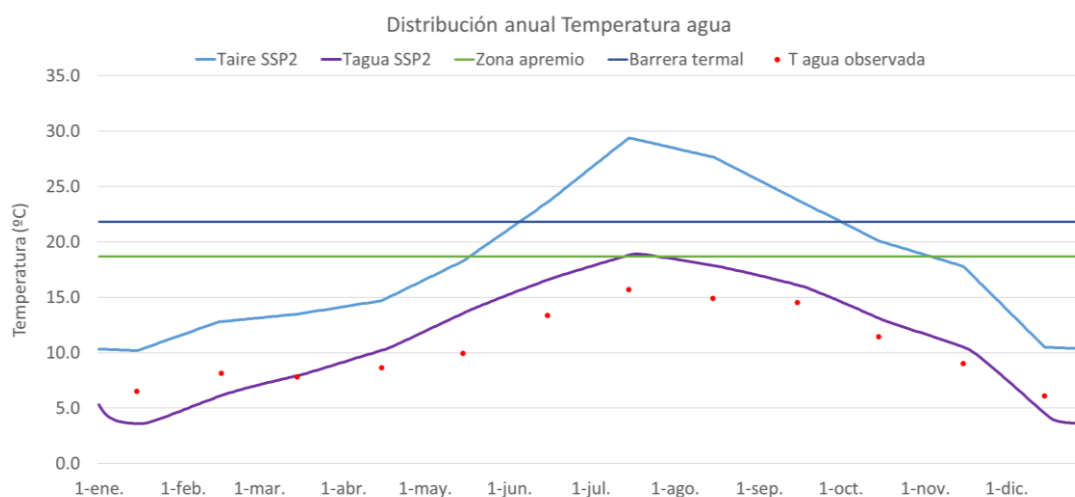


Figura 101. Simulación del aumento producido sobre la temperatura del aire y del agua para el escenario CC SSP2 4.5 en Tragacete

Debido a que no hay afecciones a la especie de aguas frías como consecuencia del cambio climático, para este tramo no se requerirían medidas de incremento de la vegetación de ribera. El estado de la calidad queda demostrado que es muy bueno y que gracias a ello se consigue reducir el incremento que sufre el agua como consecuencia del cambio climático para este tramo de afección inmediato.

9.1.2 Tramo de El Castellar

El segundo tramo ubicado a pocos kilómetros de la cola del embalse de Alarcón mostraba un nivel bajo de riesgo debido a que pese a tener una vulnerabilidad alta, el impacto sigue siendo medio. El valor del QBR asociado en la zona es de 65 puntos, esto equivale con un estado de la vegetación de ribera peor que bueno y al cual se le atribuyó un porcentaje de la cobertura de esta del 62%.

El peligro representado para la temperatura final del agua y la presencia de la trucha común en la zona de Castellar resultó bajo en los mapas asociados. Este hecho no concuerda con la obtención de la temperatura promedio del agua para el mes de julio, donde se obtuvieron 22.9°C, sobrepasando el límite de la barrera termal. Los resultados de la simulación pueden observarse en la siguiente figura, donde el periodo de mayor temperatura corresponde al mes de julio. Quedan representadas por la línea morada la temperatura del agua simulada para el escenario SSP2 4.5 y la naranja correspondiente con esta anterior, pero añadiéndole la implantación de medidas como se incluye a continuación.

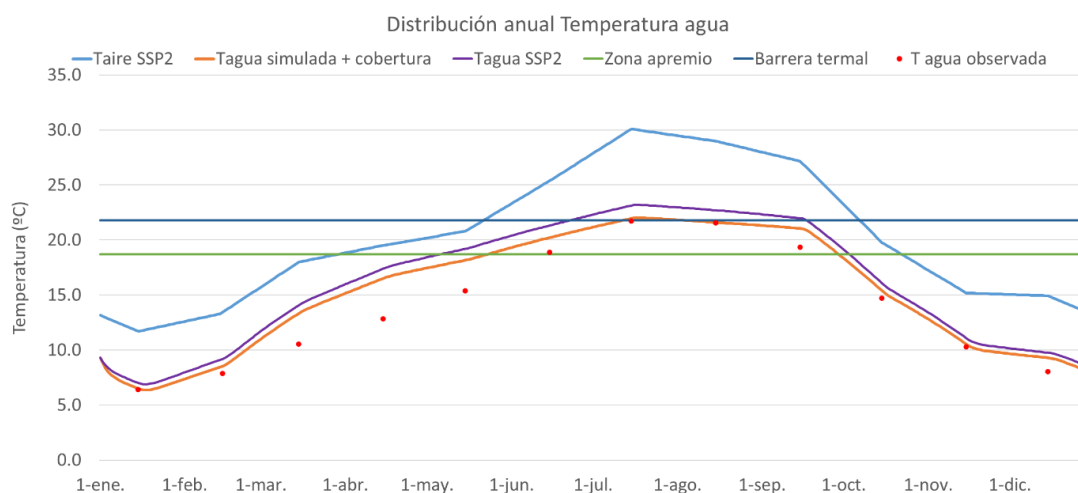


Figura 102. Simulación del aumento producido sobre la temperatura del aire y del agua para el escenario CC SSP2 4.5 en Castellar

Por sobrepasar la barrera termal durante un periodo mayor al tiempo de exposición que puede soportar la trucha común, se requeriría aumentar la vegetación de ribera de la zona como consecuencia del cambio climático. Esta medida pasa por incrementar el dosel arbóreo en un 10% para mitigar el efecto térmico sobre el agua, pasando a una cobertura del 72%, lo que equivale a presentar una temperatura media para julio por debajo de 21.8°C.

9.1.3 Tramo de Alcalá del Júcar

El último tramo ubicado antes de llegar a la cola del embalse El Molinar no presenta riesgo asociado debido a que en los mapas de exposición no se encuentra presencia de la trucha común. Por una parte, es debido a que lleva asociado un valor del QBR de 52 puntos, lo que corresponde a un estado de la vegetación de ribera peor que bueno, y por otra porque el peligro en la situación actual ya muestra cómo se supera la barrera termal antes de introducir las proyecciones de temperatura asociado al cambio climático. Igualmente, a este tramo se le asocia un valor de la cobertura de ribera del 54% y se simulará las condiciones en el escenario planteado para analizar cuanto se tiene que incrementar esta cobertura para no exceder la barrera termal.

El peligro asociado a la temperatura final del agua y por tanto, a la presencia de la trucha común para la zona de Alcalá del Júcar resulta muy elevado debido a que se excede la barrera termal. Esto concuerda con la obtención de la temperatura promedio del agua para el mes de agosto, donde se obtuvieron 23.7°C. Los resultados de la simulación pueden observarse en la siguiente figura, donde el periodo de mayor temperatura queda repartido de forma similar durante los meses de julio y agosto. Quedan representadas por la línea morada la temperatura del agua simulada para el escenario SSP2 4.5 y la naranja correspondiente con esta anterior, pero añadiéndole la implantación de medidas como se incluye a continuación.

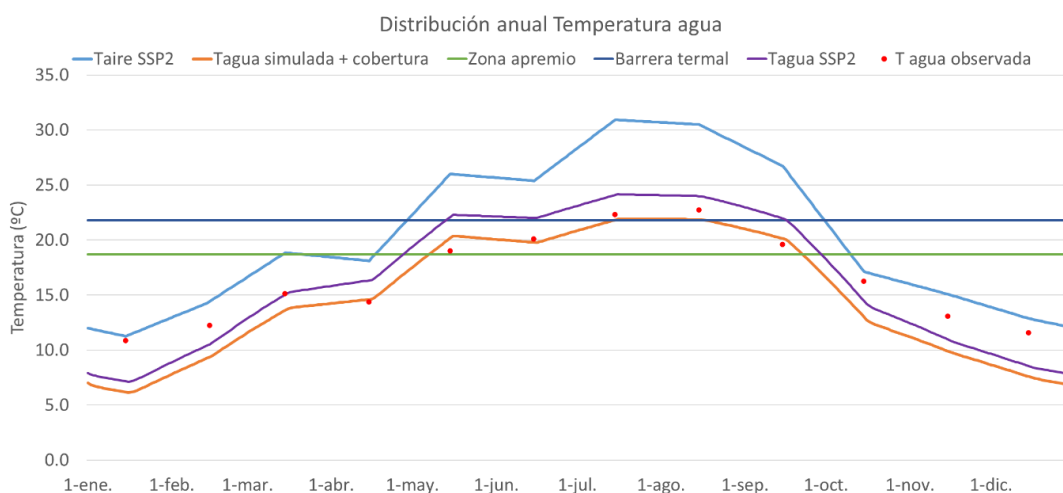


Figura 103. Simulación del aumento producido sobre la temperatura del aire y del agua para el escenario CC SSP2 4.5 en Alcalá del Júcar

La barrera termal queda sobrepasada durante un periodo mayor al tiempo de exposición que puede soportar la trucha común, por tanto, se requeriría aumentar la vegetación de ribera de la zona como consecuencia del cambio climático. La medida incluida pasa por incrementar la cobertura de la vegetación riparia en un 19% para mitigar el efecto térmico sobre el agua, pasando a una cobertura del 73%, lo que equivale a presentar una temperatura media para agosto por debajo de 21.8°C. Por lo tanto,

incrementando la cobertura del dosel arbóreo se podría conseguir que, en esta zona, donde no se daba presencia potencial de la especie, pudiesen proporcionarse las condiciones térmicas del agua para desarrollar cierto hábitat potencial incluso durante el periodo estival.

9.1.4 Síntesis de medidas a corto plazo

Una vez simuladas las condiciones de los tres tramos se recogen para el corto plazo el aumento de la vegetación de ribera que se debería producir para no llegar a superar la barrera termal en ningún momento del año.

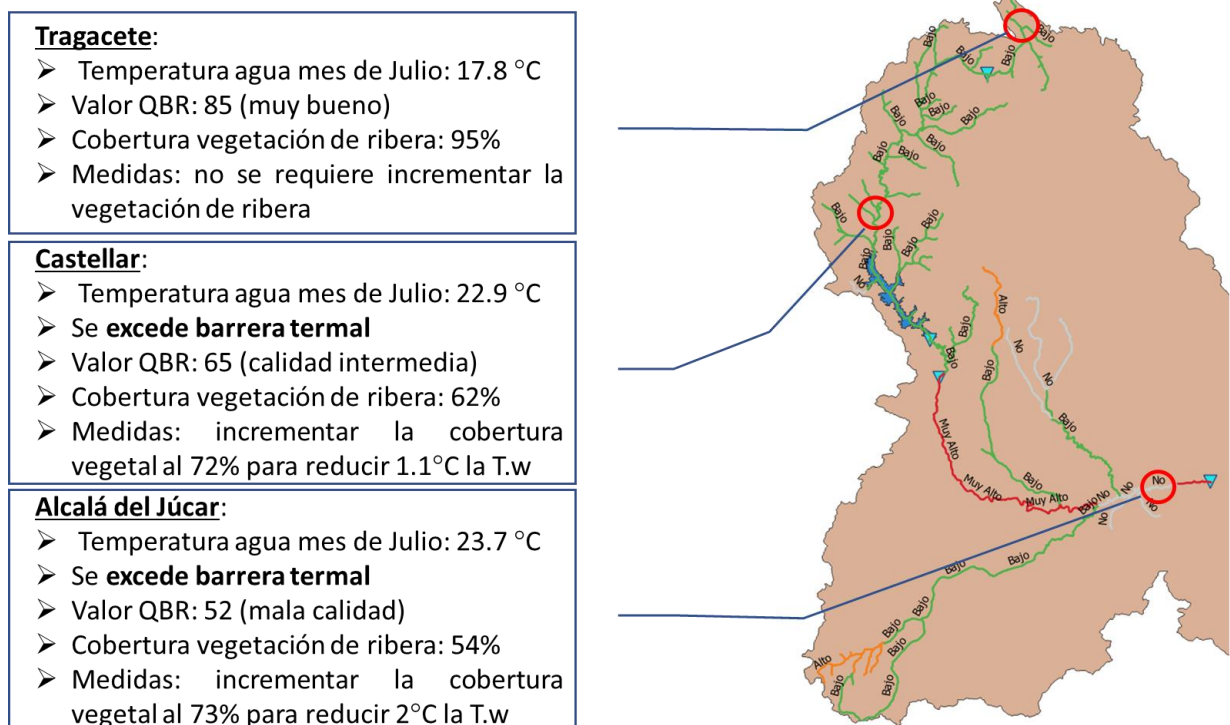


Figura 104. Resumen de las medidas del incremento de la cobertura vegetal a corto plazo

El tramo de cabecera, con una extensión aproximada del río Júcar a lo largo de el de 65 km presenta unas condiciones naturales de vegetación de calidad tan buenas que el mismo puede absorber el aumento producido en la temperatura del agua sin causar afección a la trucha. Por otro lado, el tramo entre Cuenca y Alarcón, extendiéndose a lo largo de 95 km, presentó un riesgo bajo, superó la barrera termal durante un corto periodo de tiempo, para lo cual es necesario aumentar la cobertura vegetal un 10% para mitigar la afección. Por último, el tramo entre Alarcón y Molinar, de longitud aproximada de 152 km, presenta un riesgo muy elevado y prueba de ello es la evidencia de que se excede la barrera termal para la trucha durante un periodo prolongado de tiempo. Para controlar el aumento que se produciría en la temperatura del agua e incluso mejorar las condiciones actuales, se debería aumentar el dosel arboreo un 20%.

9.2 Medidas para mitigar el riesgo a largo plazo

Conociendo el mapa de riesgo a largo plazo, se superponen sobre este los tres tramos del río Júcar los cuales se están evaluando para disponer una serie de medidas correctoras frente al cambio climático en el caso del escenario menos favorable para las actuaciones a medio-largo plazo.

De la misma forma que el apartado anterior, la primera zona que se encuentra corresponde con el tramo de cabecera, para la cual el riesgo asociado aumenta. De la misma forma, el segundo tramo correspondiente desde la ciudad de Cuenca hasta el embalse de Alarcón presenta el mismo perfil de riesgo alto que se contrastará de nuevo en el subapartado correspondiente. Por último, el tercer tramo corresponde desde el embalse de Alarcón hasta el embalse de El Molinar. En este tramo de extensos kilómetros sigue presentando un riesgo muy elevado ya que por el incremento de la temperatura se excedería la barrera termal.

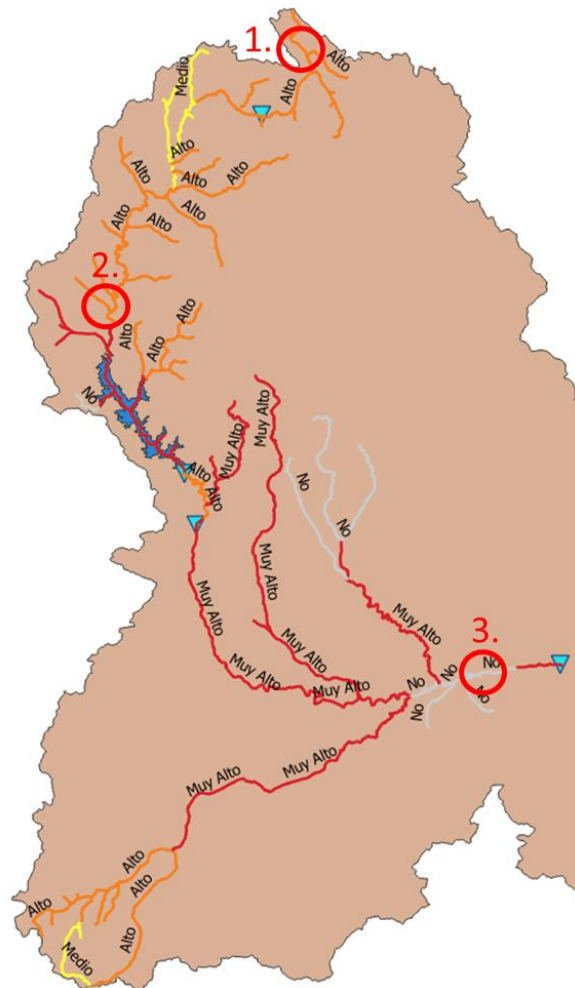


Figura 105. Localización de los puntos evaluados y los riesgos asociados a largo plazo

9.2.1 Tramo de Tragacete

Para este segundo escenario, el tramo de cabecera mostraba un riesgo alto dado que, aunque la vulnerabilidad es baja, el impacto resultaba alto. A su vez, el valor del QBR asociado es de 85 puntos, lo que corresponde a un estado de la vegetación de ribera muy bueno, como anteriormente esta calidad se le atribuyó un valor de la cobertura del 95%.

El peligro asociado a la temperatura final del agua y la presencia de la trucha común para la zona de Tragacete resultaba bajo. Esto concuerda en parte con la obtención de la temperatura promedio del agua para el mes de julio, donde se obtuvieron 19.8°C que es menor al límite de la barrera termal pero no de apremio fisiológico. Esta simulación puede observarse en la siguiente figura, donde el periodo de mayor temperatura corresponde al mes de julio. En los resultados que se han obtenido, la zona de apremio queda excedida durante un periodo de dos meses, por lo tanto, el número de individuos de la especie se podría ver reducido, pero no se vería comprometido el hábitat potencial.

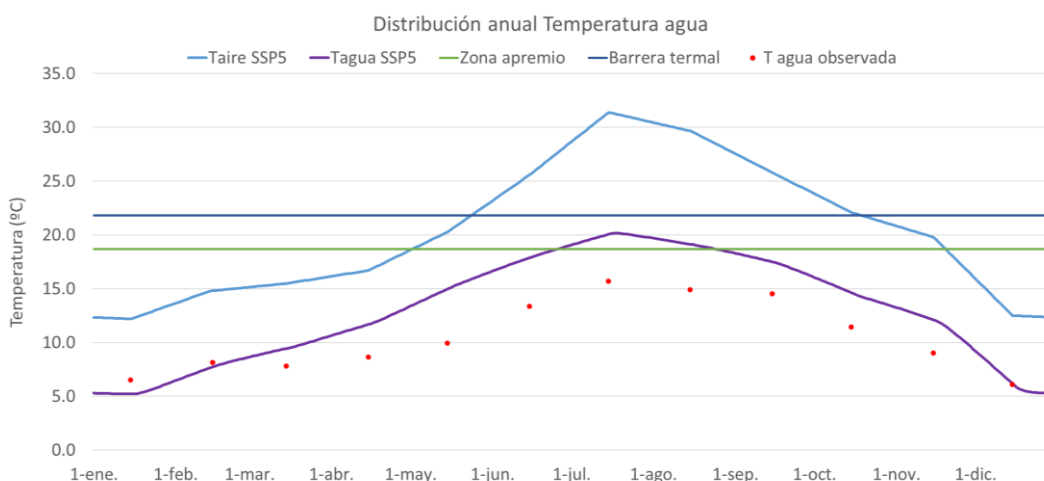


Figura 106. Simulación del aumento producido sobre la temperatura del aire y del agua para el escenario CC SSP5 8.5 en Tragacete

Debido a que no hay afecciones a la especie de aguas frías como consecuencia del cambio climático, para este tramo no se requeriría a priori medidas de incremento de la vegetación de ribera. El estado de la calidad muy bueno sigue siendo un factor clave y gracias a ello consigue reducir el incremento que sufre el agua como consecuencia del cambio climático para este tramo de afección a largo plazo.

9.2.2 Tramo de El Castellar

El segundo escenario para el tramo de El Castellar mostraba un nivel alto de riesgo debido a que presenta una vulnerabilidad alta y el impacto en este caso es elevado. El valor del QBR asociado en la zona es de 65 puntos, esto equivale con un estado de la vegetación de ribera peor que bueno y como anteriormente se le atribuyó un porcentaje de la cobertura de ribera del 62%.

El peligro representado para la temperatura final del agua y la presencia de la trucha común en la zona de Castellar resultó alto en los mapas asociados. Este hecho sigue sin concordar con la obtención de la temperatura promedio del agua para el mes de julio, donde se obtuvieron 24.1°C, sobrepasando el límite de la barrera termal. Los resultados de la simulación pueden observarse en la siguiente figura, donde el periodo de mayor temperatura corresponde al mes de julio. Quedan representadas por la línea morada la temperatura del agua simulada para el escenario SSP5 8.5 y la naranja correspondiente con esta anterior, pero añadiéndole la implantación de medidas como se incluye a continuación.

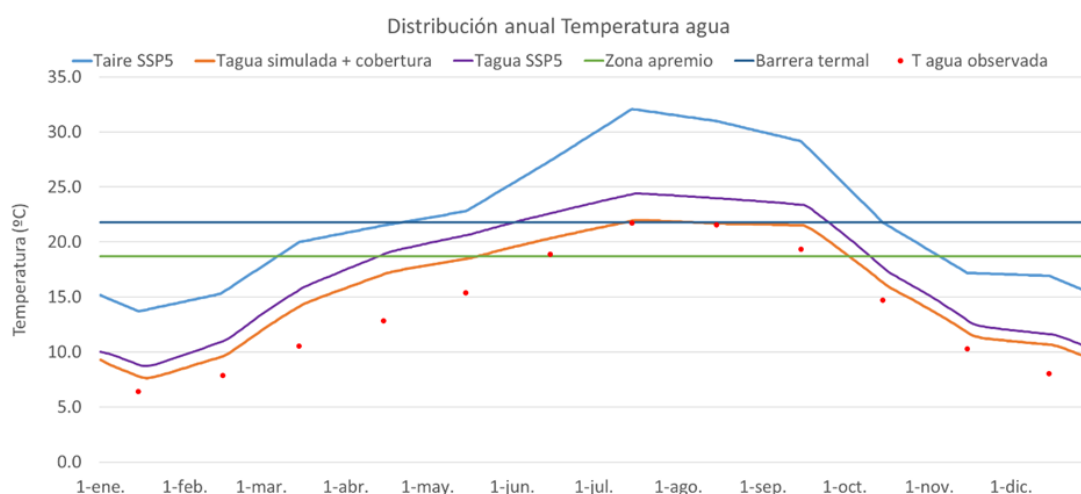


Figura 107. Simulación del aumento producido sobre la temperatura del aire y del agua para el escenario CC SSP5 8.5 en Castellar

Como sucedía en el escenario previo, por sobrepasar la barrera termal durante un periodo de exposición mayor al tiempo que puede soportar la trucha común, se requeriría aumentar la vegetación de ribera de la zona como consecuencia del cambio climático. Esta medida pasa por incrementar el dosel arbóreo en un 21% para mitigar el efecto térmico sobre el agua, pasando a una cobertura del 83%, lo que equivale a presentar una temperatura media para julio por debajo de 21.8°C.

9.2.3 Tramo de Alcalá del Júcar

La segunda simulación para el último tramo sigue sin presentar riesgo asociado de igual forma, ya que en los mapas de exposición no se encuentra presencia de la trucha común. Por una parte, se debe a que lleva asociado un valor del QBR de 52 puntos, lo que corresponde a un estado de la vegetación de ribera peor que bueno, y por otra porque el peligro en la situación actual ya muestra cómo se supera la barrera termal antes de introducir las proyecciones de temperatura asociado al cambio climático. De la misma forma, a este tramo se le asocia un valor de la cobertura de ribera del 54% y se simulará las condiciones en el escenario planteado para analizar cuanto se tiene que incrementar esta cobertura para no exceder la barrera termal.

El peligro asociado a la temperatura final del agua y por tanto, a la presencia de la trucha común para la zona de Alcalá del Júcar resulta muy elevado ya que excede la barrera termal. Esto concuerda con la obtención de la temperatura promedio del agua para el mes de agosto, donde se obtuvieron para este caso 24.8°C. Los resultados de la simulación pueden observarse en la siguiente figura, donde el periodo de mayor temperatura queda repartido de forma similar durante los meses de julio y agosto. Quedan representadas por la línea morada la temperatura del agua simulada para el escenario SSP5 8.5 y la naranja correspondiente con esta anterior, pero añadiéndole la implantación de medidas como se incluye a continuación.

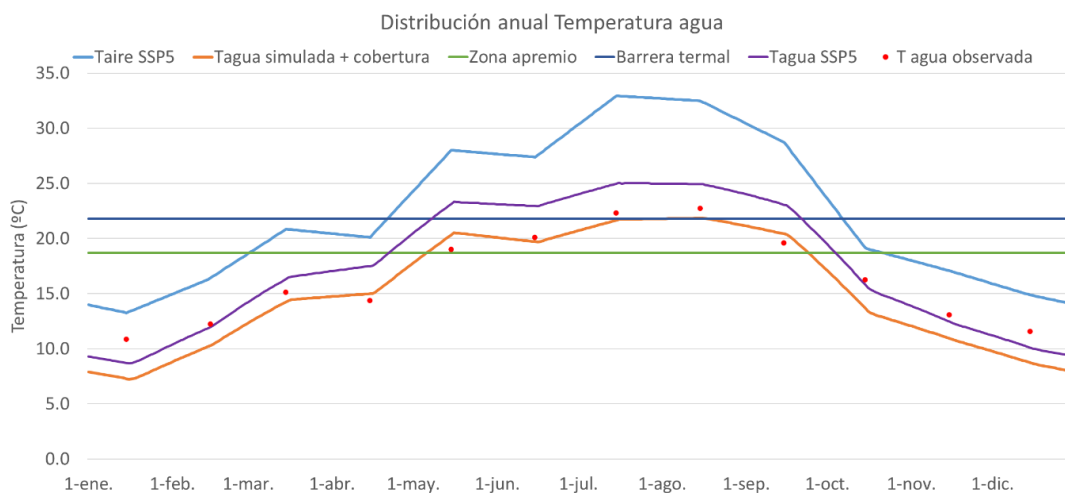


Figura 108. Simulación del aumento producido sobre la temperatura del aire y del agua para el escenario CC SSP5 8.5 en Alcalá del Júcar

De forma más acentuada que en el escenario SSP2, la barrera termal queda sobrepasada durante un periodo de exposición mayor al tiempo que puede soportar la trucha común, por tanto, se requeriría aumentar la vegetación de ribera de la zona como consecuencia del cambio climático. La medida incluida pasa por incrementar la cobertura de la vegetación riparia en un 31% para mitigar el efecto térmico sobre el agua, pasando a una cobertura del 85%, lo que equivale a presentar una temperatura media para agosto por

debajo de 21.8°C. Por lo tanto, incrementando la cobertura del dosel arbóreo se podría conseguir que, en esta zona sin presencia de la especie, pudiesen proporcionarse las condiciones de temperatura del agua para desarrollar cierto hábitat potencial incluso durante el periodo estival.

9.2.4 Síntesis de medidas a largo plazo

Esta vez simulando las condiciones de los tres tramos, se recoge para el largo plazo el aumento de la vegetación de ribera que se debería producir para no llegar a superar la barrera termal en ningún momento del año bajo las condiciones más desfavorables de cambio climático.

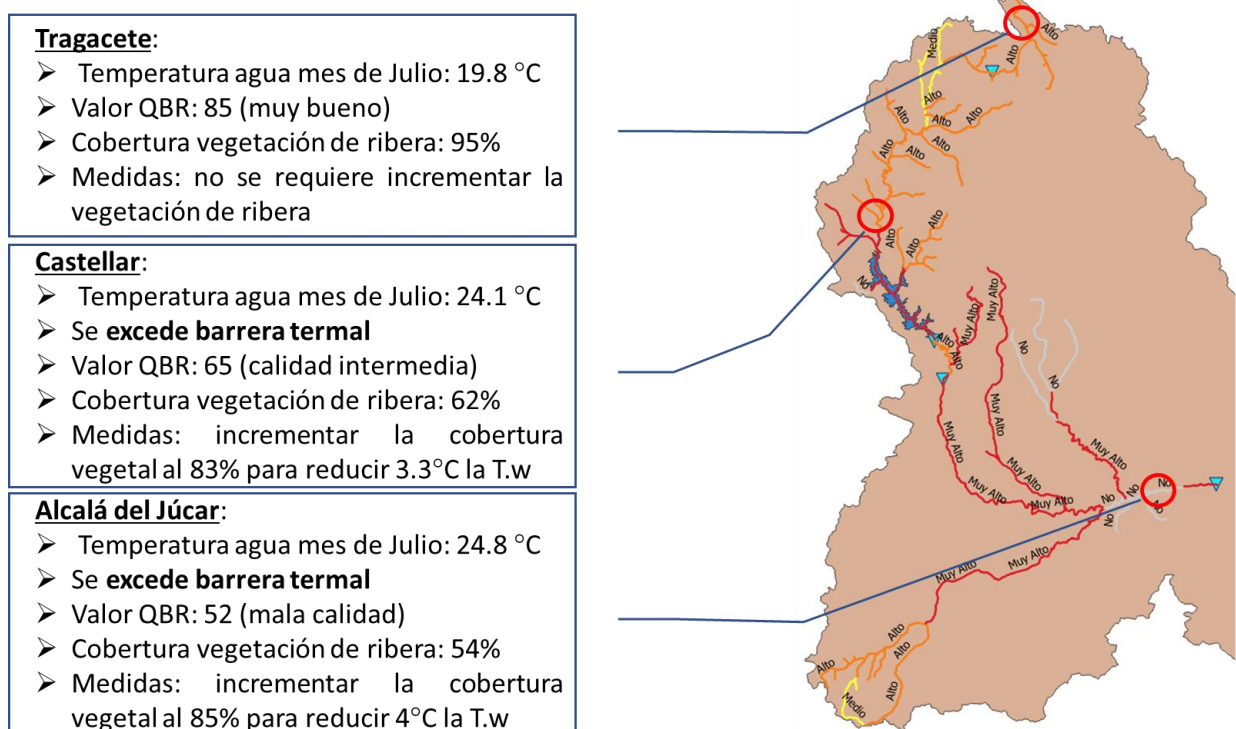


Figura 109. Resumen de las medidas del incremento de la cobertura vegetal a largo plazo

El tramo de cabecera, extendiéndose 65 kilómetros presenta unas condiciones naturales de vegetación de calidad que podría mitigar el aumento producido en la temperatura del agua sin causar afección a la trucha. Por otro lado, el tramo entre Cuenca y Alarcón, presentando un riesgo alto, superó la barrera termal durante un extenso periodo de tiempo, para lo cual es necesario aumentar la cobertura vegetal a un 21%. Por último, el tramo entre Alarcón y Molinar seguía presentando un riesgo muy elevado. En él se excede la barrera termal para la trucha durante un periodo prolongado de tiempo. Para controlar el aumento que se produciría en la temperatura del agua e incluso mejorar las condiciones actuales, se debería aumentar el dosel arboreo un 31%.

10 Resumen y conclusiones.

La problemática que se presenta está relacionada con un aumento de la temperatura del agua en ríos y embalses a lo largo del presente siglo como consecuencia derivada del cambio climático. Este hecho repercutiría de forma negativa sobre las especies de aguas frías.

El objetivo perseguido por tanto a lo largo del presente trabajo final de máster ha sido establecer una serie de medidas para corregir el problema derivado del aumento de la temperatura del agua a causa del cambio climático con el fin de compatibilizar el hábitat potencial de la trucha común con este. Este efecto y beneficio derivado de la actuación sobre la especie se divide en dos tramos temporales, uno a corto plazo antes de llegar a mitad de siglo y otro a largo plazo que abarca el espectro más desfavorable de eventualidades.

Para ello se cuantifica el efecto de las medidas mediante un modelo propio de la respuesta térmica del río para comprobar el beneficio que reporta la vegetación de ribera. Estando este basado en formulaciones de tipo empírico desarrollada por distintos autores para comprobar los efectos producidos a nivel térmico sobre el río. Para ello, se efectuará un balance térmico analizando y cuantificando los parámetros radiativos y no radiativos que entran y salen al mismo. Por último, quedará cuantificado el porcentaje de dosel arbóreo que habrá que disponerse para garantizar unas condiciones de hábitat potencial para la trucha común.

En el estudio se abordan directamente 3 tramos ubicados en el Alto y Medio Júcar, dentro de la provincia de Cuenca y Albacete. Estas están comprendidas entre 52 masas de agua que discurren entre la cabecera y el embalse de El Molinar.

En base al PNACC y la OECC los escenarios de cambio climático marcan un incremento para España progresivo de la temperatura del aire en torno a 2°C en el corto plazo (2010-2040) y hasta 4°C en el largo plazo (2070-2100). Por ello se ha visto y valorado el potencial que tiene la vegetación de ribera para poder mantener y mitigar aumentos producidos en la temperatura del agua por efecto de la radiación solar directa.

Mediante el modelo propio desarrollado, se utilizan los datos de la serie histórica de temperatura del aire y del agua proporcionados por la CHJ para simular junto con otros parámetros el comportamiento actual y futuro de la temperatura del agua. **Se simulan tres zonas del estudio** para calibrar el modelo y mediante **uno de esos puntos se valida el mismo**. La finalidad es aproximar una distribución en la que esté relacionada la temperatura del agua con la cobertura que proporciona la vegetación para asignar las medidas.

Para cada tramo seleccionado se estudiará la situación actual y dos escenarios posibles de cambio climático que equivalen al SSP2 4.5 (corto plazo) y el SSP5 8.5 (largo plazo). Con estos resultados se calcula el tiempo de exposición de la especie por encima de la barrera termal (desaparición completa de su hábitat para un periodo superior a 28 días por encima de los 21.8°C) y el periodo en que se encuentra por encima de la zona de apremio fisiológico (reducción de la población cuando se excede de 18.7°C).

Tras analizar los resultados obtenidos de los 3 tramos, se observa como el primer escenario de cambio climático, correspondiente con las medidas de actuación inmediatas a corto plazo, la temperatura del agua podría incrementarse en 1.2°C para los meses de verano. Para el escenario más desfavorable a largo plazo este valor se incrementaría hasta el entorno de 2.4°C para el mismo periodo.

En el modelo desarrollado expresamente para simular la temperatura del agua ha permitido relacionar esta temperatura con la cubierta vegetal del bosque de ribera. Se ha encontrado una diferencia notable de haber cobertura vegetal a que esta no esté presente. De encontrarse una zona abierta sin nada de cobertura vegetal a otra donde estuviese completamente cubierto el río podría haber una diferencia en la temperatura de este de hasta 11°C. En base al modelo queda definido que **para reducir 1°C la temperatura del agua** habría que **aumentar la cubierta vegetal** de la zona del entorno de **un 10%**.

Por tanto, para mitigar el efecto del cambio climático la medida propuesta es un incremento de la vegetación de ribera. Aumentando en cuantía y densidad la vegetación riparia, se conseguiría un efecto reductor de la temperatura del agua al reducirse la energía directa incidente. De los tramos estudiados se concluye, por tanto:

- Tramo entre Cuenca y el embalse de Alarcón: como medida habría que **aumentar** la vegetación de ribera en un **10% a corto plazo** y en un **21% a largo plazo**. Esto es debido a que actualmente en este tramo de 95 kilómetros ya se ha producido un inicio de alteración importante del bosque de ribera. Con el objetivo de no exceder la barrera termal, en el corto plazo, el aumento de la vegetación del 10% conseguiría reducir la temperatura del agua **1.1°C**. Para el largo plazo con el aumento del 21% se reduciría la temperatura del agua en **3.3°C**.
- Tramo entre Alarcón y el embalse El Molinar: como medida habría que **aumentar** la vegetación de ribera en un **19% a corto plazo** y en un **31% a largo plazo**. Esto es debido a que actualmente en este tramo de 152 kilómetros ya se ha producido una alteración fuerte del bosque de ribera. Con el objetivo de no exceder la barrera termal, en el corto plazo, el aumento de la vegetación del 19% conseguiría reducir la temperatura del agua **2°C**. Para el largo plazo con el aumento del 31% se reduciría la temperatura del agua en **4°C**.

- Tramo de Cabecera: siendo este el tramo en mejores condiciones de calidad, estando el bosque de ribera perturbado ligeramente, no sería necesario establecer medidas de aumento de la vegetación de ribera. Por tanto, la calidad de la vegetación actual de este tramo de 65 kilómetros es destacable y pese al incremento de la temperatura del agua como consecuencia del cambio climático no sería necesario incrementar la vegetación de la zona. Se excedería durante los meses estivales la zona de apremio fisiológico, pero quedaría por debajo de la barrera termal.

Como otras medidas que se proponen para reportar un beneficio sobre la especie de aguas frías reduciendo el efecto del aumento de la temperatura del agua:

- Aumento de la vegetación de la cuenca vertiente dado que, como favorecería la infiltración y esta a su vez la escorrentía subterránea, conseguiría un efecto reductor al originar un régimen más frío en verano.
- Disponer caudales adecuados en el río, sobre todo en época de estiaje, como podría ser un parámetro dentro de los caudales ecológicos que contemplase la temperatura del agua para el hábitat.
- Producir desembalses compatibles con el régimen estacional. Se propone como medida de adaptación del funcionamiento de los embalses, el favorecer los desembalses hipolimnéticos de fondo frente a los de coronación, que pueden originar una alteración térmica por calentamiento, sobre todo en época estival. Esto se observaba en la simulación de Alarcón, donde la diferencia de temperaturas del agua entre superficie y fondo oscilaba sobre 12°C. Para esta medida también habría que considerar la falta de oxígeno en el agua por la desconexión química estratificada de los embalses, pudiendo reducir la concentración de oxígeno aguas abajo del embalse.

A modo de síntesis final, el estado actual del bosque de ribera influye directamente en las medidas a adoptar para paliar el efecto que produce el cambio climático. En los tres grandes tramos expuestos se demuestra como en la cabecera no requiere actuación, mientras que conforme sigue el curso el río Júcar, los 95 km que separan Cuenca con Alarcón se debería aumentar la vegetación de ribera entre un 10 y un 20% correspondiente al corto y largo plazo. De la misma manera, entre Alarcón y Molinar, la alteración que presenta es tan fuerte que los 152 km requerirían de un incremento del bosque de ribera de entre 20 a 30%, siendo para el corto y largo plazo. De esta forma se compatibilizaría las posibles situaciones futuras de temperatura del agua en el río Júcar con el hábitat que desarrolla la trucha común.

11 Líneas futuras.

El objetivo del presente estudio es la disposición de medidas relacionadas con el bosque de ribera para la corrección del problema presentado con el aumento de la temperatura del agua como consecuencia del cambio climático. Por lo tanto, se ha buscado reducir los efectos adversos producidos actualmente y en posibles escenarios futuros sobre la trucha común y su hábitat desarrollada en el río Júcar. Estas líneas de estudio que van a proponerse podrán estudiarlas y realizarlas la Confederación Hidrográfica del Júcar durante la elaboración de los futuros Planes Hidrológicos de cuenca dado que en su anejo número 14 asociado a los riesgos del cambio climático y su adaptación.

Uno de los problemas encontrados durante la elaboración del proyecto ha sido la dificultad de obtención de valores como temperatura de agua y del aire medidas in situ. Los datos a los que se ha tenido acceso de la serie histórica presentaban huecos temporales donde había meses sin mediciones y años en los cuales no había valores. Por ello, una de las propuestas efectuadas es la medición en las estaciones de calidad de ambas temperaturas de igual forma que se cuantifica los caudales circulantes por el río en las estaciones de aforo.

Por otro lado, una de las tareas a realizar es la simulación intradiaria de la temperatura del agua para observar la evolución de la misma de forma horaria a lo largo del día. Esto ya requiere de valores discretizados por debajo de la escala diaria para alimentar el modelo que resultarían de difícil obtención si no se miden directamente en campo.

También hay que considerar que el indicador empleado para determinar la vulnerabilidad ha sido el QBR el cual está arraigado y se tienen disponible suficiente información para su uso. Este se intenta cambiar por otro que proporcione mejores resultados y sea más fiable según indica estudios consultados. Por tanto, cuando haya disponible suficiente información para caracterizar con otro parámetro la vegetación de ribera se deberán contrastar los resultados obtenidos.

Para finalizar, debido a que en este trabajo de final de master no se ha estudiado el efecto que tendrían las distintas medidas que no implican la cobertura riparia recogidas en las conclusiones, se debería realizar un estudio de forma numérica para evaluar la repercusión de estas sobre la temperatura del agua. Por lo tanto, se debería realizar un modelo estilo AquaTool con el módulo Gescal para simular el efecto y los beneficios que podrían aportar sobre la sección longitudinal del río.

12 Referencias.

Barret L. Kurylyk, Kerry T. B. MacQuarrie, Tommi Linnansaari, Richard A. Cunjak, R. Allen Curry, 2015. “Preserving, augmenting, and creating cold-water thermal refugia in rivers: concepts derived from research on the Miramichi River, New Brunswick (Canada)” *Ecohydrology* 8, 1095-1108.

Bowen, 1926. “The ratio of heat losses by conduction and by evaporation from any water Surface” *Physical review*, volume 27.

CEDEX, 2017. “Evaluación del impacto del cambio climático en los recursos hídricos y sequías en España” Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. Oficina Española de Cambio Climático.

CHJ, 2008. “Plan de recuperación del río Júcar” Documento síntesis de la comisión de restauración de ecosistemas de ribera. Julio 2007-Julio 2008.

CHJ, 2016. Memoria del Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar 2015/21.

CHJ, 2017. “Estimación de la biomasa piscícola en dos embalses de la Demarcación, dentro del programa de investigación de la Directiva Marco del Agua. Embalse de Alarcón”. Área de calidad de aguas.

CHJ, 2021. “Base de datos proporcionada por la Confederación Hidrográfica del Júcar” Datos proporcionados de las temperaturas del aire, temperatura del agua y oxígeno disuelto provenientes de las mediciones directas en campo.

CHJ, 2021. Memoria del Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar 2022/27.

CHJ, 2021. “Designación de masas de agua artificiales y muy modificadas” Anejo 1 del Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar 2022/27.

CHJ, 2021. “Riesgos asociados al cambio climático y adaptación” Anejo 14 del Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar 2022/27.

DMA, 2000. “Directiva Marco del Agua” Marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas.

FAO, 1990. Annex V, FAO Penman-Monteith formula. Expert consultation on revision of FAO methodologies for crop water requirements.

GeshidroLAN, 2021. Sistema de información del agua de la Confederación Hidrográfica del Júcar. Base de datos de imágenes proporcionadas por la CHJ.

Grace Garner, Iain A. Malcolm, Jonathan P. Sadler, Colin P. Millar, David M. Hannah, 2015. “Inter-annual variability in the effects of riparian woodland

on micro-climate, energy exchanges and water temperature of an upland Scottish stream” *Hydrological Processes* 29, 1080-1095.

IMIDA, 2021. “Informe de los resultados de las medidas de Sonda Oceánica realizadas por el IMIDA en el Mar Menor” Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Medioambiental.

IPCC, 2021. Sixth Assessment Report (AR6) of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

IPH, 2008. Orden ARM/2656/2008, de 10 de septiembre, por la que se aprueba la instrucción de planificación hidrológica.

Kalinowska, M.B., 2019. “Effect of water–air heat transfer on the spread of thermal pollution in rivers” Institute of Geophysics Polish Academy of Sciences.

Kyung Sub Kim, Steven C. Chapra, 1997. “Temperature Model for Highly Transient Shallow Streams” *Journal of Hydraulic Engineering*, 30-40.

León-Palmero, E., Reche, I., Morales-Baquero, R., 2017. “Atenuación de luz en embalses del sur-este de la Península Ibérica” Instituto del Agua y Departamento de Ecología, Universidad de Granada.

MAAMA, 2015. 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.

MITERD, 2021. Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética.

MMA, 2001. “Atlas y Libro Rojo de los Peces Continentales de España” Museo Nacional de Ciencias Naturales. Ministerio de Medio Ambiente.

Nathaniel P. Hitt, Erin L. Snook, and Danielle L. Massie, 2016. “Brook trout use of thermal refugia and foraging hábitat influenced by brown trout” *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*.

PNAAC, 2020. “Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático 2021-2030” Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.

Pérez Martín, M.A., 2020. “Determinación de los mapas de peligrosidad, exposición, vulnerabilidad y riesgo asociados al cambio climático en España”. Instituto universitario de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente. Universitat Politècnica de València.

REFRESH, 2014. “Riparian Forest can help mitigate climate warming effects in lowland temperate streams” REFRESH Project. Science Policy Brief 2, January 2014.

Regato, P. & Del Río, M., 2009. 9530 Pinares (sud-) mediterráneos de *Pinus nigra* endémicos (*). En: VV.AA., Bases ecológicas preliminares para la



conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. 96 p.

SIA Júcar, 2021. Sistema de Información del agua de la Confederación Hidrográfica del Júcar. Visor cartográfico. Base de datos de imágenes.

Stephen J. Dugdale, Iain A. Malcolm, Kaisa Kantola, David M. Hannah, 2018. “Stream temperature under contrasting riparian forest cover: Understanding thermal dynamics and heat exchange processes” Science of the Total Environment.

Suárez-Almiñana, S., Paredes-Arquiola, J., Andreu, J., Solera, A. 2021. “Climate change effect on water quality in the Júcar River Basin” Ingeniería del agua, 25(2), 75-95. <https://doi.org/10.4995/ia.2021.14644>

Webb and Zhang, 1997. “Spatial and seasonal variability in the components of the river heat budget” Hydrological processes 11, 79-101.

Wehrly & Wang, 2007. “Field-Based Estimates of Thermal Tolerance Limits for Trout: Incorporating Exposure Time and Temperature Fluctuation” Transactions of the American Fisheries Society 136, 365–374.

Proyecto realizado por el alumno de 2º del Máster de Caminos, Canales y Puertos de la UPV Carlos Mulet Rojas:

Carlos Mulet Rojas

Anejo I: Relación del TFM con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030

El presente anejo recogerá el grado de relación del proyecto con los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), así como la alineación de este con los mismos.

Relación del trabajo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible

Objetivos de Desarrollo Sostenibles	Alto	Medio	Bajo	No Procede
ODS 1. Fin de la pobreza.				X
ODS 2. Hambre cero.				X
ODS 3. Salud y bienestar.				X
ODS 4. Educación de calidad.				X
ODS 5. Igualdad de género.				X
ODS 6. Agua limpia y saneamiento.				X
ODS 7. Energía asequible y no contaminante.				X
ODS 8. Trabajo decente y crecimiento económico.				X
ODS 9. Industria, innovación e infraestructuras.				X
ODS 10. Reducción de las desigualdades.				X
ODS 11. Ciudades y comunidades sostenibles.				X
ODS 12. Producción y consumo responsables.				X
ODS 13. Acción por el clima.	X			
ODS 14. Vida submarina.				X
ODS 15. Vida de ecosistemas terrestres.	X			
ODS 16. Paz, justicia e instituciones sólidas.				X
ODS 17. Alianzas para lograr objetivos.			X	

Tabla 12. Relación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible con el trabajo

Descripción de la alineación con los ODS

El TFM habla sobre como el cambio climático afectará a las especies de aguas frías de la Demarcación Hidrográfica del Júcar y concluye que, de no actuar, el aumento en las temperaturas del agua haría que zonas donde podía desarrollar su hábitat la trucha común pasarían a perderse durante el periodo estival. Este hecho debería de preocupar a la sociedad ya que, si el hábitat se reduce y los periodos donde se excede la barrera termal son cada vez mayores, la especie de aguas frías que habita el río Júcar podría desaparecer. Por lo tanto, el presente estudio se encuentra en consonancia con dos de las ODS. Como se denota por el título, la adaptación al clima y el hábitat de las especies es la base en el estudio.

El primer objetivo es el ODS 13: Acción por el clima, está estrechamente relacionado con el estudio. Según el PNACC: “Los científicos observan cambios en el clima en todas las regiones y en todo el sistema climático; y constatan que, en gran medida y de forma categórica, estos cambios se deben a la acción del hombre. Así, las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de las actividades humanas son la causa de aproximadamente 1,1 ° C de calentamiento desde el periodo 1850-1900; y «es muy posible» que en los últimos 125.000 años nunca haya hecho tanto calor en el planeta”.

Del informe también se sacan conclusiones de las posibilidades de sobrepasar el nivel de calentamiento global de 1,5 °C en apenas unas decenas de años, siendo necesarias reducciones inmediatas y a gran escala de GEI, porque sinó será imposible limitar el calentamiento a cerca de 1,5 ° C o incluso 2 ° C, que es el compromiso adquirido en los Acuerdos de París de 2015. Este calentamiento es a medio plazo, irreversible y sus consecuencias serán más evidentes. Según el informe, un calentamiento global de 1,5 °C provocará un aumento de las olas de calor y las estaciones cálidas serán más largas. Estos efectos para la preservación de los ecosistemas tendrá consecuencias adversas. Para llevar a cabo una adaptación a él y así reducir sus efectos, juegan un papel muy importante como se ha observado los bosques de rivera ya que permiten regular la temperatura del agua de los ríos y afluentes siendo elementos generadores de sombra.

También destacar, España ha tomado medidas de gran importancia. Entre ellas, destacan la declaración de la emergencia climática y ambiental, aprobada en Consejo de Ministros en enero de 2020; el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2021-2030 y la recientemente aprobada Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética.



El segundo objetivo es el ODS 15: Vida de ecosistemas terrestres, como objetivos desde Naciones Unidas se promueve la gestión sostenible de todos los tipos de bosques, poniendo el punto de mira a poner fin a la deforestación, recuperar los bosques degradados e incrementar la forestación y la reforestación a nivel mundial.

Adoptar medidas urgentes y significativas para reducir la degradación de los hábitats naturales implicaría también detener la pérdida de la diversidad biológica. De esta forma se protege a las especies amenazadas y se evita su extinción. En el trabajo se ha demostrado como mediante el aumento de la vegetación de ribera se consigue reducir la temperatura del agua, con lo cual se ayuda tanto al objetivo anterior como en este por preservar a las especies de aguas frías que habitan nuestros ríos.



Anejo II: Relación de estaciones foronómicas y altura de lámina de agua

El presente anejo de carácter digital recogerá los tres puntos de medición del calado para la elaboración de la calibración. Las estaciones foronómicas que los forman son las más próximas a los tramos de estudio y se obtienen los datos de los últimos 5 años disponibles del Anuario de Aforos. Estas provienen de la red de estaciones de aforo ROEA, y se recogerán las características geométricas de las mismas, así como los valores utilizados en el estudio.