



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Dpto. de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente

Modelación hidrológica distribuida con TETIS para la  
estimación de la recarga actual y bajo escenarios del  
Cambio Climático de las masas de agua subterránea  
Requena-Utiel y Cabrillas-Malacara

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente

AUTOR/A: Meléndez Saldaña, Diego Alonso

Tutor/a: Francés García, Félix Ramón

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023

# Trabajo Fin de Máster

## *MODELACIÓN HIDROLÓGICA DISTRIBUIDA CON TETIS PARA LA ESTIMACIÓN DE LA RECARGA ACTUAL Y BAJO ESCENARIOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO DE LAS MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA REQUENA-UTIEL Y CABRILLAS-MALACARA*

**Intensificación:**

*ANÁLISIS DE SISTEMAS DE RECURSOS HÍDRICOS*

**Autor:**

*DIEGO ALONSO MELÉNDEZ SALDAÑA*

**Tutor:**

*FÉLIX FRANCÉS GARCÍA*

**Septiembre, 2023**



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

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

# Resumen del Trabajo de Fin de Máster

Datos del proyecto
<b>Título del TFM en español:</b> Modelación hidrológica distribuida con TETIS para la estimación de la recarga actual y bajo escenarios del Cambio Climático de las masas de agua subterránea Requena-Utiel y Cabrillas-Malacara
<b>Título del TFM en inglés:</b> Distributed hydrological modelling with TETIS for calculation of current and future recharge of Requena-Utiel and Cabrillas-Malacara groundwater bodies
<b>Título del TFM en Valenciano:</b> Modelació hidrològica distribuïda amb TETIS per a l'estimació de la recàrrega actual sota escenaris de Canvi Climàtic de les masses d'aigua subterrània Requena-Utiel i Cabrillas-Malacara
<b>Alumno:</b> DIEGO ALONSO MELENDEZ SALDAÑA
<b>Tutor:</b> FÉLIX RAMÓN FRANCÉS GARCÍA
<b>Cotutor/es:</b> -
<b>Director experimental:</b> -
<b>Fecha de Lectura:</b> Septiembre, 2023

Resumen
<b>En español:</b>
<p>El presente estudio tratará acerca de la estimación de la recarga en las masas de agua subterránea Requena-Utiel y Cabrillas-Malacara para lo cual se empleó el modelo hidrológico TETIS que es de tipo distribuido y se usó a una resolución de 200 m. Asimismo, se utilizó información meteorológica de ERA5, la cual se actualiza diariamente, por lo que es de interés para el presente estudio, dado que los resultados que se obtengan podrán aplicarse al proyecto eGroundwater que tiene como propósito implementar un modelo subrogado que permita mejorar la gestión del recurso hídrico subterráneo.</p> <p>La calibración del modelo se llevó a cabo en la cuenca del río Magro, específicamente, en el embalse de Forata, para lo cual se llevó a cabo la naturalización de caudales en dicho embalse. El periodo de calibración fue del 01/10/2015 al 30/09/2019 y se obtuvo como resultado un índice de Nash de 0.6399, un error en volumen de 1.354% y un índice RSR de 0.6001, considerándose estos resultados como satisfactorios.</p> <p>Por otra parte, se hizo una validación espacial en la estación 8060 en Requena, ubicada aguas arriba del embalse mencionado, y se obtuvieron</p>

también resultados satisfactorios como un índice de Nash de 0.6086, un error de volumen de 14.822% y un índice RSR de 0.6256. Adicionalmente, se realizó también validaciones temporales y espacio-temporales en el periodo del 01/10/2010 al 30/09/2015, sin embargo, los resultados fueron insatisfactorios, dado que los índices de Nash arrojaron valores negativos o los índices de RSR tuvieron un valor muy elevado, lo cual se debe a que la serie de caudales observados presenta una oscilación continua y abrupta, así como caudales picos en días de baja precipitación, por lo que no pueden ser simulados adecuadamente.

Con los factores correctores y parámetros calibrados y validados de TETIS, se llevó a cabo la simulación hidrológica en el área de las masas de agua subterránea en cuestión, obteniendo como parte de los resultados los mapas de recarga a nivel diario desde el 01/01/1973 hasta el 31/12/2022, es decir, una serie de recarga de 50 años, a partir de la cual se estimó una recarga promedio anual de 16.92 hm<sup>3</sup> y 1.41 hm<sup>3</sup> para Requena-Utiel y Cabrillas-Malacara, respectivamente.

Adicionalmente, se evaluaron 3 escenarios de Cambio Climático del modelo GFDL-ESM4. En Requena-Utiel, para el escenario SSP1-2.6, la recarga promedio anual se reduciría en un 26.9%, 20.5% y 50.1% en los periodos 2015-2040, 2041-2070 y 2071-2100, respectivamente. En el escenario SSP3-7.0, disminuiría en un 27.5%, 37.3% y 37.0% en 2015-2040, 2041-2070 y 2071-2100, correspondientemente. Por último, en el escenario SSP5-8.5, la reducción es de 33.9%, 45.0% y 66.8% para los 3 periodos en el orden mencionado.

En Cabrillas-Malacara, en el escenario SSP1-2.6, para el 2015-2040, la recarga promedio anual se reduce en un 29.2%, mientras que en 2041-2070 su reducción es del 0.4%, pero del 2071 al 2100 disminuye drásticamente en un 54.5%. Por otra parte, en el escenario SSP3-7.0, para el 2015-2040 la recarga promedio anual disminuiría en un 7.1%, disminuyendo más del 2041 al 2070, llegando a ser del 45.3%, aunque en los posteriores años hasta el 2100, solo decrecería en un 11.4%. Finalmente, en el escenario SSP5-8.5, del 2015 al 2040, la recarga promedio anual disminuiría en un 25.3% y su

descenso sería mayor en el 2041-2070 de un 45.4%, sin embargo, en el último periodo disminuye en un 35.3%.

### **En valenciano:**

El present estudi tractarà sobre l'estimació de la recàrrega en les masses d'aigua subterrània Requena-Utiel i \*Cabrillas-\*Malacara per a això es va emprar el model hidrològic TETIS que és de tipus distribuït i es va usar a una resolució de 200 m. Així mateix, es va utilitzar informació meteorològica d'ERA5, la qual s'actualitza diàriament, per la qual cosa és d'interès per al present estudi, atés que els resultats que s'obtinguen podran aplicar-se al projecte \*eGroundwater que té com a propòsit implementar un model subrogat que permeta millorar la gestió del recurs hídric subterrani.

El calibratge del model es va dur a terme en la conca del riu Magre, específicament, en l'embassament de \*Forata, per a això es va dur a terme la naturalització de cabals en aquest embassament. El període de calibratge va ser del 01/10/2015 al 30/09/2019 i es va obtindre com a resultat un índex de \*Nash de 0.6399, un error en volum de 1.354% i un índex \*RSR de 0.6001, considerant-se aquests resultats com a satisfactoris.

D'altra banda, es va fer una validació espacial en l'estació 8060 a Requena, situada aigües amunt de l'embassament esmentat, i es van obtindre també resultats satisfactoris com un índex de \*Nash de 0.6086, un error de volum de 14.822% i un índex \*RSR de 0.6256. Addicionalment, es va realitzar també validacions temporals i espaciotemporals en el període del 01/10/2010 al 30/09/2015, no obstant això, els resultats van ser insatisfactoris, atés que els índexs de \*Nash van llançar valors negatius o els índexs de \*RSR van tindre un valor molt elevat, la qual cosa es deu al fet que la sèrie de cabals observats presenta una oscil·lació contínua i abrupta, així com cabals pics en dies de baixa precipitació, per la qual cosa no poden ser simulats adequadament.

Amb els factors correctors i paràmetres calibrats i validats de TETIS, es va dur a terme la simulació hidrològica en l'àrea de les masses d'aigua subterrània en qüestió, obtenint com a part dels resultats els mapes de recàrrega a nivell diari des del 01/01/1973 fins al 31/12/2022, és a dir, una sèrie de recàrrega de 50

anys, a partir de la qual es va estimar una recàrrega mitjana anual de 16.92 hm<sup>3</sup> i 1.41 hm<sup>3</sup> per a Requena-Utiel i \*Cabrillas-\*Malacara, respectivament.

Adicionalment, es van avaluar 3 escenaris de Canvi Climàtic del model \*GFDL-ESM4. A Requena-Utiel, per a l'escenari SSP1-2.6, la recàrrega mitjana anual es reduiria en un 26.9%, 20.5% i 50.1% en els períodes 2015-2040, 2041-2070 i 2071-2100, respectivament. En l'escenari SSP3-7.0, disminuiria en un 27.5%, 37.3% i 37.0% en 2015-2040, 2041-2070 i 2071-2100, corresponentment. Finalment, en l'escenari SSP5-8.5, la reducció és de 33.9%, 45.0% i 66.8% per als 3 períodes en l'ordre esmentat.

En \*Cabrillas-\*Malacara, en l'escenari SSP1-2.6, per al 2015-2040, la recàrrega mitjana anual es redueix en un 29.2%, mentre que en 2041-2070 la seua reducció és del 0.4%, però del 2071 al 2100 disminueix dràsticament en un 54.5%. D'altra banda, en l'escenari SSP3-7.0, per al 2015-2040 la recàrrega mitjana anual disminuiria en un 7.1%, disminuint més del 2041 al 2070, arribant a ser del 45.3%, encara que en els posteriors anys fins al 2100, només decreixeria en un 11.4%. Finalment, en l'escenari SSP5-8.5, del 2015 al 2040, la recàrrega mitjana anual disminuiria en un 25.3% i el seu descens seria major en el 2041-2070 d'un 45.4%, no obstant això, en l'últim període disminueix en un 35.3%.

#### **En inglés:**

The present study is about the estimation of groundwater recharge in Requena-Utiel and Cabrillas-Malacara groundwater bodies. In order to do so, TETIS hydrological model was used, which is a distributed model and had a resolution of 200 m. Likewise, meteorological information from ERA5 has been applied because it is updated daily, so it is of interest for the present study, since the results obtained can be applied to the eGroundwater project whose purpose is to implement a surrogate model that will allow the improvement of the groundwater resources management.

The calibration of the model was carried out in the Magro river basin, specifically, in the Forata reservoir, for which the naturalization of flows was carried out. The calibration period was from 01/10/2015 to 30/09/2019 and the

results obtained were a Nash index of 0.6399, a volume error of 1.354% and an RSR index of 0.6001, these results were considered as satisfactory.

On the other hand, a spatial validation was performed at station 8060 in Requena, located upstream of the aforementioned reservoir, and satisfactory results were also obtained, such as a Nash index of 0.6086, a volume error of 14.822% and an RSR index of 0.6256. Additionally, temporal and spatio-temporal validations were also performed in the period from 01/10/2010 to 30/09/2015, however, the results were unsatisfactory, since the Nash indexes yielded negative values or the RSR indexes had a very high value, which is due to the fact that the observed flow series presents a continuous and abrupt oscillation, as well as peak flows on days of low precipitation, so they cannot be hydrologically simulated.

With the corrective factors and parameters that were calibrated and validated TETIS, the hydrological simulation was carried out in the area of the groundwater bodies, obtaining as part of the results the daily recharge maps from 01/01/1973 to 31/12/2022, which means a 50-year recharge series, from which an average annual recharge of 16.92 hm<sup>3</sup> and 1.41 hm<sup>3</sup> was estimated for Requena-Utiel and Cabrillas-Malacara, respectively.

Additionally, 3 Climate Change scenarios of the GFDL-ESM4 model were evaluated. In Requena-Utiel, for SSP1-2.6 scenario, the average annual recharge would decrease by 26.9%, 20.5% and 50.1% in the periods 2015-2040, 2041-2070 and 2071-2100, respectively. In SSP3-7.0 scenario, it would decrease by 27.5%, 37.3% and 37.0% in 2015-2040, 2041-2070 and 2071-2100, correspondingly. Finally, in SSP5-8.5 scenario, the reduction is 33.9%, 45.0% and 66.8% for the 3 periods in the order mentioned.

In Cabrillas-Malacara, in SSP1-2.6 scenario, for 2015-2040, the average annual recharge is reduced by 29.2%, while in 2041-2070 its reduction is 0.4%, but from 2071 to 2100 it decreases drastically by 54.5%. On the other hand, in SSP3-7.0 scenario, by 2015-2040 the average annual recharge would decrease by 7.1%, decreasing further from 2041 to 2070, reaching 45.3%, although in the subsequent years until 2100, it would only decrease by 11.4%. Finally, in SSP5-8.5 scenario, from 2015 to 2040, the average annual recharge

would decrease by 25.3% and its decrease would be greater in 2041-2070 of 45.4%, however, in the last period it decreases by 35.3%.

**Palabras clave español:** TETIS; recarga subterránea; Requena-Utiel; Cabrillas-Malacara; Cambio Climático

**Palabras clave valenciano:** TETIS; recàrrega subterrània; Requena-Utiel; Cabrillas-Malacara; Canvi Climàtic

**Palabras clave inglés:** TETIS; groundwater recharge; Requena-Utiel; Cabrillas-Malacara; Climate Change

## ***AGRADECIMIENTOS***

Al Dr. Félix Francés por su orientación y paciencia en la elaboración del presente estudio. Al Programa Nacional de Becas y Crédito Educativo del Gobierno del Perú por brindarme la oportunidad de realizar una maestría en una universidad de prestigio. A mis compañeros del GIHMA por el apoyo constante durante este camino.

## ***DEDICATORIA***

A mi madre Luz, porque aprender a volar no es fácil, pero sí necesario.

# Índice

1.	Introducción.....	1
1.1.	Marco general .....	1
1.2.	Objetivos .....	3
1.3.	Metodología y estructura del documento .....	3
1.4.	Justificación.....	3
2.	Modelo TETIS .....	4
2.1.	La producción de la escorrentía .....	4
2.2.	Parámetros efectivos.....	6
2.3.	Tanque de intercepción.....	7
2.4.	Almacenamiento estático y pérdidas por evapotranspiración .....	8
2.5.	Almacenamiento superficial y la escorrentía directa .....	10
2.6.	Almacenamiento gravitacional y el interflujo .....	12
2.7.	Almacenamiento subterráneo y flujo base .....	13
2.8.	Parámetros geomorfológicos .....	14
3.	Zona de estudio .....	17
3.1.	Cuencas de análisis .....	17
3.2.	Estimación de parámetros.....	21
3.2.1.	Mapas derivados del MDE.....	21
3.2.2.	Parámetros de suelo.....	24
3.2.3.	Cobertura vegetal .....	28
3.2.4.	Estimación de $k_c$ .....	33
3.2.5.	Hidrogeología .....	44
3.2.6.	Estimación del almacenamiento estático.....	48
4.	Hidrometeorología.....	60
4.1.	Escenarios de Cambio Climático .....	60

4.2.	Precipitación.....	63
4.2.1.	Zonificación de la precipitación.....	63
4.2.2.	Evaluación de las bases de datos .....	66
4.2.3.	Histórica.....	73
4.2.4.	Futura .....	73
4.3.	Temperatura.....	75
4.3.1.	Histórica y futura.....	79
4.4.	Evapotranspiración de referencia.....	80
4.4.1.	Calibración de la ecuación de Hargreaves .....	80
4.4.2.	Histórica.....	85
4.4.3.	Futura .....	86
4.5.	Hidrometría .....	89
4.5.1.	Estación 8009 – Embalse Contreras .....	89
4.5.2.	Estación 8013 – Embalse Forata.....	92
4.5.3.	Estación 8060 Río Magro en Requena.....	108
4.5.4.	Estación 8112 Río Cabriel en Cofrentes.....	109
5.	Riego.....	110
5.1.	Principales cultivos y área de riego.....	110
5.2.	Necesidades hídricas .....	114
5.3.	Artefacto de kc para riego por goteo .....	117
6.	Resultados .....	118
6.1.	Calibración .....	118
6.1.1.	Factores correctores.....	119
6.2.	Validación espacial.....	125
6.3.	Validación temporal.....	128
6.4.	Balance en la cuenca .....	136

6.5. Recarga estimada en Requena-Utiel .....	138
6.5.1. Recarga estimada con ERA5 .....	138
6.5.2. Comparación con la recarga estimada con PATRICAL .....	141
6.5.3. Comparación con la recarga histórica del modelo GFDL-ESM4. ....	145
6.5.4. Recarga estimada con escenarios de Cambio Climático.....	150
6.5.5. Variación de la recarga.....	165
6.6. Recarga estimada en Cabrillas-Malacara .....	167
6.6.1. Recarga estimada con ERA5 .....	167
6.6.2. Comparación con la recarga estimada con PATRICAL .....	170
6.6.3. Comparación con la recarga histórica del modelo GFDL-ESM4. ....	173
6.6.4. Recarga estimada con escenarios de Cambio Climático.....	178
6.6.5. Variación de la recarga.....	192
7. Conclusiones.....	194
8. Bibliografía .....	198

## Índice de Figuras

Figura 1. Tanques de almacenamiento a nivel de celda en el modelo TETIS....	5
Figura 2. Movimiento horizontal del flujo de agua en TETIS (simplificación 2D).	5
Figura 3. Esquema del tanque de intercepción. ....	7
Figura 4. Esquema del almacenamiento estático.....	9
Figura 5. Esquema del almacenamiento sobre superficie.....	11
Figura 6. Esquema del almacenamiento gravitacional. ....	12
Figura 7. Esquema del almacenamiento subterráneo. ....	13
Figura 8. Mapa del modelo de elevación digital. ....	18
Figura 9. Histograma del mapa del modelo de elevación digital. ....	18
Figura 10. Curva hipsométrica de la cuenca del río Magro. ....	19
Figura 11. Rectángulo equivalente de la cuenca del río Magro.....	19
Figura 12. Curva hipsométrica de la cuenca del río Gabriel.....	20
Figura 13. Rectángulo equivalente de la cuenca del río Gabriel. ....	20
Figura 14. Mapas de (a) celdas acumuladas, (b) dirección de flujo, (c) pendiente y (d) velocidad de flujo en ladera.....	22
Figura 15. Histograma del mapa de celdas acumuladas.....	22
Figura 16. Histograma del mapa de dirección de flujo. ....	23
Figura 17. Histograma del mapa de pendientes.....	23
Figura 18. Histograma del mapa de velocidad en ladera. ....	23
Figura 19. Mapas de conductividad hidráulica saturada en el suelo. ....	27
Figura 20. Mapa de cobertura vegetal de CLC 2012.....	30
Figura 21. Histograma del mapa de cobertura vegetal de CLC 2012.....	30
Figura 22. Mapa de cobertura vegetal de CLC 2018.....	31
Figura 23. Histograma del mapa de cobertura vegetal de CLC 2018.....	31
Figura 24. Cambio de uso de suelo del 2012 al 2018. ....	32

Figura 25. Histograma del cambio de uso de suelo del 2012 al 2018. ....	32
Figura 26. kc para bosque de pinos. ....	33
Figura 27. kc para montaña matorral. ....	34
Figura 28. kc para coberturas urbanas.....	34
Figura 29. kc para pastizales naturales.....	35
Figura 30. kc para vegetación escasa.....	36
Figura 31. kc para secano arborizado.....	36
Figura 32. kc para cultivos de tipo cereal.....	40
Figura 33. kc para cultivos de tipo arborizado.....	40
Figura 34. kc para cultivos de tipo oleaginoso.....	40
Figura 35. kc para cultivos de tipo leguminosa.....	41
Figura 36. kc para cultivos de tipo forraje.....	41
Figura 37. kc para cultivos de tipo hortaliza.....	41
Figura 38. Mapa de conductividad hidráulica de Pérez (2019).....	44
Figura 39. Mapa de permeabilidades de España en las cuencas de los ríos Magro y Cabriel.....	45
Figura 40. Mapas de diferencia porcentual del ksa (%). ....	46
Figura 41. Histograma de la diferencia porcentual - río Ésera (%). ....	47
Figura 42. Histograma de la diferencia porcentual - Domenico y Schwartz (1998) (%). ....	47
Figura 43. Conductividad hidráulica saturada del acuífero.....	47
Figura 44. Profundidad al estrato rocoso y de raíces para CLC 2012 y 2018. .	50
Figura 45. Almacenamiento capilar para CLC 2012 y 2018.....	52
Figura 46. Almacenamiento por pendiente.....	56
Figura 47. Almacenamiento por cobertura vegetal.....	57
Figura 48. Almacenamiento superficial.....	58
Figura 49. Almacenamiento estático.....	59

Figura 50. Método de la curva del codo aplicado en el área de estudio.....	66
Figura 51. Spearman, RBIAS, RMSE para ERA5 (0 – 24 h), ERA5 (7 – 7 h) y ERA5-Land, para el área de estudio a escala diaria. ....	68
Figura 52. Dinámica temporal de la correlación de Spearman, RBIAS y RMSE de datos diarios de precipitación de ERA5 acumulados entre las 0 a las 24 h (los valores atípicos no se muestran),.....	70
Figura 53. Dinámica temporal de la correlación de Spearman, RBIAS y RMSE de datos diarios de precipitación de ERA5 acumulados entre las 7 a las 7 h del día posterior (los valores atípicos no se muestran). ....	71
Figura 54. Dinámica temporal de la correlación de Spearman, RBIAS y RMSE de datos diarios de precipitación de ERA5-Land acumulados entre las 7 a las 7 h del día posterior (los valores atípicos no se muestran). ....	72
Figura 55. Spearman, RBIAS, RMSE para datos diarios de temperatura máxima y mínima de ERA5 en el área de estudio. ....	76
Figura 56. Dinámica temporal de la correlación de Spearman, RBIAS y RMSE de datos diarios de temperatura máxima de ERA5 (los valores atípicos no se muestran). ....	77
Figura 57. Dinámica temporal de la correlación de Spearman, RBIAS y RMSE de datos diarios de temperatura mínima de ERA5 (los valores atípicos no se muestran). ....	78
Figura 58. Ubicación de las estaciones ETo del IVIA empleadas. ....	81
Figura 59. Relación de la ETo calculada por el método Penman-Monteith y Hargreaves en la estación Campo Arcís. ....	82
Figura 60. Relación de la ETo calculada por el método Penman-Monteith y Hargreaves en la estación Requena Cerrito. ....	82
Figura 61. Validación en la estación Requena Cerrito de los coeficientes calibrados en la estación Campo Arcís. ....	83
Figura 62. Validación en la estación Campo Arcís de los coeficientes calibrados en la estación Requena Cerrito. ....	84
Figura 63. Cálculo de la ETo en la estación Campo Arcís. ....	84

Figura 64. Cálculo de la ETo en la estación Requena Cerrito.....	84
Figura 65. Dinámica temporal de la evapotranspiración potencial de referencia diaria (los valores atípicos no se muestran). .....	85
Figura 66. Dinámica temporal de la evapotranspiración potencial de referencia mensual (los valores atípicos no se muestran). .....	86
Figura 67. Ubicación de las estaciones foronómicas y embalses. ....	89
Figura 68. Registro hidrométrico de las entradas mensuales del embalse Contreras.....	90
Figura 69. Volumen promedio mensual de las entradas mensuales del embalse Contreras.....	90
Figura 70. Registro hidrométrico de las salidas mensuales del embalse Contreras.....	91
Figura 71. Volumen promedio mensual de las salidas mensuales del embalse Contreras.....	91
Figura 72. Registro hidrométrico de las entradas mensuales del embalse Forata.....	92
Figura 73. Volumen promedio mensual de las entradas mensuales del embalse Forata.....	92
Figura 74. Registro hidrométrico de las salidas mensuales del embalse Forata.....	93
Figura 75. Volumen promedio mensual de las salidas mensuales del embalse Forata.....	93
Figura 76. Hidrograma de las entradas diarias al embalse Forata. ....	95
Figura 77. Temperatura media mensual en la estación Campo Arcís.....	96
Figura 78. Presión de vapor de saturación mensual en la estación Campo Arcís. ....	97
Figura 79. Humedad relativa media mensual en la estación Campo Arcís. ....	97
Figura 80. Presión de vapor real mensual en la estación Campo Arcís. ....	98

Figura 81. Temperatura del punto de rocío mensual en la estación Campo Arcís. ....	98
Figura 82. Valor mensual de $\Delta$ en la estación Campo Arcís.....	99
Figura 83. Velocidad del viento promedio mensual en la estación Campo Arcís. ....	100
Figura 84. Velocidad del viento promedio mensual corregida en la estación Campo Arcís.....	101
Figura 85. Valor mensual de $E_a$ en la estación Campo Arcís. ....	101
Figura 86. Radiación solar promedio mensual en la estación Campo Arcís. .	102
Figura 87. Valores de $\Delta R_n$ en la estación Campo Arcís. ....	102
Figura 88. Evaporación en tanque en la estación Campo Arcís.....	103
Figura 89. Evaporación en laguna en la estación Campo Arcís. ....	103
Figura 90. Hidrograma de caudal naturalizado promedio anual de la estación 8013 del embalse Forata.....	105
Figura 91. Curva MRC de la estación 8013 ajustada a las expresiones analíticas de Maillet, Coutagne, Boussinesq y Wittenberg. ....	106
Figura 92. Hidrograma de la escorrentía total y directa, y flujo base de la estación 8013 del embalse Forata.....	107
Figura 93. Registro hidrométrico de la estación 8060. ....	108
Figura 94. Caudal promedio mensual de la estación 8060. ....	108
Figura 95. Registro hidrométrico de la estación 8112. ....	109
Figura 96. Caudal promedio mensual de la estación 8112. ....	109
Figura 97. Áreas de cultivos de vid y almendro según el SIGPAC.....	111
Figura 98. Selección aleatoria del 60% y 30% de las áreas de los cultivos de vid y almendro asociado a CLC 2012. ....	112
Figura 99. Selección aleatoria del 60% y 30% de las áreas de los cultivos de vid y almendro asociado a CLC 2018. ....	112
Figura 100. Mapa de riego asociado a CLC 2012. ....	113

Figura 101. Mapa de riego asociado a CLC 2018.....	114
Figura 102. Necesidad de riego de la vid y el almendro en Requena. ....	116
Figura 103. Frecuencia de riego de la vid y el almendro en Requena. ....	116
Figura 104. $\lambda$ y $\lambda_{wet}$ para vid y almendro.....	117
Figura 105. Caudal observado y simulado en Forata en el periodo de calibración. ....	123
Figura 106. Caudal observado y simulado en Forata en el periodo de calibración considerando la precipitación acumulada desde el día anterior. ....	124
Figura 107. Validación espacial en la estación 8060.....	128
Figura 108. Validación espacial en la estación 8060 considerando la precipitación acumulada desde el día anterior. ....	128
Figura 109. Caudal observado y simulado en Forata en el periodo de validación. ....	130
Figura 110. Caudal observado y simulado en Forata en el periodo de validación considerando la precipitación acumulada desde el día anterior. ....	130
Figura 111. Caudales observados y simulados en Forata iguales o superiores a 1 m <sup>3</sup> /s en el periodo de calibración. ....	131
Figura 112. Caudales observados y simulados en Forata iguales o superiores a 1 m <sup>3</sup> /s en el periodo de calibración considerando la precipitación acumulada desde el día anterior.....	131
Figura 113. Caudales observados y simulados al inicio de un evento de caudales superiores a 1 m <sup>3</sup> /s en Forata en el periodo de calibración.....	132
Figura 114. Caudales observados y simulados al inicio de un evento de caudales superiores a 1 m <sup>3</sup> /s en Forata en el periodo de calibración considerando la precipitación acumulada desde el día anterior. ....	133
Figura 115. Caudales observados y simulados al inicio de un evento de caudales superiores a 1 m <sup>3</sup> /s en Forata en el periodo de validación.....	134

Figura 116. Caudales observados y simulados al inicio de un evento de caudales superiores a 1 m <sup>3</sup> /s en Forata en el periodo de validación considerando la precipitación acumulada desde el día anterior. ....	134
Figura 117. Caudal observado y simulado en la estación 8060 en el periodo de validación. ....	135
Figura 118. Caudal observado y simulado en la estación 8060 en el periodo de validación considerando la precipitación acumulada desde el día anterior. ...	135
Figura 119. Recarga mensual entre 1973 y 2022 en Requena-Utiel.....	138
Figura 120. Recarga promedio mensual 1973 - 2022 en Requena-Utiel. ....	139
Figura 121. Recarga anual del periodo entre 1973 y 2022 en Requena-Utiel.	140
Figura 122. Recarga mensual de PATRICAL y TETIS entre 1973 y 2019 en Requena-Utiel. ....	142
Figura 123. Comparación de la recarga promedio mensual obtenida por PATRICAL y TETIS entre 1973 y 2019 en Requena-Utiel. ....	142
Figura 124. Recarga anual del periodo entre 1973 y 2022 de PATRICAL y TETIS en Requena-Utiel. ....	144
Figura 125. Recarga mensual de GFDL-ESM4 entre 1980 y 2014 en Requena-Utiel. ....	145
Figura 126. Recarga promedio mensual de GFDL-ESM4 y ERA5 entre 1980 y 2014 en Requena-Utiel. ....	146
Figura 127. Boxplot de la precipitación mensual de GFDL-ESM4 y ERA5 en el periodo entre 1980 y 2014 en Requena-Utiel.....	148
Figura 128. Recarga anual del periodo entre 1980 y 2014 de GFDL-ESM4 y ERA5 en Requena-Utiel. ....	149
Figura 129. Recarga promedio mensual en la masa de agua subterránea Requena-Utiel para el escenario SSP1-2.6.....	151
Figura 130. Recarga promedio mensual en Requena-Utiel para el escenario SSP3-7.0.....	155

Figura 131. Recarga promedio mensual en Requena-Utiel para el escenario SSP5-8.5.....	159
Figura 132. Recarga anual en Requena-Utiel del 2015 al 2040 para los 3 escenarios de Cambio Climático.....	162
Figura 133. Recarga anual en Requena-Utiel del 2041 al 2070 para los 3 escenarios de Cambio Climático.....	162
Figura 134. Recarga anual en Requena-Utiel del 2071 al 2100 para los 3 escenarios de Cambio Climático.....	163
Figura 135. Recarga promedio anual en Requena-Utiel para los 3 escenarios de Cambio Climático.....	163
Figura 136. Recarga mensual entre 1973 y 2022 en la masa de agua subterránea Cabrillas-Malacara.....	167
Figura 137. Recarga promedio mensual del periodo entre 1973 y 2022 Cabrillas-Malacara.....	168
Figura 138. Recarga anual del periodo entre 1973 y 2022 en Cabrillas-Malacara.....	169
Figura 139. Recarga mensual de PATRICAL y TETIS entre 1973 y 2019 en Cabrillas-Malacara.....	170
Figura 140. Comparación de la recarga promedio mensual obtenida por PATRICAL y TETIS entre 1973 y 2019 en Cabrillas-Malacara.....	171
Figura 141. Recarga anual del periodo entre 1973 y 2022 de PATRICAL y TETIS en Cabrillas-Malacara.....	172
Figura 142. Recarga mensual de GFDL-ESM4 y ERA5 entre 1980 y 2014 en Requena-Utiel.....	173
Figura 143. Recarga promedio mensual de GFDL-ESM4 y ERA5 entre 1980 y 2014 en Cabrillas-Malacara.....	174
Figura 144. Boxplot de la precipitación mensual de GFDL-ESM4 y ERA5 en el periodo entre 1980 y 2014 en Cabrillas-Malacara.....	175
Figura 145. Recarga anual del periodo entre 1980 y 2014 de GFDL-ESM4 y ERA5 en Cabrillas-Malacara.....	177

Figura 146. Recarga promedio mensual en Cabrillas-Malacara para el escenario SSP1-2.6.....	179
Figura 147. Recarga promedio mensual en Cabrillas-Malacara para el escenario SSP3-7.0.....	183
Figura 148. Recarga promedio mensual en Cabrillas-Malacara para el escenario SSP5-8.5.....	186
Figura 149. Recarga anual en Cabrillas-Malacara del 2015 al 2040 para los 3 escenarios de Cambio Climático.....	189
Figura 150. Recarga anual en Cabrillas-Malacara del 2041 al 2070 para los 3 escenarios de Cambio Climático.....	189
Figura 151. Recarga anual en Cabrillas-Malacara del 2071 al 2100 para los 3 escenarios de Cambio Climático.....	190
Figura 152. Recarga promedio anual en Cabrillas-Malacara para los 3 escenarios de Cambio Climático.....	190

## Índice de Tablas

Tabla 1. Estructura de partición del parámetro de TETIS .....	7
Tabla 2. Áreas delimitadas y oficiales de las cuencas de estudio .....	17
Tabla 3. Nomenclatura empleada para las coberturas de CLC.....	29
Tabla 4. Distribución del número de píxeles según el tipo de cultivo para la categoría de tierra de cultivo de no regadío de CLC .....	37
Tabla 5. Distribución del número de píxeles según el tipo de cultivo para la categoría de tierras regadas permanentemente de CLC .....	38
Tabla 6. Distribución del número de píxeles según el tipo de cultivo para la categoría de árboles frutales y plantaciones de bayas de CLC.....	38
Tabla 7. Distribución del número de píxeles según el tipo de cultivo para la categoría de cultivos anuales asociados con permanentes de CLC .....	38
Tabla 8. Distribución del número de píxeles según el tipo de cultivo para la categoría de forma de cultivos complejos de CLC .....	39
Tabla 9. Distribución del número de píxeles según el tipo de cultivo para la categoría de terreno principalmente ocupado por agricultura con vegetación natural significativa de CLC.....	39
Tabla 10. Valores de $k_c$ e intercepción de precipitación empleados para cada cobertura .....	42
Tabla 11. Valores de referencia de conductividad hidráulica para varios tipos de roca .....	46
Tabla 12. Profundidad de raíces según el tipo de cobertura .....	49
Tabla 13. Valores de almacenamiento por cobertura vegetal, pendiente y superficial (mm).....	54
Tabla 14. Ubicación de las estaciones meteorológicas para el cálculo de la evapotranspiración .....	80
Tabla 15. Resultados de la calibración de la ecuación de Hargreaves .....	82
Tabla 16. Ubicación de las estaciones foronómicas y embalses en el área de estudio.....	89

Tabla 17. Valores de p de las pruebas Shapiro-Wilk y Chi-cuadrado .....	104
Tabla 18. Puntos de quiebre identificados en las series de caudal promedio anual .....	105
Tabla 19. Parámetros ajustados para la curva MRC de la estación 8013 con las expresiones analíticas de Maillet, Boussinesq, Coutagne y Wittenberg.....	106
Tabla 20. Principales cultivos bajo riego en el área de los acuíferos Requena-Utiel y Cabrillas-Malacara según el SIGPAC.....	110
Tabla 21. Área bajo riego estimada de la vid y el almendro en la zona de los acuíferos Requena-Utiel y Cabrillas-Malacara .....	111
Tabla 22. Área bajo riego mojada y modelada de la vid y el almendro en la zona de los acuíferos Requena-Utiel y Cabrillas-Malacara.....	113
Tabla 23. Dotación bruta establecida según los Informes de Seguimiento del Plan de Explotación de la Masa de Agua Subterránea 080.133 Requena-Utiel.....	114
Tabla 24. Umbrales de lluvia y dotaciones máximas aplicables según los Informes de Seguimiento del Plan de Explotación de la Masa de Agua Subterránea 080.133 Requena-Utiel.....	115
Tabla 25. Cálculo de $\lambda_{wet}$ para vid y almendro.....	117
Tabla 26. Calibración del modelo hidrológico empleando el índice de Nash .	120
Tabla 27. Valores de los índices de eficiencia empleados .....	120
Tabla 28. Calibración del modelo hidrológico empleando el índice de Nash por rangos .....	120
Tabla 29. Valores de los índices de eficiencia empleados para Nash por rangos .....	121
Tabla 30. Calibración en Forata y la estación 8060 .....	125
Tabla 31. Valores de los índices de eficiencia empleados .....	125
Tabla 32. Balance en la cuenca del río Magro del 01/10/1970 al 30/09/2010	136
Tabla 33. Balance en la cuenca del río Magro del 01/10/2010 al 30/09/2015	137
Tabla 34. Balance en la cuenca del río Magro del 01/10/2015 al 31/12/2022	137

Tabla 35. Estadísticos de la recarga mensual entre 1973 y 2022 en Requena-Utiel.....	139
Tabla 36. Estadísticos de la precipitación mensual de ERA5 1973- 2022 en Requena-Utiel .....	139
Tabla 37. Estadísticos de la recarga anual obtenida entre 1973 y 2022 en Requena-Utiel .....	140
Tabla 38. Estadísticos de la precipitación anual de ERA5 entre 1973 y 2022 en Requena-Utiel .....	140
Tabla 39. Estadísticos de la serie de recarga mensual entre 1973 y 2019 en Requena-Utiel de PATRICAL.....	143
Tabla 40. Estadísticos de la serie de recarga mensual entre 1973 y 2019 en Requena-Utiel de TETIS .....	143
Tabla 41. Estadísticos de la recarga anual entre 1973 y 2019 en Requena-Utiel de PATRICAL.....	144
Tabla 42. Estadísticos de la recarga anual entre 1973 y 2019 en Requena-Utiel de TETIS .....	144
Tabla 43. Estadísticos de la recarga mensual de GFDL-ESM4 entre 1980 y 2014 en Requena-Utiel .....	146
Tabla 44. Estadísticos de la recarga mensual obtenida con ERA5 en el periodo entre 1980 y 2014 en Requena-Utiel.....	146
Tabla 45. Estadísticos de la precipitación mensual de GFDL-ESM4 entre 1980 y 2014 en Requena-Utiel .....	148
Tabla 46. Estadísticos de la precipitación mensual de ERA5 entre 1980 y 2014 en Requena-Utiel .....	148
Tabla 47. Estadísticos de la recarga anual entre 1980 y 2014 en Requena-Utiel de GFDL-ESM4 y ERA5.....	149
Tabla 48. Estadísticos de la precipitación anual entre 1980 y 2014 en Requena-Utiel de GFDL-ESM4 y ERA5.....	149
Tabla 49. Estadísticos de la recarga mensual para el escenario SSP1-2.6 entre 2015 y 2040 en Requena-Utiel.....	151

Tabla 50. Estadísticos de la recarga mensual para el escenario SSP1-2.6 entre 2041 y 2070 en Requena-Utiel.....	152
Tabla 51. Estadísticos de la recarga mensual para el escenario SSP1-2.6 entre 2071 y 2100 en Requena-Utiel.....	152
Tabla 52. Estadísticos de la precipitación mensual para el escenario SSP1-2.6 entre 2015 y 2040 en Requena-Utiel.....	152
Tabla 53. Estadísticos de la precipitación mensual para el escenario SSP1-2.6 entre 2041 y 2070 en Requena-Utiel.....	153
Tabla 54. Estadísticos de la precipitación mensual para el escenario SSP1-2.6 entre 2071 y 2100 en Requena-Utiel.....	153
Tabla 55. Estadísticos de la recarga mensual para el escenario SSP3-7.0 entre 2015 y 2040 en Requena-Utiel.....	155
Tabla 56. Estadísticos de la recarga mensual para el escenario SSP3-7.0 entre 2041 y 2070 en Requena-Utiel.....	155
Tabla 57. Estadísticos de la recarga mensual para el escenario SSP3-7.0 entre 2071 y 2100 en Requena-Utiel.....	156
Tabla 58. Estadísticos de la precipitación mensual para el escenario SSP3-7.0 entre 2015 y 2040 en Requena-Utiel.....	156
Tabla 59. Estadísticos de la precipitación mensual para el escenario SSP3-7.0 entre 2041 y 2070 en Requena-Utiel.....	156
Tabla 60. Estadísticos de la precipitación mensual para el escenario SSP3-7.0 entre 2071 y 2100 en Requena-Utiel.....	157
Tabla 61. Estadísticos de la recarga mensual para el escenario SSP5-8.5 entre 2015 y 2040 en Requena-Utiel.....	159
Tabla 62. Estadísticos de la recarga mensual para el escenario SSP5-8.5 entre 2041 y 2070 en Requena-Utiel.....	159
Tabla 63. Estadísticos de la recarga mensual para el escenario SSP5-8.5 entre 2071 y 2100 en Requena-Utiel.....	160
Tabla 64. Estadísticos de la precipitación mensual para el escenario SSP5-8.5 entre 2015 y 2040 en Requena-Utiel.....	160

Tabla 65. Estadísticos de la precipitación mensual para el escenario SSP5-8.5 entre 2041 y 2070 en Requena-Utiel.....	160
Tabla 66. Estadísticos de la precipitación mensual para el escenario SSP5-8.5 entre 2071 y 2100 en Requena-Utiel.....	161
Tabla 67. Estadísticos de la recarga anual entre 2015 y 2040 en Requena-Utiel de GFDL-ESM4.....	164
Tabla 68. Estadísticos de la recarga anual entre 2041 y 2070 en Requena-Utiel de GFDL-ESM4.....	164
Tabla 69. Estadísticos de la recarga anual entre 2071 y 2100 en Requena-Utiel de GFDL-ESM4.....	164
Tabla 70. Estadísticos de la precipitación anual entre 2015 y 2040 en Requena-Utiel de GFDL-ESM4.....	164
Tabla 71. Estadísticos de la precipitación anual entre 2041 y 2070 en Requena-Utiel de GFDL-ESM4.....	164
Tabla 72. Estadísticos de la precipitación anual entre 2071 y 2100 en Requena-Utiel de GFDL-ESM4.....	164
Tabla 73. Estadísticos de la serie de recarga mensual entre 1973 y 2022 en Cabrillas-Malacara .....	168
Tabla 74. Estadísticos de la precipitación mensual de ERA5 entre 1973 y 2022 en Cabrillas-Malacara .....	168
Tabla 75. Estadísticos de la recarga anual obtenida entre 1973 y 2022 en Cabrillas-Malacara .....	169
Tabla 76. Estadísticos de la precipitación anual de ERA5 entre 1973 y 2022 en Cabrillas-Malacara .....	169
Tabla 77. Estadísticos de la serie de recarga mensual entre 1973 y 2019 en Cabrillas-Malacara de PATRICAL.....	171
Tabla 78. Estadísticos de la serie de recarga mensual entre 1973 y 2019 en Cabrillas-Malacara de TETIS .....	171
Tabla 79. Estadísticos de la recarga anual entre 1973 y 2019 en Cabrillas-Malacara de PATRICAL.....	172

Tabla 80. Estadísticos de la recarga anual entre 1973 y 2019 en Cabrillas-Malacara de TETIS .....	172
Tabla 81. Estadísticos de la recarga mensual de GFDL-ESM4 entre 1980 y 2014 en Cabrillas-Malacara .....	174
Tabla 82. Estadísticos de la recarga mensual obtenida con ERA5 en el periodo entre 1980 y 2014 en Cabrillas-Malacara.....	174
Tabla 83. Estadísticos de la precipitación mensual de GFDL-ESM4 entre 1980 y 2014 en Cabrillas-Malacara.....	176
Tabla 84. Estadísticos de la precipitación mensual de ERA5 entre 1980 y 2014 en Cabrillas-Malacara .....	176
Tabla 85. Estadísticos de la recarga anual entre 1980 y 2014 en Cabrillas-Malacara de GFDL-ESM4 y ERA5.....	177
Tabla 86. Estadísticos de la precipitación anual entre 1980 y 2014 en Cabrillas-Malacara de GFDL-ESM4 y ERA5.....	177
Tabla 87. Estadísticos de la recarga mensual para el escenario SSP1-2.6 entre 2015 y 2040 en Cabrillas-Malacara.....	180
Tabla 88. Estadísticos de la recarga mensual para el escenario SSP1-2.6 entre 2041 y 2070 en Cabrillas-Malacara.....	180
Tabla 89. Estadísticos de la recarga mensual para el escenario SSP1-2.6 entre 2071 y 2100 en Cabrillas-Malacara.....	180
Tabla 90. Estadísticos de la precipitación mensual para el escenario SSP1-2.6 entre 2015 y 2040 en Cabrillas-Malacara.....	181
Tabla 91. Estadísticos de la precipitación mensual para el escenario SSP1-2.6 entre 2041 y 2070 en Cabrillas-Malacara.....	181
Tabla 92. Estadísticos de la precipitación mensual para el escenario SSP1-2.6 entre 2071 y 2100 en Cabrillas-Malacara.....	181
Tabla 93. Estadísticos de la recarga mensual para el escenario SSP3-7.0 entre 2015 y 2040 en Cabrillas-Malacara.....	183
Tabla 94. Estadísticos de la recarga mensual para el escenario SSP3-7.0 entre 2041 y 2070 en Cabrillas-Malacara.....	184

Tabla 95. Estadísticos de la recarga mensual para el escenario SSP3-7.0 entre 2071 y 2100 en Cabrillas-Malacara.....	184
Tabla 96. Estadísticos de la precipitación mensual para el escenario SSP3-7.0 entre 2015 y 2040 en Cabrillas-Malacara.....	184
Tabla 97. Estadísticos de la precipitación mensual para el escenario SSP3-7.0 entre 2041 y 2070 en Cabrillas-Malacara.....	185
Tabla 98. Estadísticos de la precipitación mensual para el escenario SSP3-7.0 entre 2071 y 2100 en Cabrillas-Malacara.....	185
Tabla 99. Estadísticos de la recarga mensual para el escenario SSP5-8.5 entre 2015 y 2040 en Cabrillas-Malacara.....	186
Tabla 100. Estadísticos de la recarga mensual para el escenario SSP5-8.5 entre 2041 y 2070 en Cabrillas-Malacara.....	187
Tabla 101. Estadísticos de la recarga mensual para el escenario SSP5-8.5 entre 2071 y 2100 en Cabrillas-Malacara.....	187
Tabla 102. Estadísticos de la precipitación mensual para el escenario SSP5-8.5 entre 2015 y 2040 en Cabrillas-Malacara.....	187
Tabla 103. Estadísticos de la precipitación mensual para el escenario SSP5-8.5 entre 2041 y 2070 en Cabrillas-Malacara.....	188
Tabla 104. Estadísticos de la precipitación mensual para el escenario SSP5-8.5 entre 2071 y 2100 en Cabrillas-Malacara.....	188
Tabla 105. Estadísticos de la recarga anual entre 2015 y 2040 en Cabrillas-Malacara de GFDL-ESM4 .....	190
Tabla 106. Estadísticos de la recarga anual entre 2041 y 2070 en Cabrillas-Malacara de GFDL-ESM4 .....	191
Tabla 107. Estadísticos de la recarga anual entre 2071 y 2100 en Cabrillas-Malacara de GFDL-ESM4 .....	191
Tabla 108. Estadísticos de la precipitación anual entre 2015 y 2040 en Cabrillas-Malacara de GFDL-ESM4 .....	191
Tabla 109. Estadísticos de la precipitación anual entre 2041 y 2070 en Cabrillas-Malacara de GFDL-ESM4 .....	191

Tabla 110. Estadísticos de la precipitación anual entre 2071 y 2100 en Cabrillas-Malacara de GFDL-ESM4 .....	191
Tabla 111. Recarga promedio mensual y anual en Requena-Utiel para los 3 escenarios de Cambio Climático .....	195
Tabla 112. Variación porcentual de la recarga promedio mensual y anual en Requena-Utiel para los 3 escenarios de Cambio Climático .....	196
Tabla 113. Recarga promedio mensual y anual en Cabrillas-Malacara para los 3 escenarios de Cambio Climático .....	197
Tabla 114. Variación porcentual de la recarga promedio mensual y anual en Cabrillas-Malacara para los 3 escenarios de Cambio Climático.....	197

# 1. Introducción

## 1.1. Marco general

La recarga del agua subterránea está influenciada por factores como la capacidad de infiltración, la naturaleza estocástica de la precipitación, el clima, entre otros, pero se ve afectada principalmente por la distribución espacial y temporal de la precipitación (Zekâi, 2015).

Asimismo, por efecto del Cambio Climático, si las áreas irrigadas disminuyen por una menor disponibilidad hídrica superficial, disminuiría la recarga por infiltración del agua de riego. Además de ello, los cambios en la cobertura vegetal podrían afectar la tasa de recarga (Zekâi, 2015).

Por otra parte, la masa de agua subterránea Requena-Utiel se ubica en la Demarcación Hidrográfica del Júcar y tiene una superficie de 987.9 km<sup>2</sup>, de la cual 966.4 km<sup>2</sup> están en la provincia de Valencia, mientras que los 21.5 km<sup>2</sup> restantes se encuentran en la provincia de Cuenca. Cabe indicar que una extensión de 982.15 km<sup>2</sup> se considera en su mayoría como de permeabilidad media, mientras que solo unas zonas presentan una permeabilidad alta (Confederación Hidrográfica del Júcar, 2020).

De los 987.91 km<sup>2</sup> de superficie total, se tiene que el 9.90% y 89.97% corresponde a roca carbonatada y detrítica, respectivamente. Además de ello, existe un bombeo agropecuario, urbano, industrial y de otros tipos de 14.6 hm<sup>3</sup>/año, 4.1 hm<sup>3</sup>/año, 0.7 hm<sup>3</sup>/año y 0.1 hm<sup>3</sup>/año, respectivamente, teniendo un total de 19.6 hm<sup>3</sup>/año, sin embargo, se tiene un recurso disponible de 17.3 hm<sup>3</sup>/año, por lo que su índice de explotación de usos es 1.1. Por otra

parte, su estado cuantitativo y químico se clasifican como malo y bueno, respectivamente, siendo su estado global categorizado como malo, lo cual se refleja en el descenso de su nivel piezométrico, a consecuencia de su elevado índice de explotación (Confederación Hidrográfica del Júcar, 2023).

Adicionalmente, la Confederación Hidrográfica del Júcar (2020) indica que se estableció una reserva de recursos subterráneos de 6.5 hm<sup>3</sup>/año. Por ello, año tras año se tienen informes de seguimiento, en los cuales, dependiendo de las condiciones climáticas, la dotación bruta media para los cultivos de vid, el olivar y los de fruto seco puede variar entre 450 m<sup>3</sup>/ha/año y 900 m<sup>3</sup>/ha/año.

Por otra parte, la masa de agua subterránea Cabrillas-Malacara tiene una superficie de 286.34 km<sup>2</sup>, de los cuales el 66.34% y 33.62% corresponden a roca carbonatada y detrítica, respectivamente. Asimismo, se tiene un bombeo agropecuario, urbano e industrial de 1 hm<sup>3</sup>/año, 1 hm<sup>3</sup>/año y 0.3 hm<sup>3</sup>/año, correspondientemente, haciendo un total de 2.3 hm<sup>3</sup>/año, mientras que el recurso disponible es de 2.6 hm<sup>3</sup>/año, teniendo un índice de explotación de usos de 0.9. Además, su estado cuantitativo y químico es bueno en ambos casos, por lo que su estado global se clasifica como bueno (Confederación Hidrográfica del Júcar, 2023).

A raíz del problema mencionado, Pérez (2019) empleó el modelo MODFLOW en Requena-Utiel y Cabrillas-Malacara para entender mejor el funcionamiento del sistema de acuíferos. Para ello, usó la recarga por precipitación y riego estimada por el modelo PATRICAL.

El presente estudio, a través del modelo hidrológico TETIS, habrá de contribuir con el entendimiento de los sistemas Requena-Utiel y Cabrillas-Malacara mediante la generación de información de recarga a una resolución de 200 m, lo cual es posible dado que el modelo TETIS es un modelo distribuido que lleva a cabo la producción de escorrentía a través de un balance hídrico a nivel de celda. En ese sentido, se generará dicha información para ambas masas de agua subterránea y, de manera complementaria, se evaluará cómo se ve afectada la recarga actual bajo distintos escenarios de Cambio Climático.

## 1.2. Objetivos

El presente estudio tiene como objetivo llevar a cabo la implementación del modelo hidrológico TETIS en la zona de las masas de agua subterránea Requena-Utiel y Cabrillas-Malacara para estimar la recarga histórica y su variación bajo distintos escenarios de Cambio Climático.

Los objetivos específicos son los siguientes:

- a) Implementar un modelo hidrológico TETIS calibrado y validado.
- b) Estimar la recarga histórica mediante el modelo TETIS.
- c) Estimar la variación de la recarga bajo los escenarios SSP1-2.6, SSP3-7.0 y SSP5-8.5 del modelo GFDL-ESM4 para los periodos 2015-2040, 2041-2070 y 2071-2100.

## 1.3. Metodología y estructura del documento

En el presente documento, se encontrará una descripción de la conceptualización del modelo TETIS en la Sección 2. Seguidamente, en la Sección 3 se presenta una breve descripción de las cuencas de estudio, así como la estimación de sus parámetros de relieve, suelo, cobertura vegetal, hidrogeológico, entre otros. En la Sección 4, se encontrará una descripción de Hidrometeorología histórica y futura. Luego, se detalla las consideraciones relacionadas al riego en la zona de estudio en la Sección 5. Posteriormente, en la Sección 6 se presenta los resultados obtenidos, mientras que la Sección 7 contiene las conclusiones respectivas. En la Sección 8 se muestra la bibliografía empleada.

## 1.4. Justificación

El presente estudio forma parte de los proyectos eGroundwater e InTheMED que tienen como propósito implementar un modelo subrogado que permita mejorar la gestión del recurso hídrico subterráneo, así como mejorar un modelo hidrogeológico MODFLOW implementado en las masas de agua subterránea Requena-Utiel y Cabrillas-Malacara mediante los resultados de recarga que se obtengan.

## **2. Modelo TETIS**

El modelo TETIS realiza la simulación hidrológica de cuencas naturales para lo cual emplea submódulos que contribuyen a simular tanto el efecto de los embalses como el del riego agrícola en la respuesta hidrológica. Su objetivo es desempeñar lo mejor posible la simulación de la respuesta hidrológica provocada por la precipitación de lluvia o nieve, para lo cual considera tanto los procesos físicos, así como la modelación distribuida del tipo conceptual (GIHMA, 2021).

### **2.1. La producción de la escorrentía**

Se lleva a cabo mediante un balance hídrico en cada celda, la cual se asume que está asociada a seis tanques de almacenamiento conceptuales conectados entre sí o siete en el caso que la celda esté conectada a un cauce. Los tanques en mención se muestran en la Figura 1 (GIHMA, 2021).

En ese sentido, el flujo que se produzca entre los tanque se basa principalmente en el agua almacenada en ellos, es decir, las variables de estado son los volúmenes almacenados que se relacionan con el esquema conceptual adoptado, el tipo de tanque y las características morfológicas de la celda e hidrológicas del suelo.

Tal como se puede observar en la Figura 2, la conceptualización del modelo TETIS es una malla interconectada en tres dimensiones que consiste en que los tres tanques inferiores drenan hacia aguas abajo, siguiendo la dirección de flujo del modelo de elevación digital, de modo que se alcance la red de drenaje conformada por las cárcavas y cauces (GIHMA, 2021).

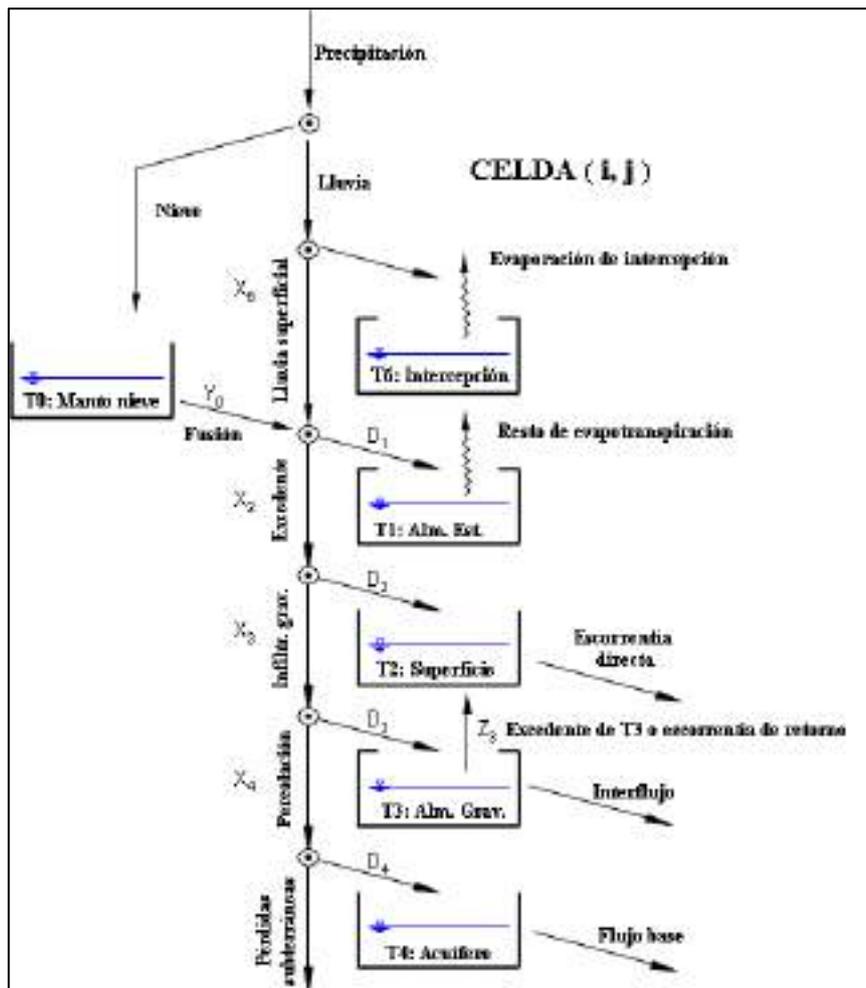


Figura 1. Tanques de almacenamiento a nivel de celda en el modelo TETIS.

Fuente: GIHMA, 2021.

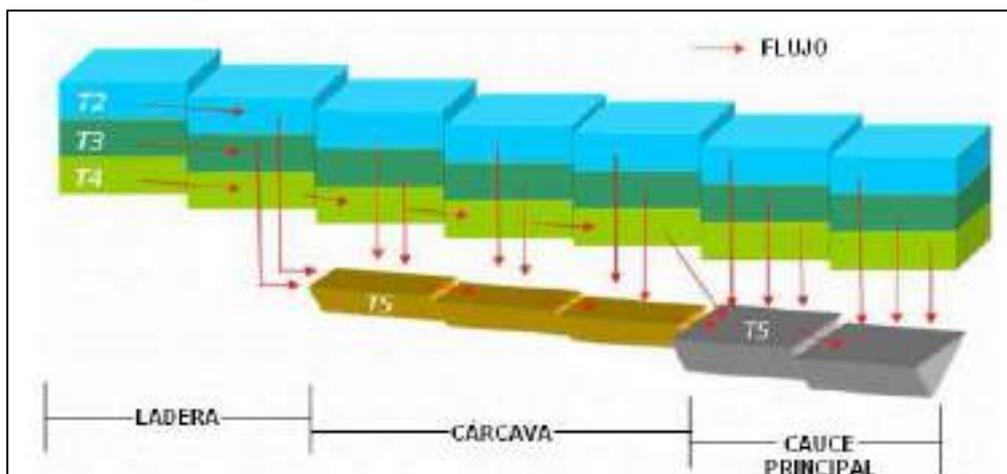


Figura 2. Movimiento horizontal del flujo de agua en TETIS (simplificación 2D).

Fuente: GIHMA, 2021.

## 2.2. Parámetros efectivos

Según Francés *et al.* (2007), los parámetros de un modelo tienen como finalidad expresar numéricamente las características de la cuenca, pero deben tener en cuenta tanto al modelo como los errores de la información de entrada, así como los efectos de escala temporal y espacial.

Los efectos de escala temporal y espacial se deben a que la mayoría de los procesos hidrológicos son no lineales y la información de entrada del modelo varían en el tiempo y espacio. El promedio espacial y temporal de procesos no lineales introducen efectos de escala en el parámetro, por ello, el valor del parámetro que reproduce el promedio de un proceso en un área, denominado el valor del parámetro efectivo, no es el valor promedio del parámetro dentro del área (Francés *et al.*, 2007).

En la conceptualización de TETIS se emplea la siguiente distinción:

- i. El parámetro efectivo  $i$ -ésimo que debe ser introducido en el modelo para cada celda ( $\theta_{ij}^*$ )
- ii. La correspondiente característica  $\theta_{ij}$  estimada a partir de la información disponible es la mejor estimación de experto sin considerar los errores y los efectos de escala y, por lo tanto, sin perder su significado físico.

En principio, el valor del parámetro efectivo es una función desconocida de una determinada característica hidrológica a la cual se le denominará como la función de corrección. Si la función de corrección contempla al modelo y los errores de entrada, los efectos de escala temporal y espacial, y el error de estimación de las características hidrológicas, se puede asumir que la función de corrección para cada parámetro será común para todas las celdas dentro de la cuenca o para un sustancial número de regiones dentro de la misma (Francés *et al.*, 2007).

En ese sentido, se tendrá lo siguiente:

$$\theta_{ij}^* \sim R_i \theta_{ij}, j = 1, \dots, n; i = 1, \dots, p$$

Donde  $n$  es el número total de celdas y  $p$  es el número total de parámetros por celdas. TETIS al emplear una estructura de partición del parámetro produce una importante reducción del número de variables a calibrar, ya que solo se requiere

calibrar los  $p$  factores correctores, mas no el producto  $np$ , en donde  $p$  es el número de parámetros; y  $n$ , el número de celdas. Los 9 factores correctores a calibrar en TETIS se presentan en la Tabla 1 y serán explicados en las siguientes secciones.

Tabla 1. Estructura de partición del parámetro de TETIS

Almacenamiento estático máximo	$H_u^* = R_1 H_u$
Índice de cobertura vegetal para el mes $m$	$\lambda^*(m) = R_2 \lambda(m)$
Capacidad de infiltración	$k_s^* = R_3 k_s$
Velocidad de escorrentía	$u^* = R_4 u$
Capacidad de percolación	$k_p^* = R_5 k_p$
Velocidad de interflujo	$k_{ss}^* = R_6 k_{ss}$
Capacidad de salida de agua subterránea	$k_{pp}^* = R_7 k_{pp}$
Velocidad de flujo base	$k_b^* = R_8 k_b$
Velocidad de canal en el día $t$	$v^*(t) = R_9 v(t)$

Fuente: Francés *et al.* (2007).

## 2.3. Tanque de intercepción

Representado en la Figura 3, en el tanque T6 se da el almacenamiento de intercepción por cobertura vegetal durante un episodio de lluvia y que solo sale en forma de evaporación directa, no formando parte de la escorrentía (GIHMA, 2021).

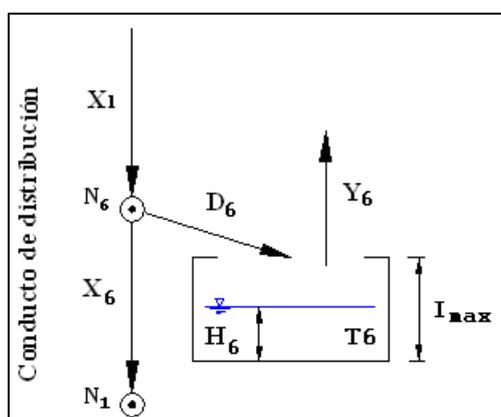


Figura 3. Esquema del tanque de intercepción.

Fuente: GIHMA, 2021.

En la Figura 3, una parte de la precipitación ( $X_1$ ) se deriva al primer almacenamiento ( $D_6$ ). La capacidad máxima del tanque ( $I_{max}$ ) está determinada por las características de la vegetación. Por otra parte, lo que no forma parte del almacenamiento de intercepción se denomina lluvia superficial ( $X_6$ ) que depende del contenido de humedad sobre la superficie de las hojas, las características de

la cobertura vegetal y la cantidad de lluvia que están representadas por  $H_6$ ,  $I_{max}$  y  $X_1$ , respectivamente, por lo que, TETIS emplea la siguiente ecuación:

$$X_6 = \text{Max}[0, X_1 - \lambda_v \times I_{max} + H_6]$$

Donde  $I_{max}$  es la capacidad máxima de intercepción de la cobertura vegetal en condiciones de máximo follaje; y  $\lambda_v$ , el factor de vegetación que modifica  $I_{max}$ . Por otro lado, ya que no es posible que ingrese más agua que la que se tiene en el conducto distribuidor ( $N_6$ ), se tiene que:

$$D_6 = X_1 - X_6$$

En razón de ello, si se actualiza la cantidad de agua  $H_6$  se obtendrá lo siguiente:

$$H_6 = H_6 + X_1 - X_6$$

Por otra parte, la estimación de la evaporación directa  $Y_6$  se realiza mediante la siguiente expresión:

$$Y_6 = \text{Min}[ETP \times \lambda_v(t) \times FC_2, H_6]$$

Donde ETP es la evapotranspiración potencial;  $\lambda_v$ , el factor de vegetación que modifica la ETP; y  $FC_2$ , un factor corrector cercano a uno. A partir de la evaporación directa, es necesario actualizar  $H_6$  en el tanque T6:

$$H_6 = H_6 - Y_6$$

Es preciso indicar que no se deja pasar agua a los siguientes tanques mientras no se haya llenado el almacenamiento de intercepción, lo cual es una aproximación de lo que ocurre en la realidad.

## **2.4. Almacenamiento estático y pérdidas por evapotranspiración**

El esquema del almacenamiento estático (T1) se muestra en la Figura 4. El agua que se encuentra en este tanque transita por la cuenca y sale solo por evapotranspiración, sin formar parte de la escorrentía. Este almacenamiento implica la retención del agua en charcos y en el suelo por fuerzas capilares. Se observa en la Figura 4 que de la lluvia superficial ( $X_6$ ) se deriva ( $D_1$ ) hacia T1,

cuya capacidad máxima es la suma de la capacidad de almacenamiento de agua útil en el suelo y la capacidad de la superficie para almacenar agua en charcos.

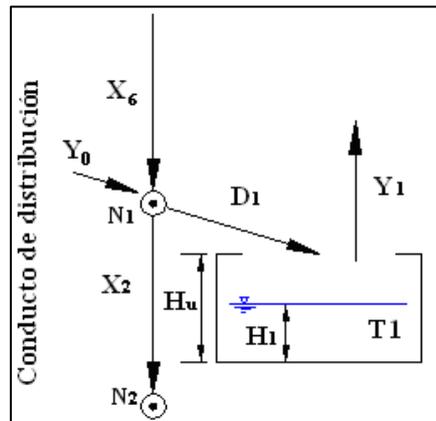


Figura 4. Esquema del almacenamiento estático.

Fuente: GIHMA, 2021.

La capacidad de almacenamiento de agua útil es la cantidad de agua que debe agregarse a una columna de suelo muy seco para que alcance el máximo almacenamiento estático sin que el agua fluya por gravedad, ello multiplicado por la profundidad de raíces (GIHMA, 2021).

El valor de  $D_1$  está en función del contenido de humedad del suelo ( $H_1$ ), las características del suelo ( $H_u$ ) y la cantidad de lluvia superficial ( $X_6$ ). En ese sentido, TETIS emplea la siguiente expresión para su cálculo:

$$D_1 = \min \left\{ (X_6 + Y_0) \times \left( 1 - \frac{H_1}{H_u \times FC_1} \right)^{p_1}; H_u \times FC_1 - H_1 \right\}$$

Donde  $Y_0$  es el aporte por fusión de nieve;  $H_1$ , el contenido de agua del tanque  $T_1$ ;  $H_u$ , la capacidad máxima del tanque  $T_1$ ; y  $p_1$ , el exponente que determina el inicio del excedente  $X_2$ . Es preciso indicar que, si  $p_1$  es igual a cero, para que exista un excedente  $X_2$  debe de superarse la capacidad máxima del tanque  $T_1$ . Por el contrario, si  $p_1$  es mayor a cero, el excedente se producirá antes de superar la capacidad máxima de  $T_1$ , disponiendo así una mayor cantidad de agua para la escorrentía directa, el interflujo y el flujo base (GIHMA, 2021).

En relación a  $FC_1$ , éste es un factor que multiplica directamente el almacenamiento estático y cuyo valor debe ser cercano a 1. Si  $FC_1$  es mayor a 1, aumenta la capacidad de almacenamiento estático que produce una mayor retención de agua que no forma parte de la infiltración, disminuyendo el volumen

del hidrograma de salida. Por el contrario, un  $FC_1$  menor a 1, reduce el almacenamiento estático, lo cual permite que ingrese al suelo una mayor cantidad de agua, incrementando el hidrograma de salida (GIHMA, 2021).

La cantidad de agua que no ingresa al almacenamiento estático se representa como  $X_2$  y se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$X_2 = \text{Max}[0, X_6 + Y_0 - D_1]$$

La actualización de  $H_1$  dentro de  $T_1$ , se realiza mediante la siguiente expresión:

$$H_1 = H_1 + X_6 + Y_0 - X_2$$

La estimación de la evapotranspiración  $Y_1$  se realiza con la siguiente formulación:

$$Y_1 = \text{Min}[(ETP \times FC_2 - Y_6) \times \lambda_v(t) \times f(\theta), H_1]$$

Donde ETP es la evapotranspiración potencial;  $\lambda_v$ , el factor de vegetación;  $FC_2$ , un factor corrector que debe ser cercano a uno; y  $f(\theta)$ , una función que representa el contenido de humedad en el suelo.

En relación a  $FC_2$ , si es mayor a 1, se incrementan las salidas por evapotranspiración y disminuye el hidrograma, pudiendo anularlo. Por el contrario, si es menor a 1, incrementa hasta cierto punto el hidrograma de salida (GIHMA, 2021).

Finalmente, si se actualiza el valor de  $H_1$ , se tendrá lo siguiente:

$$H_1 = H_1 - Y_1$$

## **2.5. Almacenamiento superficial y la escorrentía directa**

El siguiente nivel está en relación con el agua que se desplaza superficialmente en ladera, a lo que se denomina escorrentía directa, o a la que se infiltra a un nivel inferior. En la Figura 5 se muestra el tanque de almacenamiento superficial (T2) que se llena con la derivación  $D_2$  o el excedente del almacenamiento gravitacional (T3).

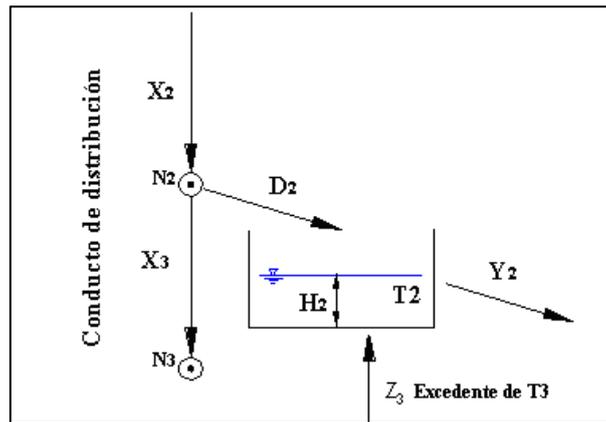


Figura 5. Esquema del almacenamiento sobre superficie

Fuente: GIHMA, 2021.

En lo concerniente al agua por infiltración gravitacional ( $X_3$ ), está en función de la capacidad del suelo para dejar que el agua pase con humedades superiores a la capacidad de campo ( $k_s$ ) en un intervalo de tiempo ( $\Delta t$ ):

$$X_3 = \text{Min}[X_2, \Delta t \times k_s \times FC_3]$$

Asimismo, la cantidad de agua que recibe T2, se cuantifica de la siguiente forma:

$$D_2 = X_2 - X_3$$

A su vez, el llenado de dicho tanque se actualiza del siguiente modo:

$$H_2 = H_2 + X_2 - X_3$$

Sin embargo, una expresión más completa de la actualización de T2 es la que resulta después de la actualización del tanque T3:

$$H_2 = H_2 + X_2 - X_3 + Z_3$$

Por otra parte, se estima el flujo en ladera mediante la siguiente expresión:

$$Y_2 = H_2 \times \alpha$$

Donde  $\alpha$  es un coeficiente de descarga que se calcula de la siguiente forma:

$$\alpha = 1 - \frac{\Delta x}{v_t \times FC_4 \times \Delta t + \Delta x}$$

Donde  $\Delta x$  y  $\Delta t$  representan los factores de escala espacial y temporal, respectivamente, y  $FC_4$  es un factor corrector que oscila entre 0.01 y 10, el cual,

al ser mayor implica un aumento del hidrograma, y viceversa. En relación a  $v_t$ , éste es la velocidad del flujo que depende de la pendiente ( $s_0$ ) (GIHMA, 2021):

$$v_t = 1.4142 \times s_0^{0.5}$$

Finalmente, el almacenamiento de T2 se actualiza de la siguiente manera:

$$H_2 = H_2 - Y_2$$

## 2.6. Almacenamiento gravitacional y el interflujo

El tercer nivel hace referencia al agua gravitacional en el suelo, la cual se almacena en el tanque T3 que se muestra en la Figura 6 (GIHMA, 2021).

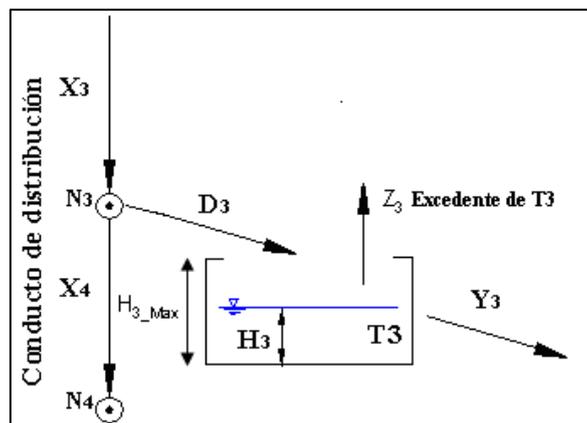


Figura 6. Esquema del almacenamiento gravitacional.

Fuente: GIHMA, 2021.

Respecto a la cantidad de agua que va hacia el estrato inferior del suelo durante un determinado intervalo de tiempo, se puede cuantificar de la siguiente manera:

$$X_4 = \text{Min}[X_3, \Delta t \times k_p \times FC_5]$$

Donde  $k_p$  es la capacidad de percolación; y  $FC_5$ , un factor corrector que está alrededor de 0.2 por efectos de la escala espacial y temporal. De la ecuación anterior, se deduce que la cantidad de agua que se deriva a T3 es la siguiente:

$$D_3 = X_3 - X_4$$

En ese sentido, el almacenamiento  $H_3$  se actualiza con la siguiente expresión.

$$H_3 = \text{Min}(H_3 + X_3 - X_4; H_{3\_Max})$$

Luego, el excedente del tanque T3 se calcula como se muestra a continuación:

$$Z_3 = \text{Max}(0; H_3 + X_3 - X_4 - H_{3\_Max})$$

De manera análoga a la sección precedente, se emplea un coeficiente de descarga para cuantificar la producción de escorrentía subsuperficial:

$$\alpha = 1 - \frac{\Delta x}{FC_6 \times k_{ss} \times \Delta t + \Delta x}$$

Donde  $FC_6$  es el factor corrector de la conductividad horizontal saturada ( $k_{ss}$ ). Consecuentemente, el flujo subsuperficial se estima de la siguiente manera:

$$Y_3 = H_3 \times \alpha$$

Finalmente, si se actualiza el almacenamiento  $H_3$ , se tendrá lo siguiente:

$$H_3 = H_3 - Y_3$$

## 2.7. Almacenamiento subterráneo y flujo base

El cuarto nivel está en relación con el acuífero, cuyas salidas son por flujo base hacia los cauces ( $Y_4$ ) y las pérdidas subterráneas ( $X_5$ ). En la Figura 7 se aprecia que el almacenamiento subterráneo se da en el tanque T4 (GIHMA, 2021).

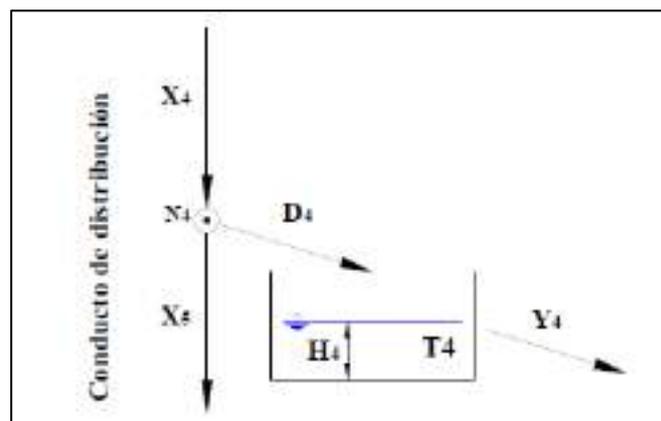


Figura 7. Esquema del almacenamiento subterráneo.

Fuente: GIHMA, 2021.

En relación a las pérdidas subterráneas, se estiman de la siguiente manera:

$$X_5 = \text{Min}[X_4, \Delta t \times k_{ps} \times FC_7]$$

Donde  $k_{ps}$  es la velocidad de percolación en la parte profunda del acuífero; y  $FC_7$ , el factor corrector relacionado a las pérdidas profundas, por ende, mientras mayor sea su valor, éstas también serán mayores, y viceversa (GIHMA, 2021).

En lo concerniente a la cantidad de agua que es derivada hacia T4, se calcula de la siguiente manera:

$$D_4 = X_4 - X_5$$

Luego, se actualiza el almacenamiento en  $H_4$ :

$$H_4 = H_4 + X_4 - X_5$$

Después, a fin de calcular la descarga de flujo base, se emplea un coeficiente de descarga:

$$\alpha = 1 - \frac{\Delta x}{FC_8 \times k_{sa} \times \Delta t + \Delta x}$$

Donde  $k_{sa}$  es la conductividad hidráulica horizontal saturada, mientras que  $FC_8$  está en el rango de 0.001 y 100000. Si  $FC_8$  toma valores muy altos,  $\alpha$  es cercano a 1, y, por lo tanto, la tasa de salida es mayor, la cual se expresa de la siguiente forma:

$$Y_4 = H_4 \times \alpha$$

Finalmente, se actualiza el almacenamiento en  $H_4$ :

$$H_4 = H_4 - Y_4$$

## 2.8. Parámetros geomorfológicos

TETIS emplea 9 parámetros geomorfológicos, según las siguientes relaciones (Francés *et al.*, 2007):

- Relación entre el caudal a sección llena ( $Q_b$ ) con el área acumulada de la cuenca ( $\Lambda$ ):

$$Q_b = k\Lambda^\varphi$$

- Relación entre el ancho de la sección transversal a sección llena ( $w_b$ ) y el caudal a sección llena ( $Q_b$ ):

$$w_b = c_1 Q_b^{\varepsilon_1}$$

- Relación entre el ancho de la sección transversal (w) y el caudal (Q):

$$w_t = c_2 Q_t^{\varepsilon_2}$$

- Relación entre el diámetro característico del sedimento (d), la pendiente del cauce ( $s_o$ ) y el calado (y):

$$d = c_d (y s_o)^\theta$$

- Relación entre el coeficiente de rugosidad (n) y el diámetro característico del sedimento (d):

$$n = c_n d^\xi$$

A partir de las relaciones geomorfológicas, la velocidad del flujo se puede expresar de la siguiente manera (Francés *et al.*, 2007):

$$v_t = \left[ \frac{A_t^{ey(1-\varepsilon_2)} S_o^{(ey-1/6)}}{c_n c_d^\xi (c_1 k^{(\varepsilon_1-\varepsilon_2)} \Lambda^{\varphi(\varepsilon_1-\varepsilon_2)})^{ey}} \right]^{ez}$$

Donde:

$$ey = \frac{2}{3} - \xi\theta ; ez = \frac{1}{1 + ey\varepsilon_2}$$

Expresada de otra forma, la velocidad del flujo es la siguiente:

$$v_t = K_a A_t^{\varpi_1} \Lambda^{\varpi_2} S_o^{\varpi_3}$$

Donde:

$$K_a = (c_n c_d^\xi c_1^{ey} k^{ey(\varepsilon_1-\varepsilon_2)})^{-ez}$$

$$\varpi_1 = ey ez (1 - \varepsilon_2)$$

$$\varpi_2 = -ez ey \varphi(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)$$

$$\varpi_3 = ez (ey - 1/6)$$

Por otra parte, la ecuación de continuidad es la siguiente:

$$S_t - S_{t-1} = \sum_j I_{j,t} - O_t$$

Donde S es el volumen en el cauce; I, los volúmenes de entrada en un intervalo de tiempo; y O, el volumen de salida hacia la celda aguas abajo. La ecuación anterior también puede expresarse de la siguiente forma:

$$A_t \Delta x - S_{t-1} = \sum_j I_{j,t} - A_t v_t \Delta t$$

$$A_t \Delta x + Q_t \Delta t = \sum_j I_{j,t} + S_{t-1}$$

Considerando los elementos de la geometría hidráulica, la ecuación anterior puede transformarse a:

$$A_t + \frac{\Delta t}{\Delta x} K_a A_t^{\omega_1+1} \Lambda^{\omega_2} S^{\omega_3} = \frac{1}{\Delta x} \left( \sum_j I_{j,t} + S_{t-1} \right)$$

Si se simplifica, se tendría lo siguiente:

$$A_t + B \frac{\Delta t}{\Delta x} A_t^{\omega_1+1} = \frac{1}{\Delta x} C$$

$$B = K_a \Lambda^{\omega_2} S^{\omega_3}$$

$$C = \left( \sum_j I_{j,t} + S_{t-1} \right)$$

A partir de las ecuaciones anteriores, puede calcularse la velocidad de flujo y el caudal de salida de la celda:

$$v_t = A_t^{\omega_1} B$$

$$Q_t = A_t^{\omega_1+1} B$$

Donde B y  $\omega_1$  dependen de las características geomorfológicas regionales. El factor corrector  $FC_9$  multiplica la velocidad de onda, por ende, debe ser cercano a 1. Este factor no afecta el volumen del hidrograma, pero sí la velocidad del flujo, por lo tanto, si toma valores mayores a 1 se produce un aumento de la velocidad, generando así respuestas más rápidas, caudales punta mayores, recesiones más fuertes y mayor prontitud en el tiempo al pico. Por otra parte, si es menor a 1, disminuye la velocidad en los cauces y los caudales punta, mientras que el tiempo al pico se da con posterioridad (Francés *et al.*, 2007).

## 3. Zona de estudio

### 3.1. Cuencas de análisis

En el presente estudio se analizarán las cuencas correspondientes al río Magro y Gabriel, cuyas delimitaciones a partir del modelo digital de elevación (MDE) se aprecian en la Figura 8, mientras que el histograma respectivo se muestra en la Figura 9. Para fines comparativos, en la Tabla 2 se observa que el área delimitada con el MDE y la proveniente de fuentes oficiales no difieren significativamente.

Es importante indicar que el área oficial se obtuvo del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, mientras que el MDE fue descargado del Organismo Autónomo Centro Nacional de Información.

A partir del MDE, se empleó la herramienta DEM Reconditioning de ArcGIS, usando para ello la red de ríos completos clasificados según Pfafstetter modificado del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Luego, se empleó la herramienta Fill, a fin de reparar en el DEM alguna celda sumidero.

Tabla 2. Áreas delimitadas y oficiales de las cuencas de estudio

Punto	Área oficial (km <sup>2</sup> )	Área MDE (km <sup>2</sup> )	Error (%)
Embalse Forata	1054	1065.3	1.1
8112	4694	4630.8	-1.3

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico y del Organismo Autónomo Centro Nacional de Información.

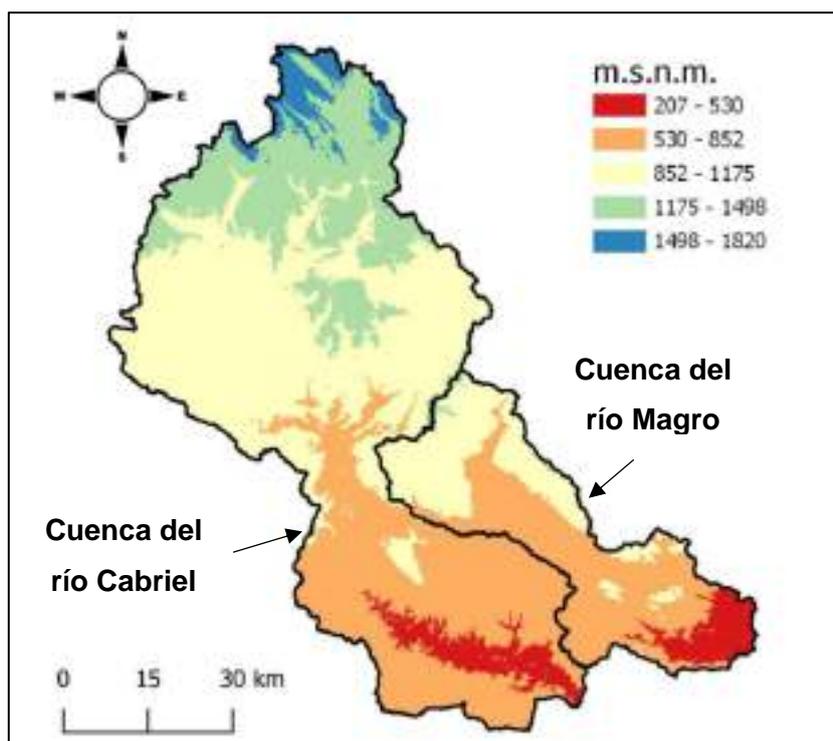


Figura 8. Mapa del modelo de elevación digital.

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos del Organismo Autónomo Centro Nacional de Información.

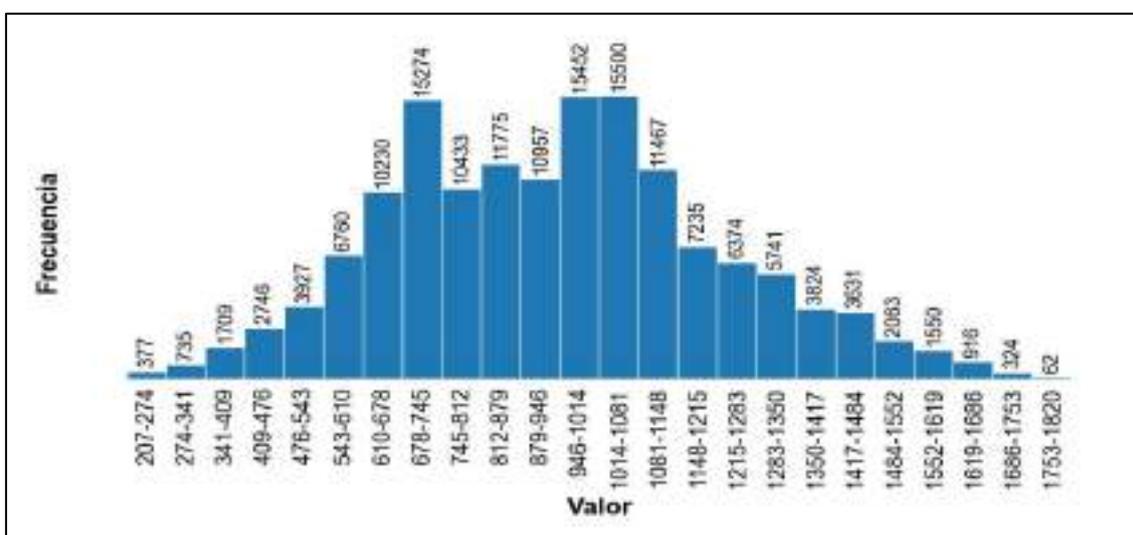


Figura 9. Histograma del mapa del modelo de elevación digital.

Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, la cuenca del río Magro tiene un área de 1065.32 km<sup>2</sup> y un perímetro de 270 km, teniendo un coeficiente de compacidad, factor de forma y ratio de circularidad de 2.32, 0.24 y 0.18, respectivamente, por lo que es una cuenca de forma alargada, lo cual implica que existe menor probabilidad de que sea cubierta en su totalidad por una tormenta. Asimismo, su curva hipsométrica se

presenta en la Figura 10, teniendo una relación hipsométrica de 0.95, lo cual indica que se trata de una cuenca en fase de madurez. Por otra parte, en la Figura 11 se puede apreciar el rectángulo equivalente de la cuenca en cuestión.

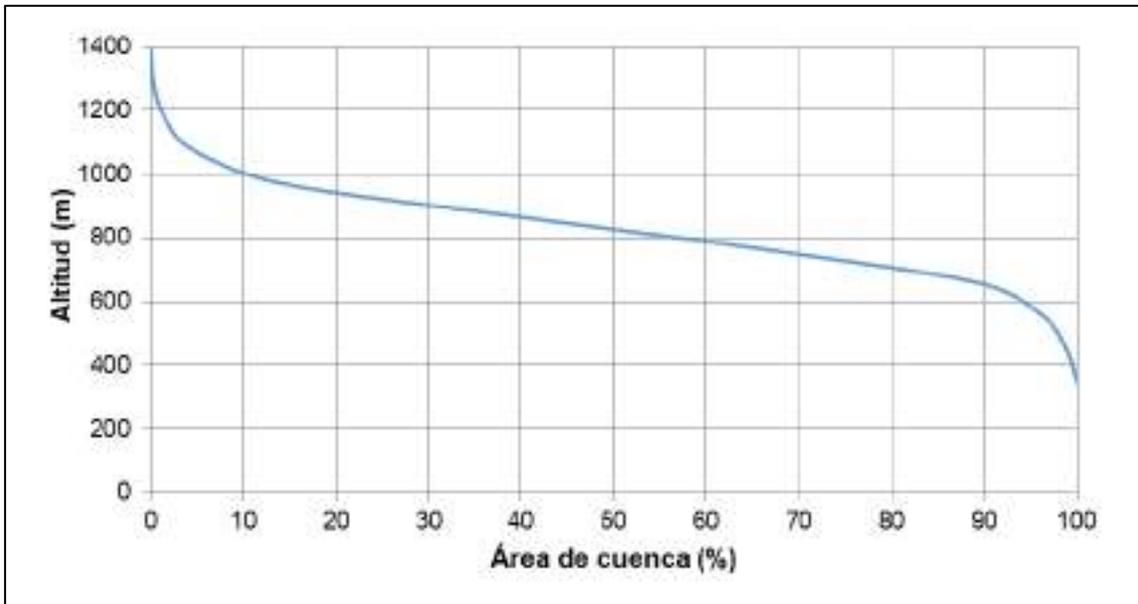


Figura 10. Curva hipsométrica de la cuenca del río Magro.

Fuente: Elaboración propia.

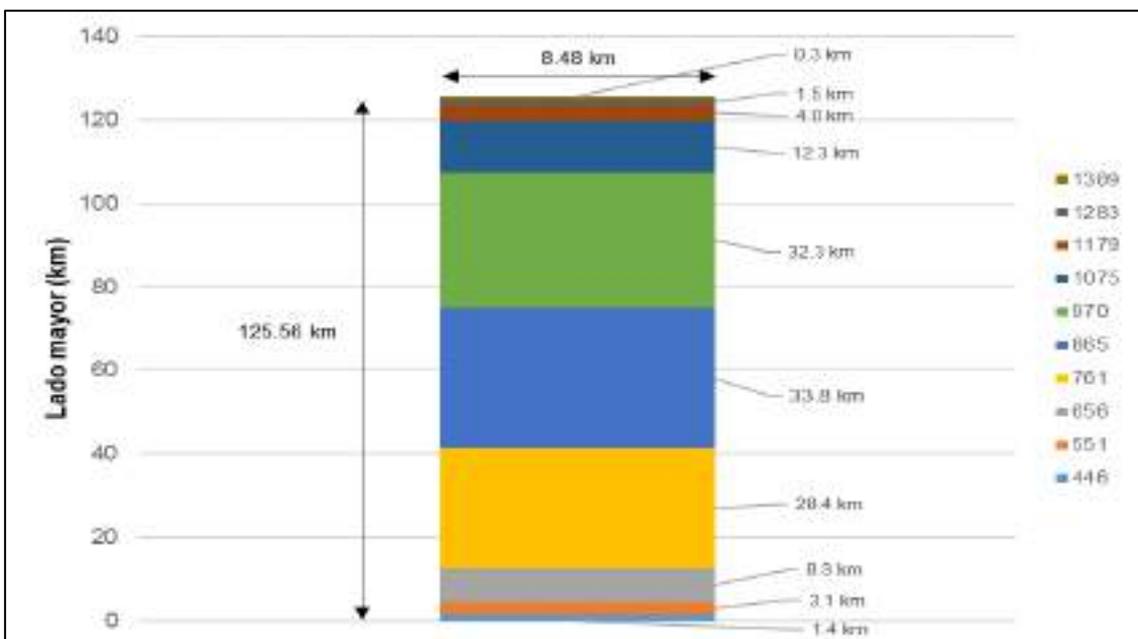


Figura 11. Rectángulo equivalente de la cuenca del río Magro.

Fuente: Elaboración propia.

Respecto a la cuenca del río Cabriel tiene un área de 4630.8 km<sup>2</sup> y un perímetro de 602 km, teniendo un coeficiente de compacidad, factor de forma y ratio de circularidad de 2.48, 0.28 y 0.16, respectivamente, por lo que es una cuenca de

forma alargada, lo cual implica que existe menor probabilidad de que sea cubierta en su totalidad por una tormenta. Asimismo, su curva hipsométrica se presenta en la Figura 12, teniendo una relación hipsométrica de 1.06, lo cual indica que se trata de una cuenca en fase de madurez. Por otra parte, en la Figura 13 se puede apreciar el rectángulo equivalente de la cuenca en cuestión.

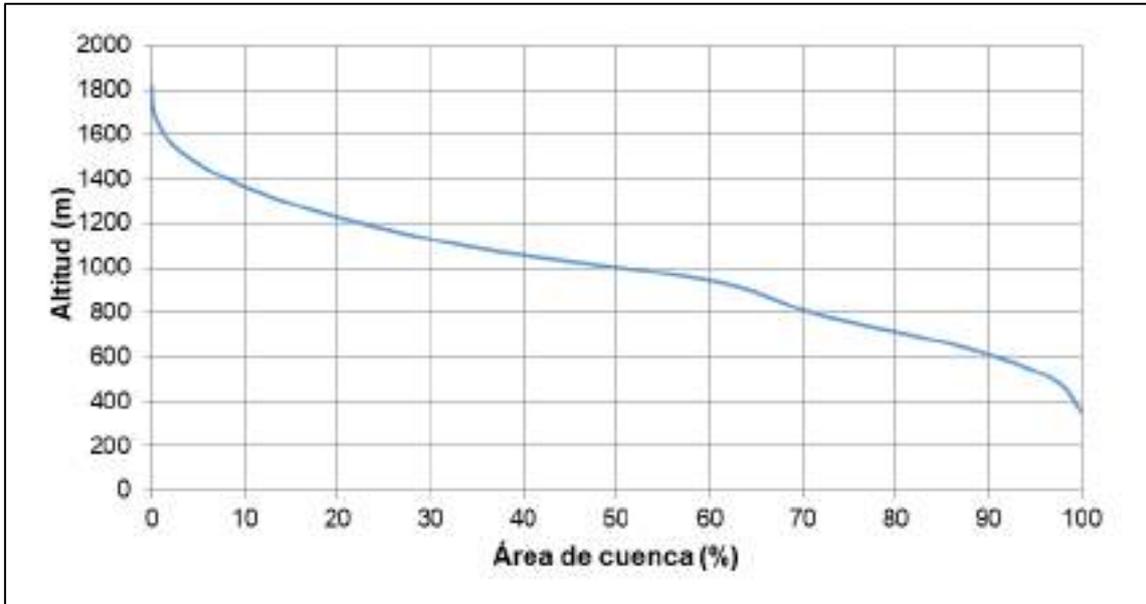


Figura 12. Curva hipsométrica de la cuenca del río Cabriel.

Fuente: Elaboración propia.

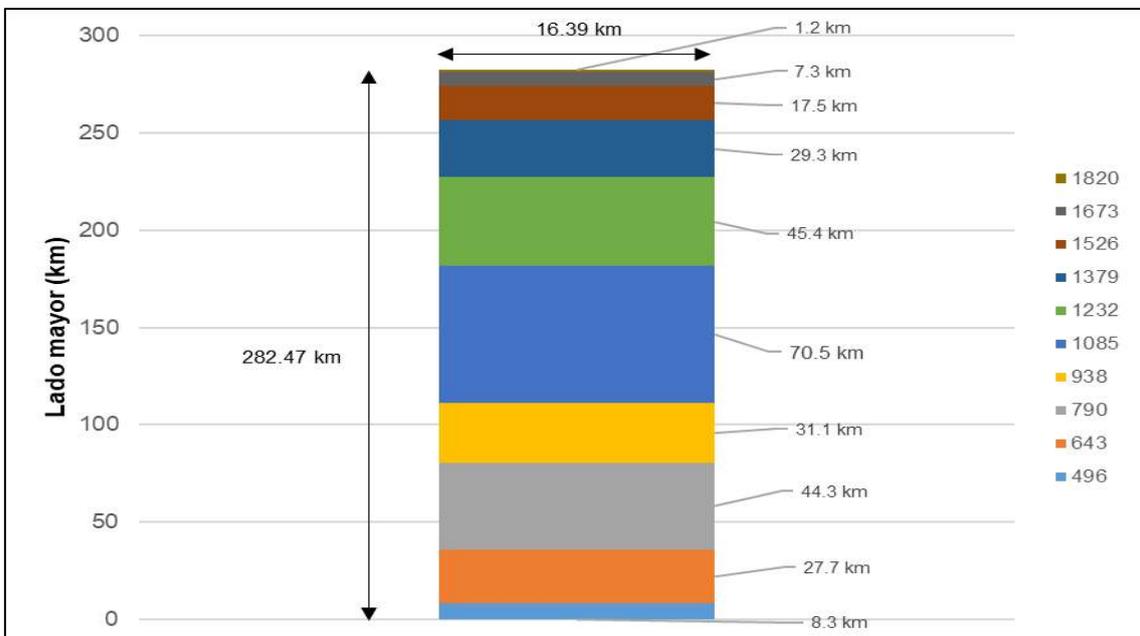


Figura 13. Rectángulo equivalente de la cuenca del río Cabriel.

Fuente: Elaboración propia.

## 3.2. Estimación de parámetros

### 3.2.1. Mapas derivados del MDE

A partir del MDE descargado y tratado, se obtuvieron los mapas de dirección de drenaje, celdas acumuladas, pendiente y velocidad de flujo en ladera. Los 3 primeros fueron calculados mediante un sistema de información geográfica, mientras que, para el cálculo del mapa de velocidad de flujo en ladera, se empleó la siguiente fórmula:

$$v = 1.4142 \times \sqrt{s_0}$$

Donde  $v$  es la velocidad de flujo en ladera (m/s), mientras que  $s_0$  es el mapa de pendiente (m/m). Asimismo, en relación a la velocidad de flujo en ladera, es importante indicar que, para el presente estudio, se consideran como valores razonables aquellos comprendidos en el rango de [0.01 – 1] m/s, en ese sentido, los valores que estuvieron por debajo de 0.01 m/s fueron reemplazados por el valor de 0.01 m/s. Ello implica que debe existir un umbral en el valor de la pendiente, de modo que no se generen dichas velocidades por debajo de 0.01 m/s. Se tomó 0.0001 m/m como valor umbral de la pendiente.

En la Figura 14 se puede apreciar los mapas generados a partir del MDE, mientras que de la Figura 15 a la Figura 18 se muestran sus respectivos histogramas.

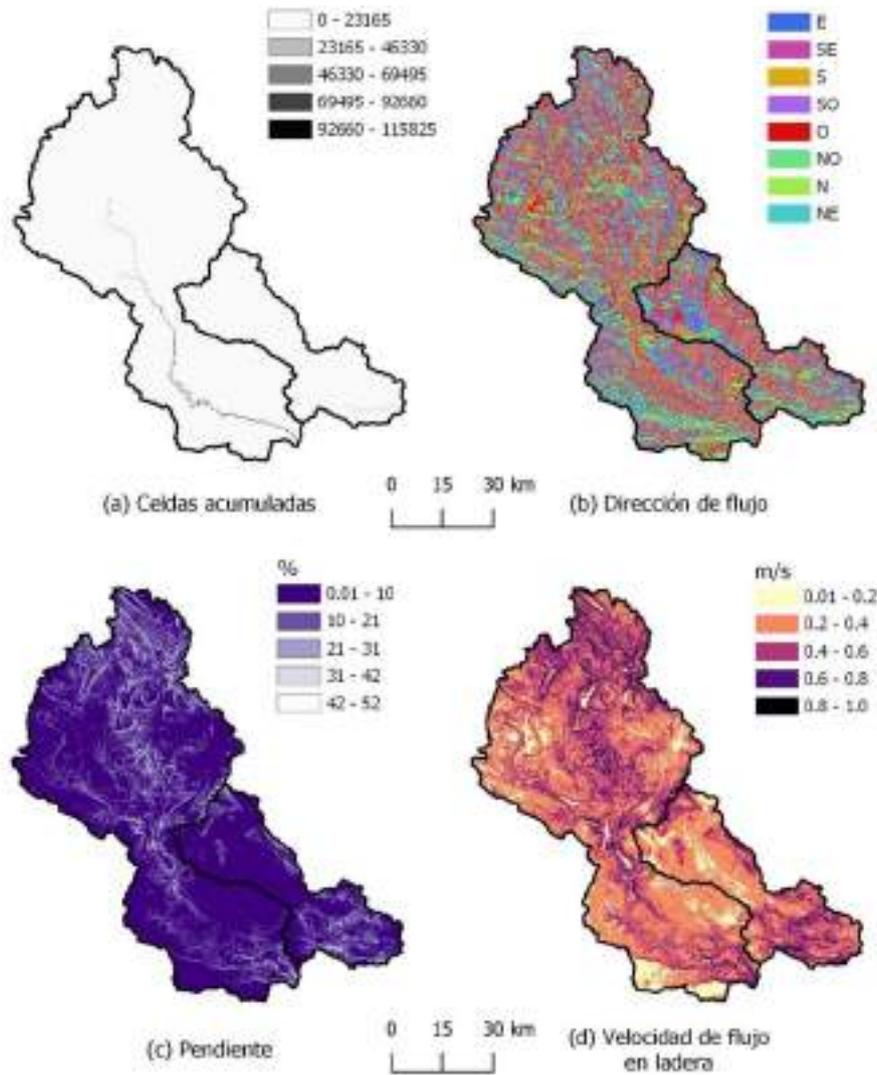


Figura 14. Mapas de (a) celdas acumuladas, (b) dirección de flujo, (c) pendiente y (d) velocidad de flujo en ladera.

Fuente: Elaboración propia.

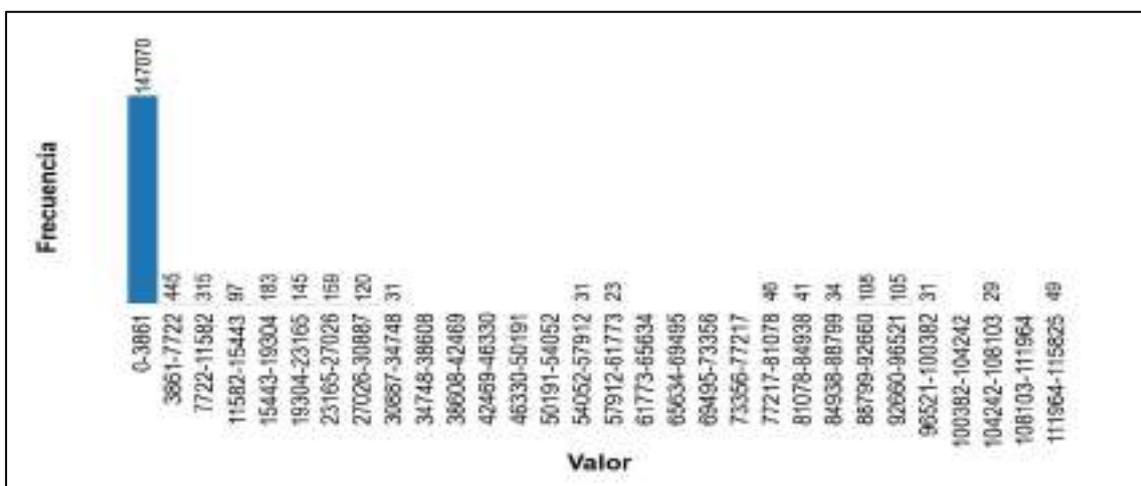


Figura 15. Histograma del mapa de celdas acumuladas.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 16. Histograma del mapa de dirección de flujo.

Fuente: Elaboración propia.

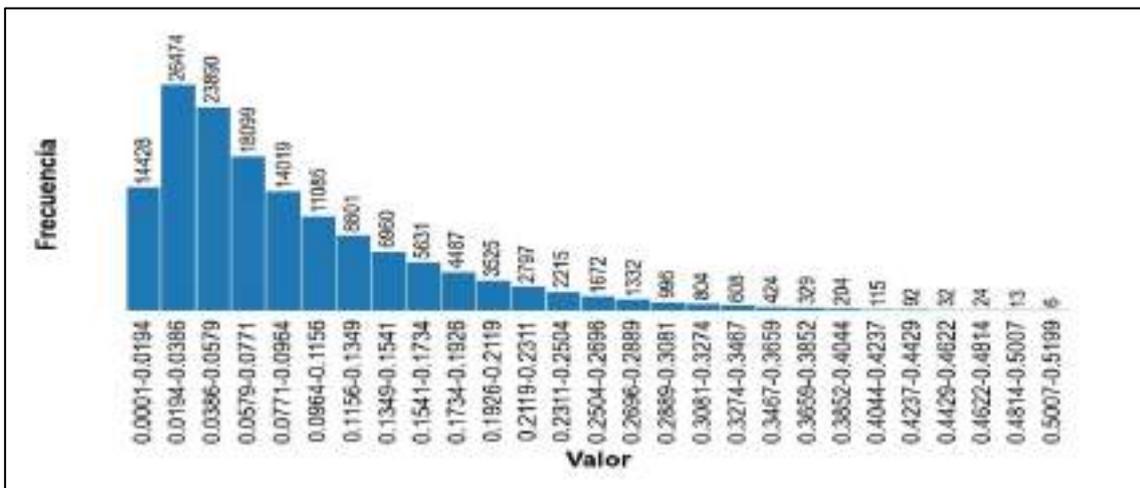


Figura 17. Histograma del mapa de pendientes.

Fuente: Elaboración propia.

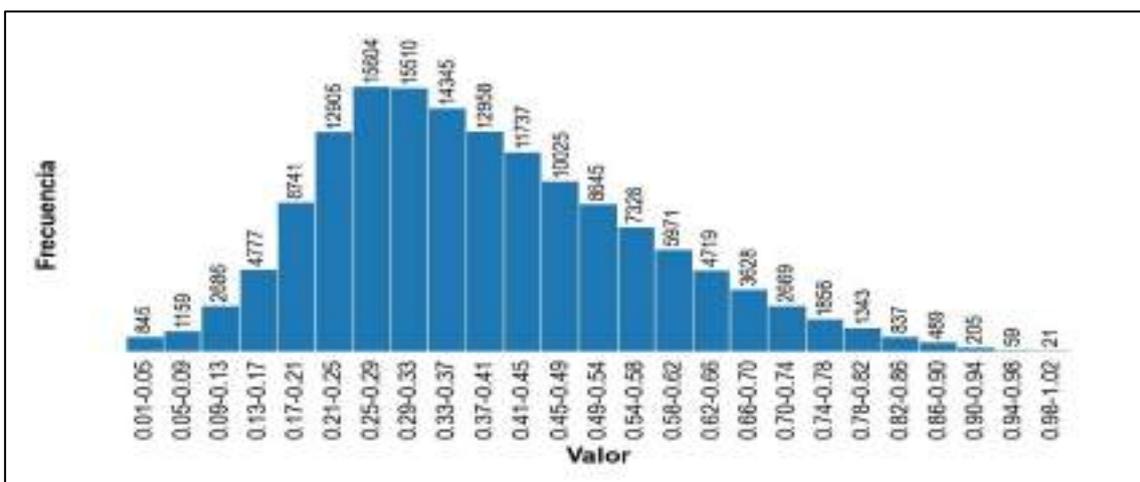


Figura 18. Histograma del mapa de velocidad en ladera.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.2. Parámetros de suelo

En lo referente a las propiedades hidráulicas del suelo, la información empleada se extrajo de la 3D Soil Hydraulic Database of Europe o también denominado como EU-SoilHydroGrids ver1.0, a una resolución de 250 m, la cual contiene información sobre dichas propiedades a profundidades de 0, 5, 15, 30, 60, 100 y 200 cm (Tóth *et al.*, 2017).

La base de datos en cuestión fue obtenida a partir de funciones de pedotransferencia europeas, EU-PTFs, por sus siglas en inglés, las cuales se elaboraron a partir de la European Hydropedological Dataset (EU-HYDI), que consiste en un conjunto de datos, proveniente de 29 instituciones en 18 países europeos, sobre propiedades físicas, químicas y taxonómicas de más de 18000 muestras de suelo (Tóth *et al.*, 2017).

Para el cálculo de las propiedades hidráulicas del suelo, dicha base de datos empleó datos de contenido de arcilla, limo y arena (%), contenido de carbono orgánico (g/kg), densidad aparente ( $\text{kg/m}^3$ ), pH en el agua y la profundidad al estrato rocoso a 0, 5, 15, 30, 60, 100 y 200 cm. Las profundidades menores a 30 cm son consideradas como topsoil y las restantes como subsuelo, de acuerdo con las EU-PTFs usadas en sus cálculos (Tóth *et al.*, 2017).

En relación a las propiedades hidráulicas del suelo disponibles en la base de datos en mención, se describen a continuación. El contenido de agua en saturación ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ), representado como THS, hace referencia al contenido de agua a un potencial mátrico de 0 cm (0 MPa). La capacidad de campo (FC) es el contenido de agua a un potencial mátrico de -330 cm (-0.03 MPa) y tiene unidades de  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ . Se tiene también el punto de marchitez (WP) que se define como el contenido de agua a un potencial mátrico de -15848 cm (-1.5 MPa) y se encuentra en  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ . En lo que respecta a la conductividad hidráulica saturada (KS), se obtiene a un potencial mátrico de 0 MPa y sus unidades son  $\text{cm}/\text{día}$  (Tóth *et al.*, 2017).

Además de ello, SoilGrids también posee datos de los parámetros de la curva de retención de humedad (MRC, por sus siglas en inglés), la cual se representa mediante el modelo de van Genuchten:

$$\theta(h) = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (\alpha h)^n]^m}$$

Donde  $\theta(h)$  es el contenido de agua en el suelo ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ) para un determinado potencial mátrico (cm de columna de agua);  $\theta_r$ , el contenido de agua residual ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ );  $\theta_s$ , el contenido de agua en saturación ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ); mientras que  $\alpha$  ( $1/\text{cm}$ ),  $n$  y  $m$  son los parámetros de ajuste.

Asimismo, también se dispone de datos de los parámetros de la curva de conductividad hidráulica (HCC, por sus siglas en inglés), expresada mediante el modelo de van Genuchten - Mualem:

$$K(S_e) = K_0 \times S_e^L \times [1 - (1 - S_e^{1/m})^m]^2$$

$$S_e(h) = \frac{\theta(h) - \theta_r}{\theta_s - \theta_r}$$

Donde  $K$  es la conductividad hidráulica del suelo ( $\text{cm}/\text{día}$ );  $K_0$ , la conductividad hidráulica saturada ( $\text{cm}/\text{día}$ );  $S_e$ , la saturación efectiva; y  $L$ , el parámetro de forma relacionado a la tortuosidad de los poros (Tóth *et al.*, 2017).

A partir de lo expuesto, es importante indicar que las propiedades hidráulicas empleadas en el presente estudio fueron FC, WP y KS, las cuales se emplearon de la siguiente manera.

En relación a FC y WP, se usaron para el cálculo del contenido de agua disponible en el suelo (AWC, por sus siglas en inglés). Como primer paso, dado que se tienen datos para siete profundidades, se calcula el valor del AWC para cada una de ellas de la siguiente manera:

$$AWC_i \left( \frac{\text{cm}^3}{\text{cm}^3} \right) = FC_i \left( \frac{\text{cm}^3}{\text{cm}^3} \right) - WP_i \left( \frac{\text{cm}^3}{\text{cm}^3} \right)$$

Donde  $i$  representa cada una de las siete capas, es decir, toma valores que van desde 1 hasta 7. Es importante indicar que previamente a la aplicación de la fórmula indicada, se requiere multiplicar los valores de FC y WP por 0.01, ya que los mismos se encuentran guardados en la base de datos empleada como números enteros, es decir, sus valores fueron multiplicados por 100, por lo que para acceder a los valores correctos es necesario multiplicar por 0.01.

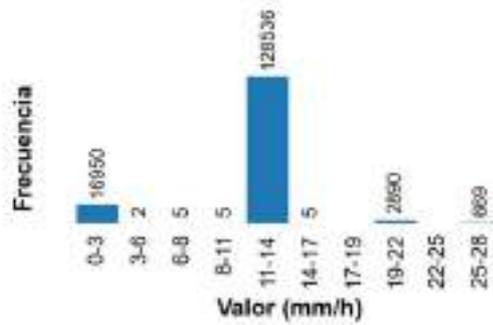
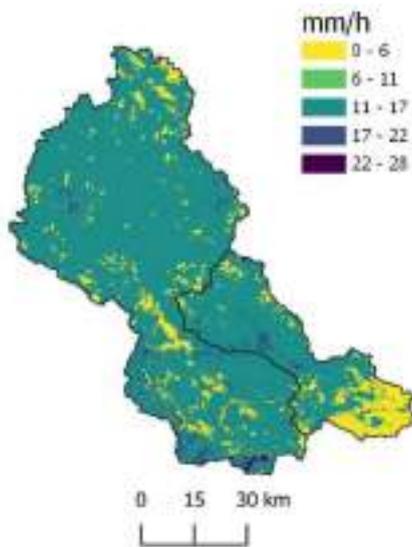
Por otra parte, a partir de los datos de conductividad hidráulica del suelo, es posible estimar la misma en la capa superior del suelo, es decir, la capacidad de infiltración a través de la siguiente expresión:

$$k_s = (\text{Prof. estrato rocoso}) / \left( 5 / \frac{K_0 + K_5}{2} + 10 / \frac{K_5 + K_{15}}{2} + 15 / \frac{K_{15} + K_{30}}{2} + 30 / \frac{K_{30} + K_{60}}{2} + 40 / \frac{K_{60} + K_{100}}{2} + (\text{Prof. estrato rocoso} - 100) / \frac{K_{100} + K_{200}}{2} \right)$$

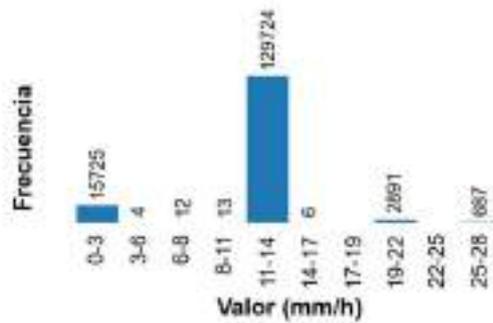
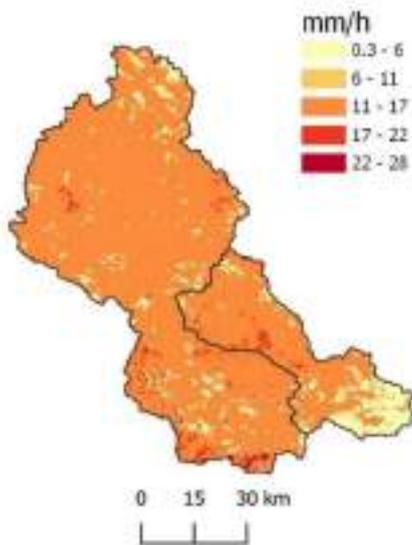
Para el caso de la conductividad hidráulica de interflujo, se calcula mediante la siguiente expresión:

$$k_{ss} = \left( 5 \times \frac{K_0 + K_5}{2} + 10 \times \frac{K_5 + K_{15}}{2} + 15 \times \frac{K_{15} + K_{30}}{2} + 30 \times \frac{K_{30} + K_{60}}{2} + 40 \times \frac{K_{60} + K_{100}}{2} + (\text{Prof. estrato rocoso} - 100) \times \frac{K_{100} + K_{200}}{2} \right) / (\text{Prof. estrato rocoso})$$

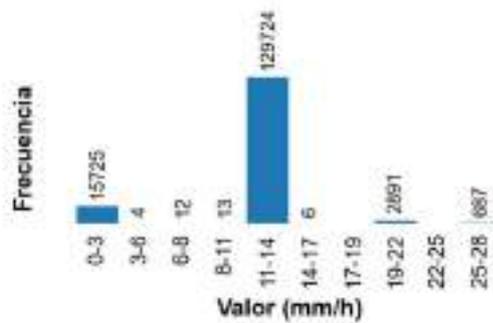
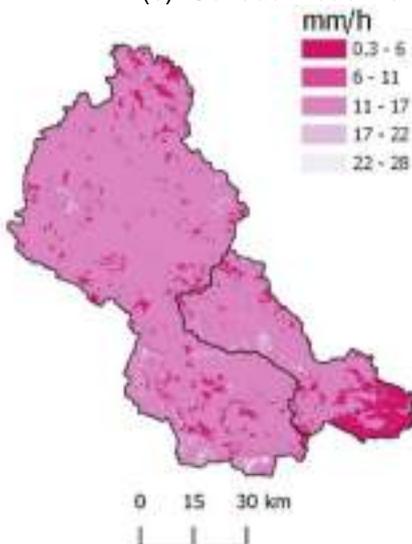
Para el presente estudio, se asumió como la capacidad de percolación a la conductividad hidráulica de la última capa ( $K_{200}$ ). A partir de lo expuesto, en la Figura 19 se presentan los 3 mapas de conductividad hidráulica en el suelo empleados.



(a) Conductividad hidráulica saturada en la capa superior del suelo



(b) Conductividad hidráulica saturada en la capa inferior del suelo



(c) Conductividad hidráulica saturada de interflujo

Figura 19. Mapas de conductividad hidráulica saturada en el suelo.

Fuente: Elaboración propia con datos de la 3D Soil Hydraulic Database of Europe.

### **3.2.3. Cobertura vegetal**

Se empleó como base de datos a CORINE Land Cover (CLC) 2012 y 2018, la cual consiste en un inventario de 44 coberturas de suelo, cuyas denominaciones se presentan en la Tabla 3. Dicha base de datos fue implementada en 1985, pero ha sido actualizada en los años 2000, 2006, 2012 y 2018. Asimismo, la base de datos en cuestión se encuentra disponible en formato GeoTiff a una resolución de 100 m, sin embargo, para fines del presente estudio, se empleó una resolución de 200 m.

En la Figura 20 se muestra el mapa de cobertura vegetal con CLC 2012, mientras que en la Figura 21 se presenta su histograma respectivo. Se observa que la cobertura vegetal principal es el bosque de coníferas, seguido de las praderas naturales y los viñedos.

En la

Figura 22 se aprecia la cobertura vegetal con CLC 2018, mientras que en la Figura 23 se presenta el histograma correspondiente. Se tiene que, al igual que CLC 2012, la cobertura vegetal principal es el bosque de coníferas, seguido de las praderas naturales y los viñedos.

Asimismo, en la Figura 24 se presenta el cambio de cobertura vegetal entre CLC 2012 y 2018, mientras que en la Figura 25 se muestra su histograma, observándose que el cambio de uso predominante es de praderas naturales a bosques de coníferas, seguido de bosques de coníferas a bosques de transición y de bosques de transición a bosques de coníferas.

Tabla 3. Nomenclatura empleada para las coberturas de CLC

Clasificación CLC 2018	Nomenclatura equivalente
Continuous urban fabric	Tejido urbano continuo
Discontinuous urban fabric	Tejido urbano discontinuo
Industrial or commercial units	Unidades industriales o comerciales
Road and rail networks and associated land	Carretera, ferrocarriles
Port areas	Zonas portuarias
Airports	Aeropuertos
Mineral extraction sites	Zonas de extracción minera
Dump sites	Vertederos
Construction sites	Obras de construcción
Green urban areas	Áreas verdes urbanas
Sport and leisure facilities	Instalaciones deportivas y recreativas
Non-irrigated arable land	Tierra de cultivo de no regadío
Permanently irrigated land	Tierras regadas permanentemente
Rice fields	Campos de arroz
Vineyards	Viñedos
Fruit trees and berry plantations	Árboles frutales y plantaciones de bayas
Olive groves	Olivos
Pastures	Pastizales
Annual crops associated with permanent crops	Cultivos anuales asociados con permanentes
Complex cultivation patterns	Forma de cultivos complejos
Land principally occupied by agriculture with significant areas of natural vegetation	Terreno principalmente ocupado por agricultura con vegetación natural significativa
Agro-forestry areas	Áreas agro-forestal
Broad-leaved forest	Bosques de frondosas
Coniferous forest	Bosques de coníferas
Mixed forest	Bosques mixtos
Natural grassland	Praderas naturales
Moors and heathland	Páramos y landas
Sclerophyllous vegetation	Vegetación esclerófila
Transitional woodland-shrub	Bosques de transición, arbustos
Beaches, dunes, sands	Playas, dunas, arenas
Bare rocks	Roca desnuda
Sparsely vegetated areas	Áreas con escasa vegetación
Burnt areas	Zonas quemadas
Glaciers and perpetual snow	Glaciales y nieve permanente
Inland marshes	Pantanos
Peat bogs	Turberas
Salt marshes	Marismas
Salines	Salinas
Intertidal flats	Llanuras intermareales
Water courses	Cursos de agua
Water bodies	Cuerpos de agua
Coastal lagoons	Lagunas costeras
Estuaries	Estuarios
Sea and ocean	Mares y océanos

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del User Manual Copernicus Land Monitoring Service - CORINE Land Cover.

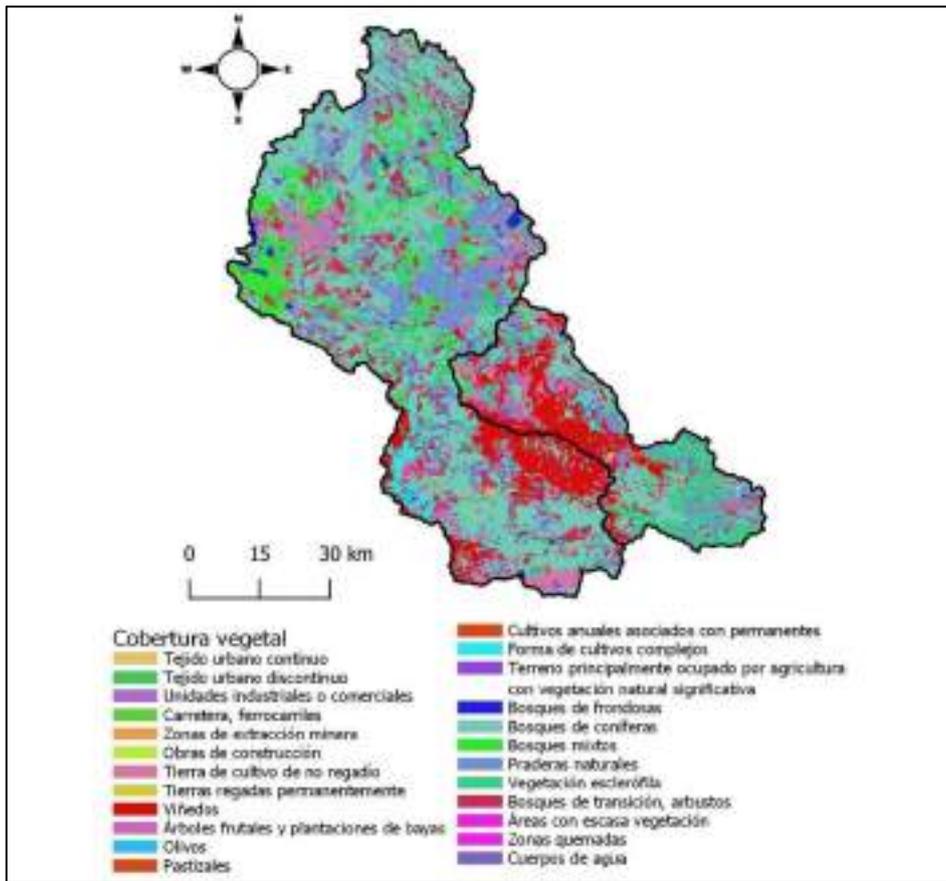


Figura 20. Mapa de cobertura vegetal de CLC 2012.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de CLC 2012.

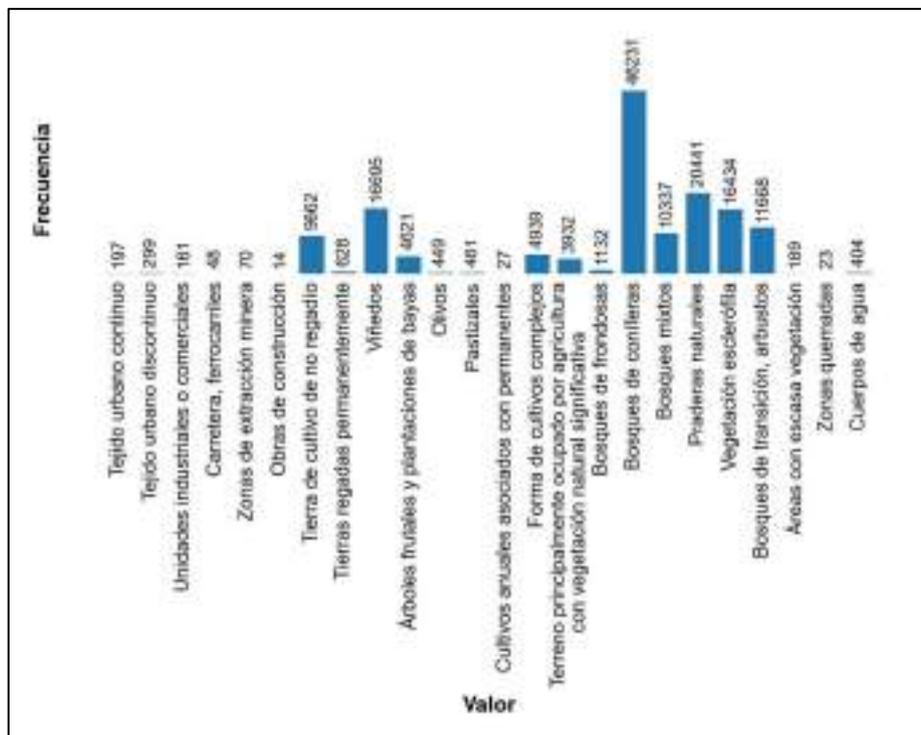


Figura 21. Histograma del mapa de cobertura vegetal de CLC 2012.

Fuente: Elaboración propia.

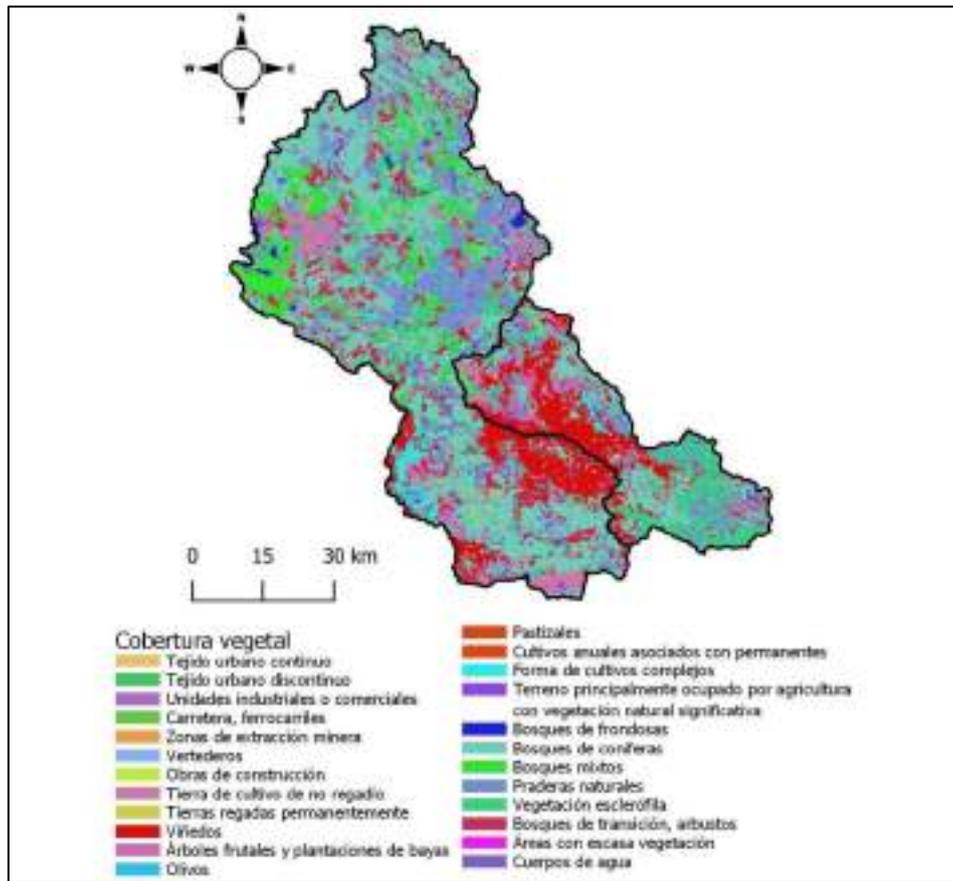


Figura 22. Mapa de cobertura vegetal de CLC 2018.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de CLC 2018.

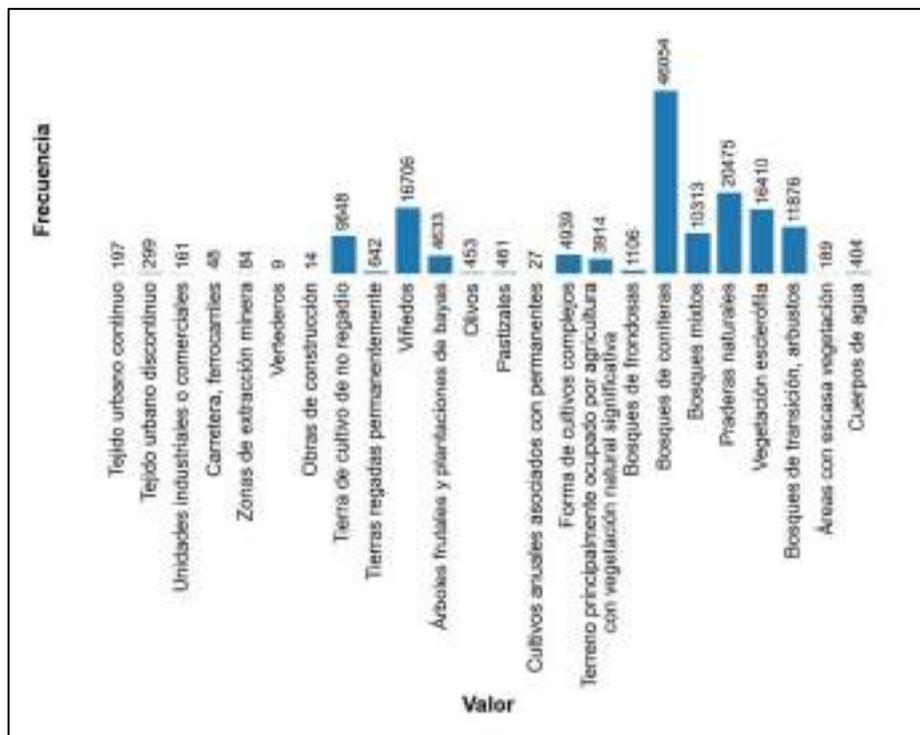


Figura 23. Histograma del mapa de cobertura vegetal de CLC 2018.

Fuente: Elaboración propia.

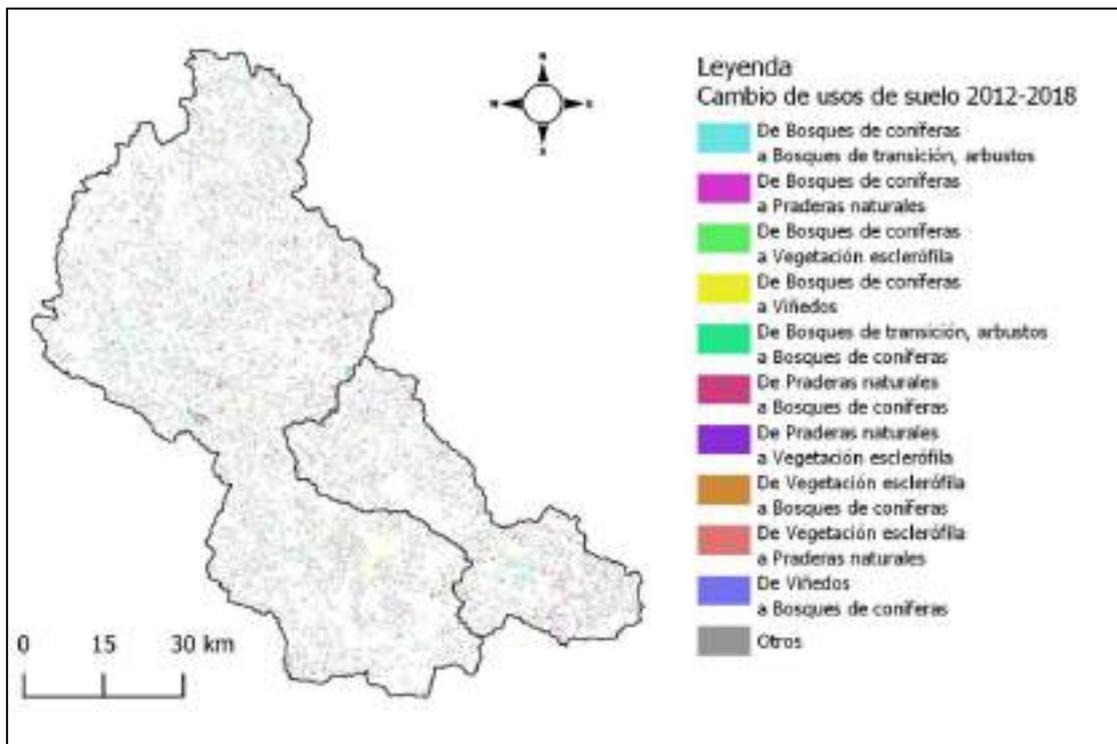


Figura 24. Cambio de uso de suelo del 2012 al 2018.

Fuente: Elaboración propia con datos de CLC 2012 y 2018.

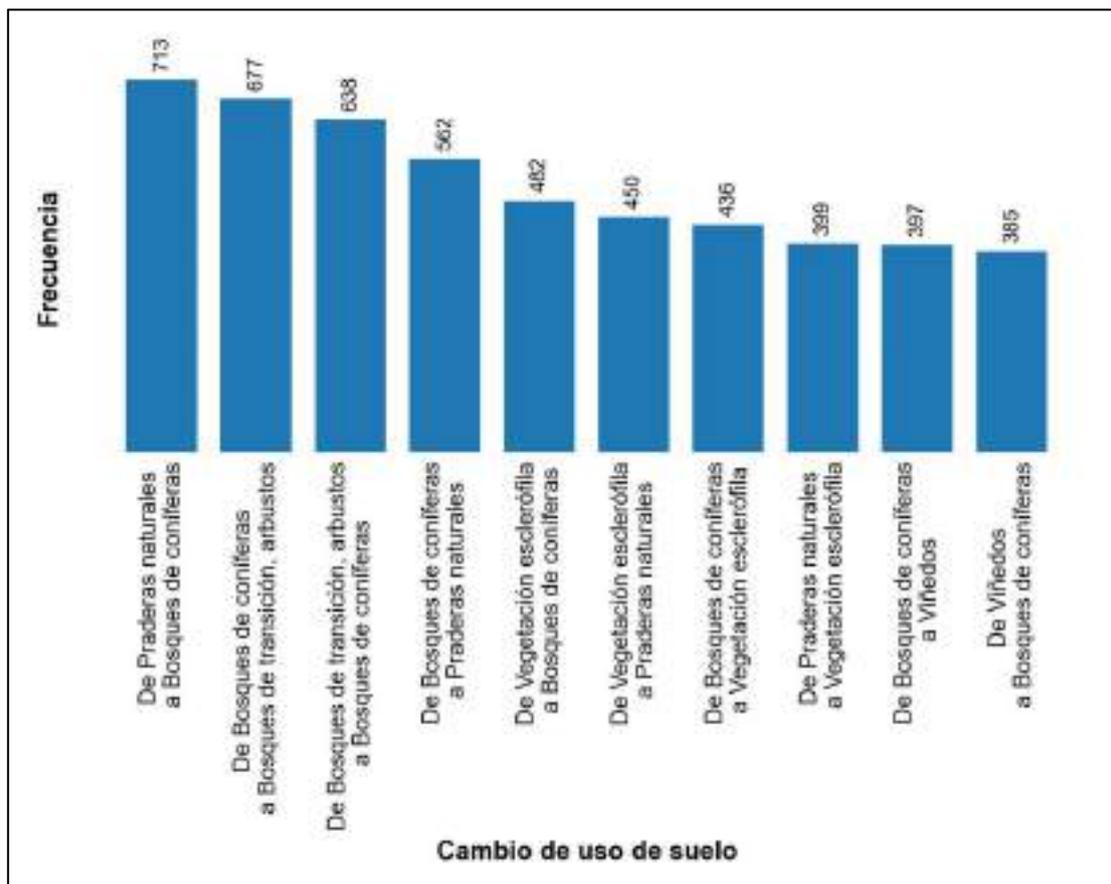


Figura 25. Histograma del cambio de uso de suelo del 2012 al 2018.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.4. Estimación de kc

Para la estimación de la evapotranspiración, TETIS emplea un factor de vegetación o cubierta del suelo ( $\lambda_v$ ), el cual modifica la evapotranspiración potencial y, a su vez, adopta 12 valores mensuales para cada tipo de cubierta. También es conocido como el factor de cultivo (kc) por la FAO y para el presente estudio sus valores se tomarán de estudios previos, información brindada por el IIAMA o estimados mediante las Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos (FAO *et al.*, 2006).

En base a los mapas CORINE Land Cover 2012 y 2018 empleados, se identificaron diferentes tipos de cobertura de suelo a las cuales se le asignaron distintos valores de kc, según su naturaleza.

#### Bosque de pinos

Dentro de esta clasificación se encuentran los bosques de frondosas, coníferas y mixtos. Tomando como referencia a Ramírez (2012), a este tipo de cobertura se le asignó el kc mensual que se muestra en la Figura 26.

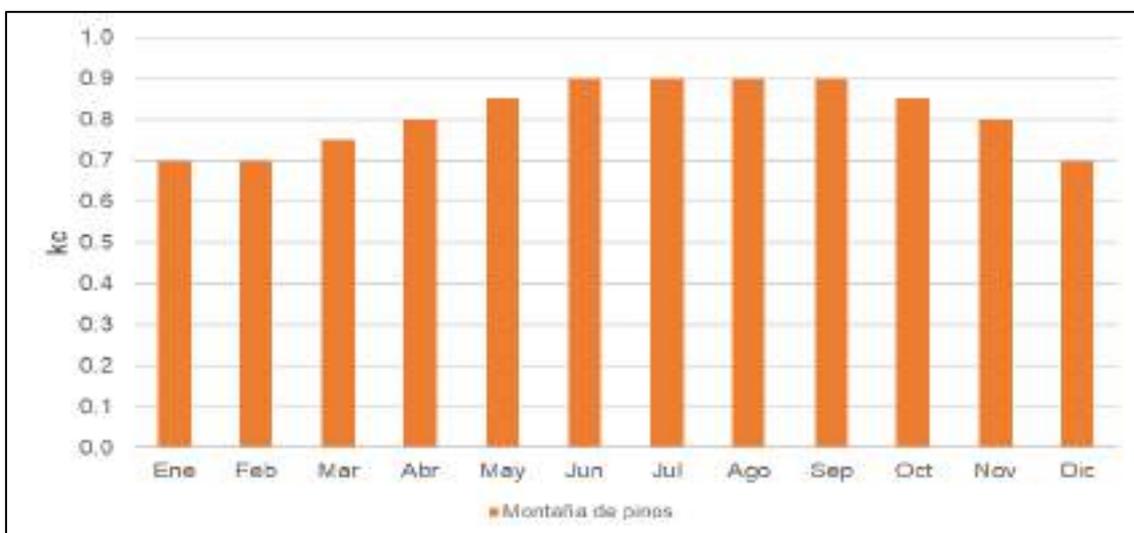


Figura 26. kc para bosque de pinos.

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de Ramírez (2012).

#### Matorral

Se encuentran las coberturas de páramos y landas, vegetación esclerófila y bosques de transición, y se les asignó los valores de kc de la Figura 27.

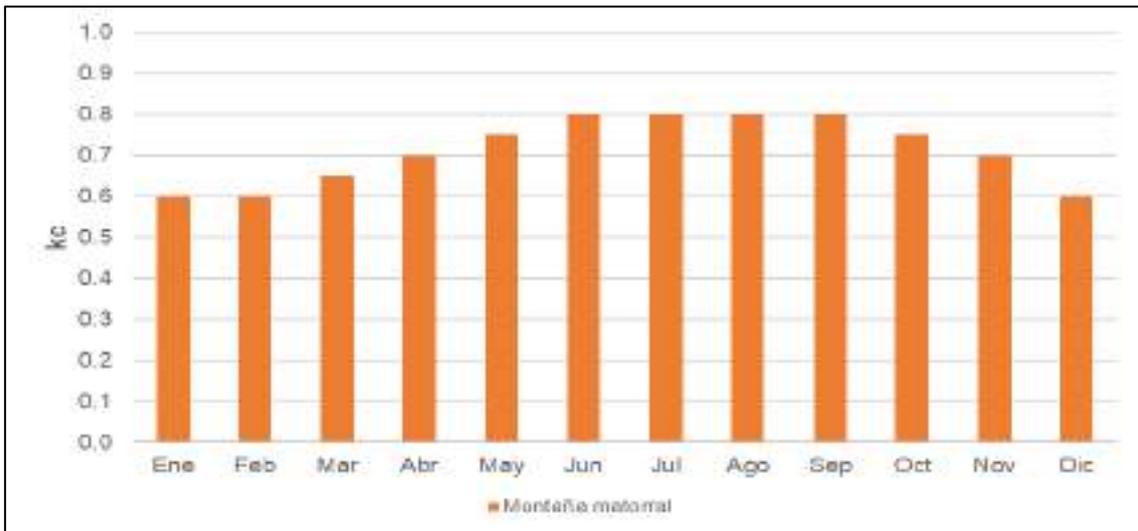


Figura 27. kc para montaña matorral.

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de Ramírez (2012).

## Urbano

Para los tipos de cobertura contempladas como urbano, tales como tejido urbano continuo y discontinuo, unidades industriales o comerciales, carreteras y/o ferrocarriles, aeropuertos, zonas de extracción minera, vertederos, obras de construcción e instalaciones deportivas y recreativas, se les asigno un kc igual a 1 para todos los meses del año, tal como se puede apreciar en la Figura 28.



Figura 28. kc para coberturas urbanas.

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de Ramírez (2012).

## Pastizales naturales

En esta categoría se encuentran los pastizales y las praderas naturales. Tomando como referencia a Ramírez (2012), se ha asignado un valor de kc igual a 0.70 a todos los meses del año, tal como se muestra en la Figura 29.

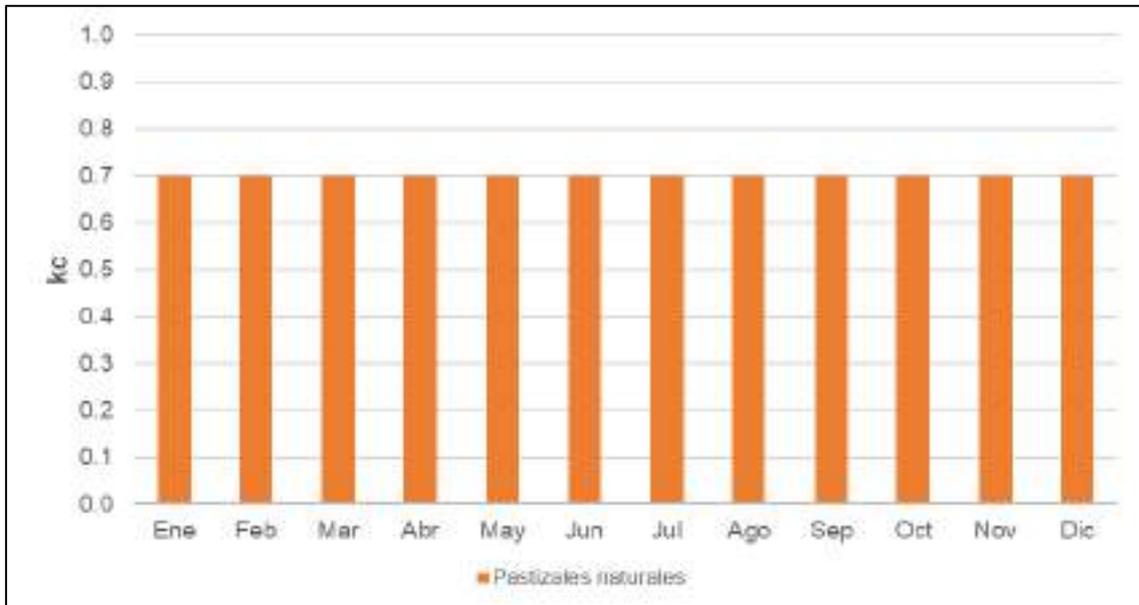


Figura 29. kc para pastizales naturales.

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de Ramírez (2012).

## Vegetación escasa

Dentro de la categoría de vegetación escasa tenemos las playas, dunas, arenas, roca desnuda, áreas con escasa vegetación y zonas quemadas a las cuales se les ha asignado el valor de kc contemplado por Ramírez (2012), el cual es de 0.70 para todos los meses del año, tal como se observa en la Figura 30.

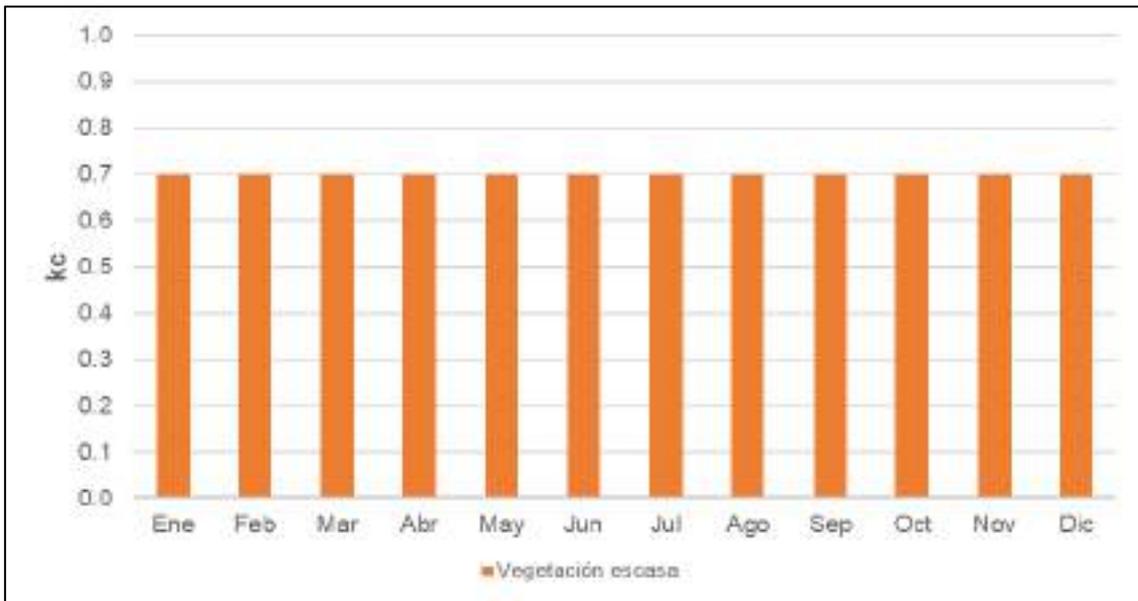


Figura 30. kc para vegetación escasa.

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de Ramírez (2012).

### Secano arborizado

Dentro de la categoría de secano arborizado se encuentra la vid y los olivos. En relación a la vid, se tomó como referencia los datos de kc proporcionados por el Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente (IIAMA), mientras que para el olivo se emplearon datos del Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Medioambiental (IMIDA). Dichos valores se exponen en la Figura 31.

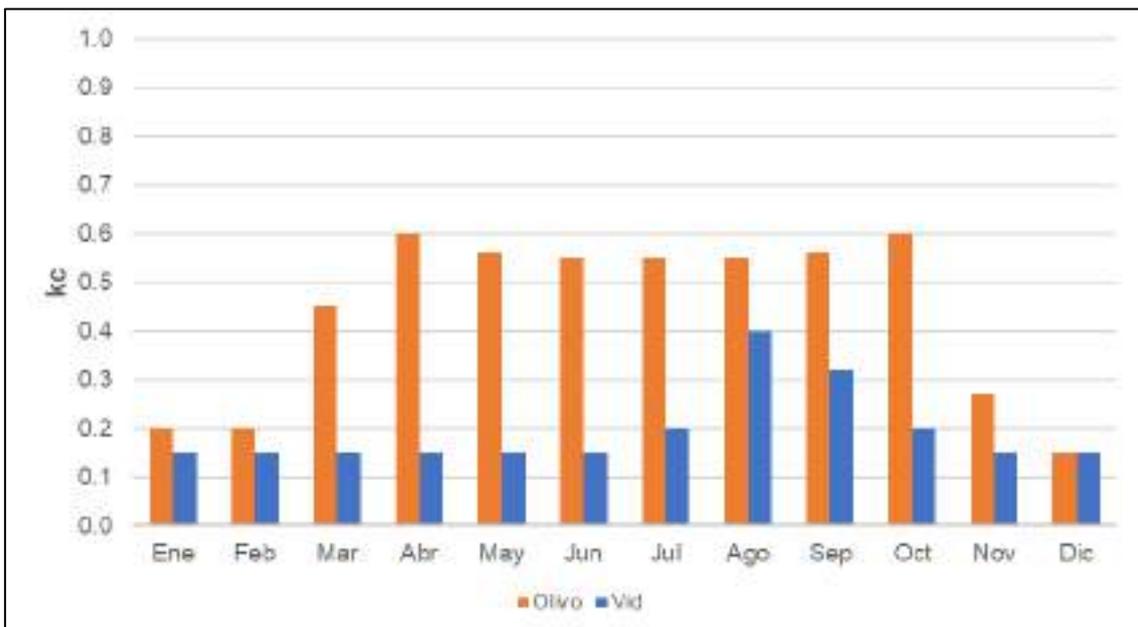


Figura 31. kc para secano arborizado.

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del IIAMA e IMIDA.

## Otros tipos de cobertura

En CLC se encuentran las categorías de tierras de cultivo de no regadío, tierras regadas permanentemente, árboles frutales y plantaciones de bayas, cultivos anuales asociados con permanentes, forma de cultivos complejos y terreno principalmente ocupado por agricultura. Dado que estas categorías son muy generales, se le asignó a cada píxel el kc, la profundidad de raíces y la interceptación del cultivo de mayor presencia en dicho píxel. Para ello, se empleó la base de datos del Sistema de Información Geográfica de Parcelas Agrícolas (SIGPAC) 2022. Esta asignación se llevó a cabo para CLC 2018 y 2012 dentro de las áreas comprendidas para las cuencas delimitadas en el Magro como en el Cabriel. En ese sentido, de la Tabla 4 a la Tabla 9 se presenta la distribución de los cultivos por cada una de las categorías mencionadas. Asimismo, de la Figura 32 a la Figura 37 se presenta el kc mensual de cada cultivo contemplado dentro de las categorías analizadas, los cuales fueron calculados siguiendo la metodología FAO, a excepción de la vid, el almendro y el olivo. En el caso del chopo, se tomaron referencias bibliográficas para establecer su valor de kc.

Tabla 4. Distribución del número de píxeles según el tipo de cultivo para la categoría de tierra de cultivo de no regadío de CLC

Tierra de cultivo de no regadío				
Cultivo	CLC 2018		CLC 2012	
	Número de píxeles	Área (ha)	Número de píxeles	Área (ha)
Cebada	3951	15804	3892	15568
Trigo blando	1679	6716	1653	6612
Girasol	1091	4364	1074	4296
Pasto arbustivo de 5 o más años	575	2300	566	2264
Viñedo vinificación	545	2180	537	2148
Almendros	543	2172	535	2140
Yeros	340	1360	335	1340
Veza	254	1016	250	1000
Avena	199	796	196	784
Pasto arbolado de 5 o más años	195	780	192	768
Triticale	175	700	173	692
Pistacho	115	460	114	456
Superficies forestales maderables	80	320	79	316
Olivar	68	272	66	264
Total	9810	39240	9662	38648

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5. Distribución del número de píxeles según el tipo de cultivo para la categoría de tierras regadas permanentemente de CLC

Cultivo	CLC 2018		CLC 2012	
	Número de píxeles	Área (ha)	Número de píxeles	Área (ha)
Cebada	181	724	188	752
Trigo blando	159	636	165	660
Girasol	63	252	65	260
Colza	35	140	36	144
Guisantes	34	136	36	144
Ajo	29	116	30	120
Almendros	20	80	21	84
Triticale	17	68	18	72
Maíz	16	64	16	64
Veza	15	60	16	64
Alfalfa	11	44	11	44
Avena	10	40	10	40
Olivar	8	32	8	32
Pastizal de 5 o más años	8	32	8	32
Total	606	2424	628	2512

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6. Distribución del número de píxeles según el tipo de cultivo para la categoría de árboles frutales y plantaciones de bayas de CLC

Cultivo	CLC 2018		CLC 2012	
	Número de píxeles	Área (ha)	Número de píxeles	Área (ha)
Almendros	3439	13756	3380	13520
Viñedo vinificación	559	2236	549	2196
Olivar	303	1212	298	1192
Pasto arbustivo de 5 o más años	115	460	113	452
Cebada	100	400	98	392
Pistacho	93	372	92	368
Algarrobo	52	208	51	204
Superficies forestales maderables	41	164	40	160
Total	4702	18808	4621	18484

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7. Distribución del número de píxeles según el tipo de cultivo para la categoría de cultivos anuales asociados con permanentes de CLC

Cultivo	CLC 2018		CLC 2012	
	Número de píxeles	Área (ha)	Número de píxeles	Área (ha)
Cebada	13	52	13	52
Trigo blando	5	20	5	20
Almendros	3	12	3	12
Pasto arbustivo de 5 o más años	2	8	2	8
Centeno	1	4	1	4
Avena	1	4	1	4
Superficies forestales maderables	1	4	1	4
Viñedo vinificación	1	4	1	4
Total	27	108	27	108

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8. Distribución del número de píxeles según el tipo de cultivo para la categoría de forma de cultivos complejos de CLC

Forma de cultivos complejos				
Cultivo	CLC 2018		CLC 2012	
	Número de píxeles	Área (ha)	Número de píxeles	Área (ha)
Almendros	1869	7476	1874	7496
Viñedo vinificación	1307	5228	1310	5240
Olivar	672	2688	673	2692
Cebada	431	1724	432	1728
Pasto arbustivo de 5 o más años	249	996	250	1000
Trigo blando	139	556	139	556
Superficies forestales maderables	66	264	66	264
Pistacho	57	228	57	228
Pasto arbolado de 5 o más años	40	160	40	160
Esparceta	25	100	25	100
Yeros	25	100	25	100
Veza	24	96	24	96
Girasol	23	92	24	96
Total	4927	19708	4939	19756

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9. Distribución del número de píxeles según el tipo de cultivo para la categoría de terreno principalmente ocupado por agricultura con vegetación natural significativa de CLC

Terreno principalmente ocupado por agricultura con vegetación natural significativa				
Cultivo	CLC 2018		CLC 2012	
	Número de píxeles	Área (ha)	Número de píxeles	Área (ha)
Almendros	680	2720	718	2872
Viñedo vinificación	668	2672	705	2820
cebada	624	2496	659	2636
Pasto arbustivo de 5 o más años	548	2192	578	2312
Trigo blando	269	1076	284	1136
Pasto arbolado de 5 o más años	243	972	256	1024
Girasol	161	644	170	680
Olivar	155	620	164	656
Superficies forestales maderables	135	540	142	568
Triticale	54	216	58	232
Yeros	50	200	53	212
Pastizal de 5 o más años	45	180	48	192
Avena	31	124	33	132
Otras superficies forestales	26	104	27	108
Guisantes	19	76	20	80
Chopos	17	68	17	68
Total	3725	14900	3932	15728

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 10 se presentan los valores de kc expuestos, así como los de intercepción de precipitación asumidos para cada tipo de cobertura.

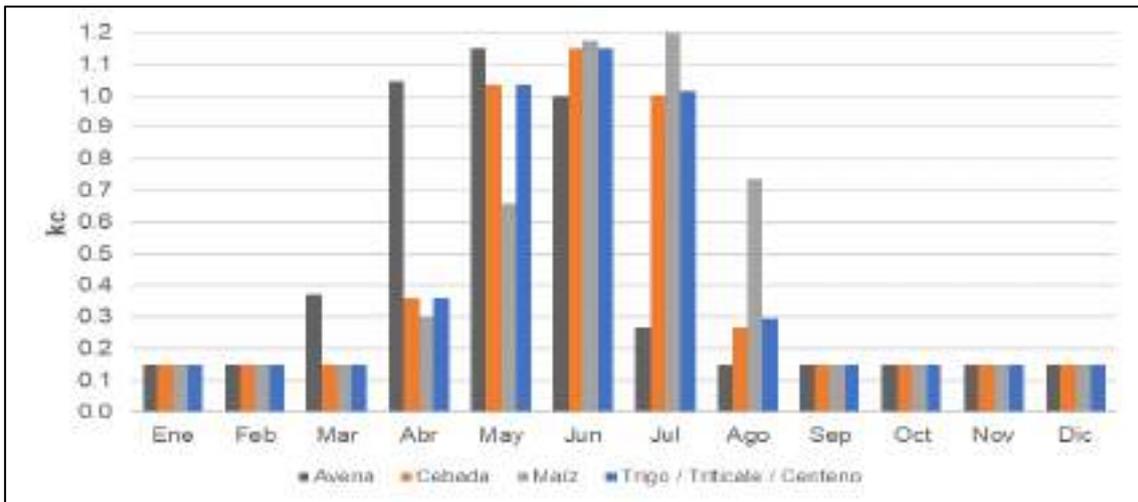


Figura 32. kc para cultivos de tipo cereal.

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de FAO *et al.* (2006).

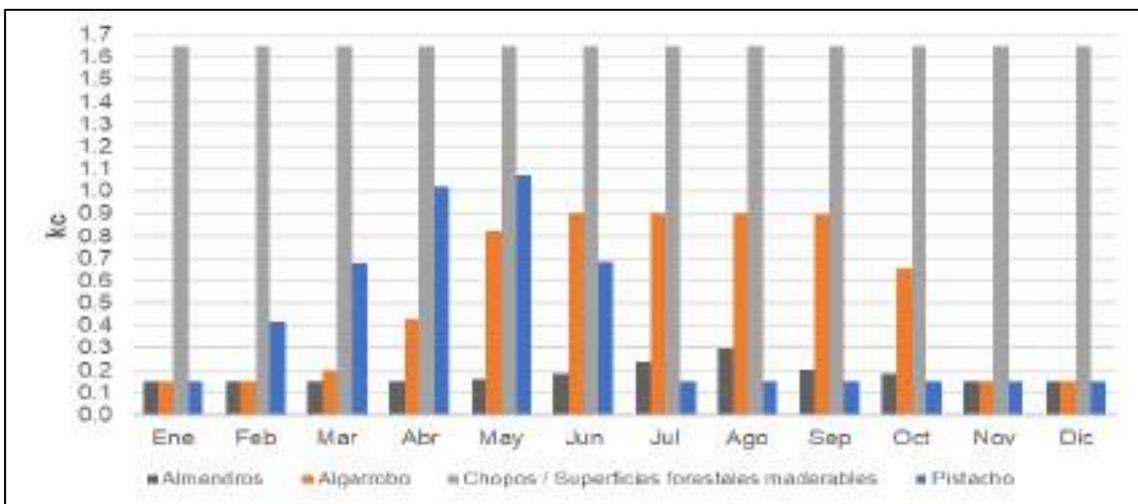


Figura 33. kc para cultivos de tipo arborizado.

Fuente: Elaboración propia a partir de FAO *et al.* (2006) y Riu *et al.* (1999).

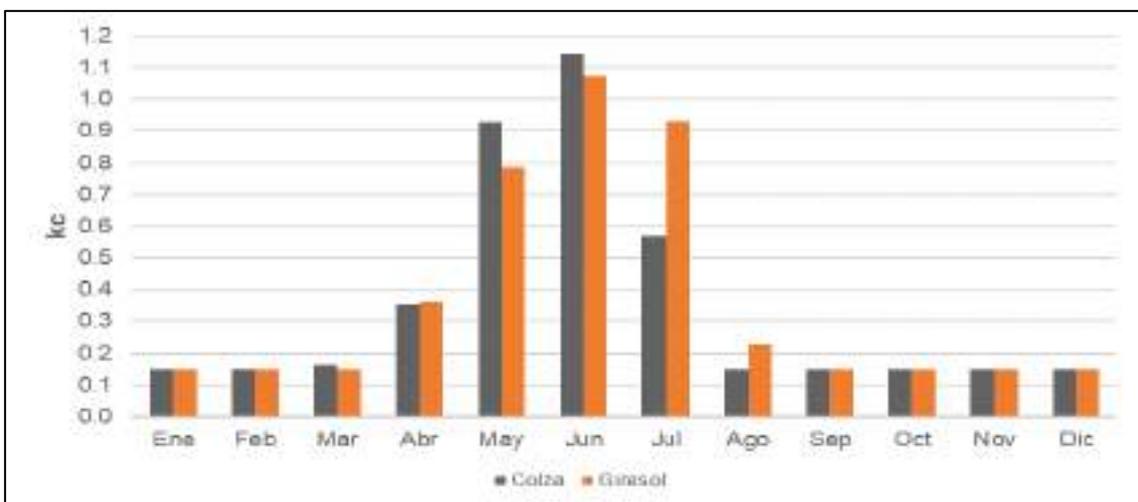


Figura 34. kc para cultivos de tipo oleaginoso.

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de FAO *et al.* (2006).

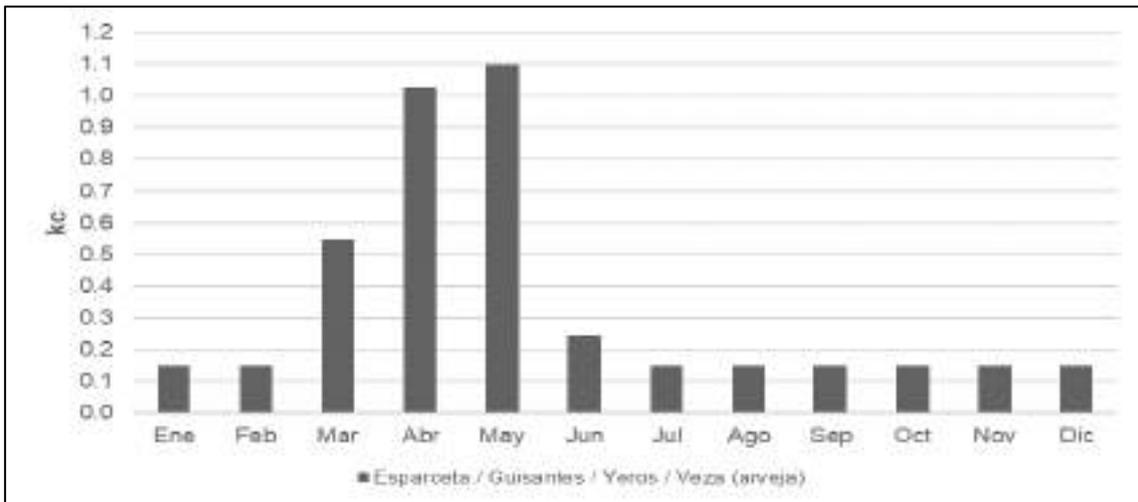


Figura 35. kc para cultivos de tipo leguminosa.

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de FAO *et al.* (2006).

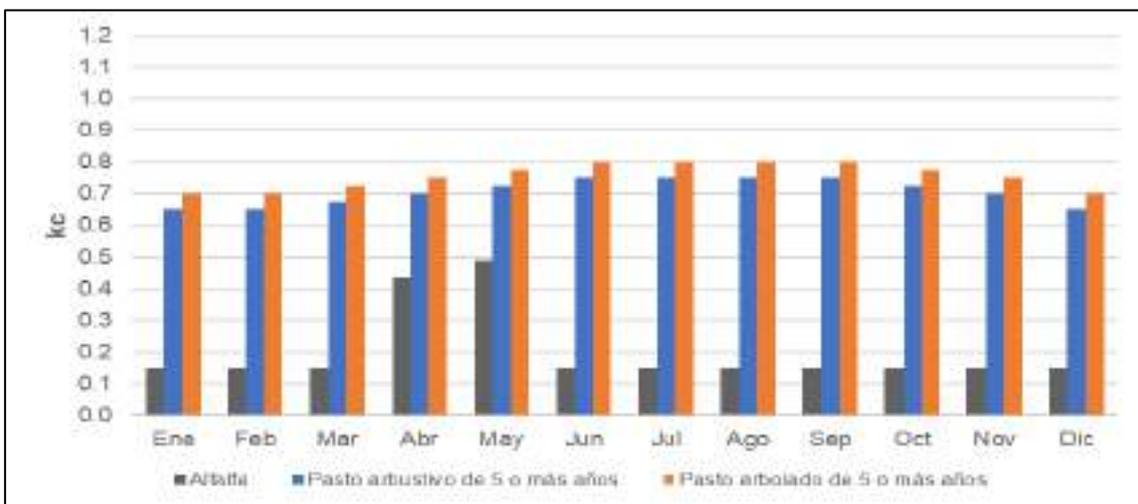


Figura 36. kc para cultivos de tipo forraje.

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de Ramírez (2012).

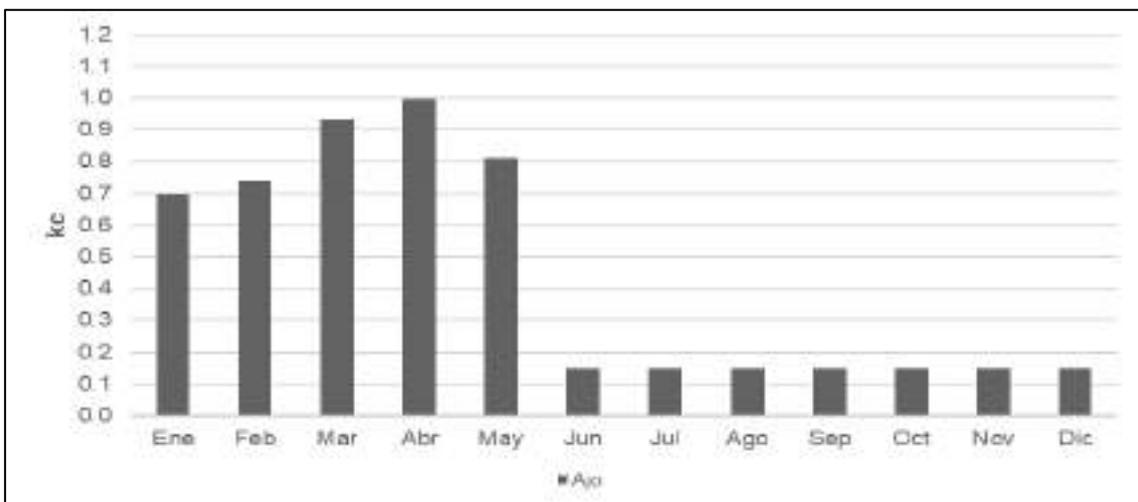


Figura 37. kc para cultivos de tipo hortaliza.

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de FAO *et al.* (2006).

Tabla 10. Valores de kc e intercepción de precipitación empleados para cada cobertura

Cobertura	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Int.
Tejido urbano continuo	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00
Tejido urbano discontinuo	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	3.00
Unidades industriales o comerciales	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00
Carretera, ferrocarriles	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00
Aeropuertos	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00
Zonas de extracción minera	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00
Vertederos	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00
Obras de construcción	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00
Instalaciones deportivas y recreativas	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	3.00
Tierra de cultivo de no regadío	0.20	0.20	0.20	0.38	0.75	0.68	0.58	0.33	0.20	0.20	0.20	0.20	1.00
Tierras regadas permanentemente	0.20	0.20	0.20	0.20	1.05	1.13	1.20	1.20	0.98	0.20	0.20	0.20	1.00
Viñedos	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.20	0.40	0.32	0.20	0.15	0.15	1.00
Árboles frutales y plantaciones de bayas	0.62	0.62	0.60	0.59	0.57	0.55	0.55	0.55	0.55	0.59	0.60	0.63	1.00
Olivos	0.20	0.20	0.45	0.60	0.56	0.55	0.55	0.55	0.56	0.60	0.27	0.15	1.00
Pastizales	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	3.00
Cultivos anuales asociados con permanentes	0.20	0.20	0.20	0.38	0.75	0.68	0.58	0.33	0.20	0.20	0.20	0.20	1.00
Forma de cultivos complejos	0.20	0.20	0.20	0.50	0.85	1.10	0.98	0.55	0.23	0.20	0.20	0.20	1.00
Terreno principalmente ocupado por agricultura con vegetación natural significativa	0.62	0.62	0.60	0.59	0.57	0.55	0.55	0.55	0.55	0.59	0.60	0.63	5.00
Áreas agro-forestal	0.20	0.20	0.20	0.50	0.85	1.10	0.98	0.55	0.23	0.20	0.20	0.20	9.00
Bosques de frondosas	0.70	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.90	0.90	0.90	0.85	0.80	0.70	9.00
Bosques de coníferas	0.70	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.90	0.90	0.90	0.85	0.80	0.70	9.00
Bosques mixtos	0.70	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.90	0.90	0.90	0.85	0.80	0.70	9.00
Praderas naturales	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	3.00
Páramos y landas	0.60	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.80	0.80	0.80	0.75	0.70	0.60	3.00
Vegetación esclerófila	0.60	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.80	0.80	0.80	0.75	0.70	0.60	4.00
Bosques de transición, arbustos	0.60	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.80	0.80	0.80	0.75	0.70	0.60	5.00
Playas, dunas, arenas	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.00
Roca desnuda	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.00
Áreas con escasa vegetación	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.00
Zonas quemadas	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.00
Pantanos	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00

<b>Cobertura</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>Int.</b>
Cuerpos de agua	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00
Cebada	0.15	0.15	0.15	0.36	1.03	1.15	1.00	0.27	0.15	0.15	0.15	0.15	3.00
Trigo blando	0.15	0.15	0.15	0.36	1.03	1.15	1.01	0.29	0.15	0.15	0.15	0.15	3.00
Girasol	0.15	0.15	0.15	0.36	0.78	1.08	0.93	0.23	0.15	0.15	0.15	0.15	3.00
Pasto arbustivo de 5 o más años	0.65	0.65	0.68	0.70	0.73	0.75	0.75	0.75	0.75	0.73	0.70	0.65	4.00
Viñedo vinificación	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.20	0.40	0.32	0.20	0.15	0.15	1.00
Almendros	0.15	0.15	0.15	0.15	0.16	0.18	0.24	0.30	0.21	0.18	0.15	0.15	1.00
Yeros	0.15	0.15	0.55	1.03	1.10	0.24	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	3.00
Veza	0.15	0.15	0.55	1.03	1.10	0.24	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	3.00
Avena	0.15	0.15	0.37	1.05	1.15	1.00	0.27	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	3.00
Pasto arbolado de 5 o más años	0.70	0.70	0.73	0.75	0.78	0.80	0.80	0.80	0.80	0.78	0.75	0.70	6.00
Triticale	0.15	0.15	0.15	0.36	1.03	1.15	1.01	0.29	0.15	0.15	0.15	0.15	3.00
Pistacho	0.15	0.42	0.68	1.02	1.07	0.69	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	3.00
Superficies forestales maderables	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.00
Olivar	0.20	0.20	0.45	0.60	0.56	0.55	0.55	0.55	0.56	0.60	0.27	0.15	1.00
Esparceta	0.15	0.15	0.55	1.03	1.10	0.24	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	3.00
Centeno	0.15	0.15	0.15	0.36	1.03	1.15	1.01	0.29	0.15	0.15	0.15	0.15	3.00
Pastizal de 5 o más años	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	3.00
Otras superficies forestales	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.00
Guisantes	0.15	0.15	0.55	1.03	1.10	0.24	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	3.00
Chopos	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.00
Algarrobo	0.15	0.15	0.20	0.43	0.82	0.90	0.90	0.90	0.90	0.66	0.15	0.15	1.00
Colza	0.15	0.15	0.16	0.35	0.93	1.14	0.57	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	3.00
Ajo	0.70	0.74	0.93	1.00	0.81	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	3.00
Maíz	0.15	0.15	0.15	0.30	0.66	1.17	1.20	0.74	0.15	0.15	0.15	0.15	3.00
Alfalfa	0.15	0.15	0.15	0.44	0.49	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	3.00
Viñedo vinificación - riego por goteo (*)	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.31	0.98	0.72	0.31	0.15	0.15	1.00
Almendros - riego por goteo (*)	0.15	0.15	0.15	0.15	0.19	0.28	0.50	0.73	0.37	0.28	0.15	0.15	1.00

Nota: (\*) valores de kc, cuyo cálculo se muestra en la Sección 5.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.5. Hidrogeología

En lo concerniente a la conductividad hidráulica del acuífero, se emplearon los valores calibrados por Pérez (2019), los cuales se presentan en la Figura 38. Se puede apreciar que existen formaciones aluviales, cuya conductividad se encuentra en el rango de 5.83 mm/h a 1250 mm/h. Asimismo, también se tienen formaciones carbonatadas de alta y baja conductividad que oscilan de 62.50 mm/h a 250 mm/h y de 2.08 mm/h a 208.33 mm/h, respectivamente. Además, se tiene la presencia de formaciones detríticas de conductividad media y muy baja, cuyos valores se encuentran en el rango de 0.42 mm/h a 20.83 mm/h y 3.75 mm/h a 4.17 mm/h, correspondientemente.

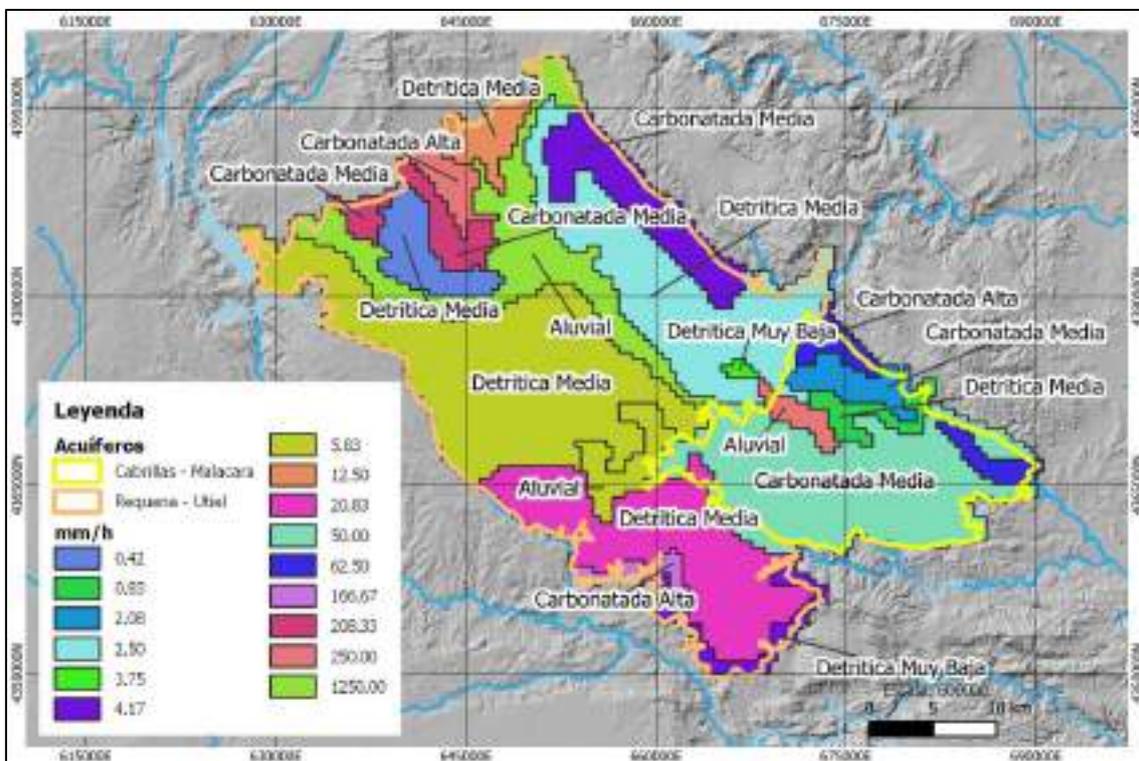


Figura 38. Mapa de conductividad hidráulica de Pérez (2019).

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Pérez (2019).

Dado que la información de conductividades hidráulicas solo se limita al área de los acuíferos en cuestión, es necesario complementarla para el resto del área de las cuencas. En ese sentido, se empleó el Mapa de Permeabilidades de España a escala 1:200 000 del Instituto Geológico y Minero de España (IGME), cuyas formaciones litológicas se muestran en la Figura 39.

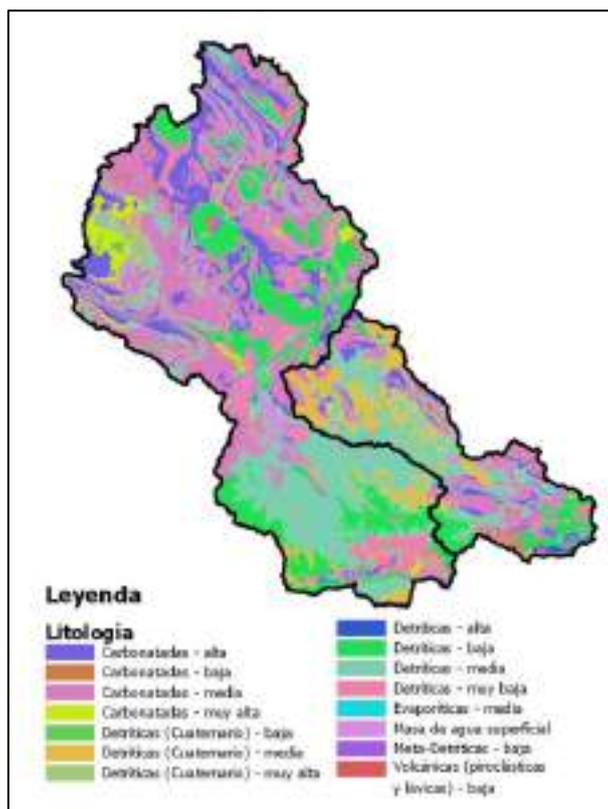


Figura 39. Mapa de permeabilidades de España en las cuencas de los ríos Magro y Cabriel.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IGME.

Ya que no se cuenta con los valores de conductividad hidráulica del área que se extiende más allá de Requena-Utiel y Cabrillas-Malacara, se optó por emplear los valores usados en estudios previos por el IIAMA para las litologías presentadas, los cuales se muestran en la Tabla 11. Como se puede apreciar, se tienen los valores de conductividad hidráulica empleados en la cuenca del río Ésera, así como los valores de Domenico y Schwartz (1998).

Debido a que se cuentan con 2 fuentes de información, se procedió a comparar sus valores con los de Pérez (2019), tal como se muestra en la Figura 40, a fin de determinar cuál de ambas fuentes presenta una mayor aproximación, obteniéndose que los valores de referencia de Domenico y Schwartz (1998) son los más cercanos, lo cual también se puede apreciar en la Figura 41 y Figura 42. Finalmente, el mapa de conductividad hidráulica empleado se muestra en la Figura 43. Cabe indicar que este mismo mapa fue empleado para representar la capacidad de pérdidas al acuífero profundo.

Tabla 11. Valores de referencia de conductividad hidráulica para varios tipos de roca

Litología	Ksa (mm/h)	
	Río Ésera	Domenico y Schwartz (1998)
Carbonatadas - baja	0.01	6.4807
Carbonatadas - media	0.1	10.8000
Carbonatadas - alta	10	15.1193
Carbonatadas - muy alta	1000	19.4386
Detríticas - muy baja	0.001	2.1604
Detríticas - baja	0.01	6.4802
Detríticas - muy alta	100	19.4396
Detríticas - alta	10	15.1198
Detríticas - media	0.1	10.8000
Evaporíticas - media	0.1	0.0036
Evaporíticas - baja	0.01	0.0022
Volcánicas (piroclásticas y lávicas) - baja	0.01	0.4320
Ígneas - baja	0.01	4.5000
Meta-detriticas - baja	0.01	6.4800
Meta-detriticas - muy baja	0.001	2.1600
Detríticas (cuaternario) - muy alta	1000	0.0453
Detríticas (cuaternario) - alta	10	0.0353
Detríticas (cuaternario) - media	0.1	0.0252
Detríticas (cuaternario) - baja	0.01	0.0151

Fuente: Elaboración propia a partir de los del IIAMA y Domenico y Schwartz (1998).

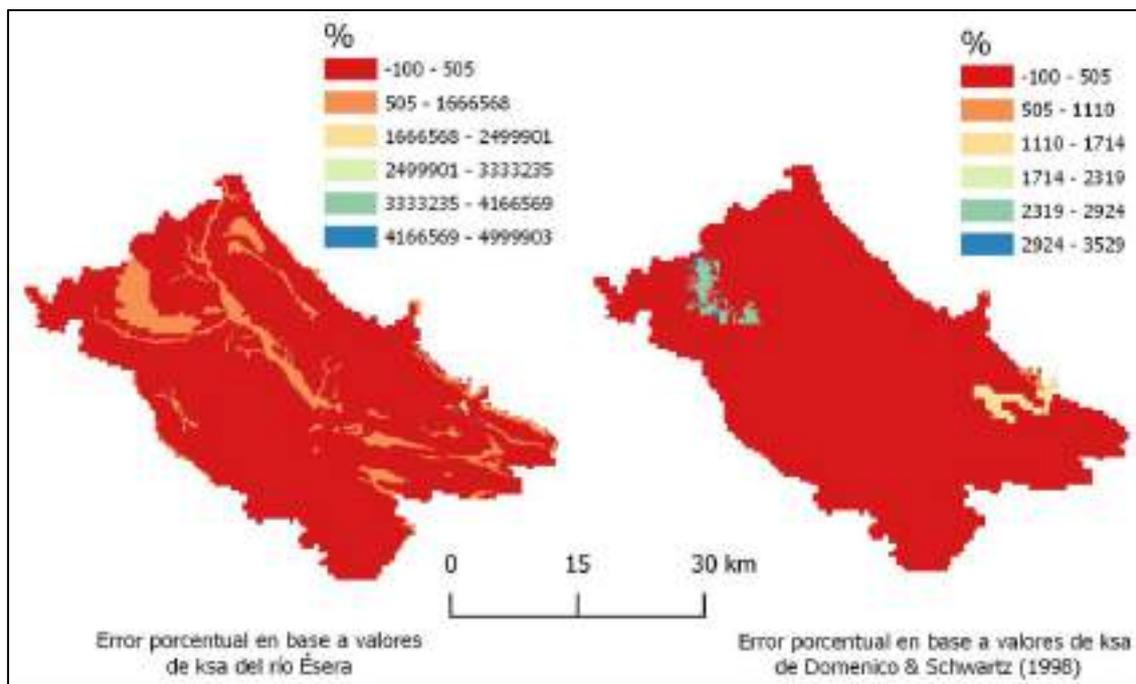


Figura 40. Mapas de diferencia porcentual del ksa (%).

Fuente: Elaboración propia.

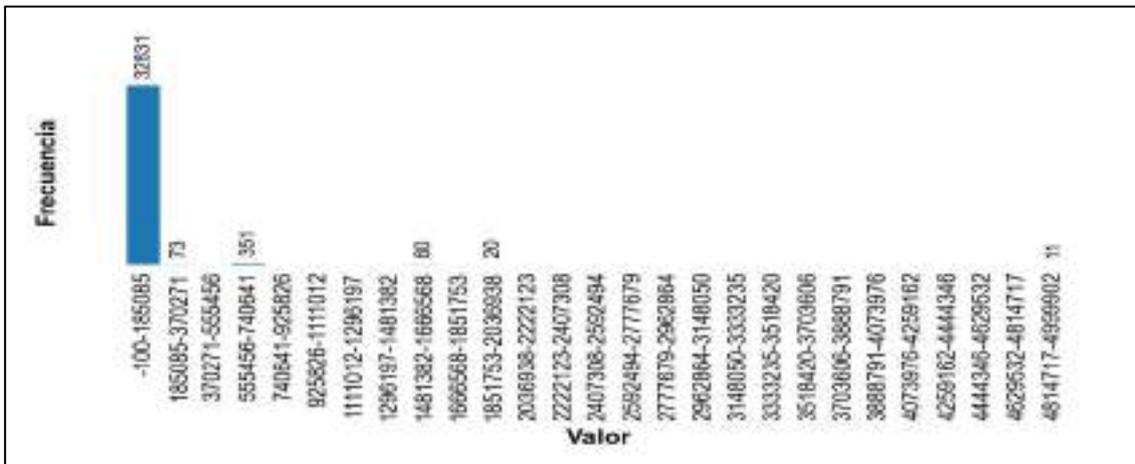


Figura 41. Histograma de la diferencia porcentual - río Ésera (%).

Fuente: Elaboración propia.



Figura 42. Histograma de la diferencia porcentual - Domenico y Schwartz (1998) (%).

Fuente: Elaboración propia.

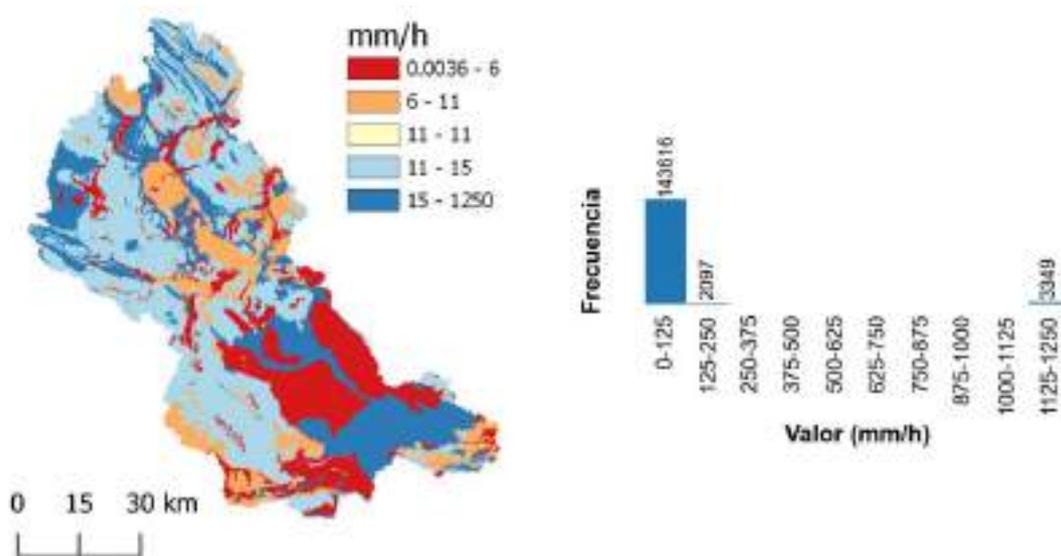


Figura 43. Conductividad hidráulica saturada del acuífero.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.6. Estimación del almacenamiento estático

El almacenamiento estático se estimó mediante la siguiente expresión:

$$H_u = Alm. Sup. + AWC \times MIN(Prof. raíces, ROO)$$

Donde  $H_u$  es el almacenamiento estático total (mm); Alm. Sup., el almacenamiento en los charcos (mm); AWC, el contenido de agua disponible en el suelo (mm/m); Prof. Raíces, la profundidad alcanzada por las raíces sin obstáculos (m); y ROO, la profundidad del primer obstáculo significativo para el desarrollo de las raíces (m), el cual se considera como la profundidad a la que se encuentra el estrato rocoso. Es importante notar que el primer término de la suma del  $H_u$  es el almacenamiento en charcos, mientras que el segundo es el almacenamiento capilar.

En lo concerniente al primer obstáculo significativo, se consideró a éste como la profundidad a la que se encuentra el estrato rocoso, para lo cual se empleó como fuente de información a ISRIC - World Soil Information, y se presenta en la Figura 93a, en la que se puede apreciar que la mayor parte del área presenta una profundidad al estrato rocoso comprendida entre 190 y 200 cm.

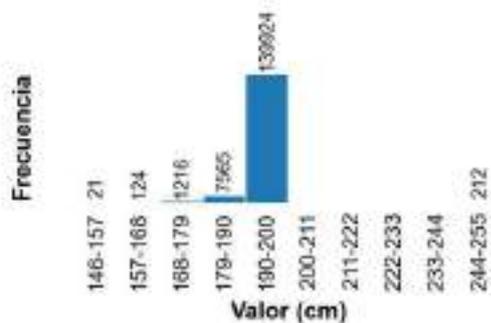
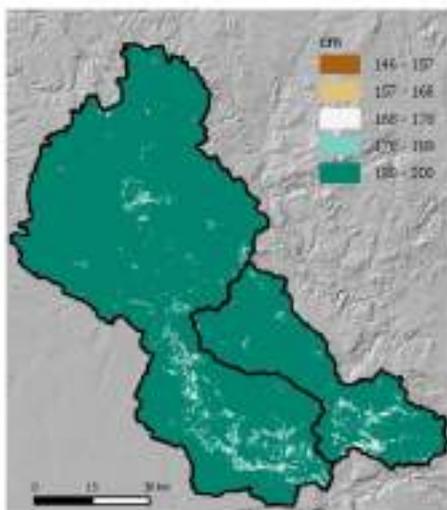
Respecto a la profundidad de raíces, se usaron los valores que se presentan en la Tabla 12 para CLC 2012 y 2018. Como puede observarse en la Figura 44b y c, el 34.0% y 33.9% de CLC 2012 y 2018, respectivamente, presenta una profundidad de raíces comprendida entre 58 y 72 cm, seguido por el 31.0% y 31.3% para una profundidad entre 116 y 130 cm para CLC 2012 y 2018, correspondientemente.

Tabla 12. Profundidad de raíces según el tipo de cobertura

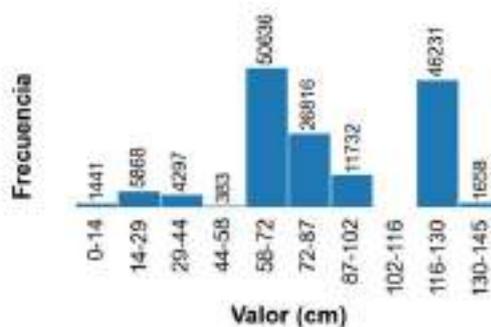
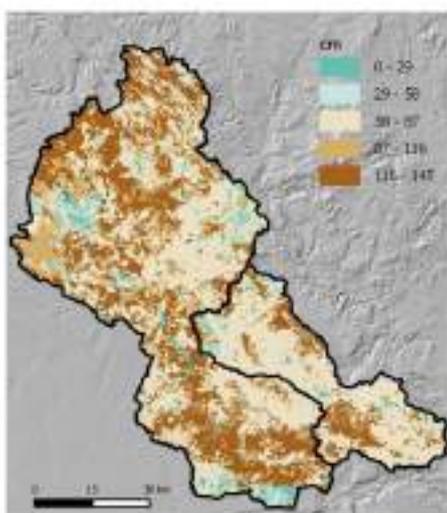
Cobertura	Profundidad de raíces (cm)	Cobertura	Profundidad de raíces (cm)
Tejido urbano continuo	6 <sup>(a)</sup>	Roca desnuda	2 <sup>(a)</sup>
Tejido urbano discontinuo	10 <sup>(a)</sup>	Áreas con escasa vegetación	2 <sup>(a)</sup>
Unidades industriales o comerciales	6 <sup>(a)</sup>	Zonas quemadas	0 <sup>(a)</sup>
Carretera, ferrocarriles	6 <sup>(a)</sup>	Pantanos	0 <sup>(a)</sup>
Aeropuertos	10 <sup>(a)</sup>	Cuerpos de agua	0 <sup>(a)</sup>
Zonas de extracción minera	1 <sup>(a)</sup>	Cebada	25 <sup>(n)</sup>
Vertederos	6 <sup>(a)</sup>	Trigo	40 <sup>(b)</sup>
Obras de construcción	6 <sup>(a)</sup>	Girasol	30 <sup>(j)</sup>
Instalaciones deportivas y recreativas	10 <sup>(a)</sup>	Pasto arbustivo	65 <sup>(a)</sup>
Tierra de cultivo de no regadío	80 <sup>(a)</sup>	Almendros	75 <sup>(p)</sup>
Tierras regadas permanentemente	50 <sup>(a)</sup>	Yeros	30 <sup>(k)</sup>
Viñedos	80 <sup>(a)</sup>	Veza	20 <sup>(m)</sup>
Árboles frutales y plantaciones de bayas	150 <sup>(a)</sup>	Avena	27.5 <sup>(f)</sup>
Olivos	145 <sup>(a)</sup>	Pasto arbolado	80 <sup>(a)</sup>
Pastizales	60 <sup>(a)</sup>	Triticale	40 <sup>(q)</sup>
Cultivos anuales asociados con permanentes	70 <sup>(a)</sup>	Pistacho	90 <sup>(g)</sup>
Forma de cultivos complejos	70 <sup>(a)</sup>	Chopos / Superficies forestales maderables	50 <sup>(h)</sup>
Terreno principalmente ocupado por agricultura con vegetación natural significativa	75 <sup>(a)</sup>	Olivar	145 <sup>(a)</sup>
Áreas agro-forestal	55 <sup>(a)</sup>	Colza	9 <sup>(c)</sup>
Bosques de frondosas	100 <sup>(a)</sup>	Guisantes	30 <sup>(k)</sup>
Bosques de coníferas	125 <sup>(a)</sup>	Ajo	25 <sup>(i)</sup>
Bosques mixtos	100 <sup>(a)</sup>	Maíz	60 <sup>(d)</sup>
Praderas naturales	60 <sup>(a)</sup>	Alfalfa	55 <sup>(l)</sup>
Vegetación esclerófila	70 <sup>(a)</sup>	Algarrobo	60 <sup>(e)</sup>
Bosques de transición, arbustos	70 <sup>(a)</sup>	Centeno	20 <sup>(m)</sup>
Playas, dunas, arenas	0 <sup>(a)</sup>	Esparceta	20 <sup>(o)</sup>

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de:

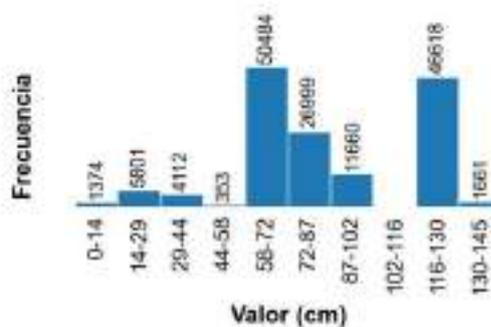
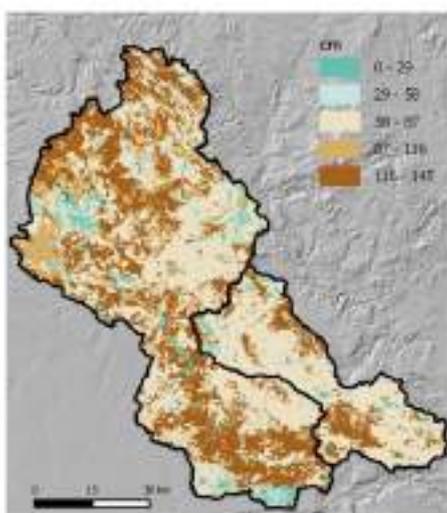
- (a) Ramírez (2012)
- (b) Wilson (1998)
- (c) Chamorro y Tamagno (2004)
- (d) (Pulido *et al.* (2011)
- (e) Chinguel (2013)
- (f) Rivas y Ocampo (2009)
- (g) CIREN (2020)
- (h) Fanlo (1961)
- (i) Reveles-Hernández *et al.* (2009)
- (j) Tenesaca (2015)
- (k) Jiménez (2015)
- (l) Pombosa (2016)
- (m) Oderiz *et al.* (2017)
- (n) *Agricultura. El cultivo de la cebada. 1ª parte.*
- (o) <https://universityagro.ru/es/horticultura/esparceta/>
- (p) <https://synergynuts.upct.es/almendro/raices-almendro/>
- (q) Domínguez *et al.* (2016)



a) Profundidad al estrato rocoso



b) Profundidad de raíces 2012



c) Profundidad de raíces 2018

Figura 44. Profundidad al estrato rocoso y de raíces para CLC 2012 y 2018.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de ISRIC y CLC.

## Almacenamiento capilar

Se empleó la EU-SoilHydroGrids ver1.0, para lo cual se realizó un pretratamiento de los datos disponibles, ya que, como se mencionó en la Sección 3.2.2, dicha base de datos cuenta con información de parámetros del suelo a 7 profundidades: 0, 5, 15, 30, 60, 100 y 200 cm, las cuales habrán de representarse como los estratos  $i = 0, 1, 2, 3, 4, 5$  y 6, respectivamente.

Ya que se cuenta con valores de AWC en cada capa, a fin de obtener un valor promedio para un horizonte de suelo comprendido entre 2 profundidades, se empleó la siguiente fórmula:

$$AWC_{mean_n} = (AWC_n + AWC_{n-1}) \times 0.5$$

Donde  $n$  toma valores de 1 a 6. La AWC promedio debe multiplicarse por la longitud del estrato de suelo que comprenden las profundidades empleadas para el cálculo de la AWC, la cual es igual a:

$$Long_{estrato_n} = (Prof_n - Prof_{n-1})$$

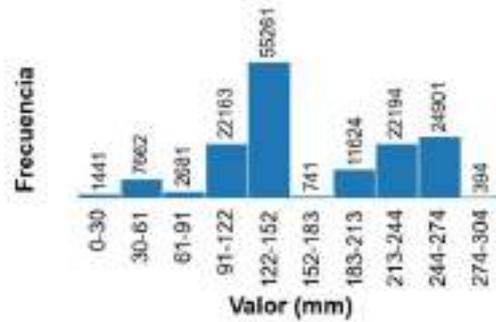
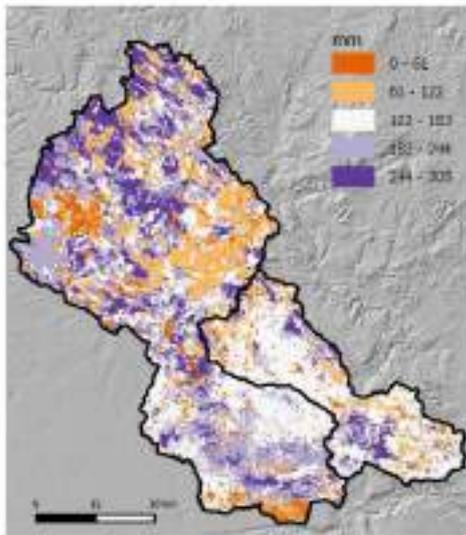
En ese sentido, se tendrá que el almacenamiento capilar es el siguiente:

$$Alm. capilar_n = Long_{estrato_n} \times AWC_{mean_n}$$

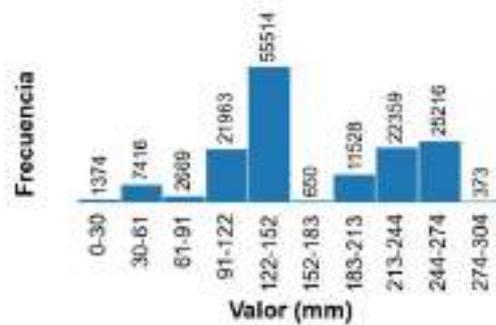
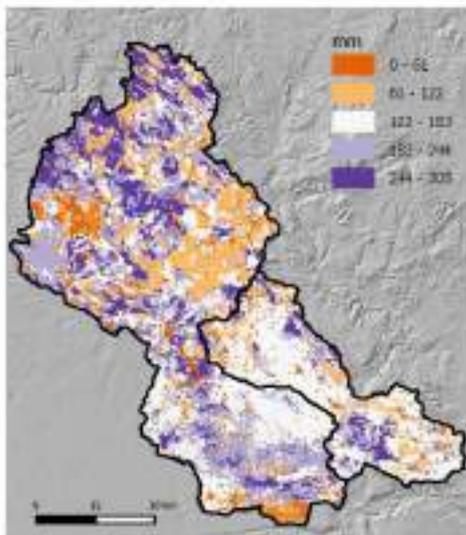
Finalmente, el almacenamiento capilar total es igual a:

$$Alm. capilar total = \sum_{n=1}^6 Alm. capilar_n$$

Como resultado de ello, en la Figura 45a y b se puede apreciar el almacenamiento capilar para CLC 2012 y 2018, respectivamente. Se observa que el 37.1% y 16.7% del área posee un almacenamiento capilar entre los 122 a 152 mm y 244 a 274 mm, respectivamente, para CLC 2012. Para CLC 2018, se repite el mismo patrón en un 37.2% y 16.9%.



a) Almacenamiento capilar 2012



b) Almacenamiento capilar 2018

Figura 45. Almacenamiento capilar para CLC 2012 y 2018.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de EU-SoilHydroGrids ver1.0.

## Almacenamiento en depresión

Respecto al almacenamiento en depresión, éste se encuentra en función de la pendiente del terreno y el tipo de superficie. En lo concerniente a la pendiente, habrá de emplearse el mapa de pendientes obtenido previamente, al cual habrá de aplicarse la siguiente ecuación:

$$Alm_{charcos} = 10 - 1.30 \times i$$

Donde  $Alm_{charcos}$  se encuentra en mm e  $i$  es el mapa de pendiente expresada en porcentaje, cuya restricción es:

$$i > 7\% \rightarrow Alm_{charcos} = 0 \text{ mm}$$

Adicionalmente, se consideraron las zonas aterrizadas como pendiente igual a 0%, es decir, con un almacenamiento por pendiente de 10 mm, para lo cual se empleó el SIGPAC. Se puede ver en la Figura 46a el mapa de almacenamiento por pendiente sin considerar las zonas aterrizadas, en el que el 48.9% del área posee un almacenamiento comprendido entre 0 y 1 mm, mientras que el 2.8% tiene un almacenamiento entre 9 y 10 mm. En la Figura 46b se muestran las zonas aterrizadas encontradas en el SIGPAC. Contemplando estas zonas, se tiene el nuevo mapa de almacenamiento por pendiente mostrado en la Figura 46c, en el que se tiene que el porcentaje del área que tiene un almacenamiento entre 9 y 10 mm se incrementa a 3.4%.

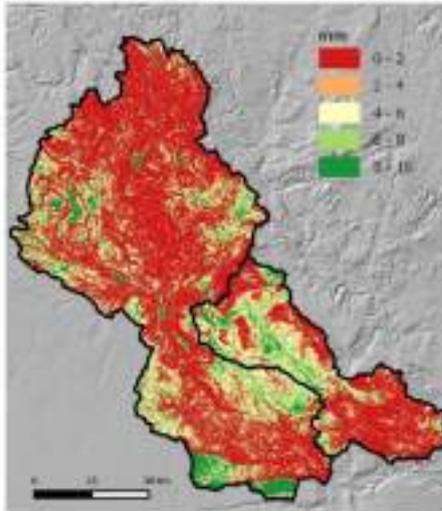
Posteriormente, en la Figura 47 se presentan los mapas de almacenamiento por cobertura vegetal. En la Tabla 13 se presentan los valores asignados de almacenamiento por cobertura vegetal, así como unos rangos representativos para el almacenamiento por pendiente, teniendo mediante la suma de ambos el almacenamiento superficial, el cual se representa en los mapas de la Figura 48. Finalmente, en la Figura 49 se presentan los mapas de almacenamiento estático que se emplearon en el presente estudio.

Tabla 13. Valores de almacenamiento por cobertura vegetal, pendiente y superficial (mm)

Cobertura	Pendiente	0	1	2	3	4	5	6	7	>7
	Almacenamiento por cobertura(mm)	Almacenamiento por pendiente (mm)								
		10	8.7	7.4	6.1	4.8	3.5	2.2	0.9	0
Tejido urbano continuo	0	10	8.7	7.4	6.1	4.8	3.5	2.2	0.9	0
Tejido urbano discontinuo	5	15	13.7	12.4	11.1	9.8	8.5	7.2	5.9	5
Unidades industriales o comerciales	0	10	8.7	7.4	6.1	4.8	3.5	2.2	0.9	0
Carretera, ferrocarriles	0	10	8.7	7.4	6.1	4.8	3.5	2.2	0.9	0
Aeropuertos	0	10	8.7	7.4	6.1	4.8	3.5	2.2	0.9	0
Zonas de extracción minera	0	10	8.7	7.4	6.1	4.8	3.5	2.2	0.9	0
Vertederos	0	10	8.7	7.4	6.1	4.8	3.5	2.2	0.9	0
Obras de construcción	0	10	8.7	7.4	6.1	4.8	3.5	2.2	0.9	0
Instalaciones deportivas y recreativas	5	15	13.7	12.4	11.1	9.8	8.5	7.2	5.9	5
Tierra de cultivo de no regadío	6	16	14.7	13.4	12.1	10.8	9.5	8.2	6.9	6
Tierras regadas permanentemente	6	16	14.7	13.4	12.1	10.8	9.5	8.2	6.9	6
Viñedos	6	16	14.7	13.4	12.1	10.8	9.5	8.2	6.9	6
Árboles frutales y plantaciones de bayas	6	16	14.7	13.4	12.1	10.8	9.5	8.2	6.9	6
Olivos	6	16	14.7	13.4	12.1	10.8	9.5	8.2	6.9	6
Pastizales	6	16	14.7	13.4	12.1	10.8	9.5	8.2	6.9	6
Cultivos anuales asociados con permanentes	6	16	14.7	13.4	12.1	10.8	9.5	8.2	6.9	6
Forma de cultivos complejos	6	16	14.7	13.4	12.1	10.8	9.5	8.2	6.9	6
Terreno principalmente ocupado por agricultura	6	16	14.7	13.4	12.1	10.8	9.5	8.2	6.9	6
Áreas agro-forestal	4	14	12.7	11.4	10.1	8.8	7.5	6.2	4.9	4
Bosques de frondosas	4	14	12.7	11.4	10.1	8.8	7.5	6.2	4.9	4
Bosques de coníferas	4	14	12.7	11.4	10.1	8.8	7.5	6.2	4.9	4
Bosques mixtos	4	14	12.7	11.4	10.1	8.8	7.5	6.2	4.9	4
Praderas naturales	6	16	14.7	13.4	12.1	10.8	9.5	8.2	6.9	6
Vegetación esclerófila	6	16	14.7	13.4	12.1	10.8	9.5	8.2	6.9	6
Bosques de transición, arbustos	5	15	13.7	12.4	11.1	9.8	8.5	7.2	5.9	5
Playas, dunas, arenas	0	10	8.7	7.4	6.1	4.8	3.5	2.2	0.9	0
Roca desnuda	0	10	8.7	7.4	6.1	4.8	3.5	2.2	0.9	0
Áreas con escasa vegetación	3	13	11.7	10.4	9.1	7.8	6.5	5.2	3.9	3
Zonas quemadas	0	10	8.7	7.4	6.1	4.8	3.5	2.2	0.9	0

Cobertura	Pendiente	0	1	2	3	4	5	6	7	>7
	Almacenamiento por cobertura(mm)	Almacenamiento por pendiente (mm)								
		10	8.7	7.4	6.1	4.8	3.5	2.2	0.9	0
Pantanos	0	10	8.7	7.4	6.1	4.8	3.5	2.2	0.9	0
Cuerpos de agua	0	10	8.7	7.4	6.1	4.8	3.5	2.2	0.9	0
Cebada*	1	11	9.7	8.4	7.1	5.8	4.5	3.2	1.9	1
Trigo blando*	1	11	9.7	8.4	7.1	5.8	4.5	3.2	1.9	1
Girasol*	1	11	9.7	8.4	7.1	5.8	4.5	3.2	1.9	1
Pasto arbustivo*	4	14	12.7	11.4	10.1	8.8	7.5	6.2	4.9	4
Viñedo vinificación*	1	11	9.7	8.4	7.1	5.8	4.5	3.2	1.9	1
Almendros*	1	11	9.7	8.4	7.1	5.8	4.5	3.2	1.9	1
Yeros*	1	11	9.7	8.4	7.1	5.8	4.5	3.2	1.9	1
Veza*	1	11	9.7	8.4	7.1	5.8	4.5	3.2	1.9	1
Avena*	1	11	9.7	8.4	7.1	5.8	4.5	3.2	1.9	1
Pasto arbolado*	6	16	14.7	13.4	12.1	10.8	9.5	8.2	6.9	6
Triticale*	1	11	9.7	8.4	7.1	5.8	4.5	3.2	1.9	1
Pistacho*	1	11	9.7	8.4	7.1	5.8	4.5	3.2	1.9	1
Chopos / superficies forestales*	1	11	9.7	8.4	7.1	5.8	4.5	3.2	1.9	1
Olivar*	1	11	9.7	8.4	7.1	5.8	4.5	3.2	1.9	1
Colza*	1	11	9.7	8.4	7.1	5.8	4.5	3.2	1.9	1
Guisantes*	1	11	9.7	8.4	7.1	5.8	4.5	3.2	1.9	1
Ajo*	1	11	9.7	8.4	7.1	5.8	4.5	3.2	1.9	1
Maíz*	1	11	9.7	8.4	7.1	5.8	4.5	3.2	1.9	1
Alfalfa*	1	11	9.7	8.4	7.1	5.8	4.5	3.2	1.9	1
Pastizal*	3	13	11.7	10.4	9.1	7.8	6.5	5.2	3.9	3
Algarrobo*	1	11	9.7	8.4	7.1	5.8	4.5	3.2	1.9	1
Centeno*	1	11	9.7	8.4	7.1	5.8	4.5	3.2	1.9	1
Esparceta*	1	11	9.7	8.4	7.1	5.8	4.5	3.2	1.9	1

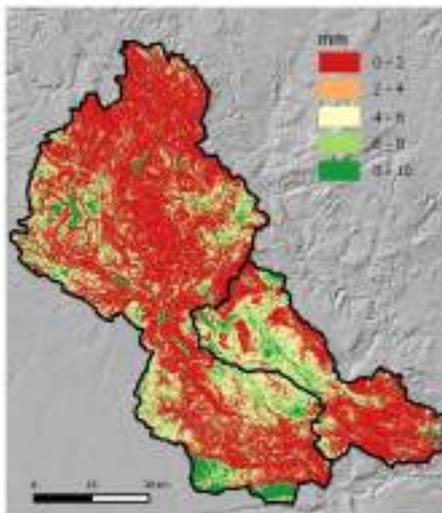
Nota: (\*) Valores asumidos. Cabe mencionar que, si bien los nombres de algunas categorías coinciden con las de CLC, son cultivos que comparten el área del píxel con otros cultivos, motivo por el cual no se consideró el mismo valor de almacenamiento por cobertura.



a) Almacenamiento por pendiente sin considerar zonas aterrazadas



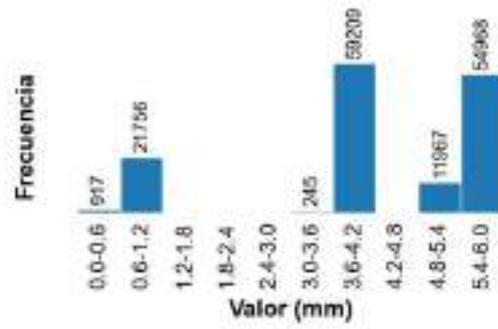
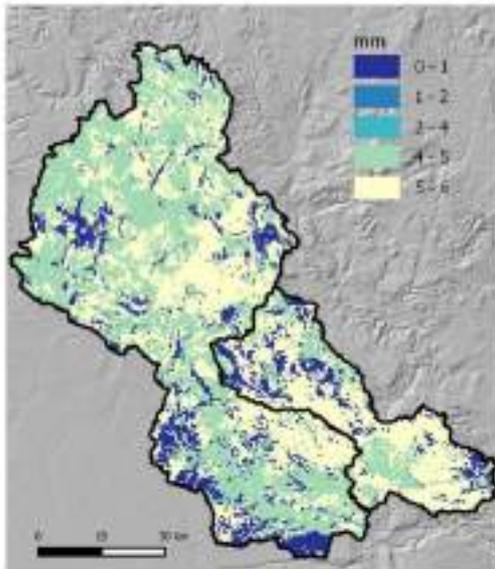
b) Zonas aterrazadas



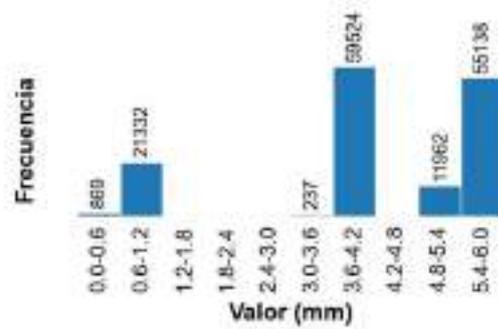
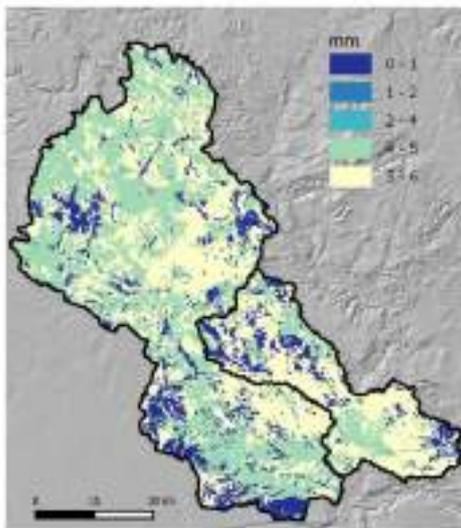
c) Almacenamiento por pendiente incluyendo zonas aterrazadas

Figura 46. Almacenamiento por pendiente.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del SIGPAC.



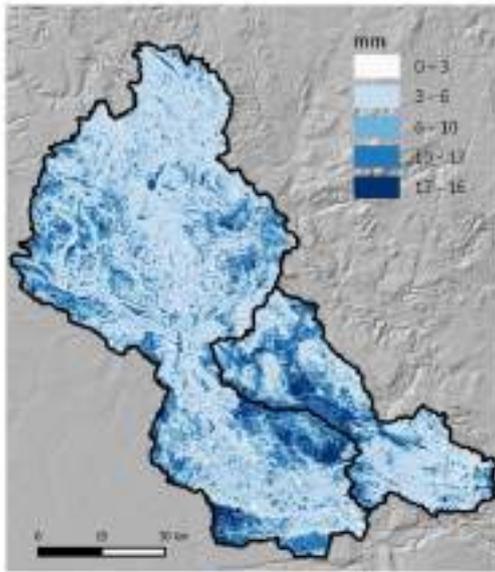
a) Almacenamiento por cobertura vegetal 2012



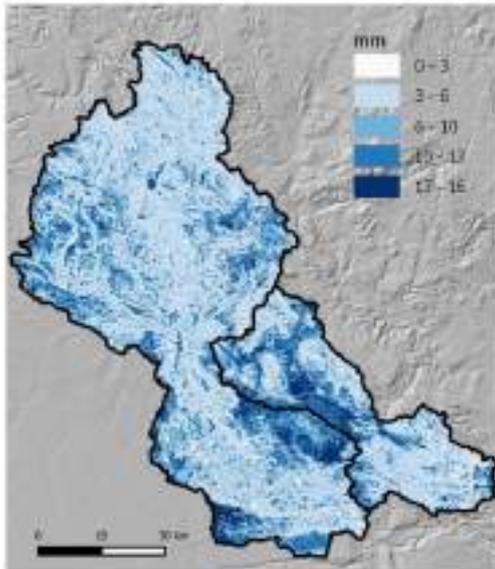
b) Almacenamiento por cobertura vegetal 2018

Figura 47. Almacenamiento por cobertura vegetal.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IIAMA.



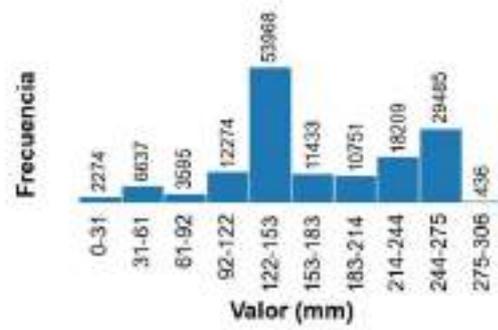
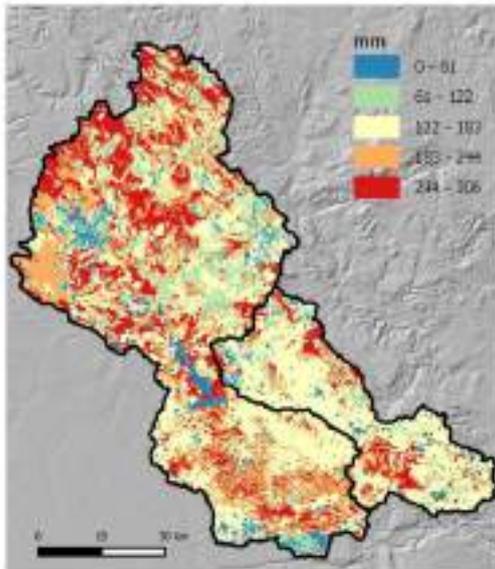
a) Almacenamiento superficial 2012



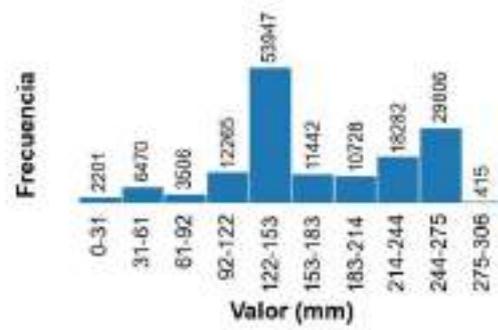
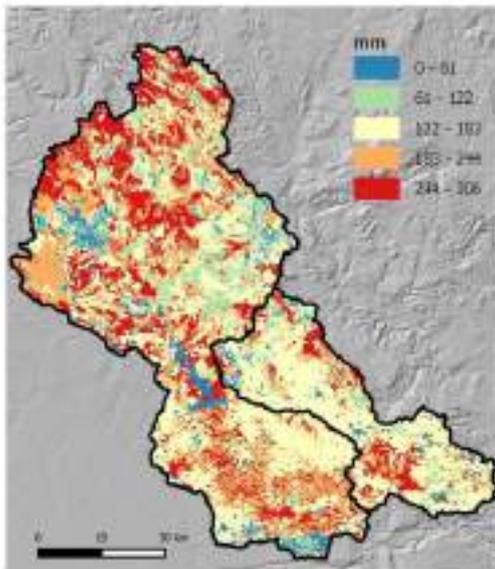
b) Almacenamiento superficial 2018

Figura 48. Almacenamiento superficial.

Fuente: Elaboración propia.



a) Almacenamiento estático 2012



b) Almacenamiento estático 2018

Figura 49. Almacenamiento estático.

Fuente: Elaboración propia.

## 4. Hidrometeorología

En la presente sección se describirá la meteorología procedente de los escenarios de Cambio Climático, así como la de ERA5 y otras fuentes consideradas.

### 4.1. Escenarios de Cambio Climático

El Climate Model Intercomparison Project (CMIP) fue establecido en 1995 por el World Climate Research Program (WCRP), con la finalidad de proporcionar una base de datos de simulaciones acopladas de modelos de circulación global. A su vez, el CMIP involucra varias instituciones, como centros meteorológicos nacionales o institutos de investigación, alrededor del mundo que utilizan sus modelos climáticos con un conjunto determinado de parámetros de entrada, de modo que se tenga como resultado un conjunto estandarizado de archivos de salida, teniendo así un conjunto de datos multimodelo que es compartido internacionalmente entre los centros de modelización (Overview of global climate projections - Copernicus Services - ECMWF Confluence Wiki, s/f).

En lo concerniente al CMIP6, es la sexta fase de la Coupled Model Intercomparison Project (CMIP6) que consiste en 134 modelos procedentes de 53 centros de modelización. La publicación de los datos de CMIP6 empezaron en 2019, completándose en su mayoría en 2022. Los análisis derivados se usaron por el Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) en su Sexto Reporte de Evaluación (AR6) (Eyring *et al.*, 2016).

Se usó el modelo Geophysical Fluid Dynamics Laboratory - Earth System Model versión 4.0 (GFDL-ESM4), desarrollado por la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), el cual está constituido por los siguientes componentes (John *et al.*, 2018):

- a) Atmosférico: modelo GFDL-AM4.1 con 100 km de resolución.
- b) Química atmosférica: GFDL-ATMCHEM4.1 con 100 km de resolución.
- c) Suelo: modelo GFDL-LM4.1 con 100 km de resolución.
- d) Hielo terrestre: modelo GFDL-LM4.1 con 100 km de resolución.
- e) Oceánico: modelo GFDL-OM4p5 con 50 km de resolución.
- f) Biogeoquímica oceánica: modelo GFDL-COBALTV2 con 50 km de resolución.
- g) Hielo marino: modelo GFDL-SIM4p5 con 50 km de resolución.

Los escenarios empleados fueron los siguientes (Siabi *et al.*, 2023):

- a) SSP1-2.6: en este escenario se contempla el Acuerdo de París que tiene como enfoque limitar el calentamiento global a 2.0°C al 2100. En razón de ello, se asume una evolución optimista de la sociedad futura hacia la sostenibilidad con una significativa expansión económica, inversión en la salud y la educación, así como una gobernanza sólida, con la finalidad de cooperar conjuntamente en la lucha contra el Cambio Climático, lo cual tendría como resultado un incremento de la temperatura global de 1.3°C a 2.4°C, en relación a 1950, con una población global de 7 billones de habitantes. Se asume que la temperatura global promedio se incrementará en 1.8°C para el 2100, es decir, como se mencionó inicialmente, el escenario en cuestión sigue el enfoque del Acuerdo de París.
- b) SSP3-7.0: en este escenario los países dejan de cooperar internacionalmente para alcanzar sus propias metas económicas, lo cual ocasionaría que se explote más los recursos fósiles, trayendo como consecuencia que se alcance altos niveles de gases de efecto invernadero. Simultáneamente, en este escenario, la población global se incrementaría hasta alrededor de 12.6 billones de personas para el 2100, mientras que la inversión en desarrollo tecnológico y educación se

reduciría. Considerando lo mencionado, todo ello resultaría en que la temperatura a nivel global se incrementaría en un rango del 2.8°C al 4.6°C en relación al año 1950, el forzamiento radiativo se eleva en casi 7.0 W/m<sup>2</sup> y se tendría un incremento catastrófico de los niveles del mar entre los 46 y 74 cm.

- c) SSP5-8.5: consiste en que la humanidad tiende a no tomar ninguna medida respecto al Cambio Climático, por lo que los problemas a raíz del mismo empeoran. En ese sentido, se prevé que, a nivel global, el crecimiento económico está sostenido por el gas natural, el petróleo y la quema de carbón. Asimismo, la población global alcanzaría un valor máximo de 8.5 billones de habitantes alrededor del 2050, pero con una severa caída de alrededor de 7 billones en el 2100. En lo concerniente a los recursos, estarían destinados para la adaptación al Cambio Climático, pero con muy pocas medidas para mitigar el nivel de las emisiones. Esto traería como consecuencia un calentamiento global entre 3.3°C y 5.7°C en el 2100, tomando como referencia el año 1950. Además de ello, los niveles del forzamiento radiativo se incrementarían en casi 8.5 W/m<sup>2</sup> y se produciría una inundación costera a gran escala, así como un clima extremadamente destructivo, lo cual dejaría inhabitable ciertas partes del mundo durante las temporadas más calurosas del año, en especial.

Se emplearon los escenarios SSP1-2.6, SSP3-7.0 y SSP5-8.5 del modelo GFDL-ESM4. Dicho datos fueron brindados por el IIAMA en colaboración con el ISIMIP (Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project) cuya misión es el desarrollo del conocimiento de los riesgos que implica el Cambio Climático, de modo que pueda evaluarse de manera conjunta el impacto que puede producirse en diferentes sectores y a distintas escalas, todo ello con la finalidad de mejorar la gestión del riesgo tanto a nivel global como regional (ISIMIP, s/f).

En relación a la corrección por sesgo, los datos brindados ya se encontraban corregidos. Para dicha corrección, se empleó la base de datos W5E5 que combina datos terrestres provenientes de WFDE5 (WATCH Forcing Data methodology applied to ERA5 data) con datos sobre el océano de ERA5. En relación a las variables usadas, se tiene que la precipitación diaria es la suma de la precipitación horaria de un determinado día, mientras que la temperatura

media es el promedio de las temperaturas horarias de un día. Asimismo, la temperatura máxima y mínima corresponden a los valores máximos y mínimos de la temperatura horaria para un determinado día (Lange, 2019).

## 4.2. Precipitación

Se comparó ERA5, ERA5-Land y AEMET, siendo las 2 primeras de la European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), la cual es un instituto de investigación de predicciones climáticas numéricas a nivel global. Por otra parte, también se utilizó el producto de precipitación provisto por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), la cual tiene entre sus funciones la elaboración, suministro y difusión de informaciones meteorológicas, así como el mantenimiento y actualización del registro histórico de datos meteorológicos y climatológicos de España. La descripción de estas 3 fuentes se presenta en el Anexo A.

### 4.2.1. Zonificación de la precipitación

El objetivo de este apartado es definir las regiones climáticas presentes en el área de estudio para lo cual se empleará la precipitación para identificarlas.

#### Método de las K-medias

El método de agrupación de las K-medias es un algoritmo no supervisado que tiene como finalidad la identificación de patrones en los datos (Steinley, 2006).

El método de las K-medias está diseñado para llevar a cabo una partición de datos de dos modos, es decir, N objetos que poseen medidas de P variables serán divididos en K clases ( $C_1, C_2, \dots, C_k$ ), siendo  $C_k$  el conjunto de  $n_k$  objetos en el conjunto k.

Por otra parte, si  $X_{N \times P} = \{x_{ij}\}_{N \times P}$  es la matriz de datos  $N \times P$ , el método de las K-medias realiza los agrupamientos respectivos considerando que el cuadrado de la distancia euclidiana entre el vector fila correspondiente a un objeto y el vector del centroide de su respectivo agrupamiento sea como mínimo tan pequeño como las distancias a los centroides de las agrupamientos restantes (Steinley, 2006).

El centroide del agrupamiento  $C_k$  es un punto en un sistema de  $P$  dimensiones basado en el promedio de los valores de cada variable de los objetos dentro del agrupamiento. Es decir, el valor del centroide para la variable  $j^{\text{th}}$  en el agrupamiento  $C_k$  es (Steinley, 2006):

$$\bar{x}_j^{(k)} = \frac{1}{n_k} \sum_{i \in C_k} x_{ij}$$

En ese sentido, la expresión completa del vector del centroide para el agrupamiento  $C_k$  está dada por:

$$\bar{x}^{(k)} = (\bar{x}_1^{(k)}, \bar{x}_2^{(k)}, \dots, \bar{x}_p^{(k)})'$$

Asimismo, el algoritmo de K-medias realiza el siguiente procedimiento iterativo (Steinley, 2006):

1. Los valores iniciales de  $K$  son definidos por los vectores de dimensión  $P$  ( $s_1^{(k)}, \dots, s_p^{(k)}$ ), para  $1 \leq k \leq K$ , y el cuadrado de la distancia euclidiana,  $d^2(i, k)$ , entre el objeto  $i^{\text{th}}$  y el vector inicial  $k^{\text{th}}$  es obtenido:

$$d^2(i, k) = \sum_{j=1}^P (x_{ij} - s_j^{(k)})^2$$

Los objetos se asignan al agrupamiento en el que la distancia es mínima.

2. Después de la asignación inicial, los centroides de los agrupamientos son obtenidos para cada agrupamiento, y luego los objetos son comparados con cada centroide y se mueven al agrupamiento cuyo centroide es más cercano.
3. Los nuevos centroides son calculados con el número actualizado de miembros de los agrupamiento.
4. Se repiten los pasos 2 y 3 hasta que ningún objeto sea movido del agrupamiento al que ha sido asignado.

## Método de la curva del codo

Dado que el método de las  $k$ -medias tiene como inconveniente que el número de agrupamientos se determina en base a la selección inicial de centroides, es preciso emplear el método de la curva del codo, el cual es un método visual que

mide la consistencia del mejor número de agrupamientos mediante la comparación de la diferencia de la suma del error cuadrático de cada agrupamiento, teniendo que la diferencia más extrema forma el ángulo del codo y que corresponde al número óptimo de agrupamientos. La expresión que corresponde a la suma del error cuadrático es la siguiente (Nainggolan *et al.*, 2019):

$$SSE = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n \|x_i - c_j\|^2$$

Donde k es el número de agrupamientos, los cuales pueden variar desde 1 hasta el número total de agrupamientos; n, el número de objetos;  $x_i$ , el objeto; y  $c_j$ , el centroide del agrupamiento j (Nainggolan *et al.*, 2019).

El proceso iterativo del método en cuestión es el siguiente (Nainggolan *et al.*, 2019):

1. Se toma el valor inicial de k.
2. Se incrementa el valor de k.
3. Calcular la suma del error cuadrático que resulta de cada valor de k.
4. Del cálculo anterior, identificar aquel que disminuye drásticamente.
5. Identificar y establecer el valor de k óptimo por el método del codo.

En la Figura 50 se presenta la aplicación del método de la curva del codo para AEMET a una resolución de ERA5 (0.25° x 0.25°) y ERA5-Land (0.10° x 0.10°). A partir de lo que se observa, la zona de estudio se divide en 4 zonas climáticas, sin embargo, en el área de las cuencas a evaluar existen principalmente 3, por lo que se ha procedido a denominarlas como parta alta, media y baja.

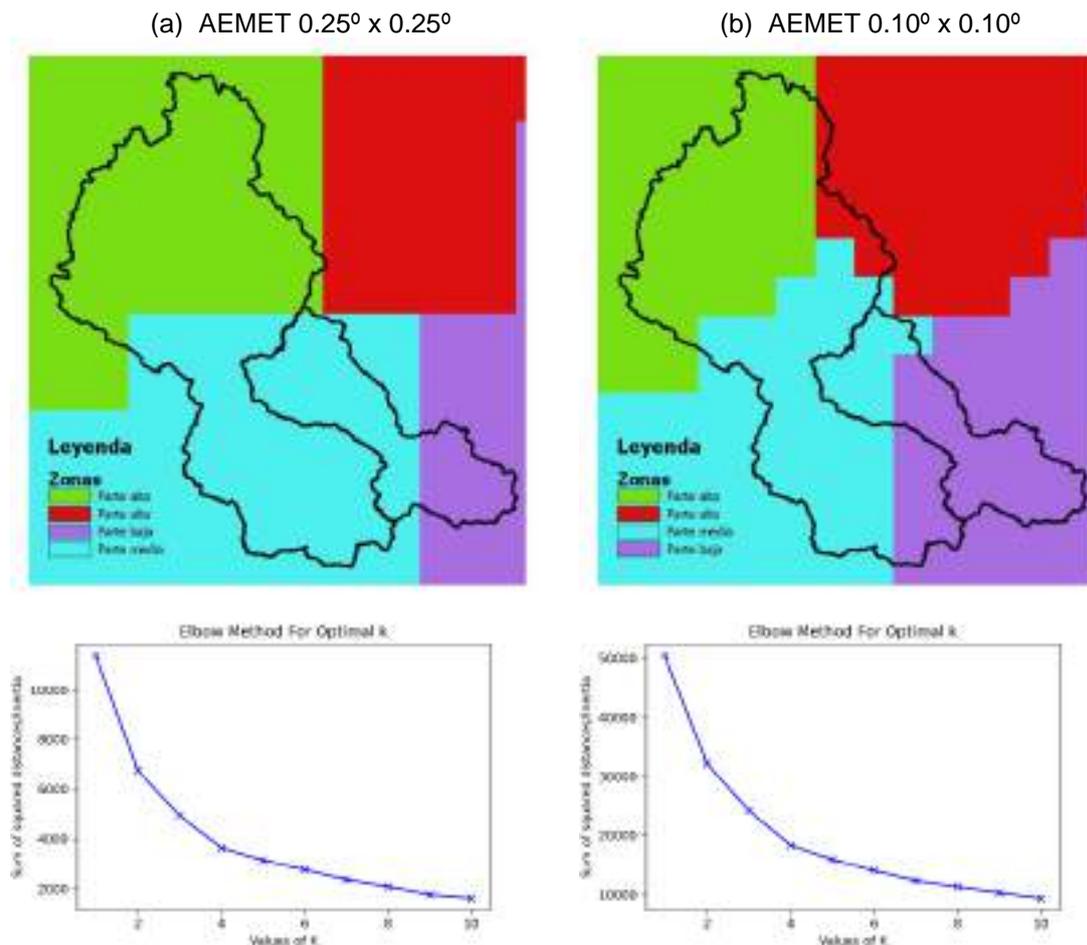


Figura 50. Método de la curva del codo aplicado en el área de estudio

#### 4.2.2. Evaluación de las bases de datos

Como puede observarse en la Figura 51, los datos diarios de precipitación presentan un coeficiente de correlación de Spearman, cuyo valor oscila alrededor de 0.60 y 0.75. Para el caso de los datos de ERA5 entre 0 y 24 h, en el noroeste se presentan los valores más altos que van de 0.72 a 0.75, mientras que en el extremo sureste se tienen los valores más bajos que se encuentran entre 0.62 y 0.64. En el caso de los datos de ERA5 entre las 7 y 7 h del día siguiente, en el extremo noroeste están los valores más elevados que van de 0.74 a 0.77, mientras que el sureste presenta los valores más bajos, los cuales están entre 0.62 y 0.65. En relación a ERA5-Land, la tendencia es similar, ya que en el extremo noroeste están los valores más altos en un rango de 0.71 a 0.74, mientras que en el lado sur y sureste están los valores más bajos que oscilan entre 0.59 y 0.62.

En lo concerniente al RBIAS, se observa que, para los datos de ERA5 entre 0 y 24 h, así como para los de entre 7 y 7 h del día siguiente, en los extremos norte y sur se tiene una subestimación de la precipitación, y sus valores están en el rango de 3.0% y 6.8%, mientras que la sobrestimación predomina en los lados este y oeste predominando aquellos valores que oscilan entre -4.7% y 0.0%. Respecto a los datos de ERA5-Land, el patrón que presenta es distinto al previamente descrito, dado que la subestimación se encuentra de noroeste a sureste y sus valores oscilan en el rango de 0.0% y 11.8%, mientras que el lado suroeste y sur predomina la sobrestimación de la precipitación con valores de RBIAS entre -17.6% y 0.0%.

En relación al RMSE, se observa que, para ERA5 de 0 a 24 h, el extremo suroeste y norte predominan los valores comprendidos entre 2.7 mm/día y 3.0 mm/día, siendo éstos los valores más bajos identificados en la zona de estudio, mientras que en el sureste se presentan los valores más altos, encontrándose entre 3.6 mm/día y 4.3 mm/día. Respecto a ERA5 de 7 a 7 h, se tiene que en el extremo suroeste predominan los valores más bajos del RMSE que se encuentran entre 2.5 mm/día y 2.8 mm/día, mientras que el norte tiene valores comprendidos entre 2.8 mm/día y 3.1 mm/día. Asimismo, en el extremo sureste están los valores más altos entre 3.7 mm/día y 4.0 mm/día. En lo concerniente a ERA5-Land, en la zona sur y suroeste se tienen valores más bajos y están entre 2.5 mm/día y 2.9 mm/día, mientras que, en la zona norte, los valores de RMSE alcanzan entre los 2.9 mm/día y 3.2 mm/día. Además, los valores más elevados están en el extremo sureste en un rango de 3.5 mm/día a 4.2 mm/día.

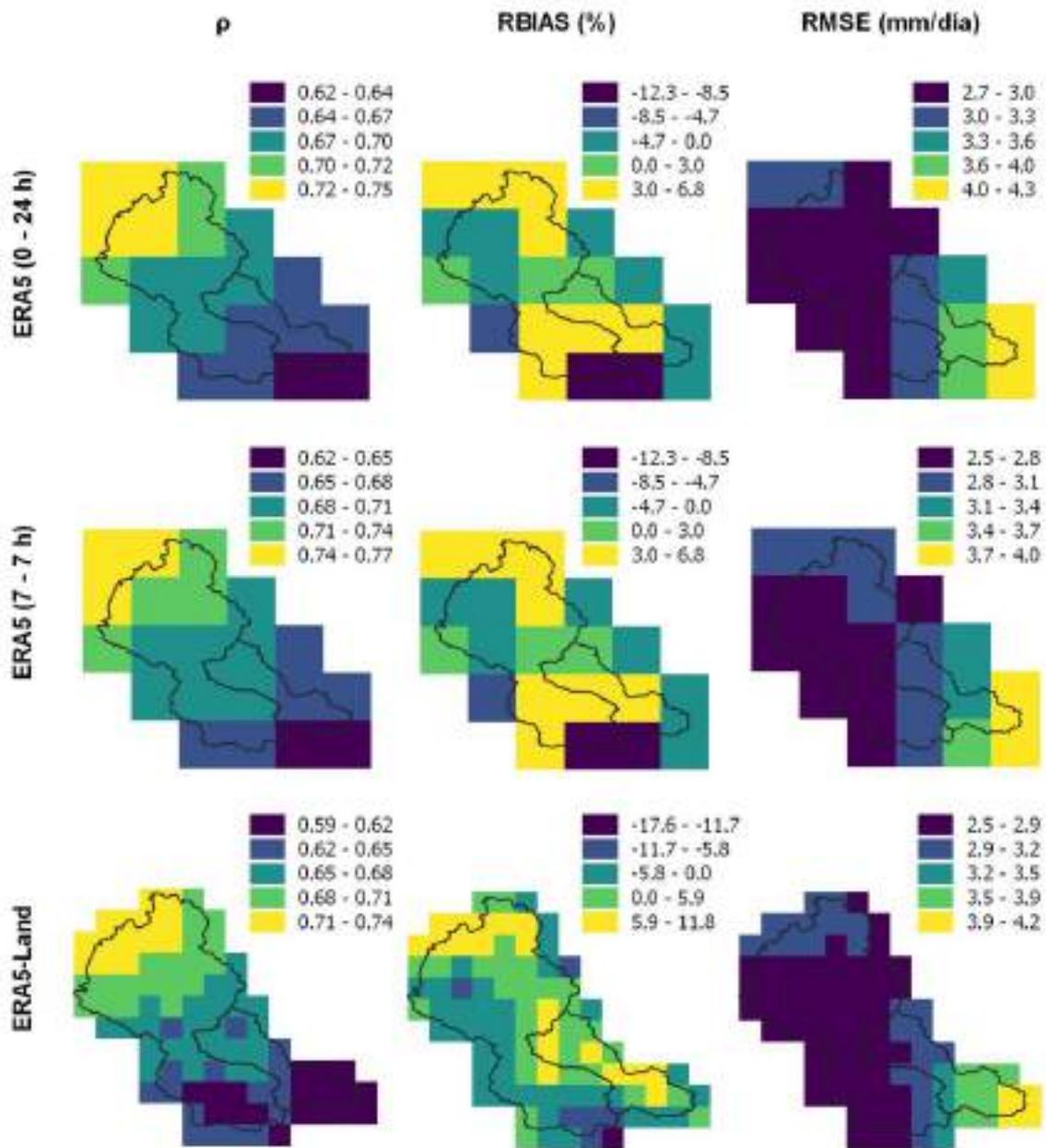


Figura 51. Spearman, RBIAS, RMSE para ERA5 (0 – 24 h), ERA5 (7 – 7 h) y ERA5-Land, para el área de estudio a escala diaria.

Fuente: Elaboración propia.

Para ERA5 de 0 a 24 h, como se puede observar en la Figura 52, en relación al coeficiente de correlación de Spearman, a lo largo del año, se tiene una marcada tendencia en la que de la parte alta a la baja de la zona de estudio se presentan los valores más altos a los más bajos del coeficiente en cuestión. Asimismo, de mayo a julio se tiene una tendencia descendente, alcanzando los valores más bajo en julio, los cuales se encuentran alrededor de 0.5, mientras que los valores más elevados oscilan entre 0.7 y 0.8.

Respecto al RBIAS, se puede apreciar que, de septiembre a mayo, los valores de RBIAS están en el rango de -20% a 20%, mientras que en los meses de junio a agosto se tiene una mayor variación de los valores del RBIAS, llegando hasta valores de -60% en la parte baja de la zona de estudio.

En lo concerniente al RMSE, se observa una tendencia creciente de enero a junio con valores que van de 2 mm/día a 4 mm/día. En julio se tiene un descenso en los valores de RMSE, alcanzando sus valores más bajos, sin embargo, a partir de dicho mes se tiene un crecimiento bastante marcado, teniendo los valores máximos en octubre, los cuales llegaron hasta los 7 mm/día en la parte baja de la zona de estudio.

Para ERA5 de 7 a 7 h, como se puede observar en la Figura 53, en relación al coeficiente de correlación de Spearman, de mayo a julio se tiene una tendencia descendente, alcanzando los valores más bajo en julio, los cuales se encuentran alrededor de 0.5, mientras que los valores más elevados oscilan entre 0.7 y 0.8, encontrándose entre enero y mayo.

Respecto al RBIAS, de septiembre a mayo, sus valores están en el rango de -20% a 20%, mientras que de junio a agosto se tiene una mayor variación de los mismos, llegando hasta -60% en la parte baja de la zona de estudio.

En lo concerniente al RMSE, se observa una tendencia creciente de enero a junio de 2 mm/día a 3 mm/día. En julio se tienen sus valores más bajos y a partir de dicho mes se tiene una tendencia creciente, con los valores máximos en octubre entre los 6 mm/día y 7 mm/día en la parte baja de la zona de estudio.

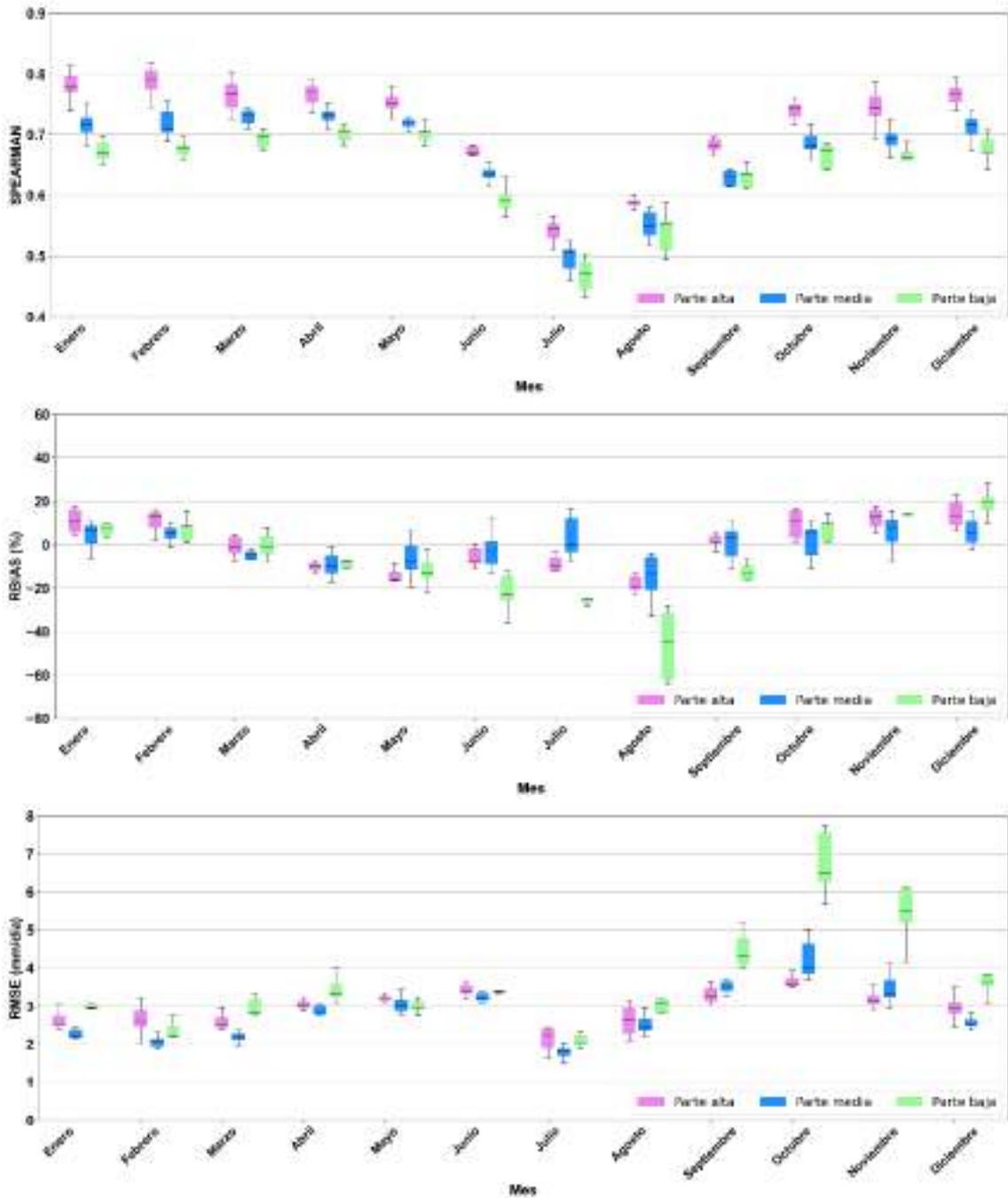


Figura 52. Dinámica temporal de la correlación de Spearman, RBIAS y RMSE de datos diarios de precipitación de ERA5 acumulados entre las 0 a las 24 h (los valores atípicos no se muestran),  
Fuente: Elaboración propia.

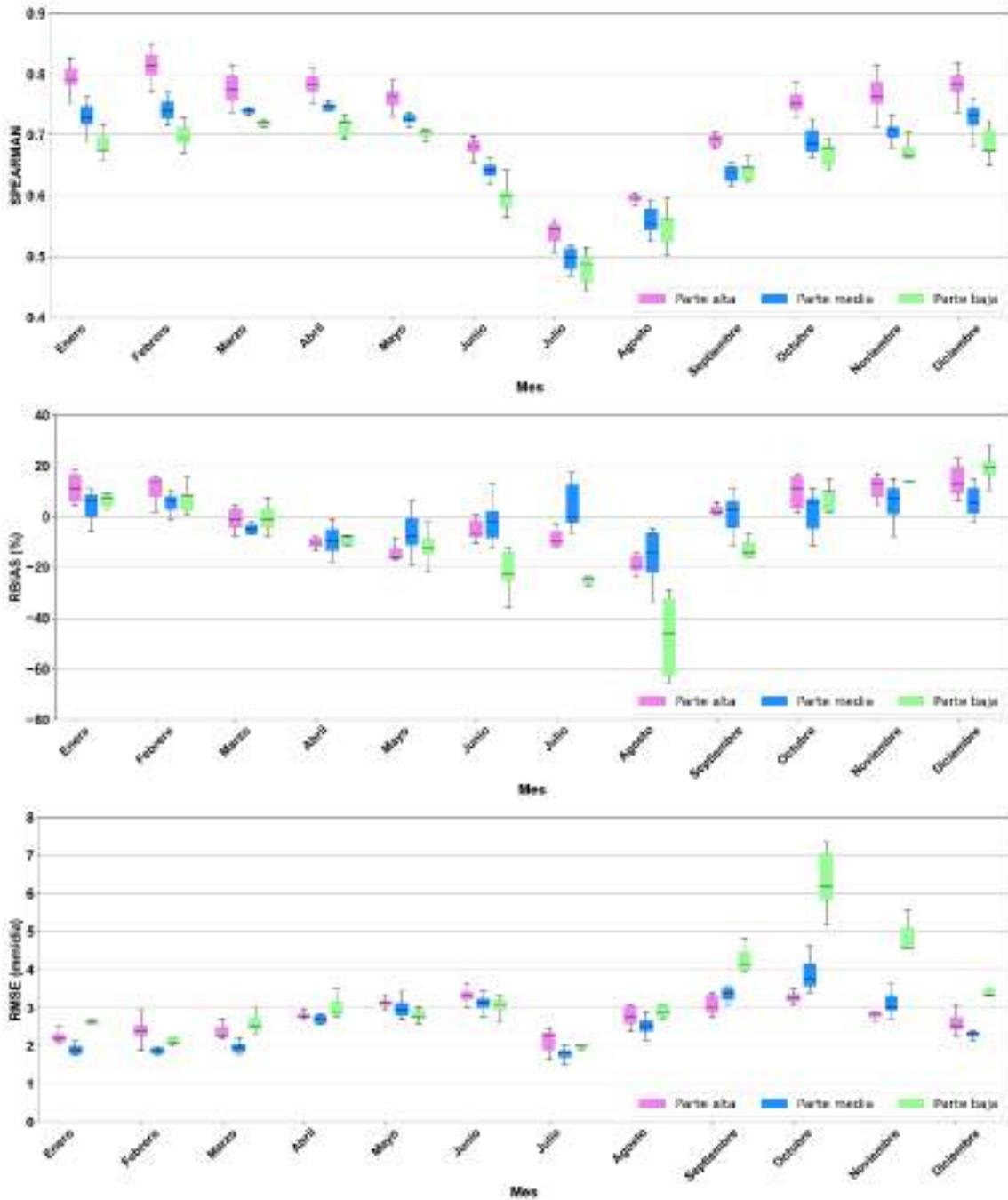


Figura 53. Dinámica temporal de la correlación de Spearman, RBIAS y RMSE de datos diarios de precipitación de ERA5 acumulados entre las 7 a las 7 h del día posterior (los valores atípicos no se muestran).

Fuente: Elaboración propia.

Para ERA5-Land, como se muestra en la Figura 54, en relación al coeficiente de correlación de Spearman, de mayo a julio se tiene una tendencia descendente, alcanzando los valores más bajo en julio, que se encuentran alrededor de 0.4 y 0.5, mientras que los más altos oscilan entre 0.7 y 0.8, encontrándose entre enero y abril. Respecto al RBIAS, de octubre a mayo, sus valores están en el

rango de -20% a 20%, mientras que de junio a agosto se tiene una mayor variación de los mismos, llegando hasta -60% en la parte baja de la zona de estudio. En lo concerniente al RMSE, se observa una tendencia creciente de enero a junio de 2 mm/día a 3 mm/día. En julio se tiene un marcado descenso y a partir de dicho mes se tiene una tendencia creciente, teniendo los valores máximos en octubre, llegando entre 5 mm/día y 7 mm/día en la parte baja.

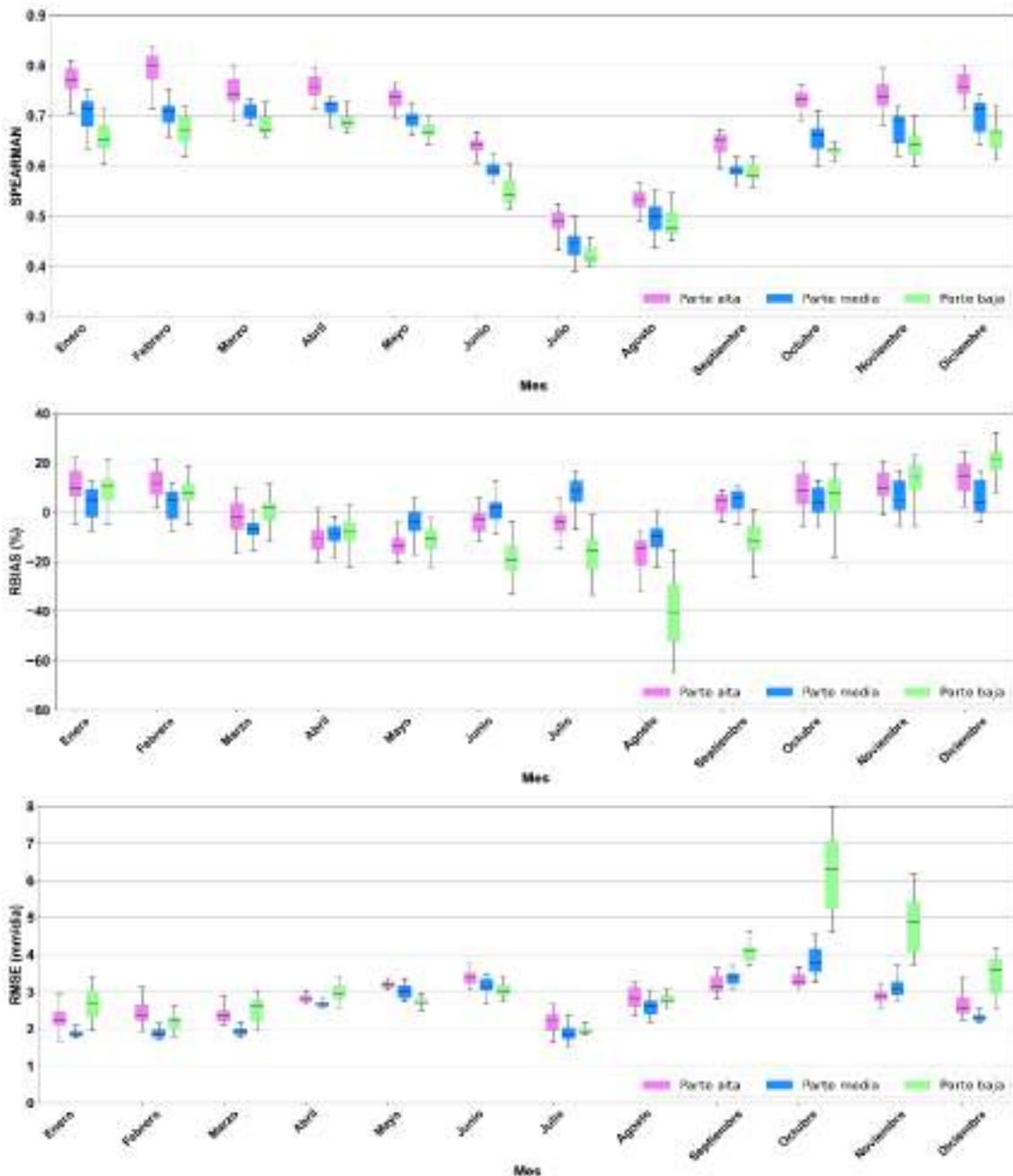


Figura 54. Dinámica temporal de la correlación de Spearman, RIAS y RMSE de datos diarios de precipitación de ERA5-Land acumulados entre las 7 a las 7 h del día posterior (los valores atípicos no se muestran).

Fuente: Elaboración propia.

### **4.2.3. Histórica**

En el Anexo B, se presentan los estadísticos de la precipitación diaria, mensual y anual de ERA5 en la parte baja, media y alta. A continuación, se presenta un resumen de lo obtenido.

En relación a la precipitación, a nivel diario, se puede observar que la media oscila de 0.55 a 2.27 mm/día, 0.46 a 1.82 mm/día y 0.77 a 2.31 mm/día en la parte baja, media y alta, respectivamente.

A nivel mensual, la media va de 17.19 a 70.32 mm, 14.2 a 54.57 mm y 23.8 a 71.46 mm en la parte baja, media y alta, respectivamente.

A escala anual, en la parte baja, media y alta se tiene una media de 540.87 mm, 478.79 mm y 616.08 mm, respectivamente.

### **4.2.4. Futura**

En el Anexo C, se presentan los estadísticos de la precipitación diaria, mensual y anual de GFDL-ESM4 en la parte baja, media y alta. A continuación, se presenta un resumen de lo obtenido.

En el escenario SSP1-2.6, en el periodo 2015-2040, en relación a la precipitación, a nivel diario, se puede observar que la media oscila de 0.46 a 2.13 mm/día, 0.52 a 2.04 mm/día y 0.63 a 2.48 mm/día en la parte baja, media y alta, respectivamente. En el periodo 2041-2070, a nivel diario, se tiene que la media va de 0.40 a 2.38 mm/día, 0.46 a 1.92 mm/día y 0.57 a 2.22 mm/día en la parte baja, media y alta, correspondientemente. Durante 2071-2100, a nivel diario, se aprecia que la media va de 0.41 a 1.98 mm/día, 0.45 a 1.5 mm/día y 0.53 a 1.89 mm/día en la parte baja, media y alta, respectivamente.

A nivel mensual, durante 2015-2040, su media va de 14.11 a 65.98 mm, 16.27 a 61.21 mm y 19.42 a 74.28 mm en la parte baja, media y alta, respectivamente. En el periodo 2041-2070, su media está en el rango de 12.41 a 71.54 mm, 14.36 a 57.47 mm y 17.74 a 66.73 mm en la parte baja, media y alta, correspondientemente. Durante 2071-2100, su media oscila de 12.72 a 59.49 mm, 14.01 a 46.63 mm y 16.33 a 58.48 mm en la parte baja, media y alta, respectivamente.

A escala anual, en el periodo 2015-2040, en la parte baja, media y alta se tiene una media de 484.23 mm, 442.03 mm y 550.94 mm, respectivamente. Durante el 2041-2070, en la parte baja, media y alta se tiene una media de 526.61 mm, 450.92 mm y 541.99 mm, correspondientemente. Del año 2071 al 2100 se tiene medias de 470.4 mm, 410.51 mm y 504.04 mm para la parte baja, media y alta.

En el escenario SSP3-7.0, en el periodo 2015-2040, en relación a la precipitación, a nivel diario, se puede observar que la media oscila de 0.55 a 2.07 mm/día, 0.57 a 1.64 mm/día y 0.65 a 1.73 mm/día en la parte baja, media y alta, respectivamente. En el periodo 2041-2070, a nivel diario, se tiene que la media va de 0.40 a 2.58 mm/día, 0.45 a 1.96 mm/día y 0.54 a 1.92 mm/día en la parte baja, media y alta, correspondientemente. Durante 2071-2100, a nivel diario, se aprecia que la media va de 0.32 a 2.09 mm/día, 0.36 a 1.69 mm/día y 0.38 a 2.01 mm/día en la parte baja, media y alta, respectivamente.

A nivel mensual, durante 2015-2040, su media va de 17.15 a 64.31 mm, 17.54 a 50.89 mm y 20.15 a 53.68 mm en la parte baja, media y alta, respectivamente. En el periodo 2041-2070, su media está en el rango de 12.42 a 80.06 mm, 13.8 a 60.71 mm y 16.7 a 59.6 mm en la parte baja, media y alta, correspondientemente. Durante 2071-2100, su media oscila de 10.05 a 62.81 mm, 11.29 a 50.81 mm y 11.92 a 60.26 mm en la parte baja, media y alta, respectivamente.

A escala anual, en el periodo 2015-2040, en la parte baja, media y alta se tiene una media de 470.34 mm, 423.04 mm y 509.88 mm, respectivamente. Durante el 2041-2070, en la parte baja, media y alta se tiene una media de 464.22 mm, 416.3 mm y 514.72 mm, correspondientemente. Del año 2071 al 2100 se tiene medias de 490.27 mm, 415.06 mm y 498.32 mm para la parte baja, media y alta.

En el escenario SSP5-8.5, en el periodo 2015-2040, en relación a la precipitación, a nivel diario, se puede observar que la media oscila de 0.57 a 2.65 mm/día, 0.62 a 1.79 mm/día y 0.70 a 2.14 mm/día en la parte baja, media y alta, respectivamente. En el periodo 2041-2070, a nivel diario, se tiene que la media va de 0.41 a 2.21 mm/día, 0.49 a 1.60 mm/día y 0.59 a 1.87 mm/día en la parte baja, media y alta, correspondientemente. Durante 2071-2100, a nivel

diario, se aprecia que la media va de 0.26 a 1.8 mm/día, 0.31 a 1.36 mm/día y 0.35 a 1.69 mm/día en la parte baja, media y alta, respectivamente.

A nivel mensual, durante 2015-2040, su media va de 17.82 a 79.54 mm, 19.18 a 53.61 mm y 21.6 a 64.27 mm en la parte baja, media y alta, respectivamente. En el periodo 2041-2070, su media está en el rango de 12.82 a 68.55 mm, 15.18 a 49.73 mm y 18.24 a 56.19 mm en la parte baja, media y alta, correspondientemente. Durante 2071-2100, su media oscila de 8.07 a 55.2 mm, 9.61 a 42.09 mm y 10.96 a 52.42 mm en la parte baja, media y alta, respectivamente.

A escala anual, en el periodo 2015-2040, en la parte baja, media y alta se tiene una media de 497.14 mm, 438.96 mm y 544.13 mm, respectivamente. Durante el 2041-2070, en la parte baja, media y alta se tiene una media de 468.74 mm, 415.46 mm y 504.66 mm, correspondientemente. Del año 2071 al 2100, se tiene una media de 413.43 mm, 351.35 mm y 445.62 mm para la parte baja, media y alta, respectivamente.

### **4.3. Temperatura**

Como puede observarse en la Figura 55, los datos diarios de temperatura máxima y mínima presentan un coeficiente de correlación de Spearman, cuyo valor se encuentra alrededor de 0.98 en toda la extensión del área de estudio. En lo concerniente al RBIAS, se observa que, para la temperatura máxima, en el extremo sureste, se tiene tendencia a la sobrestimación de ésta, mientras que en el resto de la zona de estudio se tiende a subestimarla. Respecto a la temperatura mínima, ésta tiende a ser sobreestimada en toda la extensión del área de estudio, presentando sus mayores valores en el lado oeste, los cuales se encuentran alrededor del 20% al 24%.

En relación al RMSE, para temperatura máxima, sus menores valores se encuentran en el lado sur y oscilan entre 1.4 °C y 1.5 °C, mientras que los valores mayores están en el lado norte y presentan valores alrededor de 2.1 °C a 2.2°C. Por otra parte, para temperatura mínima, sus valores más bajos están en el lado sureste en el rango de 1.2 °C a 1.3 °C, mientras que los valores más altos se encuentran en el suroeste entre 1.8 °C y 2.0 °C.

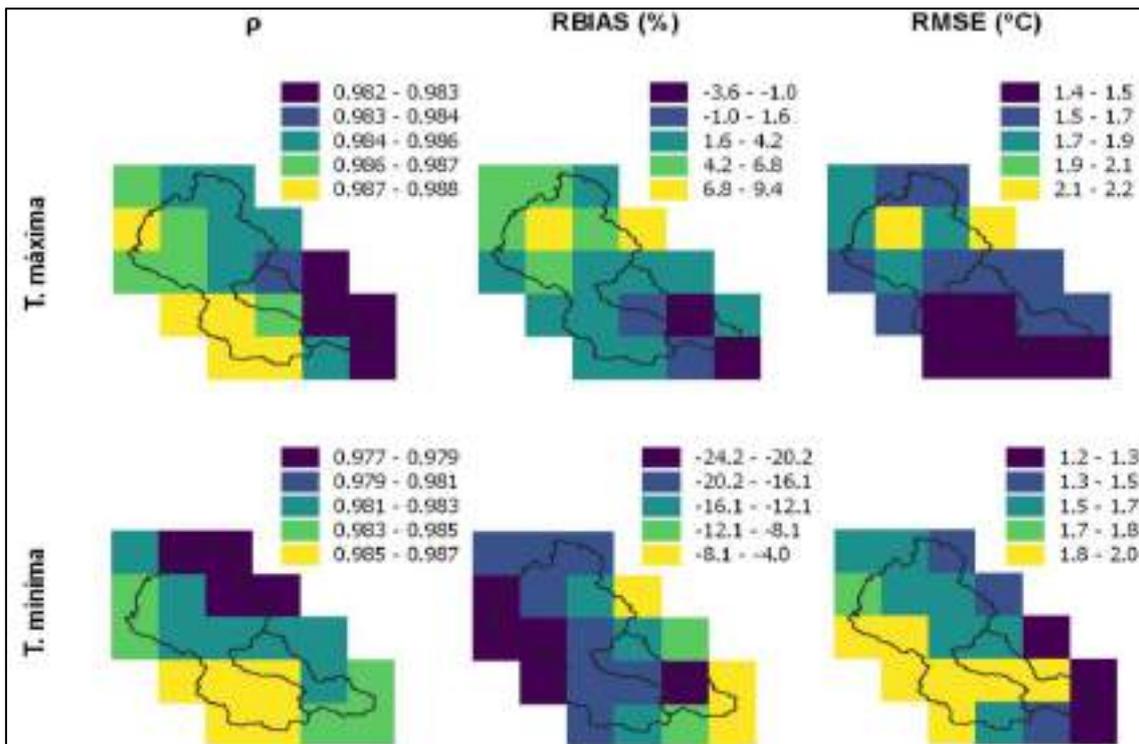


Figura 55. Spearman, RBIAS, RMSE para datos diarios de temperatura máxima y mínima de ERA5 en el área de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

Para temperatura máxima, como se puede observar en la Figura 56, en relación al coeficiente de correlación de Spearman, los valores más bajos se presentan al principio y fin de año (enero y diciembre), así como en los meses de julio y agosto. Respecto al RBIAS, se puede apreciar que los valores tienden a la subestimación ( $RBIAS > 0\%$ ), siendo esta mayor en los meses de enero y diciembre. En lo concerniente al RMSE, se observa una tendencia creciente entre junio y agosto, alcanzando su valor máximo en julio.

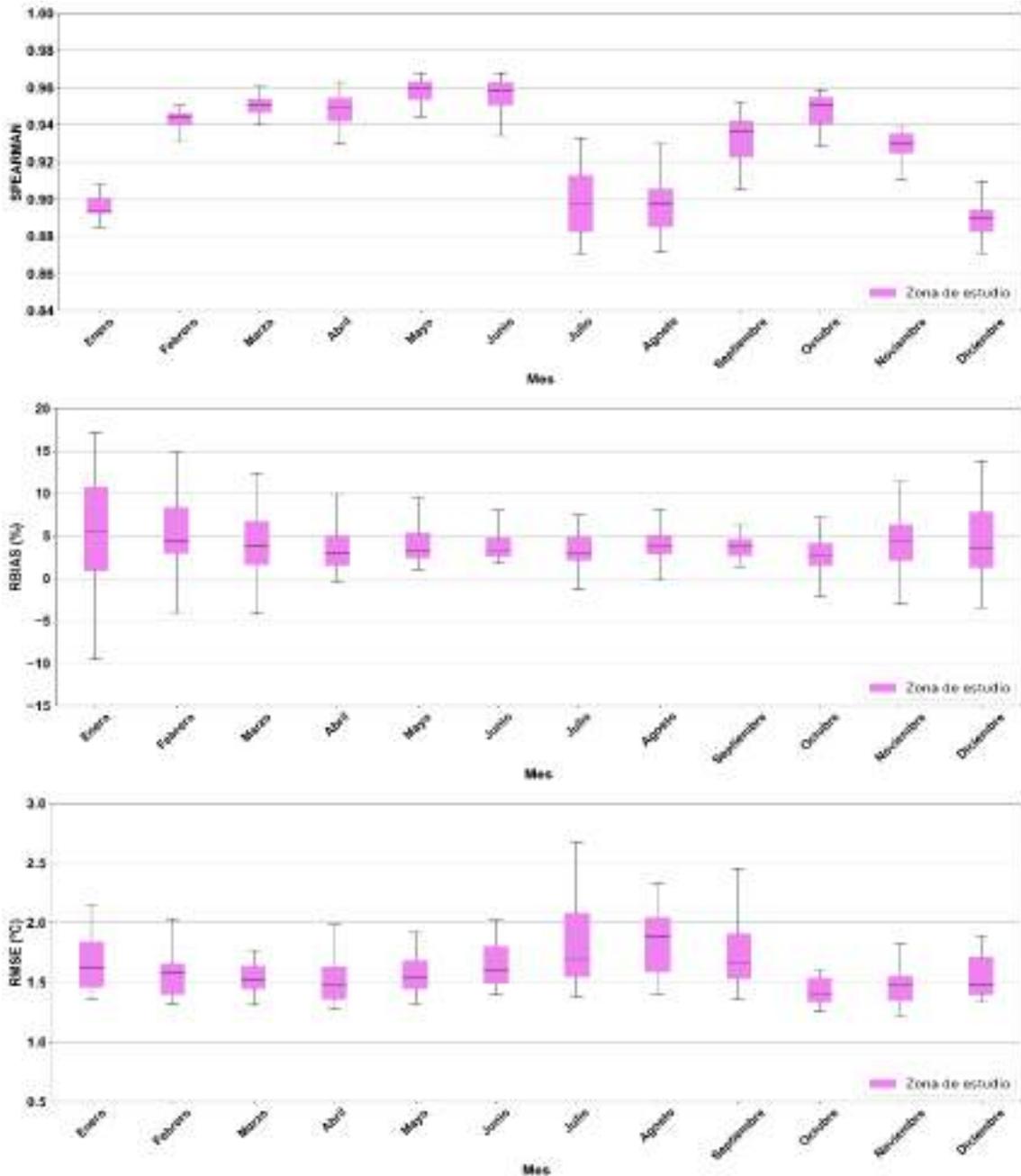


Figura 56. Dinámica temporal de la correlación de Spearman, RIAS y RMSE de datos diarios de temperatura máxima de ERA5 (los valores atípicos no se muestran).

Fuente: Elaboración propia.

Para temperatura mínima, como se puede observar en la Figura 57, en relación al coeficiente de correlación de Spearman, los valores más bajos se presentan en julio y agosto. Respecto al RIAS, se puede apreciar que, a lo largo del año, los valores tienden a la sobrestimación ( $RIAS < 0\%$ ), sin embargo, en enero, febrero y diciembre se observan los valores máximos se encuentran tanto en sobrestimación como subestimación. En lo concerniente al RMSE, los máximos valores se presentan en junio y julio.

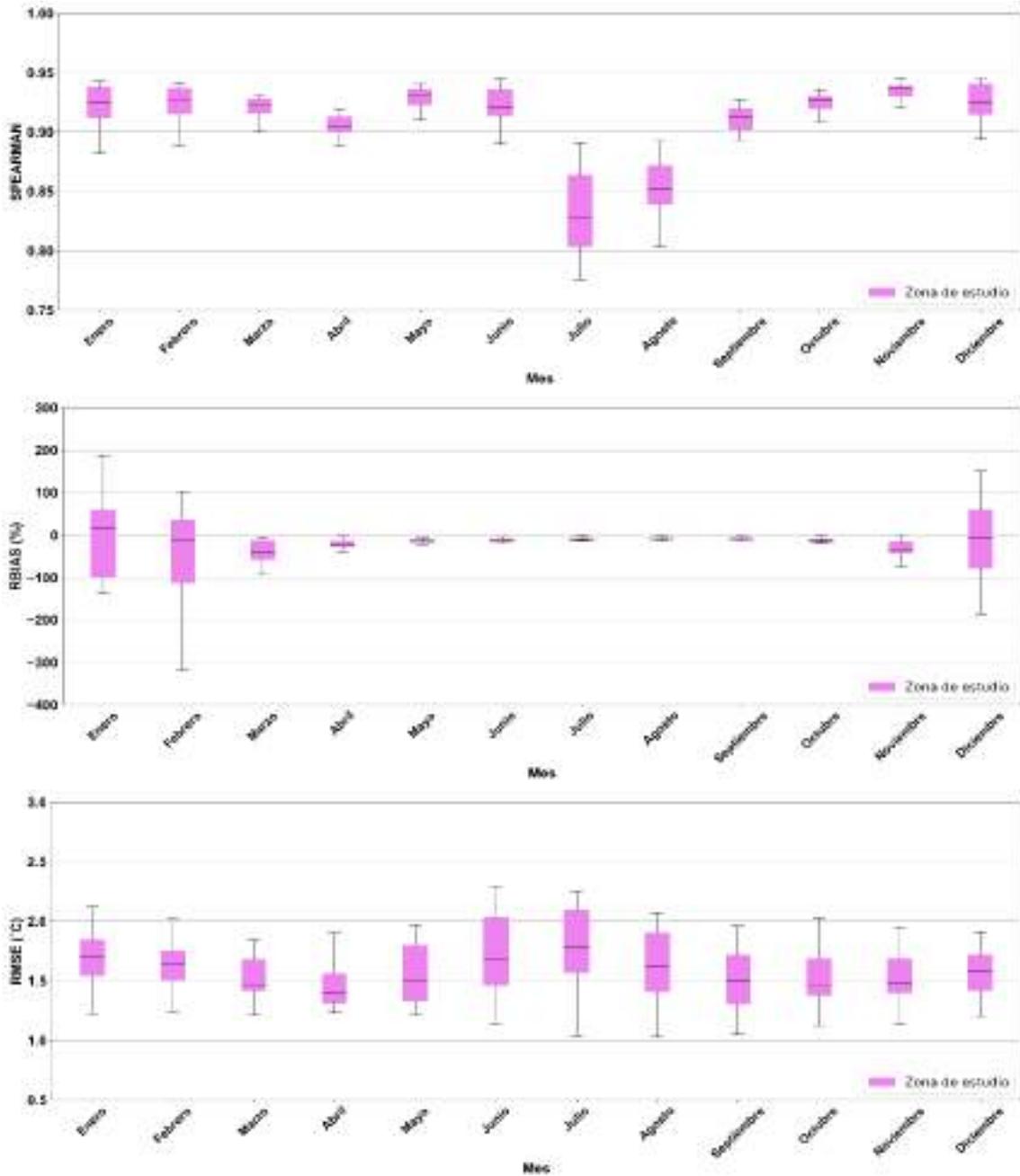


Figura 57. Dinámica temporal de la correlación de Spearman, RIAS y RMSE de datos diarios de temperatura mínima de ERA5 (los valores atípicos no se muestran).

Fuente: Elaboración propia.

### 4.3.1. Histórica y futura

En el Anexo D, se presentan los estadísticos de la temperatura media mensual y anual de ERA5, mientras que en el Anexo E se muestran los estadísticos de temperatura media mensual y anual de GFDL-ESM4 en la parte baja, media y alta. A continuación, se presenta un resumen de lo obtenido.

En el periodo 1951-2022, a nivel mensual, su media va de 8.11°C a 24.34°C, 5.53°C a 23.83°C y 2.87°C a 21.37°C en la parte baja, media y alta, respectivamente. A escala anual, en la parte baja, media y alta se tiene una media de 15.71°C, 13.85°C y 11.1°C, respectivamente.

En el escenario SSP1-2.6, a nivel mensual, durante 2015-2040, su media va de 9.47°C a 26.28°C, 6.48°C a 25.37°C y 3.87°C a 23.32°C en la parte baja, media y alta, respectivamente. En el periodo 2041-2070, su media está en el rango de 9.43°C a 26.48°C, 6.45°C a 25.74°C y 3.84°C a 23.8°C en la parte baja, media y alta, respectivamente. Durante 2071-2100, su media oscila de 9.55°C a 26.22°C, 6.59°C a 25.57°C y 3.98°C a 23.62°C en la parte baja, media y alta, respectivamente.

A escala anual, en el periodo 2015-2040, en la parte baja, media y alta se tiene una media de 17.14°C, 15.18°C y 12.66°C, respectivamente. Durante el 2041-2070, en la parte baja, media y alta se tiene una media de 17.28°C, 15.42°C y 12.97°C, correspondientemente. Del año 2071 al 2100, se tiene una media de 17.25°C, 15.38°C y 12.91°C para la parte baja, media y alta.

En el escenario SSP3-7.0, a nivel mensual, durante 2015-2040, su media va de 9.87°C a 25.94°C, 6.86°C a 25.17°C y 4.22°C a 23.14°C en la parte baja, media y alta, respectivamente. En el periodo 2041-2070, su media está en el rango de 10.17°C a 27.21°C, 7.18°C a 26.62°C y 4.57°C a 24.74°C en la parte baja, media y alta, respectivamente. Durante 2071-2100, su media oscila de 11.21°C a 28.96°C, 8.28°C a 28.66°C y 5.68°C a 26.94°C en la parte baja, media y alta, respectivamente.

A escala anual, en el periodo 2015-2040, en la parte baja, media y alta se tiene una media de 17.15°C, 15.23°C y 12.77°C, respectivamente. Durante el 2041-2070, en la parte baja, media y alta se tiene una media de 17.95°C, 16.1°C y

13.67°C, correspondientemente. Del año 2071 al 2100, se tiene una media de 19.28°C, 17.55°C y 15.2°C para la parte baja, media y alta.

En el escenario SSP5-8.5, a nivel mensual, durante 2015-2040, su media va de 9.53°C a 25.79°C, 6.53°C a 25.05°C y 3.89°C a 23°C en la parte baja, media y alta, respectivamente. En el periodo 2041-2070, su media está en el rango de 10.29°C a 27.4°C, 7.3°C a 26.87°C y 4.69°C a 24.94°C en la parte baja, media y alta, respectivamente. Durante 2071-2100, su media oscila de 11.38°C a 29.48°C, 8.42°C a 29.28°C y 5.79°C a 27.54°C en la parte baja, media y alta, respectivamente.

A escala anual, en el periodo 2015-2040, en la parte baja, media y alta se tiene una media de 17.07°C, 15.12°C y 12.61°C, respectivamente. Durante el 2041-2070, en la parte baja, media y alta se tiene una media de 18.12°C, 16.33°C y 13.89°C, correspondientemente. Del año 2071 al 2100, se tiene una media de 19.73°C, 18.09°C y 15.74°C para la parte baja, media y alta.

## 4.4. Evapotranspiración de referencia

### 4.4.1. Calibración de la ecuación de Hargreaves

Dentro de las cuencas de interés se encuentran 4 estaciones meteorológicas empleadas por el Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA), de las cuales solo 2 se encuentran actualmente en funcionamiento. Dichas estaciones se muestran en la Tabla 14 y en la Figura 58.

Tabla 14. Ubicación de las estaciones meteorológicas para el cálculo de la evapotranspiración

Estación	Coordenadas UTM (Zona 30N, Datum ETRS89)		Altitud (m.s.n.m.)	Estado
	Este (m)	Norte (m)		
Campo Arcís	657938	4366610	589	En funcionamiento
Campo Arcís	658167	4366480	787	Baja
Requena Cerrito	651972	4374274	746	En funcionamiento
Requena Roma	660164	4372436	692	Baja

Fuente: Elaboración propia.

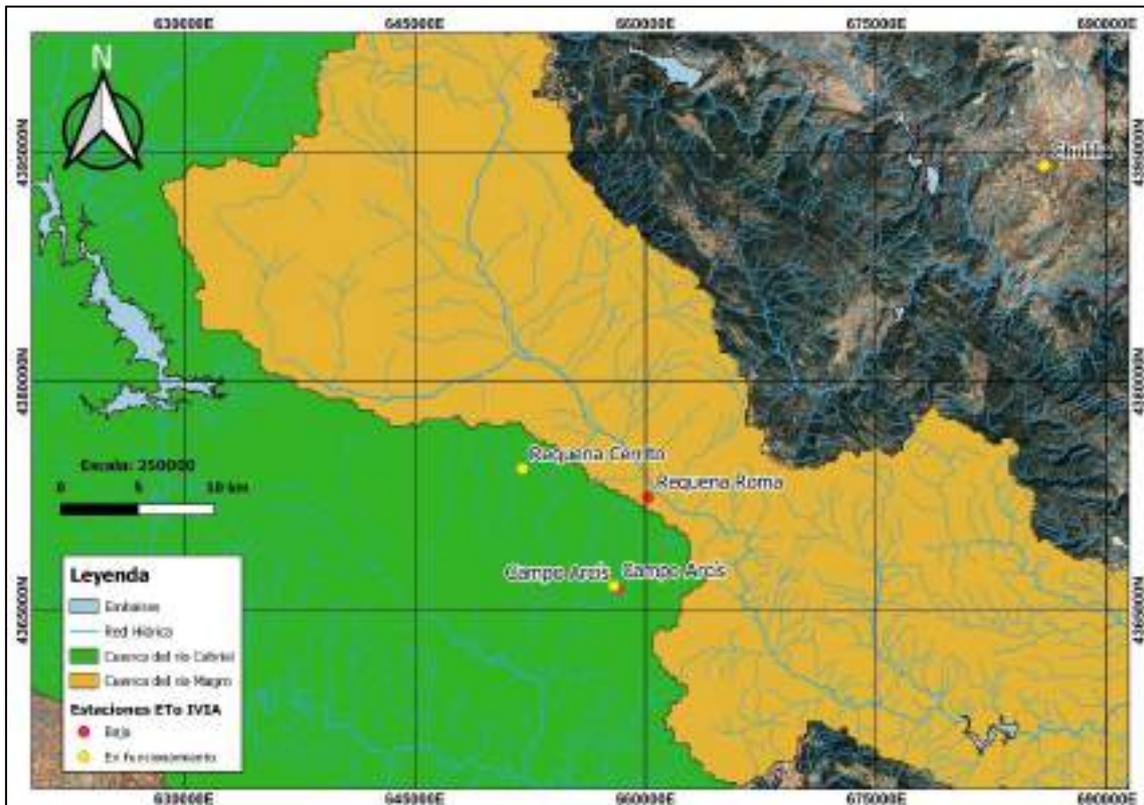


Figura 58. Ubicación de las estaciones ETo del IVIA empleadas.

Fuente: Elaboración propia.

Las estaciones en cuestión presentan datos diarios de evapotranspiración calculada por el método Penman-Monteith. Asimismo, dado que es posible extraer datos de temperatura máxima, mínima y media de ERA5, se llevó a cabo la calibración de los coeficientes de la ecuación de Hargreaves, la cual se presenta a continuación:

$$ET_o = 0.0023 \times (T_{media} + 17.8) \times (T_{m\acute{a}x} - T_{m\acute{i}n})^{0.5} \times Ra$$

En ese sentido, los coeficientes a calibrar fueron el 0.0023 y 17.8. El proceso de calibración consistió en ajustar los valores calculados de evapotranspiración mediante Hargreaves con los de Penman-Monteith, empleando como función objetivo a minimizar el error cuadrático medio. Luego de calibradas dichas constantes, se usaron los datos de temperatura máxima, mínima y media disponibles en ERA5 en la ecuación de Hargreaves calibrada. Para dicha calibración, se emplearon las 2 estaciones meteorológicas actualmente en funcionamiento, mientras que los resultados de la misma se presentan en la Tabla 15, así como en la Figura 59 y Figura 60.

Tabla 15. Resultados de la calibración de la ecuación de Hargreaves

Estación	Coficiente HG (0.0023)	Coficiente de temperatura (17.8)	Error cuadrático medio
Campo Arcís	0.003350	23.044551	0.4042
Requena Cerrito	0.003068	24.831290	0.3996

Fuente: Elaboración propia.

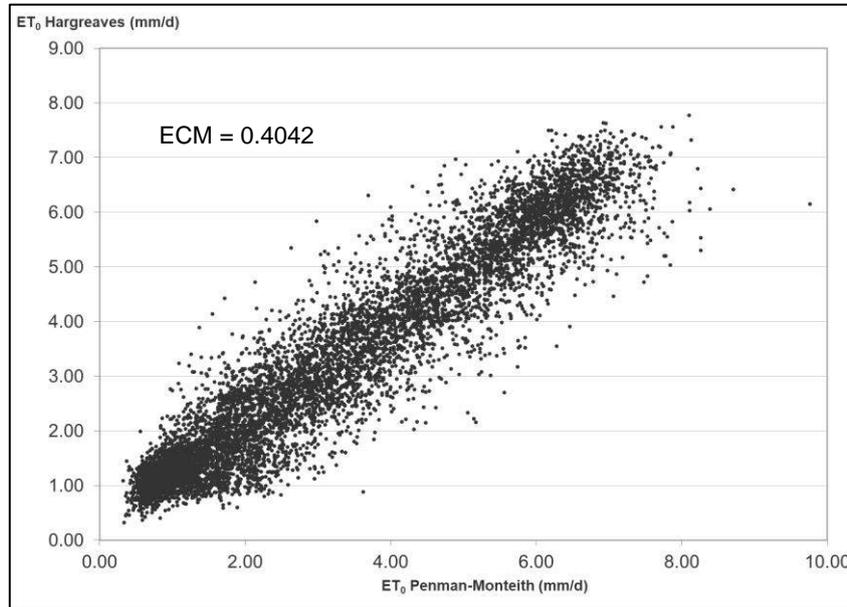


Figura 59. Relación de la ET<sub>0</sub> calculada por el método Penman-Monteith y Hargreaves en la estación Campo Arcís.

Fuente: Elaboración propia.

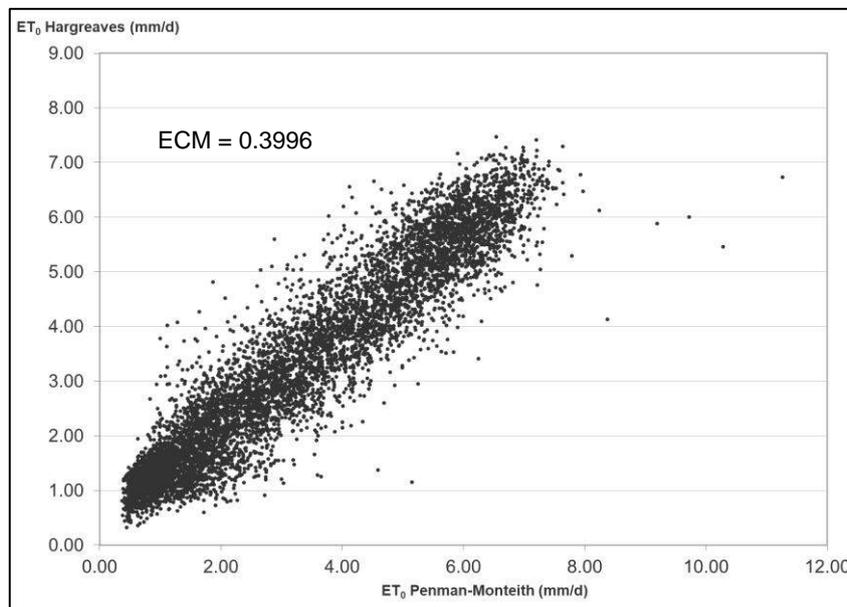


Figura 60. Relación de la ET<sub>0</sub> calculada por el método Penman-Monteith y Hargreaves en la estación Requena Cerrito.

Fuente: Elaboración propia.

A fin de seleccionar uno de los valores obtenidos para cada uno de los coeficientes calibrados, se procedió a realizar su validación, la cual consistió aplicar los coeficientes calibrados de una estación en la otra. En la Figura 61 y Figura 62 se aprecian los resultados de esta validación. Como se puede observar, el menor valor de ECM lo presentan los coeficientes de la estación Campo Arcís.

Por otra parte, en la Figura 63 y Figura 64 se aprecian los valores de ETo calculados en las estaciones Campo Arcís y Requena Cerrito, respectivamente, tanto mediante el método Penman-Monteith como de la ecuación de Hargreaves, aplicando los factores calculados para cada una de las 2 estaciones. Como se observa, la ecuación de Hargreaves representa adecuadamente la mayoría de los valores de ETo calculados mediante Penman-Monteith, a excepción de algunos de mayor magnitud.

A partir de los resultados obtenidos, se optó por seleccionar los coeficientes calibrados en la estación Campo Arcís, dado que en la calibración los valores del ECM fueron muy similares, mientras que, en la validación, si bien también fueron similares, el valor de ECM que menos se alejó del valor obtenido en calibración es el correspondiente al de la estación Campo Arcís, razón por la cual se selecciona dicha estación.

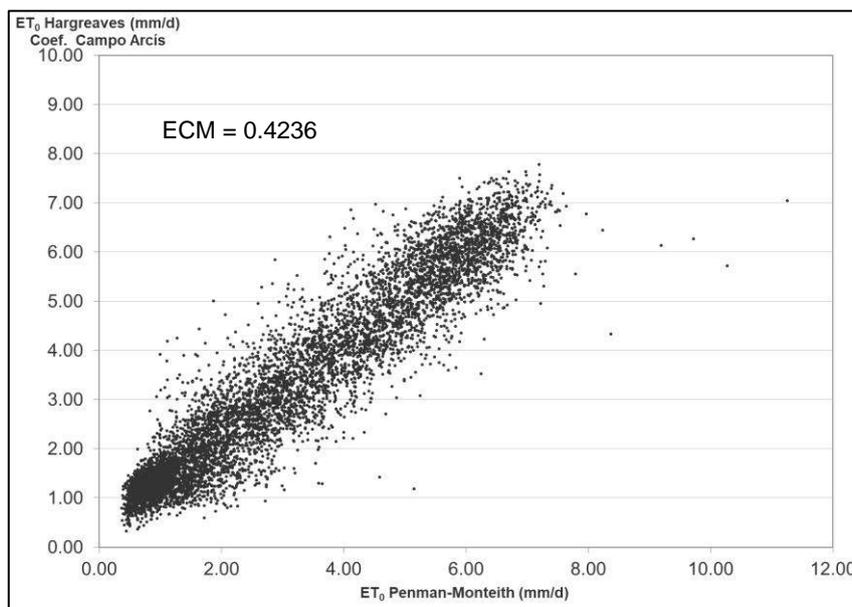


Figura 61. Validación en la estación Requena Cerrito de los coeficientes calibrados en la estación Campo Arcís.

Fuente: Elaboración propia.

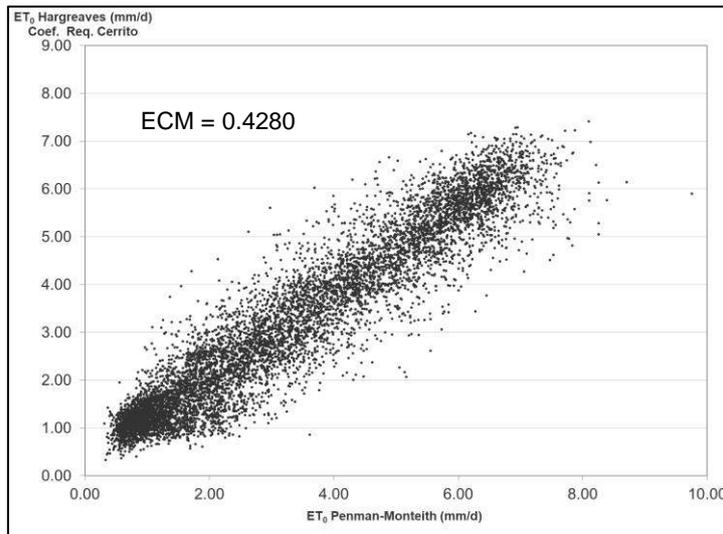


Figura 62. Validación en la estación Campo Arcís de los coeficientes calibrados en la estación Requena Cerrito.

Fuente: Elaboración propia.

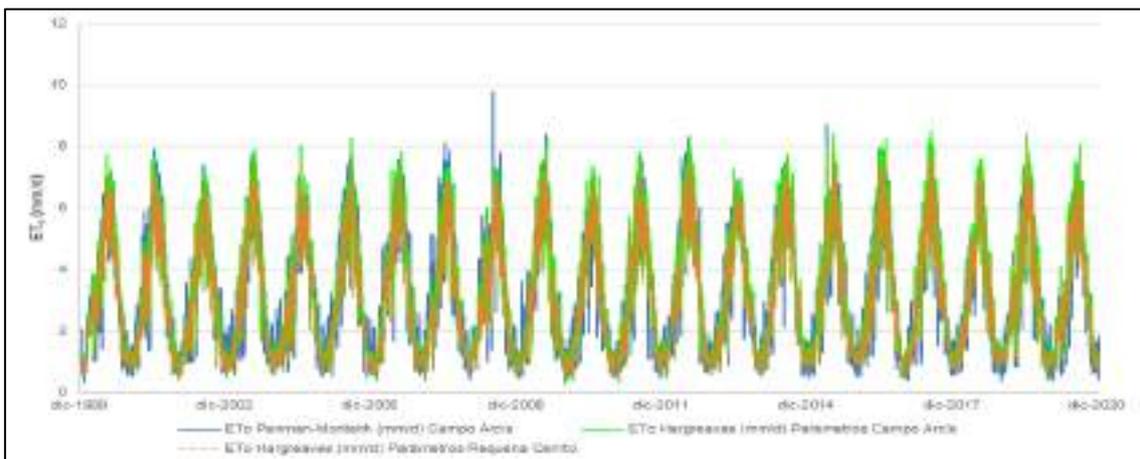


Figura 63. Cálculo de la ETc en la estación Campo Arcís.

Fuente: Elaboración propia.

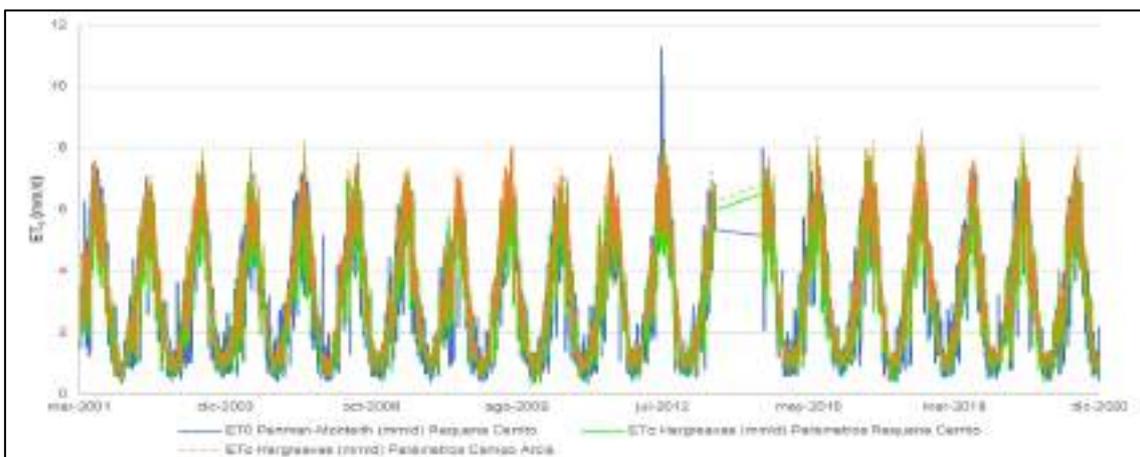


Figura 64. Cálculo de la ETc en la estación Requena Cerrito.

Fuente: Elaboración propia.

## 4.4.2. Histórica

En el Anexo F se presentan los estadísticos que se mencionarán a continuación. En relación a la evapotranspiración de referencia, a nivel diario, se puede observar que la media oscila de 1.79 a 9.28 mm/día, 1.57 a 9.76 mm/día y 1.34 a 9.22 mm/día en la parte baja, media y alta, respectivamente. A nivel mensual, su media va de 55.35 a 287.65 mm, 48.74 a 302.65 mm y 41.49 a 285.96 mm en la parte baja, media y alta, correspondientemente. A escala anual, en la parte baja, media y alta se tiene una media de 1910.06 mm, 1876.54 mm y 1724.01 mm, respectivamente.

En la Figura 65 y Figura 66 se observa que tanto la evapotranspiración de referencia a escala diaria y mensual presentan una tendencia creciente de enero a julio, alcanzando su máximo valor en este último mes. Luego, se tiene una tendencia decreciente de julio a diciembre, llegando a su mínimo valor en diciembre. En base a lo descrito, se aprecia que, de octubre a mayo, la parte baja presenta los mayores valores de evapotranspiración de referencia, mientras que de junio a septiembre la parte media es la que posee los valores más altos. Asimismo, la parte alta es la que, por lo general, presenta los valores más bajos de la variable en cuestión.

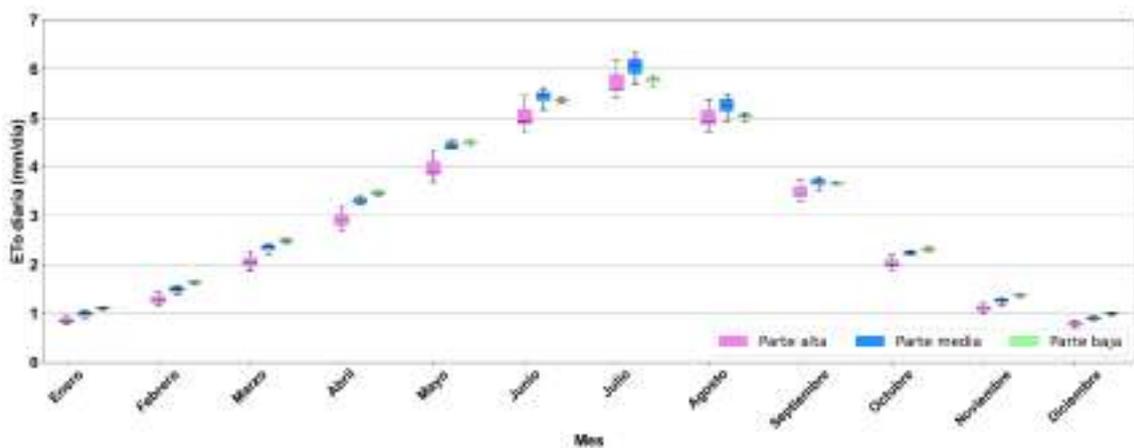


Figura 65. Dinámica temporal de la evapotranspiración potencial de referencia diaria (los valores atípicos no se muestran).

Fuente: Elaboración propia.

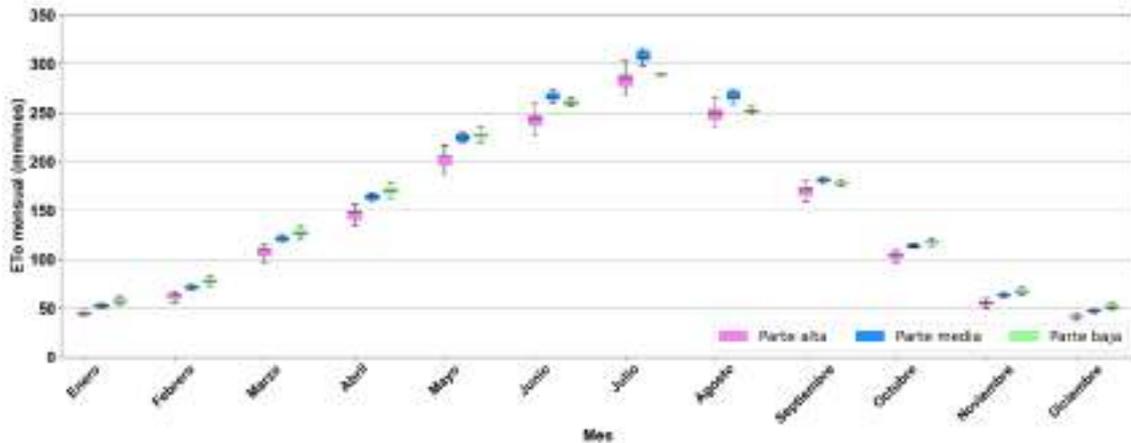


Figura 66. Dinámica temporal de la evapotranspiración potencial de referencia mensual (los valores atípicos no se muestran).

Fuente: Elaboración propia.

### 4.4.3. Futura

En el Anexo G se presentan los estadísticos que se mencionarán a continuación. En el escenario SSP1-2.6, en el periodo 2015-2040, en relación a la evapotranspiración de referencia, a nivel diario, se puede observar que la media oscila de 2.03 a 9.66 mm/día, 1.86 a 10.69 mm/día y 1.64 a 10.59 mm/día en la parte baja, media y alta, respectivamente. En el periodo 2041-2070, a nivel diario, se tiene que la media va de 2.09 a 9.79 mm/día, 1.91 a 10.83 mm/día y 1.68 a 10.81 mm/día en la parte baja, media y alta, correspondientemente. Durante 2071-2100, a nivel diario, se aprecia que la media va de 2.04 a 9.74 mm/día, 1.87 a 10.74 mm/día y 1.66 a 10.77 mm/día en la parte baja, media y alta, respectivamente.

A nivel mensual, durante 2015-2040, su media va de 63.06 a 299.44 mm, 57.8 a 331.43 mm y 50.91 a 328.43 mm en la parte baja, media y alta, respectivamente. En el periodo 2041-2070, su media está en el rango de 64.8 a 303.48 mm, 59.29 a 335.75 mm y 52.16 a 335.16 mm en la parte baja, media y alta, respectivamente. Durante 2071-2100, su media oscila de 63.12 a 301.96 mm, 58.06 a 332.98 mm y 51.43 a 333.81 mm en la parte baja, media y alta, respectivamente.

A escala anual, en el periodo 2015-2040, en la parte baja, media y alta se tiene una media de 2051.48 mm, 2118.39 mm y 2033.63 mm, respectivamente. Durante el 2041-2070, en la parte baja, media y alta se tiene una media de

2074.22 mm, 2144.13 mm y 2069.48 mm, correspondientemente. Del año 2071 al 2100, se tiene una media de 2067.95 mm, 2133.52 mm y 2064.42 mm para la parte baja, media y alta.

En el escenario SSP3-7.0, en el periodo 2015-2040, en relación a la evapotranspiración de referencia, a nivel diario, se puede observar que la media oscila de 2.05 a 9.50 mm/día, 1.89 a 10.54 mm/día y 1.67 a 10.54 mm/día en la parte baja, media y alta, respectivamente. En el periodo 2041-2070, a nivel diario, se tiene que la media va de 2.10 a 9.92 mm/día, 1.94 a 11.03 mm/día y 1.72 a 11.05 mm/día en la parte baja, media y alta, correspondientemente. Durante 2071-2100, a nivel diario, se aprecia que la media va de 2.16 a 10.48 mm/día, 2.00 a 11.76 mm/día y 1.78 a 11.9 mm/día en la parte baja, media y alta, respectivamente.

A nivel mensual, durante 2015-2040, su media va de 63.68 a 294.55 mm, 58.67 a 326.87 mm y 51.66 a 326.69 mm en la parte baja, media y alta, respectivamente. En el periodo 2041-2070, su media está en el rango de 65.12 a 307.51 mm, 60.27 a 341.87 mm y 53.4 a 342.53 mm en la parte baja, media y alta, respectivamente. Durante 2071-2100, su media oscila de 67.04 a 324.77 mm, 62.01 a 364.56 mm y 55.07 a 368.91 mm en la parte baja, media y alta, respectivamente.

A escala anual, en el periodo 2015-2040, en la parte baja, media y alta se tiene una media de 2041.33 mm, 2112.68 mm y 2039.18 mm, respectivamente. Durante el 2041-2070, en la parte baja, media y alta se tiene una media de 2101.81 mm, 2184.39 mm y 2115.37 mm, correspondientemente. Del año 2071 al 2100, se tiene una media de 2188.79 mm, 2290.89 mm y 2233.07 mm para la parte baja, media y alta.

En el escenario SSP5-8.5, en el periodo 2015-2040, en relación a la evapotranspiración de referencia, a nivel diario, se puede observar que la media oscila de 2.05 a 9.42 mm/día, 1.88 a 10.4 mm/día y 1.65 a 10.36 mm/día en la parte baja, media y alta, respectivamente. En el periodo 2041-2070, a nivel diario, se tiene que la media va de 2.1 a 9.86 mm/día, 1.94 a 11.01 mm/día y 1.71 a 11.02 mm/día en la parte baja, media y alta, correspondientemente. Durante 2071-2100, a nivel diario, se aprecia que la media va de 2.19 a 10.55 mm/día,

2.03 a 11.79 mm/día y 1.8 a 11.91 mm/día en la parte baja, media y alta, respectivamente.

A nivel mensual, durante 2015-2040, su media va de 63.68 a 291.99 mm, 58.28 a 322.49 mm y 51.15 a 321.18 mm en la parte baja, media y alta, respectivamente. En el periodo 2041-2070, su media está en el rango de 65.23 a 305.77 mm, 60.12 a 341.35 mm y 53.07 a 341.56 mm en la parte baja, media y alta, respectivamente. Durante 2071-2100, su media oscila de 67.94 a 327.06 mm, 62.95 a 365.55 mm y 55.84 a 369.06 mm en la parte baja, media y alta, respectivamente.

A escala anual, en el periodo 2015-2040, en la parte baja, media y alta se tiene una media de 2035.79 mm, 2100.4 mm y 2015.02 mm, respectivamente. Durante el 2041-2070, en la parte baja, media y alta se tiene una media de 2113.84 mm, 2203.81 mm y 2129.91 mm, correspondientemente. Del año 2071 al 2100, se tiene una media de 2232.64 mm, 2340.9 mm y 2283.44 mm para la parte baja, media y alta.

## 4.5. Hidrometría

En el área de estudio se identificaron las estaciones foronómicas y embalses, cuya ubicación se muestra en la Tabla 16, los cuales se describirán en las siguientes secciones.

Tabla 16. Ubicación de las estaciones foronómicas y embalses en el área de estudio

Estación	Tipo	Coordenadas UTM (Zona 30N, Datum ETRS89)		Altitud (m.s.n.m.)
		Este (m)	Norte (m)	
8009	Embalse	628646	4378169	669 <sup>(1)</sup>
8013	Embalse	683995	4356788	384 <sup>(1)</sup>
8060	Foronómica	661989	4371544	650
8093	Foronómica	687400	4357201	290
8112	Foronómica	664370	4347592	326

Nota: (1) Máximo nivel normal de embalse.

Fuente: Elaboración propia.

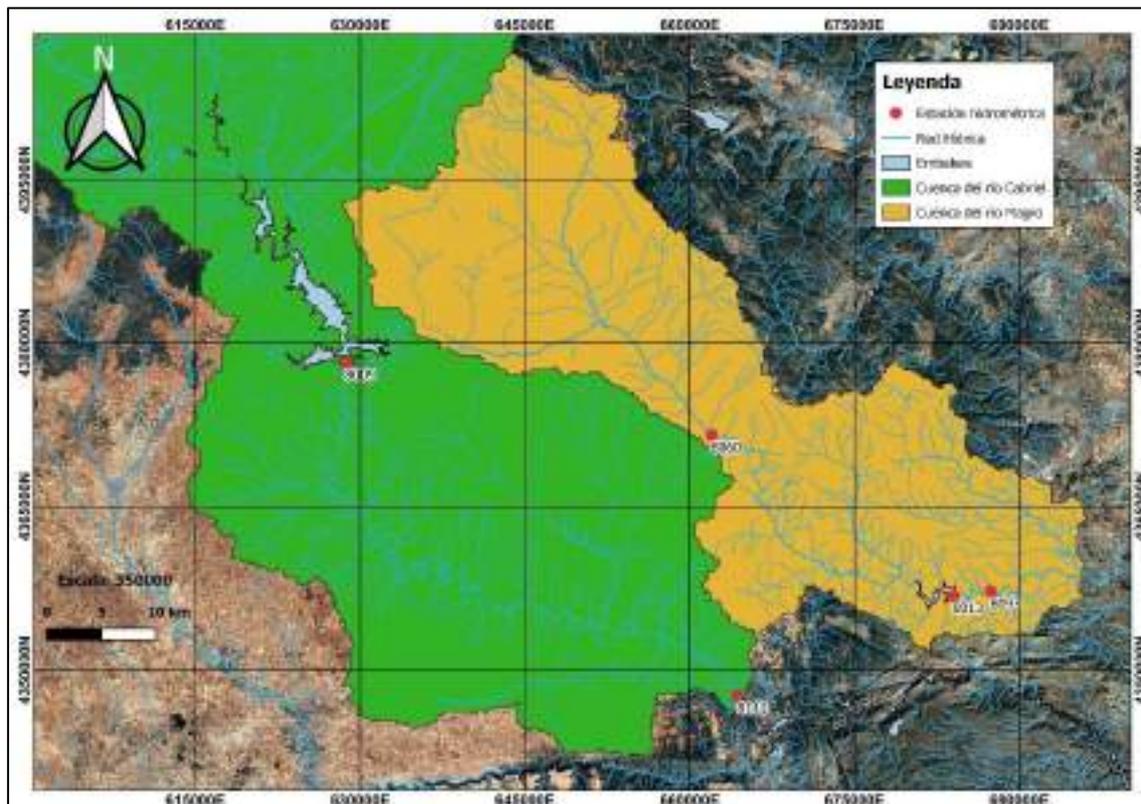


Figura 67. Ubicación de las estaciones foronómicas y embalses.

Fuente: Elaboración propia.

### 4.5.1. Estación 8009 – Embalse Contreras

Las entradas mensuales poseen un registro comprendido en el periodo de octubre de 1972 a septiembre de 2019, con una media de 15.42 hm<sup>3</sup> y una

desviación estándar de 16.5 hm<sup>3</sup>, presentado un valor máximo de 152.40 hm<sup>3</sup> registrado en enero de 1997.

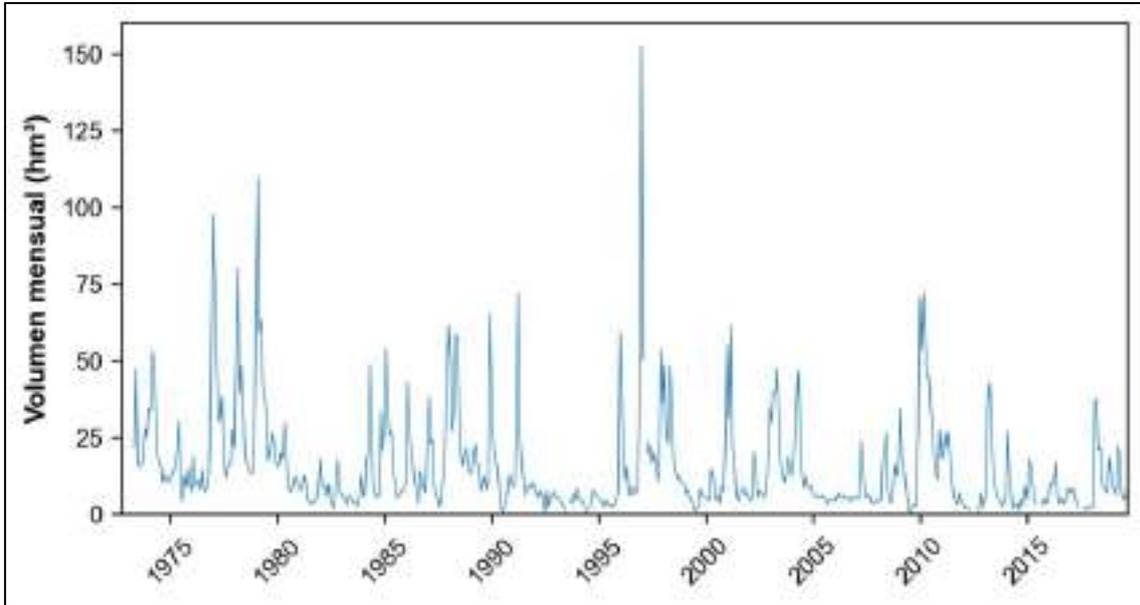


Figura 68. Registro hidrométrico de las entradas mensuales del embalse Contreras.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del CEDEX.

En relación al volumen promedio mensual, éste varía entre 7.55 hm<sup>3</sup> y 22.67 hm<sup>3</sup> en los meses de septiembre y enero, respectivamente.

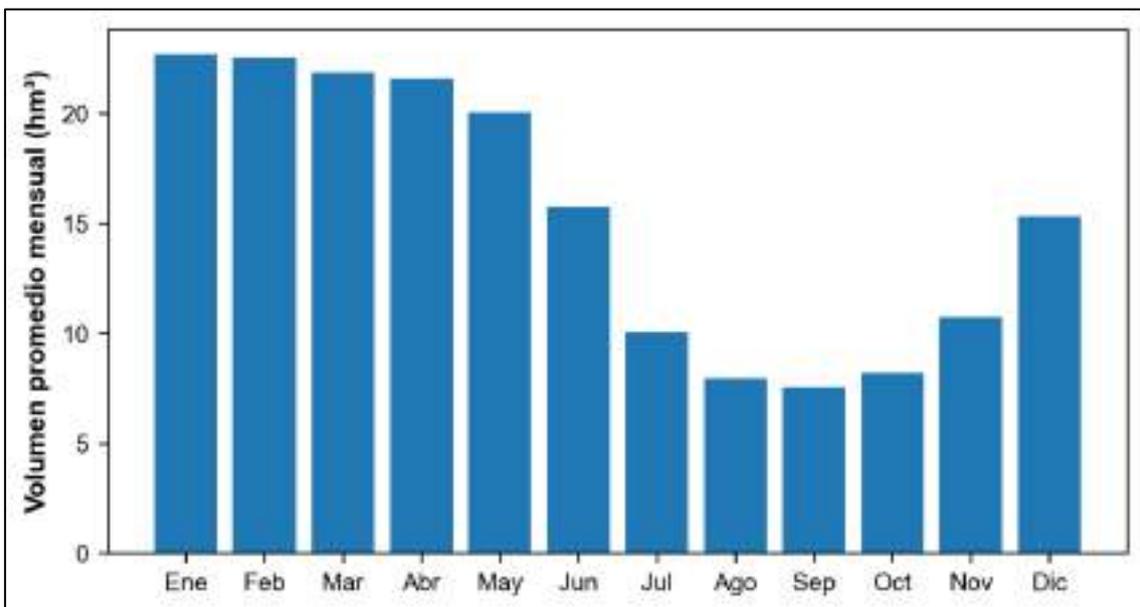


Figura 69. Volumen promedio mensual de las entradas mensuales del embalse Contreras.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del CEDEX.

Las salidas mensuales tienen un registro comprendido en el periodo de octubre de 1972 a septiembre de 2019, con una media de 14.89 hm<sup>3</sup> y una desviación estándar de 19.17 hm<sup>3</sup>, presentado un valor máximo de 106.0 hm<sup>3</sup> registrado en agosto de 1988.

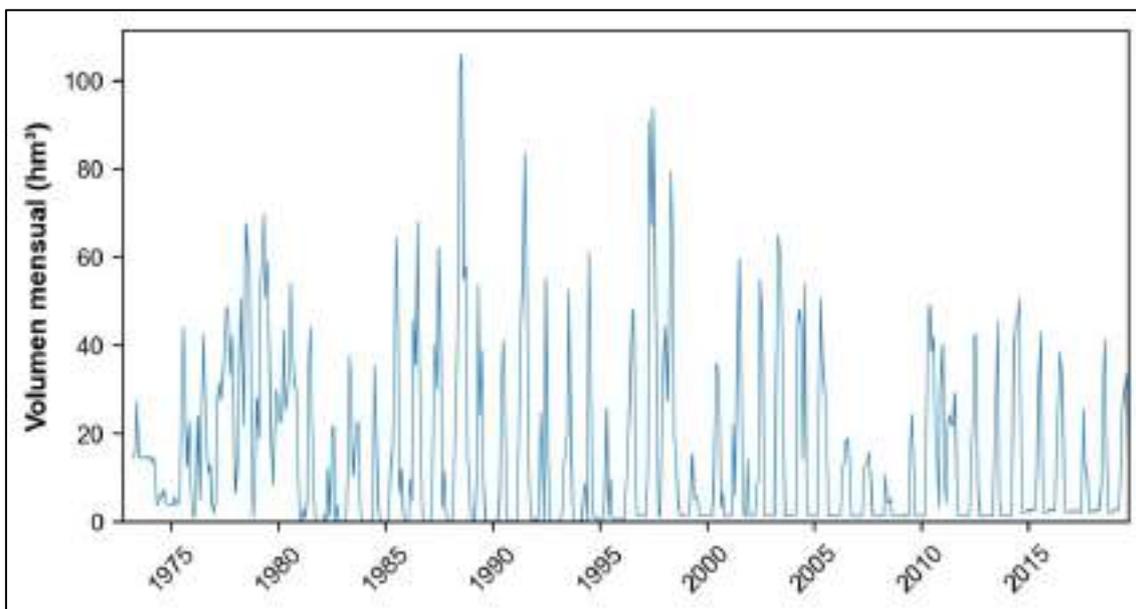


Figura 70. Registro hidrométrico de las salidas mensuales del embalse Contreras.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del CEDEX.

En relación al volumen promedio mensual de las salidas, éste varía entre 3.52 hm<sup>3</sup> y 37.92 hm<sup>3</sup> en los meses de febrero y julio, respectivamente.

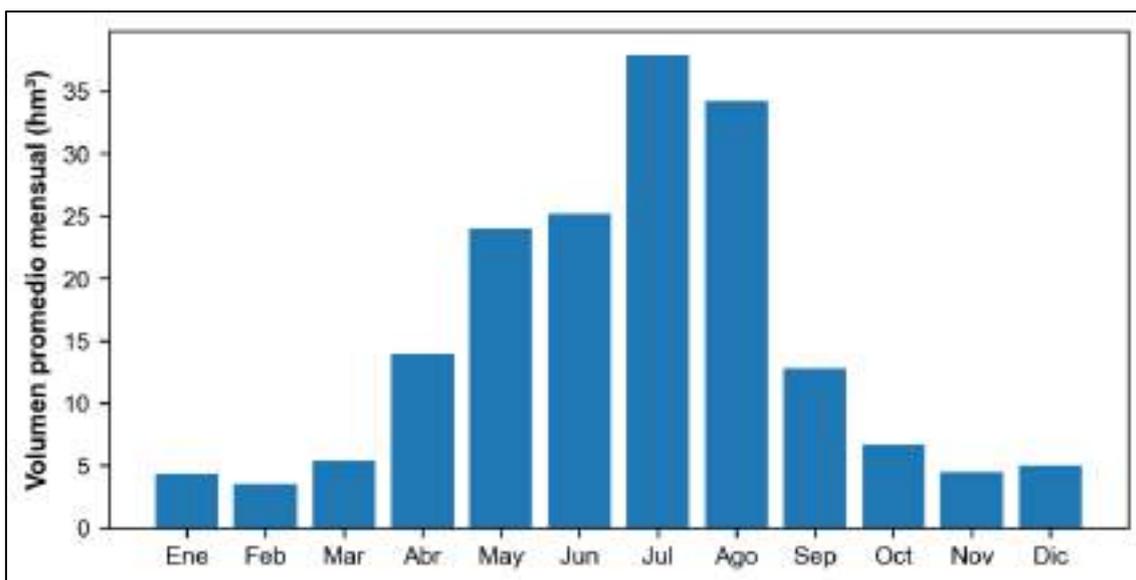


Figura 71. Volumen promedio mensual de las salidas mensuales del embalse Contreras.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del CEDEX.

#### 4.5.2. Estación 8013 – Embalse Forata

Las entradas mensuales poseen un registro comprendido en el periodo de octubre de 1968 a septiembre de 2019, con una media de 1.55 hm<sup>3</sup> y una desviación estándar de 2.37 hm<sup>3</sup>, presentado un valor máximo de 26.1 hm<sup>3</sup> registrado en octubre de 1971.

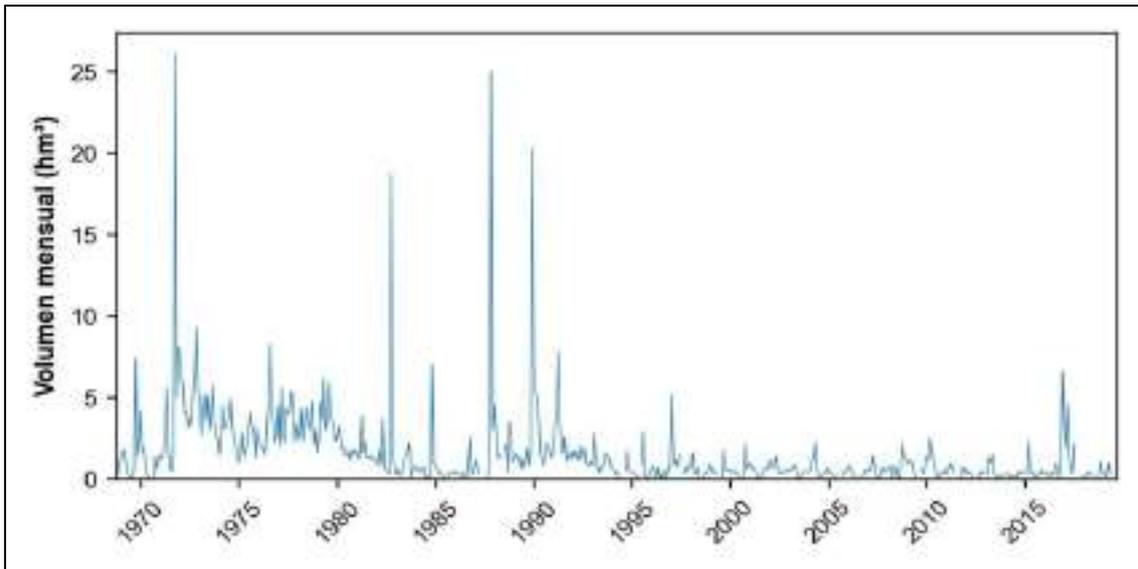


Figura 72. Registro hidrométrico de las entradas mensuales del embalse Forata.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del CEDEX.

En relación al volumen promedio mensual de las entradas, éste varía entre 1.19 hm<sup>3</sup> y 2.38 hm<sup>3</sup> en los meses de junio y octubre, respectivamente.

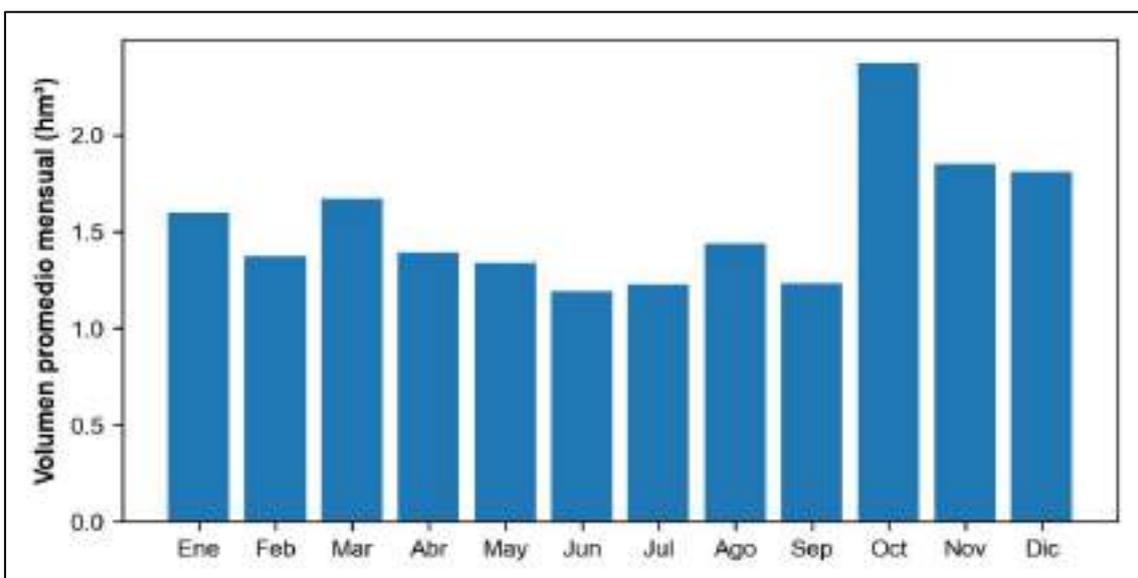


Figura 73. Volumen promedio mensual de las entradas mensuales del embalse Forata.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del CEDEX.

Las salidas mensuales tienen un registro comprendido en el periodo de octubre de 1968 a septiembre de 2019, con una media de 1.45 hm<sup>3</sup> y una desviación estándar de 2.09 hm<sup>3</sup>, presentado un valor máximo de 10.8 hm<sup>3</sup> registrado en julio de 1975.

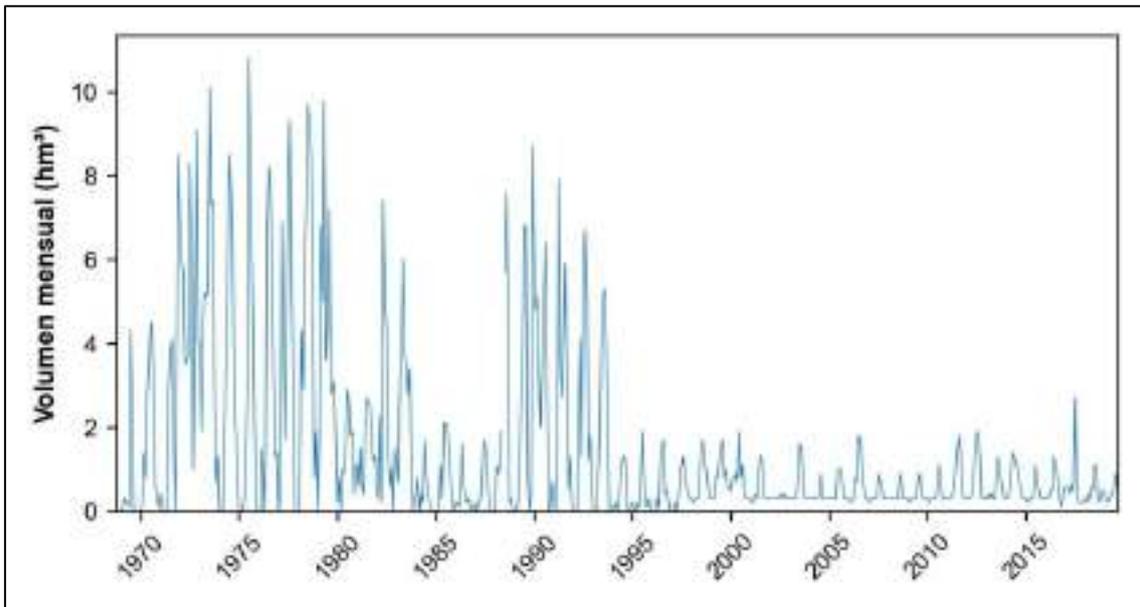


Figura 74. Registro hidrométrico de las salidas mensuales del embalse Forata.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del CEDEX.

En relación al volumen promedio mensual de las salidas, éste varía entre 0.52 hm<sup>3</sup> y 3.18 hm<sup>3</sup> en los meses de febrero y julio, respectivamente.

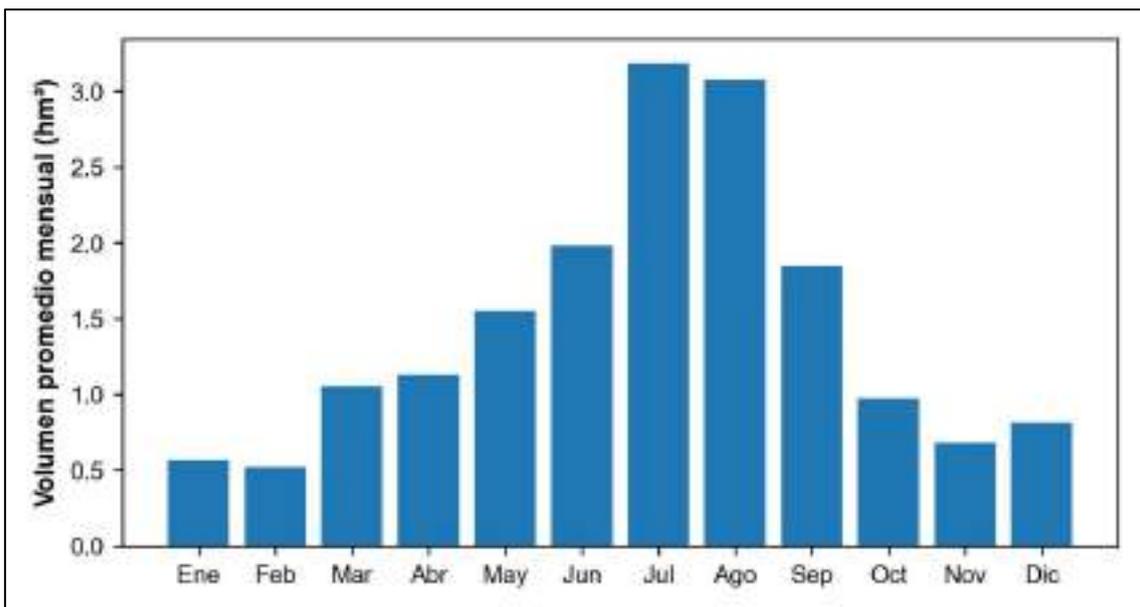


Figura 75. Volumen promedio mensual de las salidas mensuales del embalse Forata.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del CEDEX.

Dado que gran parte del área de interés se ubica aguas arriba del embalse Forata, se requiere conocer el valor de los caudales diarios de las entradas a dicho embalse. En ese sentido, ya que no se proporcionan directamente dichos datos, se procedió a su cálculo, para lo cual se empleó los registros diarios de los volúmenes de las reservas, así como de los caudales de salidas, a los cuales se les aplicaron la siguiente ecuación:

$$\text{Entradas} - \text{Salidas} = \text{Variación de las Reservas}$$

$$Q_{\text{entrada}} = \text{Variación de las Reservas} + Q_{\text{salida}} + Ev_{\text{embalse}}$$

Es importante indicar que los registros diarios tanto de las reservas como de las salidas corresponden a los del día anterior, lo cual fue corroborado con el hidrograma de la estación 8093 que se ubica aguas abajo del embalse Forata, ya que los caudales desembalsados registrados en un determinado día por la estación 8093, corresponden a los del día posterior en el embalse Forata. Los caudales de entradas estimados se presentan en la Figura 76. Por otra parte, para el cálculo de evaporación en el embalse, éste se presenta en la sección siguiente.

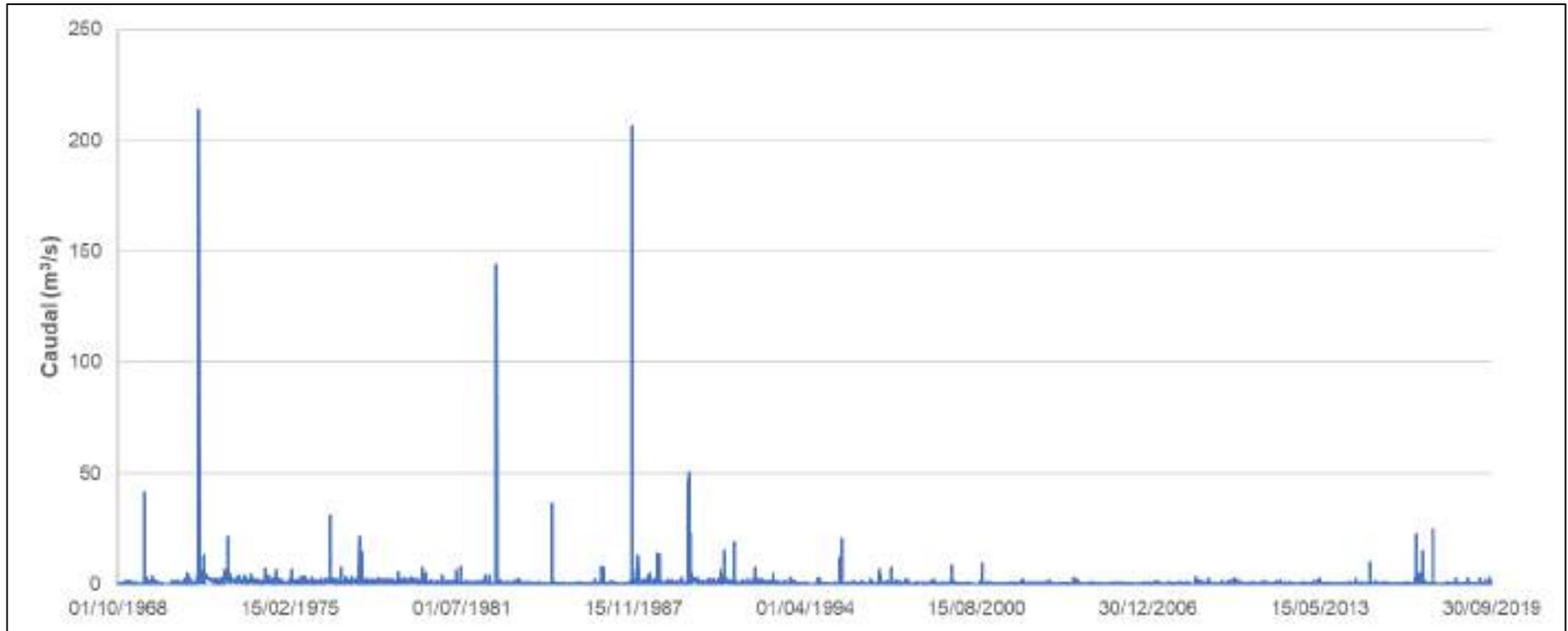


Figura 76. Hidrograma de las entradas diarias al embalse Forata.

Fuente: Elaboración propia.

## Cálculo de la tasa de evaporación mensual

A fin de estimar la tasa de evaporación mensual, se aplicó la ecuación de Kohler-Nordenson-Fox en la estación Campo Arcís, la cual se encuentra a una altura de 589 m. Para ello, se calculó la presión atmosférica mediante esta ecuación (Burman y Pochop, 1994):

$$P = 101.3 - 0.01055 \times z$$

Donde P es la presión atmosférica (kPa) y z es la elevación por encima del nivel del mar (m). Haciendo el cálculo respectivo, se tiene lo siguiente:

$$P = 101.3 - 0.01055 \times 589$$

$$P = 95.1 \text{ kPa}$$

Luego, se llevó a cabo el cálculo de la presión de vapor de saturación, para lo cual se empleó la siguiente fórmula (Burman y Pochop, 1994):

$$e_s = 0.6108 \times e^{\frac{17.27 \times T}{T + 237.3}}$$

Donde  $e_s$  es la presión de vapor de saturación (kPa), y T es temperatura (°C). Dado que se desea calcular una tasa de evaporación media mensual, se emplearán los datos de temperatura media mensual de la estación Campo Arcís que se presentan en la Figura 77. El resultado del cálculo mensual del  $e_s$  se presenta en la Figura 78.



Figura 77. Temperatura media mensual en la estación Campo Arcís.

Fuente: Elaboración propia.

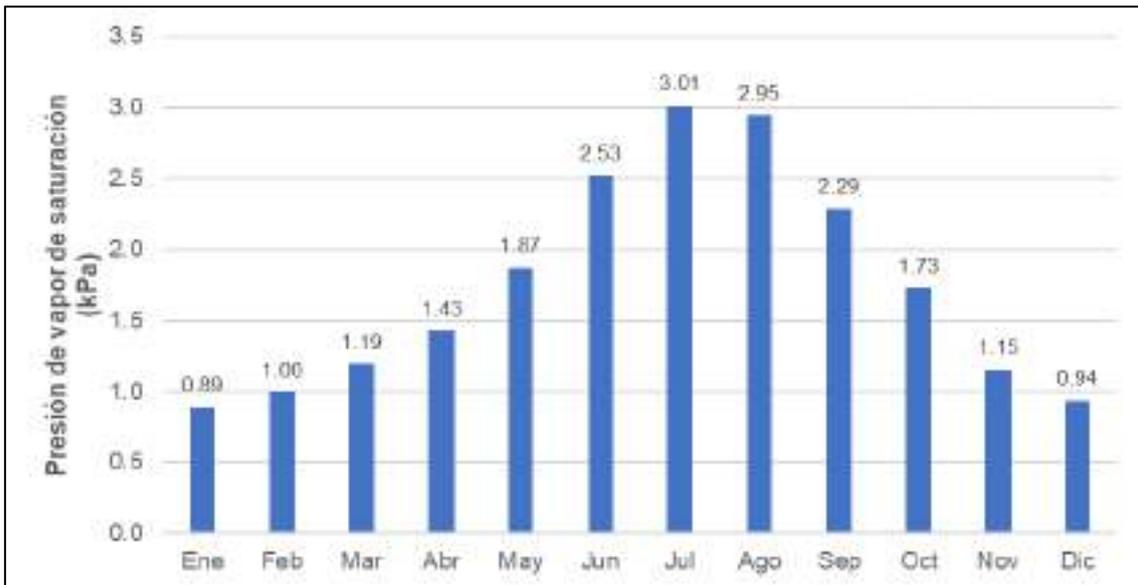


Figura 78. Presión de vapor de saturación mensual en la estación Campo Arcís.

Fuente: Elaboración propia.

Seguidamente, se calculó la presión de vapor real, para lo cual se usó la siguiente expresión (Burman y Pochop, 1994):

$$e_a = RH \times e_s$$

Donde  $e_a$  es la presión de vapor real (kPa), y RH, la humedad relativa. En ese sentido, se emplearon los datos de humedad relativa de la estación en mención que se muestran en la Figura 79. El resultado del cálculo se observa en la Figura 80.

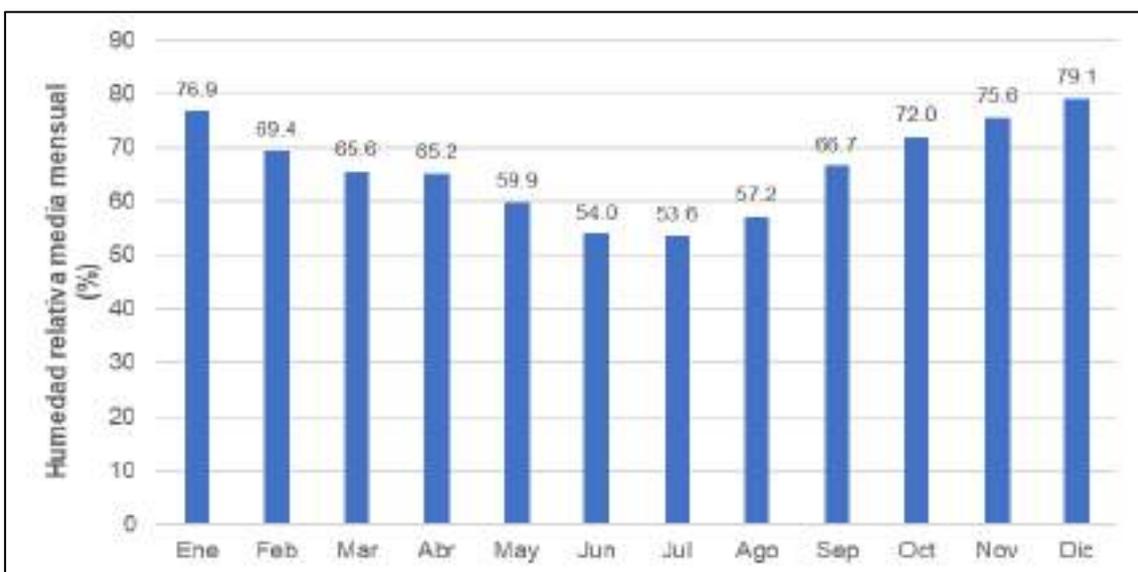


Figura 79. Humedad relativa media mensual en la estación Campo Arcís.

Fuente: Elaboración propia.

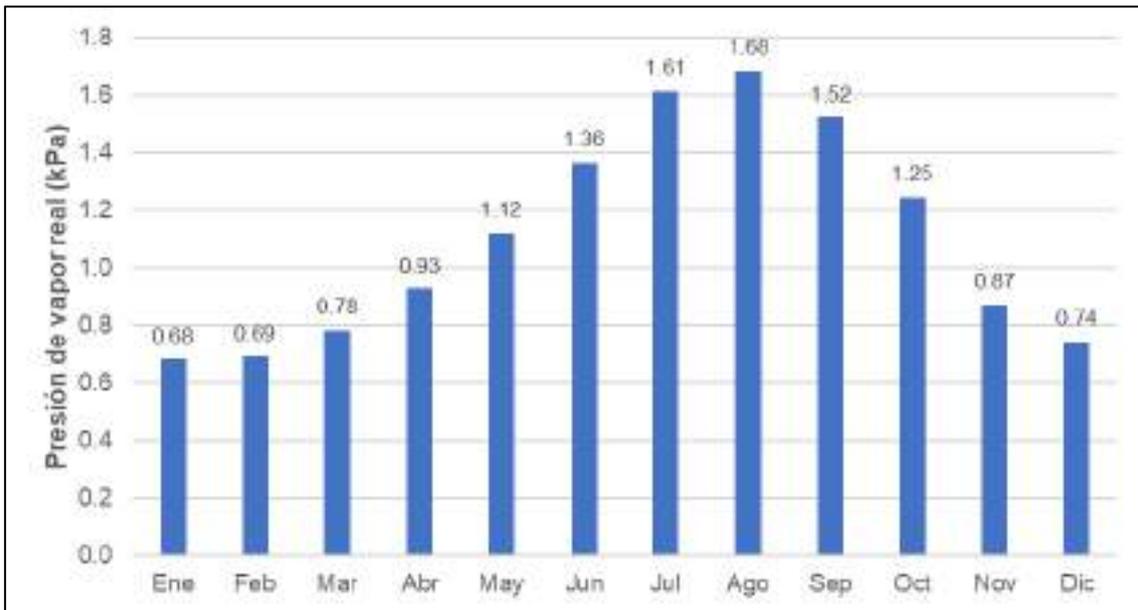


Figura 80. Presión de vapor real mensual en la estación Campo Arcís.

Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, también se calculó la temperatura del punto de rocío ( $T_{dp}$ ), la cual se halla empleando la ecuación de  $e_s$ , pero en la cual  $e_s$  toma el valor de  $e_a$ , de modo que mediante prueba y error se halla el valor de  $T$  que corresponderá a la temperatura en cuestión. Los valores de  $T_{dp}$  se presentan en la Figura 81.

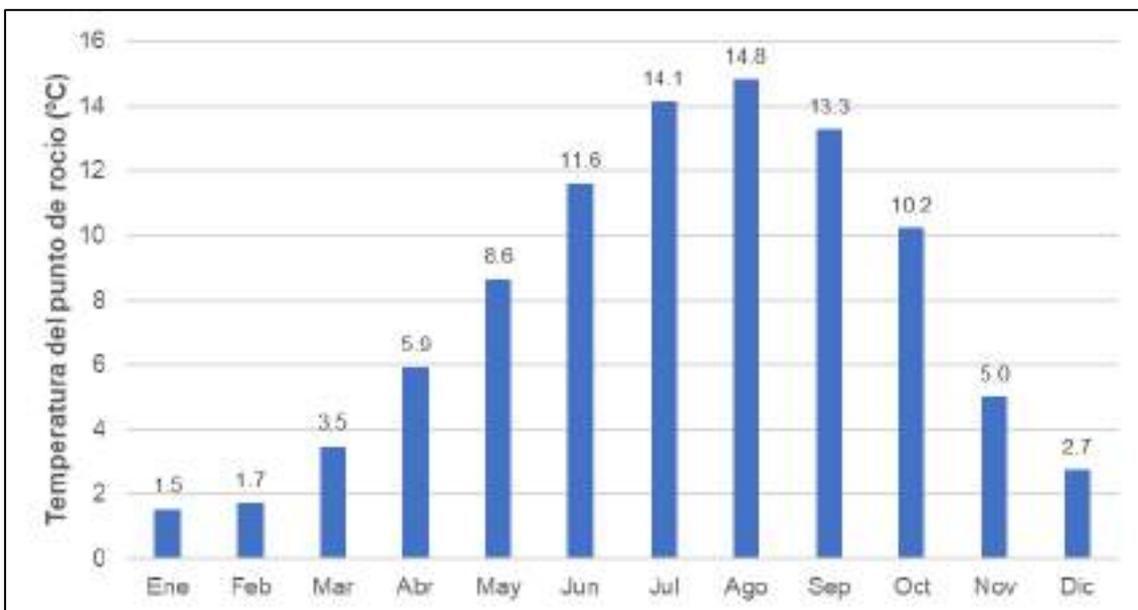


Figura 81. Temperatura del punto de rocío mensual en la estación Campo Arcís.

Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, se calcularon los valores de las constantes psicrométricas, mediante las siguientes expresiones (Burman y Pochop, 1994):

$$\gamma_p = 0.001568 \times P$$

$$\gamma_l = 0.000661 \times P$$

Donde  $\gamma_p$  es el coeficiente psicrométrico del tanque de evaporación ( $\text{kPa}/^\circ\text{C}$ ), y  $\gamma_l$ , el coeficiente psicrométrico de un lago ( $\text{kPa}/^\circ\text{C}$ ). Aplicando las fórmulas presentadas, se tiene:

$$\gamma_p = 0.001568 \times 95.1 = 0.149 \text{ kPa}/^\circ\text{C}$$

$$\gamma_l = 0.000661 \times 95.1 = 0.063 \text{ kPa}/^\circ\text{C}$$

Luego, se estimó la pendiente de la curva de la presión de vapor de saturación y la temperatura ( $\Delta$ ) mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta = \frac{(e_s - e_a)}{(T_a - T_{dp})}$$

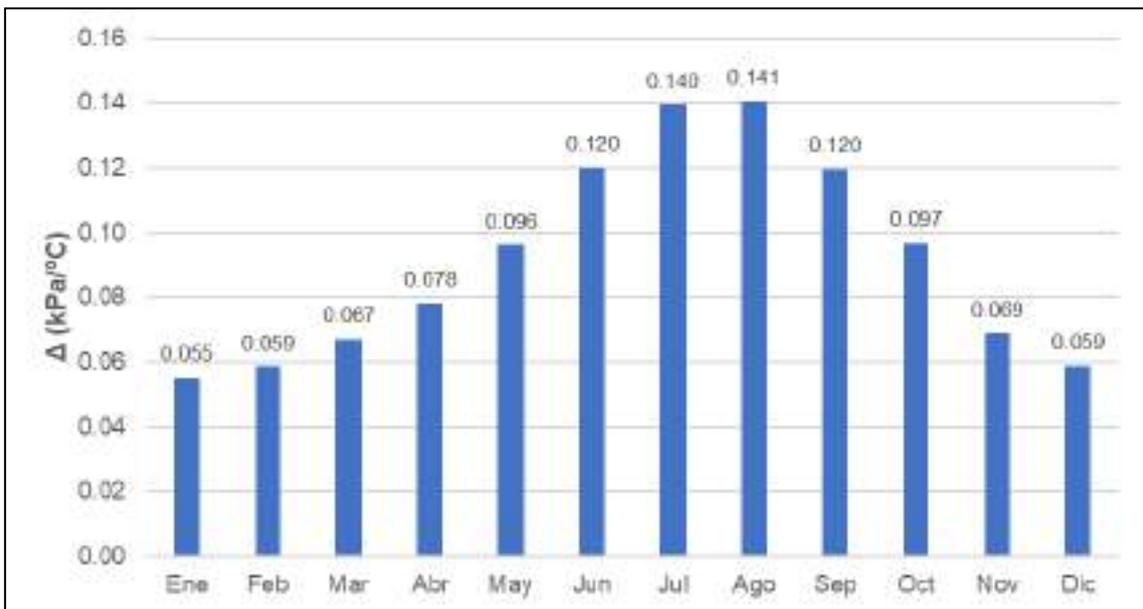


Figura 82. Valor mensual de  $\Delta$  en la estación Campo Arcís.

Fuente: Elaboración propia.

El siguiente término a calcular es la función aerodinámica ( $E_a$ ) para lo cual se emplea, además de los términos ya conocidos, la velocidad del viento medida a 0.152 m por encima del borde del tanque de evaporación ( $u_p$ ). En relación a la función aerodinámica, ésta se calcula de la siguiente forma:

$$E_a = 25.4 \times [0.296 \times \{(e_s - e_a)^{0.88}\} (0.37 + 0.00255 \times u_p)]$$

Por otra parte, en relación a la velocidad del viento, en la Figura 83 se observa los valores de dicha velocidad promedio mensual correspondientes a la estación Campo Arcís.

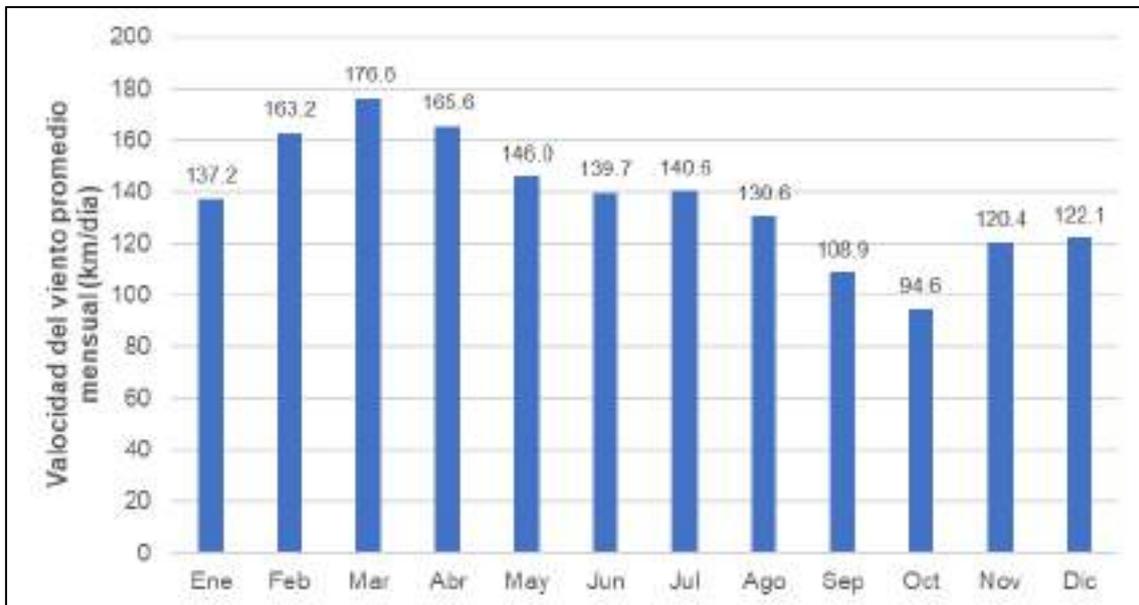


Figura 83. Velocidad del viento promedio mensual en la estación Campo Arcís.

Fuente: Elaboración propia.

Sin embargo, en dicha estación la medición de la velocidad del viento se realiza a 2 m de la altura del suelo. En ese sentido, asumiendo una altura estándar de un tanque de evaporación de 25.4 cm, colocado a 10 cm por encima del nivel del suelo, se tiene que  $u_p$  debería ser medido a 0.506 m. Empleando la ecuación de Jensen (1974)

$$u_z = u_m \times \left[ \frac{z}{z_m} \right]^a$$

Donde  $z$  es la elevación por encima del nivel del suelo (m);  $u_m$ , la velocidad del viento medida a “m” metros por encima del nivel del suelo; y “a”, un exponente adimensional de valor igual a 0.2, según Jensen (1974).

En ese sentido, los valores calculados de  $u_p$  se presentan en la Figura 84, mientras que en la Figura 85 se muestran los valores por mes de la función aerodinámica.

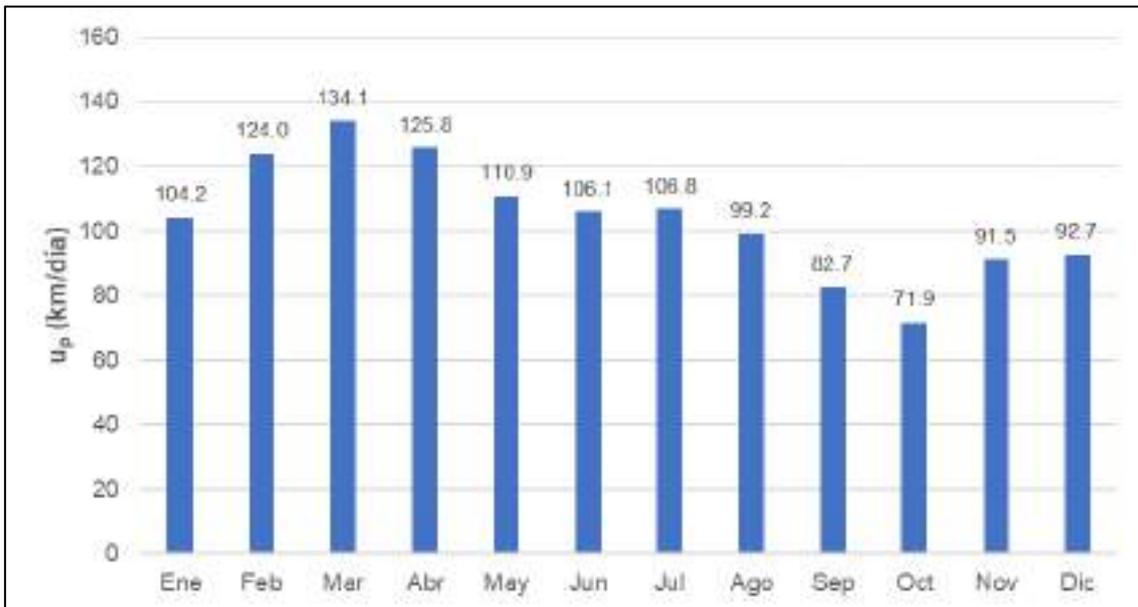


Figura 84. Velocidad del viento promedio mensual corregida en la estación Campo Arcís.

Fuente: Elaboración propia.

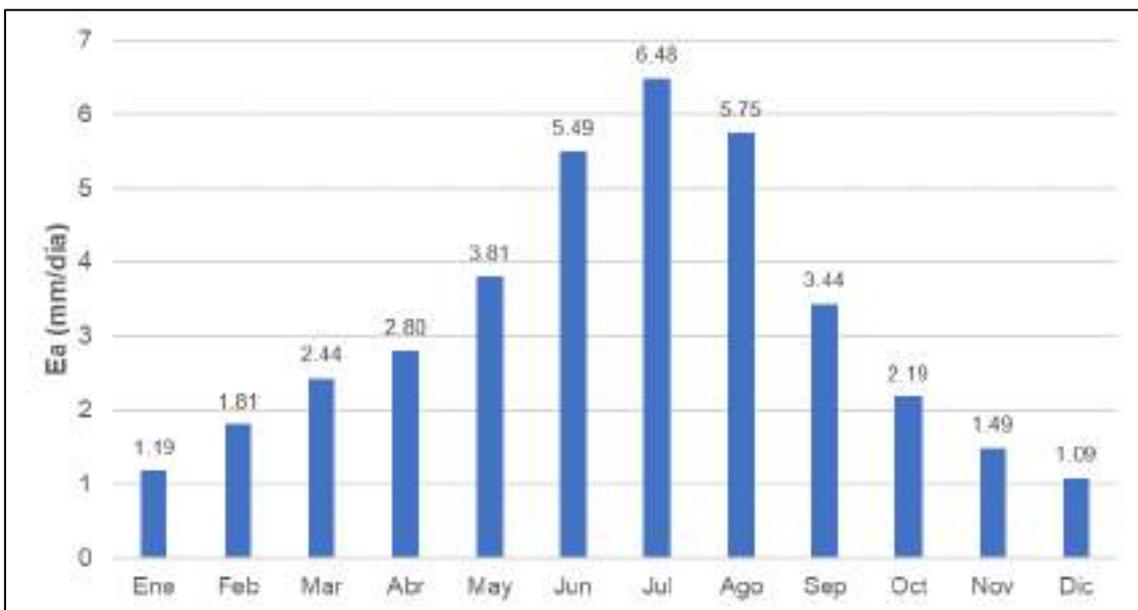


Figura 85. Valor mensual de E<sub>a</sub> en la estación Campo Arcís.

Fuente: Elaboración propia.

También se calculó la radiación neta efectiva del tanque de evaporación, para lo cual se usaron los datos de temperatura, previamente mostrados, y de radiación solar ( $J/cm^2 \times día$ ) mostrados en la Figura 86. La radiación neta efectiva se calculó mediante la siguiente ecuación (Burman y Pochop, 1994), cuyos resultados se presentan en la Figura 87:

$$\Delta R_n = 154.4 \times e^{[(1.8 \times T - 180) \times (0.1024 - 0.01066 \times \ln(0.239 \times R_s)) - 0.01544]}$$

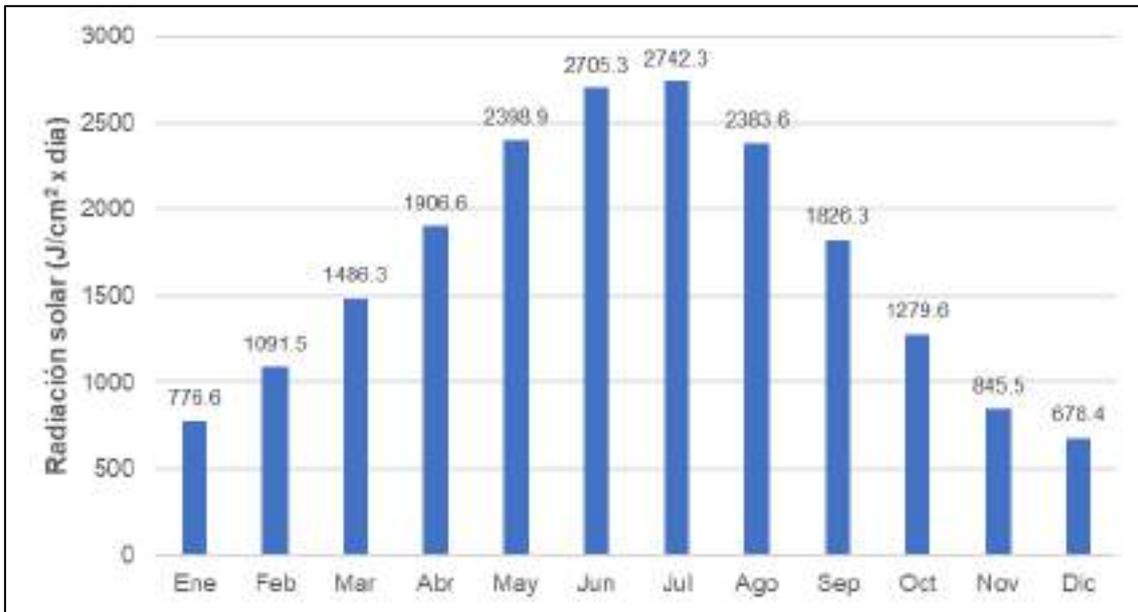


Figura 86. Radiación solar promedio mensual en la estación Campo Arcís.

Fuente: Elaboración propia.

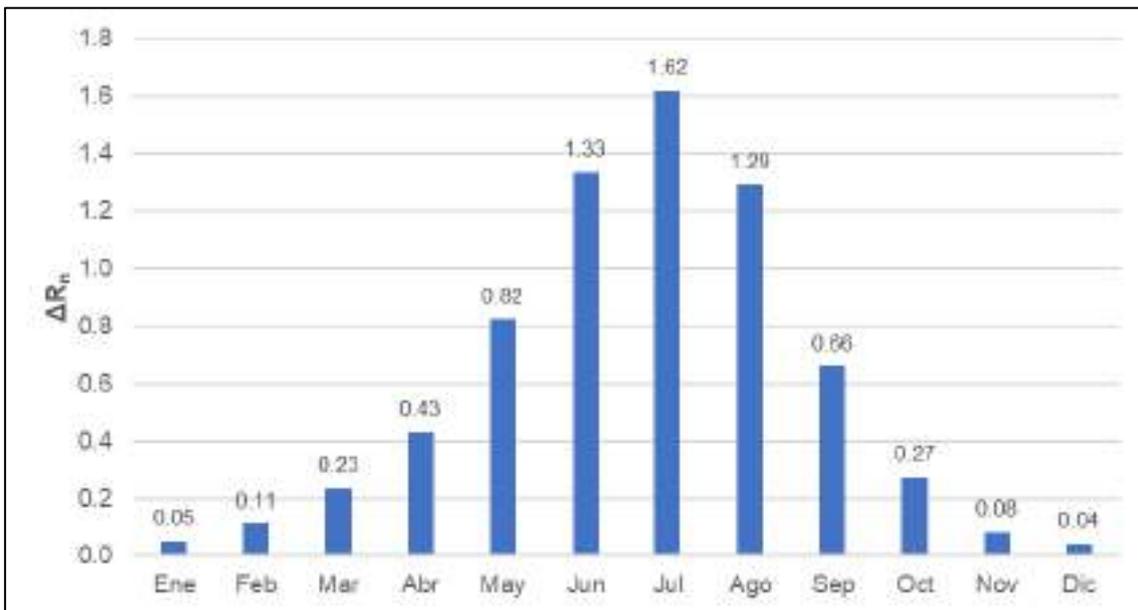


Figura 87. Valores de  $\Delta R_n$  en la estación Campo Arcís.

Fuente: Elaboración propia.

Una vez hallados todos los términos anteriores, se procede a calcular la evaporación en tanque ( $E_p$ ) y en laguna ( $E_i$ ), para lo cual se emplean las expresiones mostradas a continuación y cuyos resultados se presentan en la Figura 88 y Figura 89, respectivamente. En lo que respecta a la  $E_p$ , se empleó la ecuación de Kohler-Nordenson-Fox, mientras que para la  $E_i$  se usó una

expresión similar que considera que la evaporación en laguna es del 70% de la evaporación en tanque y que emplea el  $\gamma_l$  por el  $\gamma_p$ . Para fines de cálculo de la evaporación en el embalse Forata, se asumirán los datos mostrados en la Figura 89 como la tasa de evaporación que ocurre en el embalse en mención.

$$E_p = \frac{R_n \Delta + \gamma_p \times E_a}{\Delta + \gamma_p}$$

$$E_l = 0.7 \times \left[ \frac{(R_n \Delta + \gamma_l \times E_a)}{(\Delta + \gamma_l)} \right]$$

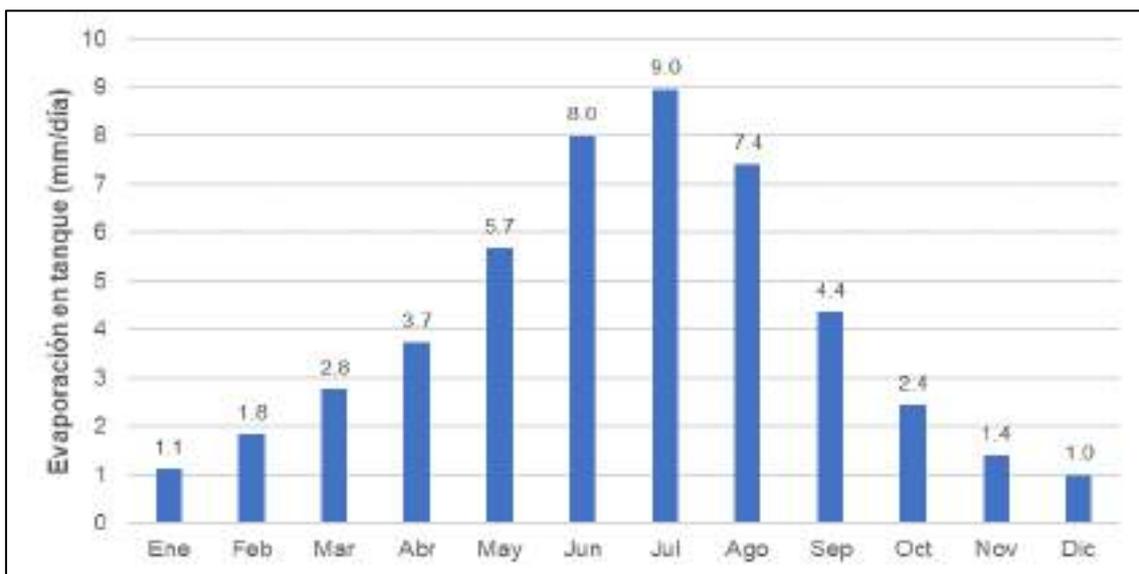


Figura 88. Evaporación en tanque en la estación Campo Arcís.

Fuente: Elaboración propia.

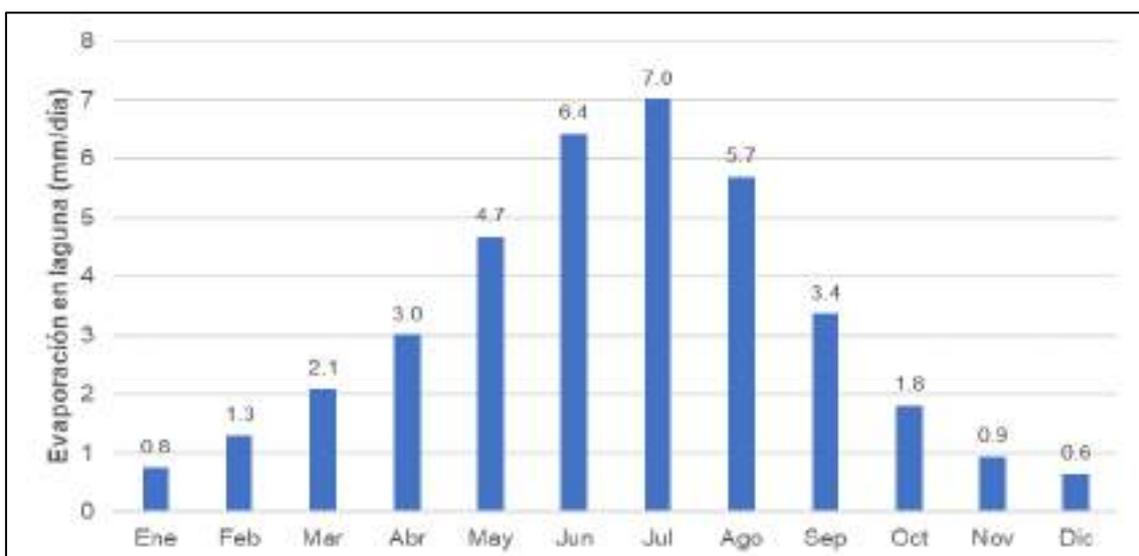


Figura 89. Evaporación en laguna en la estación Campo Arcís.

Fuente: Elaboración propia.

## Análisis de consistencia

En lo concerniente a los datos hidrométricos, éstos fueron previamente analizados mediante distintos métodos para evaluar su consistencia en el tiempo. En ese sentido, se tomaron como referencia los análisis aplicados por Vu *et al.* (2019), los cuales utilizan lo siguiente: (1) punto de cambio en la media, mediante el uso del paquete en R denominado “change point”, (2) punto de quiebre, mediante el paquete “breakpoint” en R, (3) la prueba t de Student, mediante el paquete “cpm” de R, (4) la prueba Mann-Whitney, mediante el paquete previamente mencionado, (5) la prueba Pettitt, mediante el empleo del paquete “trend” de R. Todas las pruebas mencionadas fueron empleadas en datos de caudal promedio anual.

Sin embargo, previo al empleo de las pruebas indicadas, las 3 primeras indicadas se aplican a series con distribución normal e independientes, en ese sentido, se requiere que sean sometidas a las pruebas Shapiro-Wilk y Chi-cuadrado para un valor de p de 5%, y, en caso de pasarlas se les aplican los 3 primeros métodos de consistencia indicados. En el caso de las 2 pruebas restantes, éstas son no paramétricas, por lo que no se requiere la previa comprobación indicada. Los resultados de la aplicación de estas dos pruebas previas se muestran en la Tabla 17.

Tabla 17. Valores de p de las pruebas Shapiro-Wilk y Chi-cuadrado

Estación	Valores de p	
	Shapiro-Wilk	Chi-cuadrado
8013 - Embalse Forata	1.60e-07	0.9571

Fuente: Elaboración propia.

Como puede observarse en la Tabla 17, si bien los valores de p son mayores a 0.05 para la prueba de Chi-cuadrado, lo cual demuestra que las series son independientes, éstos no superan el 5% en la prueba Shapiro-Wilk, lo cual indica que las series no tienen una distribución normal. Por ende, a ambas series solo se le aplicarán las pruebas de Mann-Whitney y Pettitt.

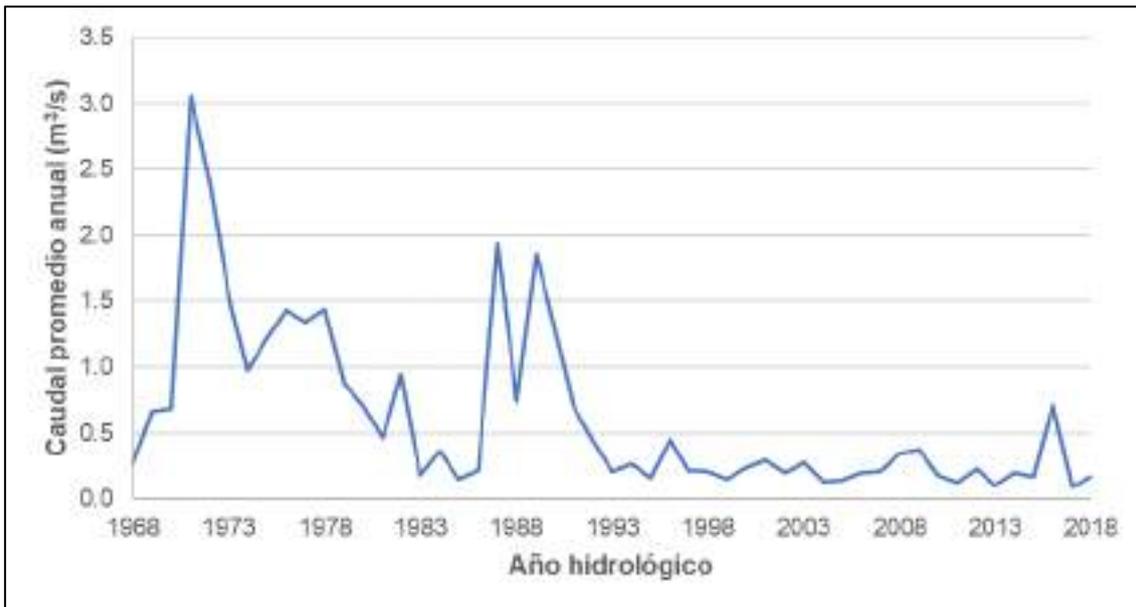


Figura 90. Hidrograma de caudal naturalizado promedio anual de la estación 8013 del embalse Forata.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 18. Puntos de quiebre identificados en las series de caudal promedio anual

Prueba	Punto de quiebre identificado
	8013 - Embalse Forata
Mann-Whitney	1979, 1993, 2004
Pettitt	1979, 1993, 2004

Fuente: Elaboración propia.

En base a las pruebas empleadas, la estación 8013 se divide en 4 periodos: de 1968-1978, 1979-1992, 1993-2003 y 2004-2018. Dado que se quiere implementar un modelo que refleje las condiciones actuales de la zona de estudio, se empleará el cuarto periodo, es decir, de 01/10/2004 al 30/09/2019 en la estación 8013 del embalse Forata.

## Método de Lyne

Dado que en la cuenca del río Magro, el flujo base puede estar afectado por la explotación del acuífero de Requena-Utiel, se procedió a separar el flujo base de la serie de caudales en Forata, para lo cual se procedió a emplear tanto la metodología como la herramienta MRCPtool de Carlotto y Chaffe (2019).

En el embalse Forata, a través de una serie de iteraciones, el valor de la constante de recesión que mejor se ajustó es 0.7426. El ajuste realizado se puede observar en la Figura 91. Las expresiones de Coutagne y Wittenberg presentan un comportamiento similar a la de Maillet que asume la de un

reservorio lineal, lo cual se confirma mediante los valores cercanos a 1 del parámetro  $b$  en un intervalo de confianza del 95% que se presentan en la Tabla 19, es decir, las expresiones analíticas de Coutagne y Wittenberg que poseen 2 parámetros pueden ser reemplazadas por la expresión de Maillet que consta de 1 parámetro. Finalmente, en la Figura 92 se presenta el caudal proveniente solo de la escorrentía superficial, así como el flujo base de la serie original.

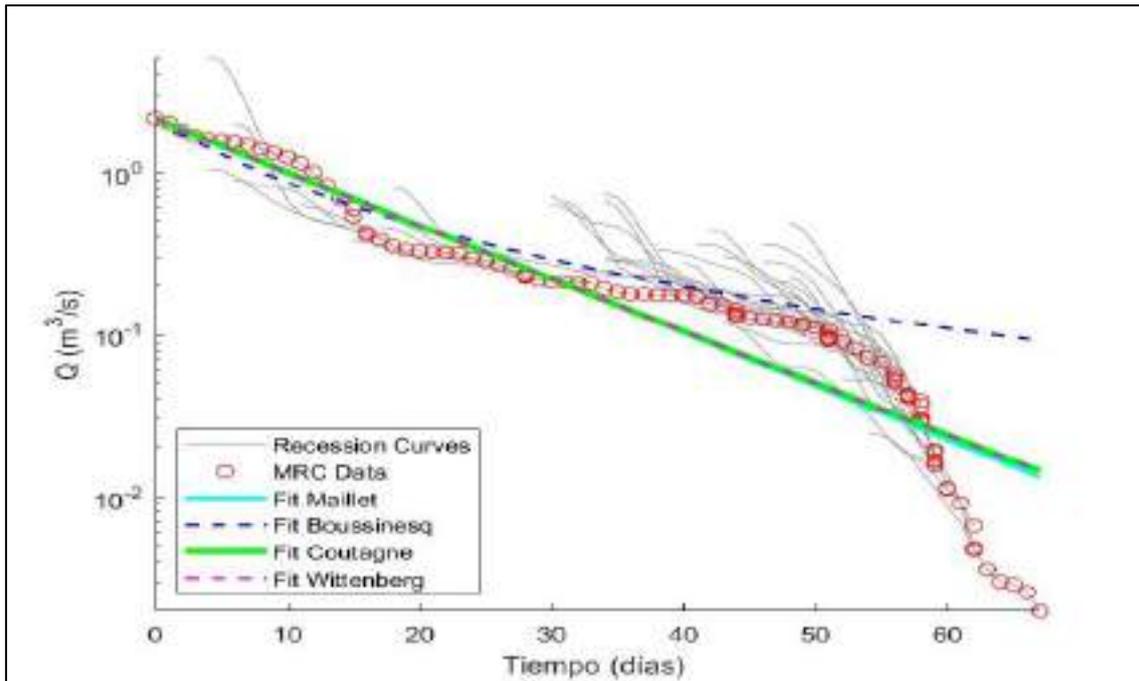


Figura 91. Curva MRC de la estación 8013 ajustada a las expresiones analíticas de Maillet, Coutagne, Boussinesq y Wittenberg.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 19. Parámetros ajustados para la curva MRC de la estación 8013 con las expresiones analíticas de Maillet, Boussinesq, Coutagne y Wittenberg

Método	a	CI <sub>a,95%</sub>	b	CI <sub>b,95%</sub>	RMSE	R <sup>2</sup>
Maillet	0.0761	(0.0731; 0.0791)	--	--	0.088	0.969
Boussinesq	0.0573	(0.0533; 0.0613)	--	--	0.127	0.934
Coutagne	0.0760	(0.0730; 0.0791)	1.0096	(0.9208; 1.0984)	0.088	0.969
Wittenberg	13.2777	(12.0039; 14.5516)	0.9904	(0.9016; 1.0792)	0.088	0.969

Fuente: Elaboración propia.

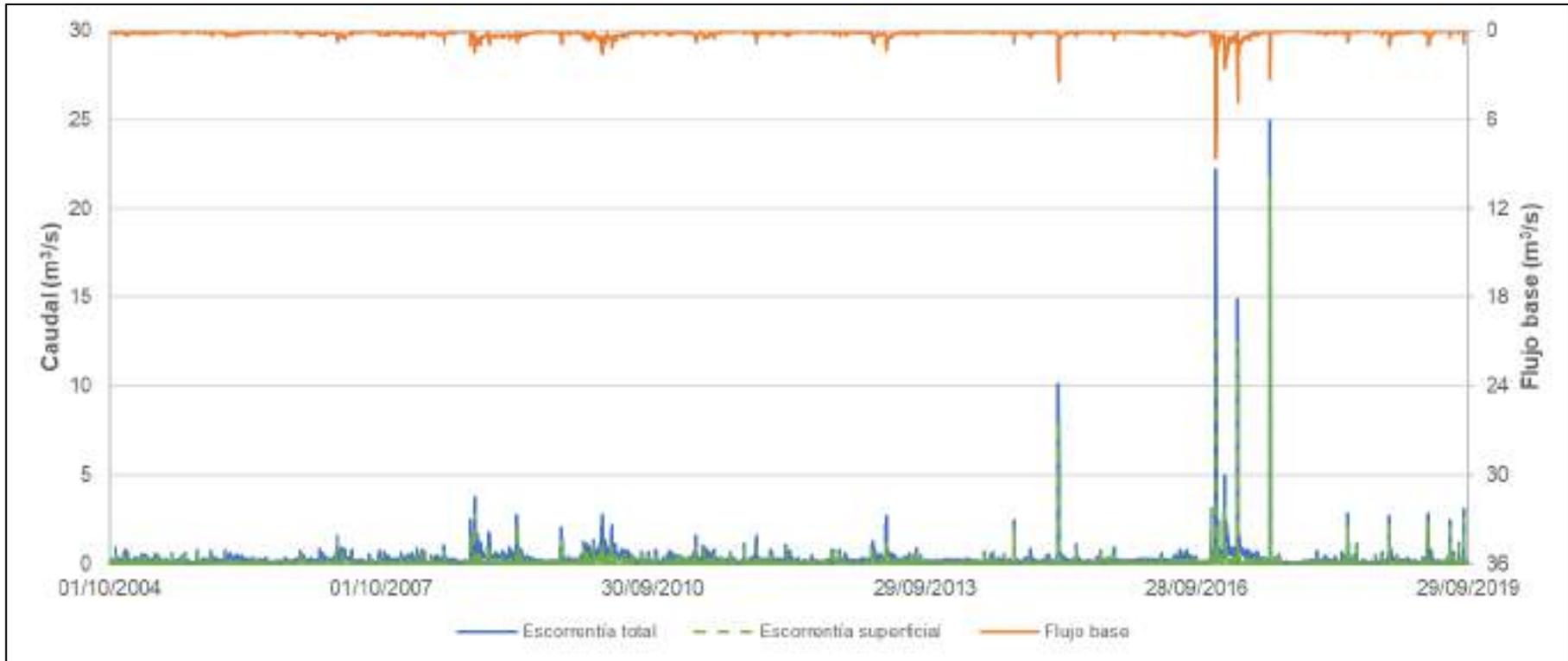


Figura 92. Hidrograma de la escoorrentía total y superficial, y flujo base de la estación 8013 del embalse Forata.

Fuente: Elaboración propia.

### 4.5.3. Estación 8060 Río Magro en Requena

La estación 8060 posee un registro hidrométrico en el periodo del 01/10/1913 al 30/09/2019, con una media de 0.55 m<sup>3</sup>/s y una desviación estándar de 1.64 m<sup>3</sup>/s, presentado un valor máximo de 105.90 m<sup>3</sup>/s registrado el 07/09/1924. Lo expuesto puede apreciarse en la Figura 93.

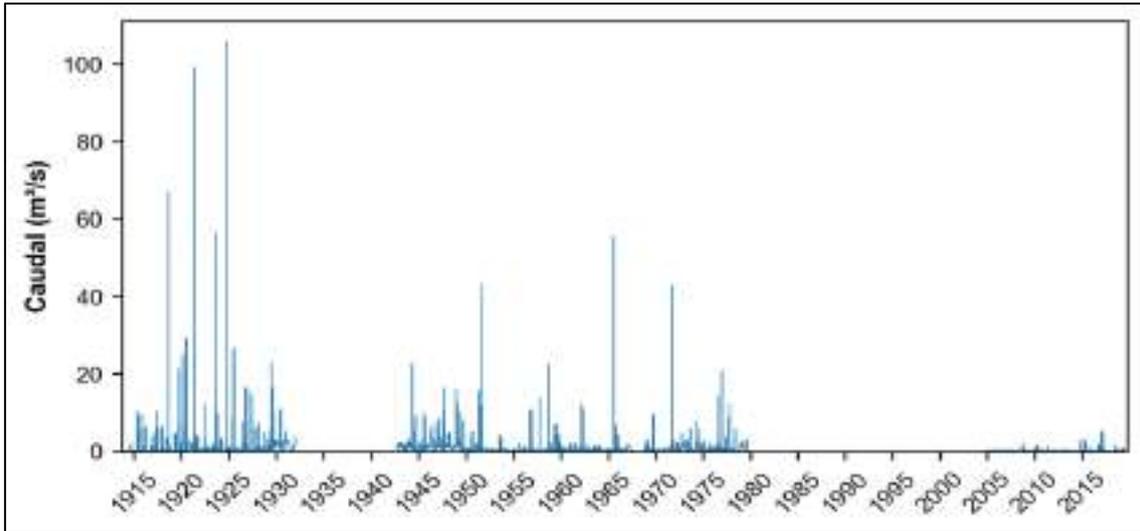


Figura 93. Registro hidrométrico de la estación 8060.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del CEDEX.

En relación al caudal promedio mensual, éste varía entre 0.25 m<sup>3</sup>/s y 0.77 m<sup>3</sup>/s en los meses de julio y febrero, respectivamente, lo cual se muestra en la Figura 94.

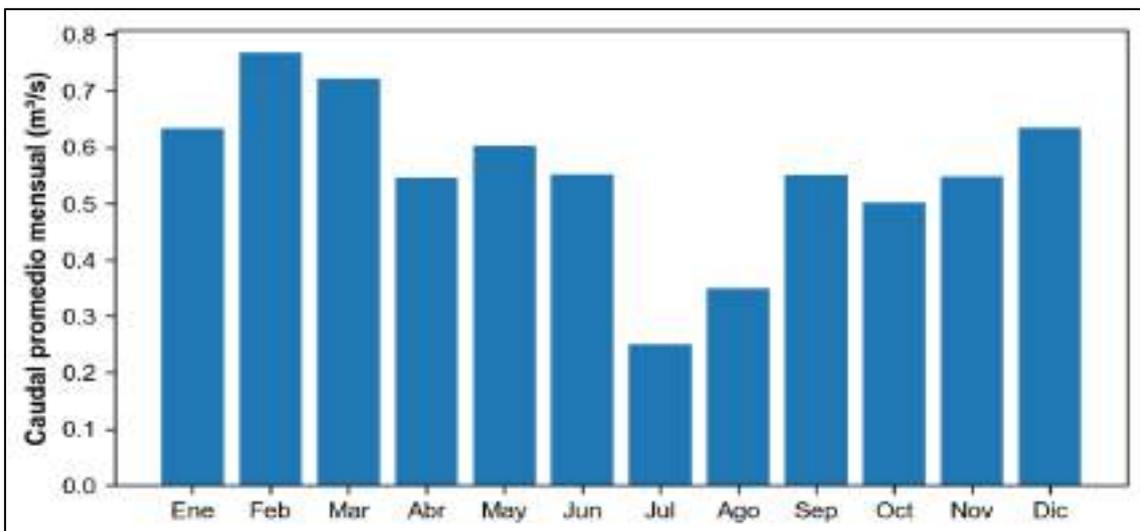


Figura 94. Caudal promedio mensual de la estación 8060.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del CEDEX.

#### 4.5.4. Estación 8112 Río Gabriel en Cofrentes

La estación 8112 posee un registro hidrométrico en el periodo del 01/10/1911 al 30/09/2019, con una media de 16.88 m<sup>3</sup>/s y una desviación estándar de 15.58 m<sup>3</sup>/s, presentado un valor máximo de 800.0 m<sup>3</sup>/s registrado el 30/10/1923. Dicho registro hidrométrico se presenta en la Figura 95.

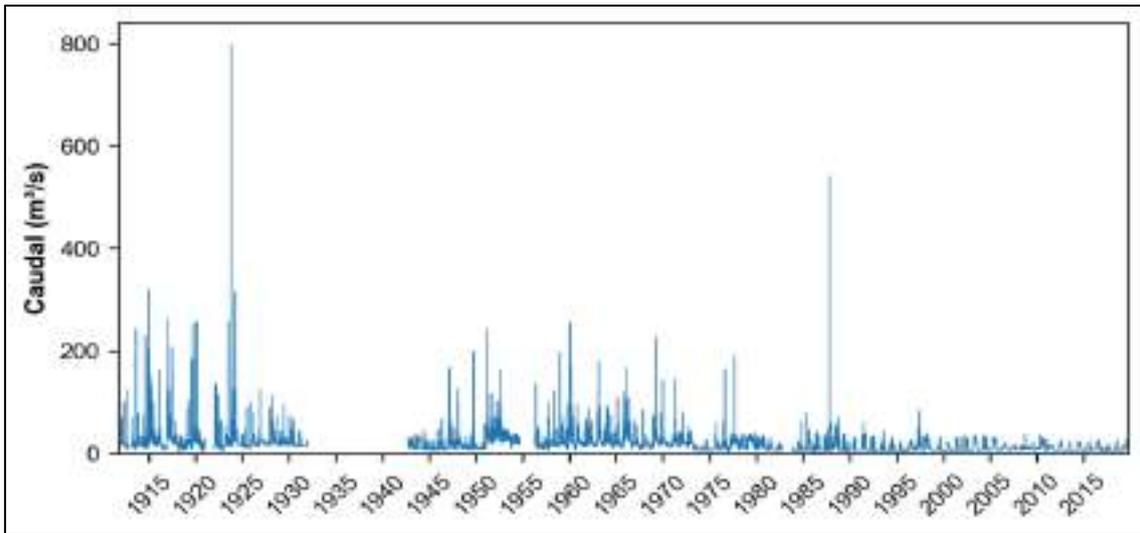


Figura 95. Registro hidrométrico de la estación 8112.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del CEDEX.

En relación al caudal promedio mensual, éste varía entre 13.77 m<sup>3</sup>/s y 19.56 m<sup>3</sup>/s en los meses de octubre y mayo, respectivamente. Asimismo, su distribución se muestra en la Figura 96.

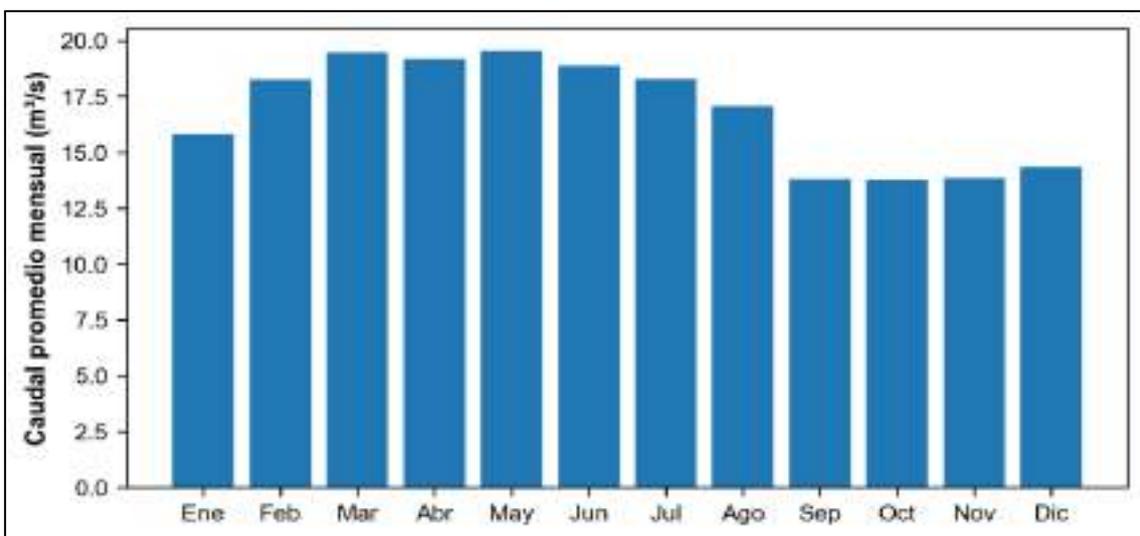


Figura 96. Caudal promedio mensual de la estación 8112.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del CEDEX.

# 5. Riego

## 5.1. Principales cultivos y área de riego

En relación a las zonas de riego presentes en el área de los acuíferos Requena-Utiel y Cabrillas-Malacara, se identificaron los principales cultivos bajo riego mediante el uso del Sistema de Información Geográfica de Parcelas Agrícolas (SIGPAC) 2022. En la Tabla 20 se observan los 5 cultivos principales presentes en dicha área, de los cuales la vid y el almendro ocupan el 95.1% del área regada, por lo que se considerarán solo estos dos cultivos para la modelación hidrológica.

Tabla 20. Principales cultivos bajo riego en el área de los acuíferos Requena-Utiel y Cabrillas-Malacara según el SIGPAC

Cultivo	Área bajo riego (ha)	Porcentaje (%)
Vid	5726.7	79.9
Almendros	1090.2	15.2
Cebada	102.9	1.4
Olivar	88.5	1.2
Nogal	35.8	0.5
Otros	127.0	1.8
Total	7171.1	100.0

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del SIGPAC.

Por otra parte, si bien las áreas registradas que se encuentran bajo riego de la vid y el almendro son las mostradas en la Tabla 20, en el IIAMA se tiene conocimiento que el valor real de dichas áreas es mayor y se estima que están alrededor del 60% y 30% del área total de la vid y el almendro, respectivamente, entendiéndose como área total como la suma de la de secano y regadío.

Cabe indicar que la selección de los píxeles que habrán de representar los porcentajes en cuestión se realizó considerando aquellos que englobaban las

parcelas registradas bajo riego y mediante una selección aleatoria de píxeles que abarcaban parcelas de secano.

En ese sentido, en la Tabla 21 se presentan las áreas de riego estimadas para los cultivos en mención, mientras que en la Figura 97 se presentan las áreas registradas por el SIGPAC 2022 para ambos cultivos, y en la Figura 98 y la Figura 99 se muestran las áreas de riego de los cultivos en mención contemplados para CLC 2012 y 2018, correspondientemente, considerando el criterio del IIAMA.

Tabla 21. Área bajo riego estimada de la vid y el almendro en la zona de los acuíferos Requena-Utiel y Cabillas-Malacara

Cultivo	Área total SIGPAC 2022 (ha)	Área bajo riego estimada (ha)
Vid	23632.1	14179.3
Almendros	9539.1	2861.7

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del SIGPAC y el IIAMA.

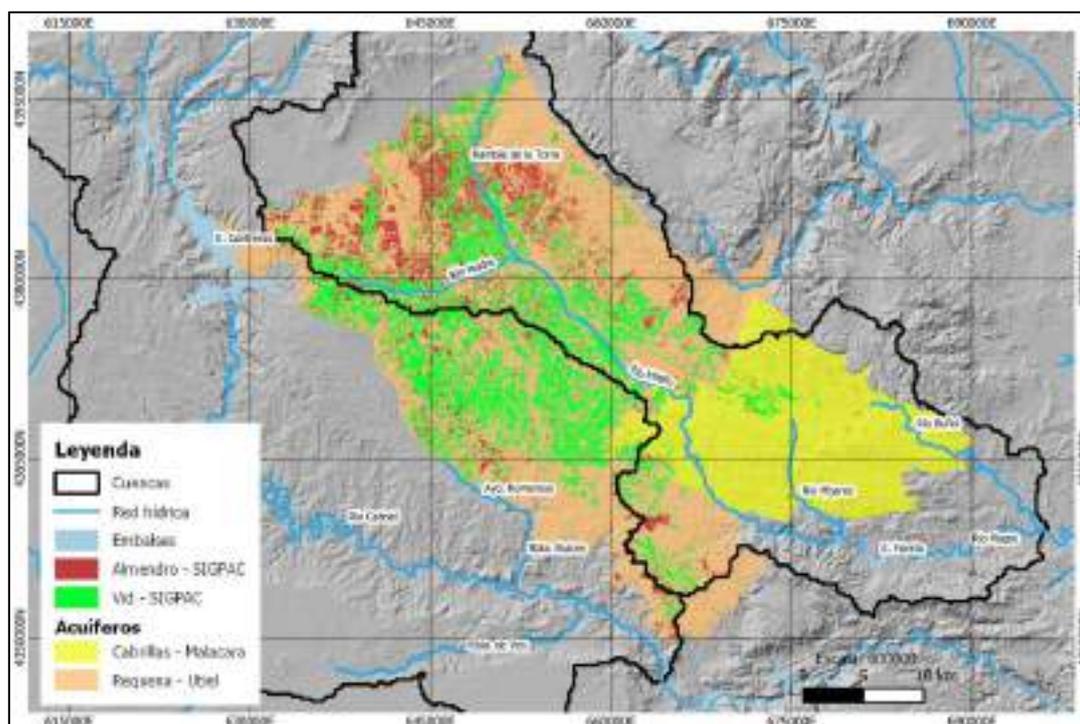


Figura 97. Áreas de cultivos de vid y almendro según el SIGPAC.

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del SIGPAC y el IIAMA.

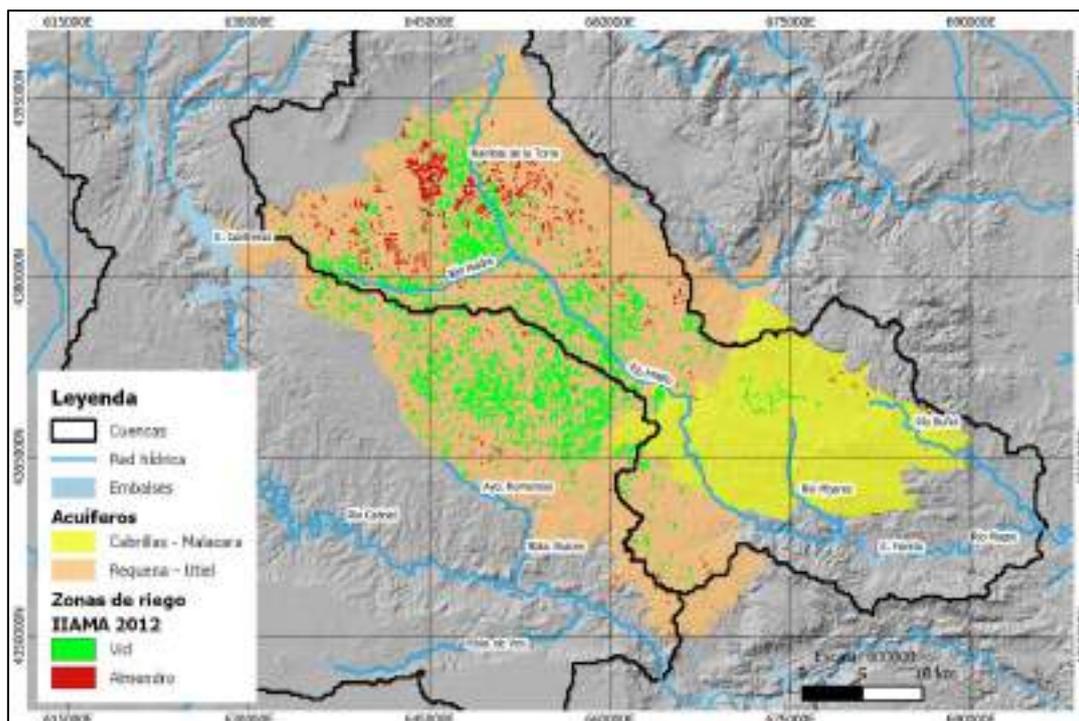


Figura 98. Selección aleatoria del 60% y 30% de las áreas de los cultivos de vid y almendro asociado a CLC 2012.

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del SIGPAC y el IIAMA.

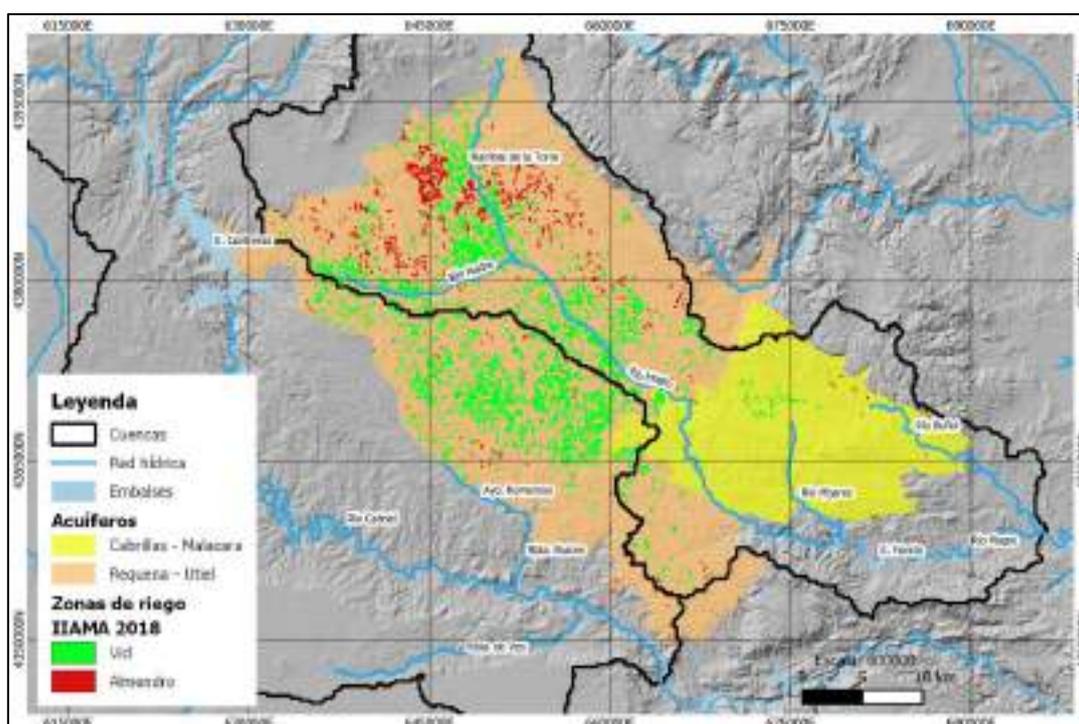


Figura 99. Selección aleatoria del 60% y 30% de las áreas de los cultivos de vid y almendro asociado a CLC 2018.

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del SIGPAC y el IIAMA.

En relación al área de regadío modelada, dado que para ambos cultivos se aplica riego por goteo, es importante notar que no toda el área ocupada por estos cultivos se encuentra bajo riego, solo el área mojada. Por ello, tomando como referencia a Maldonado (2020) y Biosca (2022), se consideró un área mojada del 30% y 25% para la vid y el almendro, respectivamente.

Dado que el modelo hidrológico tiene una resolución de 200 m, el área bajo riego modelada difiere ligeramente respecto al área bajo riego mojada. Los valores de dichas áreas se presentan en la Tabla 22. Es importante indicar que la selección de los píxeles que representarán el área bajo riego modelada se realizó de manera aleatoria. Los mapas de riego definitivos se pueden apreciar en la Figura 100 y la Figura 101 asociados a CLC 2012 y 2018, respectivamente.

Tabla 22. Área bajo riego mojada y modelada de la vid y el almendro en la zona de los acuíferos Requena-Utiel y Cabrillas-Malacara

Cultivo	Área bajo riego estimada (ha)	Área bajo riego mojada (ha)	Área bajo riego modelada (ha)
Vid	14179.3	4253.8	4252.0
Almendros	2861.7	715.4	716.0

Fuente: Elaboración propia.

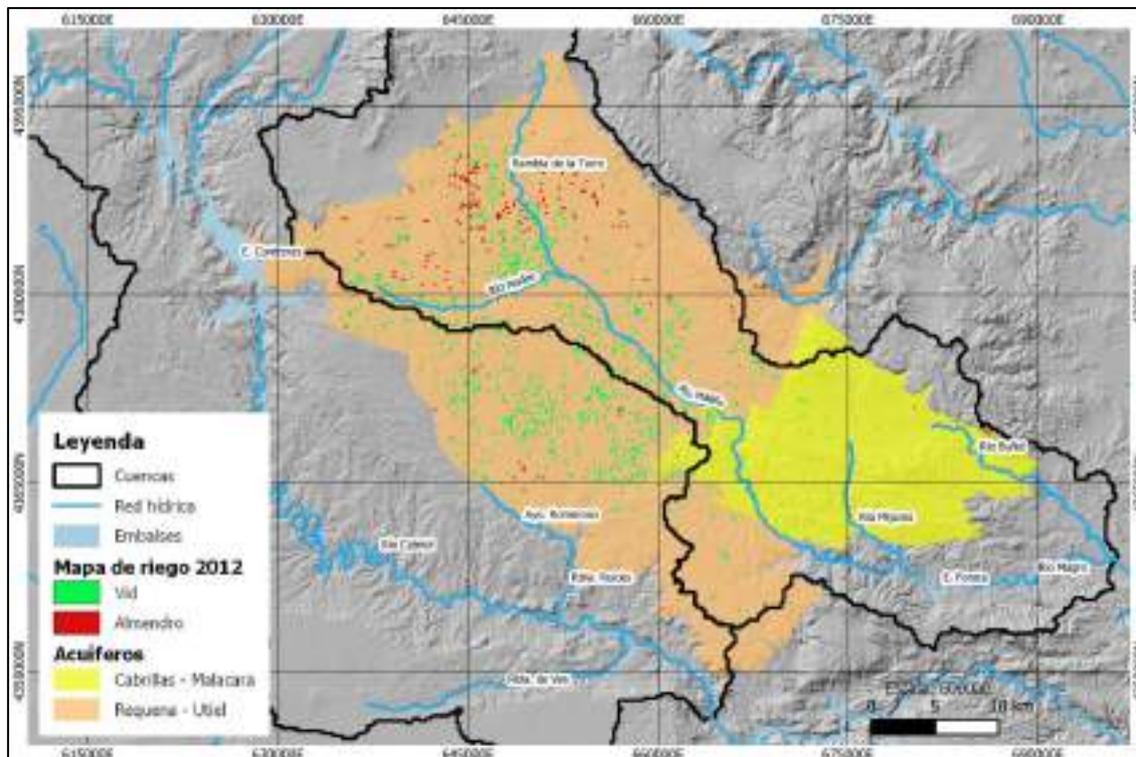


Figura 100. Mapa de riego asociado a CLC 2012.

Fuente: Elaboración propia.

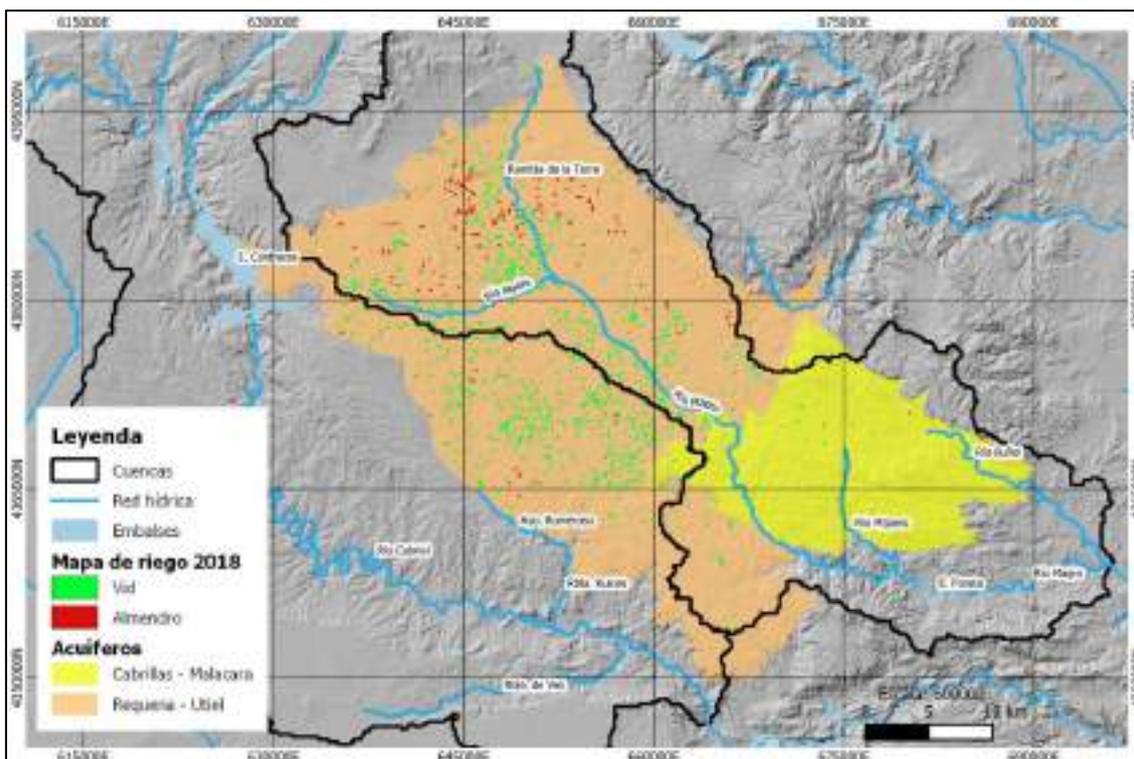


Figura 101. Mapa de riego asociado a CLC 2018

Fuente: Elaboración propia.

## 5.2. Necesidades hídricas

En relación a las necesidades hídricas y la frecuencia de riego de los cultivos considerados, se contó con información proporcionada por el IIAMA. Asimismo, se consideraron también los Informes de Seguimiento del Plan de Explotación de la Masa de Agua Subterránea 080.133 Requena-Utiel, en los cuales se encuentran las dotaciones brutas para cultivos como la vid y el almendro, las cuales se detallan en la Tabla 23.

Tabla 23. Dotación bruta establecida según los Informes de Seguimiento del Plan de Explotación de la Masa de Agua Subterránea 080.133 Requena-Utiel

Año hidrológico	Dotación bruta (m <sup>3</sup> /ha/año)
2016/2017	450
2017/2018	900
2018/2019	600
2019/2020	450
2020/2021	450
2021/2022	600
2022/2023	900

Fuente: (Plan de Explotación Masas Subterráneas, s/f).

Tabla 24. Umbrales de lluvia y dotaciones máximas aplicables según los Informes de Seguimiento del Plan de Explotación de la Masa de Agua Subterránea 080.133

Requena-Utiel

Precipitación acumulada entre diciembre y marzo (mm)	Precipitación en abril (mm)	Tipo de año y dotación máxima (m <sup>3</sup> /ha/año)
P ≤ 100 mm	P ≤ 30 mm	Año seco (900 m <sup>3</sup> /ha/año)
	30 < P ≤ 50 mm	Año seco (900 m <sup>3</sup> /ha/año)
	P > 50 mm	Año normal (600 m <sup>3</sup> /ha/año)
P > 100 mm	P ≤ 30 mm	Año seco (900 m <sup>3</sup> /ha/año)
	30 < P ≤ 50 mm	Año normal (600 m <sup>3</sup> /ha/año)
	P > 50 mm	Año húmedo (450 m <sup>3</sup> /ha/año)

Fuente: Seguimiento del Plan de Explotación de la Masa de Agua Subterránea 080.133 Requena-Utiel (Confederación Hidrográfica del Júcar, 2021)

Según se muestra en la Tabla 23, la dotación bruta varía año tras año, lo cual se explica a partir de lo expuesto en la Fuente: (Plan de Explotación Masas Subterráneas, s/f).

Tabla 24, en la que se presenta cómo se clasifica el año hidrológico en función de la precipitación acumulada entre diciembre y marzo, así como de la precipitación en abril. Sin embargo, no está dentro de las capacidades de TETIS el variar la dotación de riego, por lo que se asumió una dotación anual constante de 600 m<sup>3</sup>/ha/año durante el periodo de calibración y validación del modelo, así como en las simulaciones realizadas para escenarios de cambio climático.

En ese sentido, considerando una dotación anual de 60 mm, en la Figura 102 se presenta la distribución mensual de la necesidad de riego para la vid y el almendro. Como se puede apreciar, para la vid, el riego se inicia en mayo con 3.1 mm, incrementándose progresivamente hasta llegar a su máximo en agosto con 23.3 mm. Luego, desciende a 10.8 mm en septiembre, mes en el que finaliza el riego para el cultivo en cuestión. En relación al almendro, su riego inicia en abril con 0.9 mm y se incrementa hasta llegar a 15.9 mm en agosto, para luego descender paulatinamente hasta 2.5 mm en octubre, último mes en el año en el que se riega dicho cultivo.

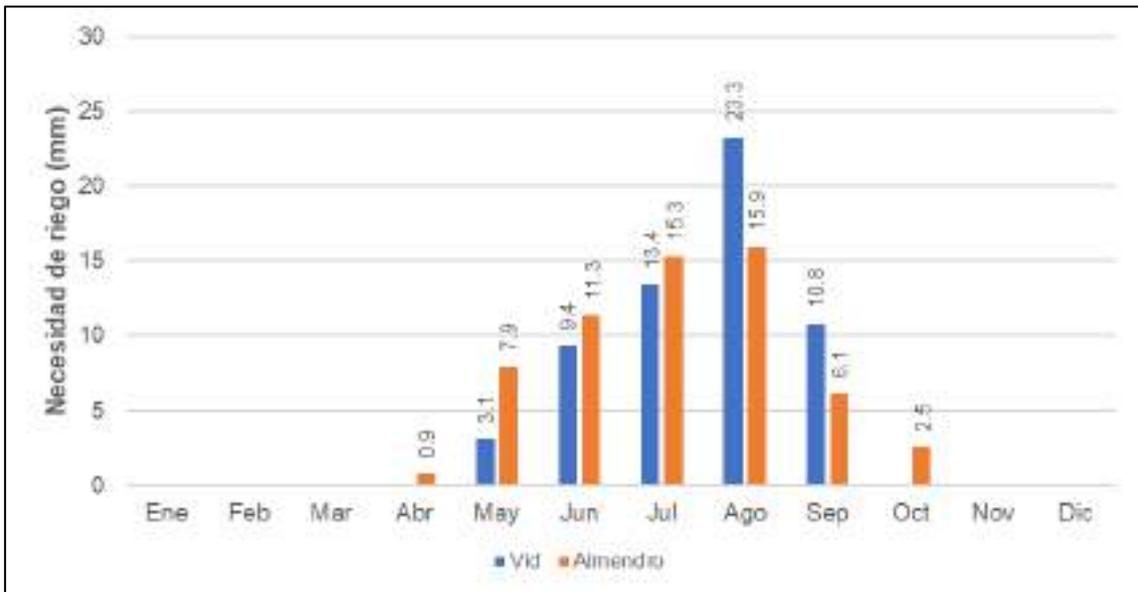


Figura 102. Necesidad de riego de la vid y el almendro en Requena.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IIAMA.

Respecto a la frecuencia de riego, para la vid, se puede observar que en mayo el periodo de riego es cada 15 días, para luego disminuir paulatinamente de junio a agosto, mes en el que llega a una frecuencia de 2 días. En septiembre, el periodo de riego crece a 5 días. En lo concerniente al almendro, su periodo de riego es cada 6 días en abril, luego de mayo a septiembre se intensifica siendo diario, y termina en octubre con una frecuencia de 2 días. Lo descrito se muestra en la Figura 103.

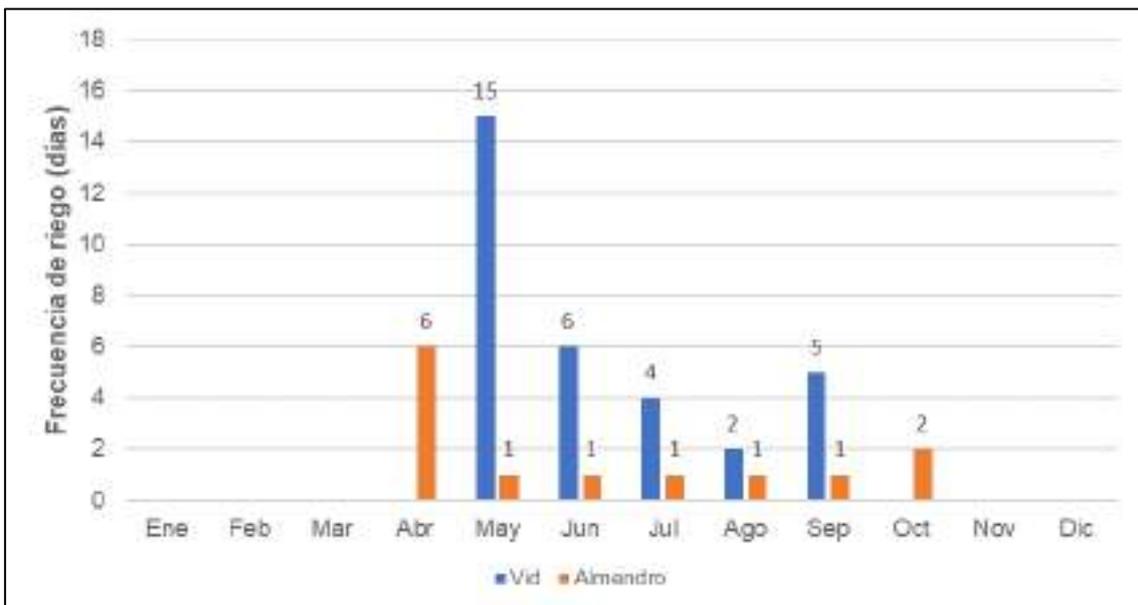


Figura 103. Frecuencia de riego de la vid y el almendro en Requena.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IIAMA.

### 5.3. Artefacto de kc para riego por goteo

En la cuenca de Forata, los principales cultivos bajo riego por goteo son la vid y el almendro. Considerando que la vid y el almendro tienen un porcentaje de área mojada del 30% y 25%, respectivamente, se llevó a cabo el cálculo del  $k_{\text{Chúmedo}}$ , para lo cual se empleó la siguiente fórmula (Pool *et al.*, 2021):

$$\lambda = \lambda_{\text{wet}} \times \delta_{\text{wet}} + \lambda_{\text{dry}} \times (1 - \delta_{\text{wet}})$$

Donde  $\lambda$  es el kc del cultivo;  $\lambda_{\text{wet}}$ , el kc del área mojada;  $\delta_{\text{wet}}$ , el porcentaje de área mojada; y  $\lambda_{\text{dry}}$ , el kc del área seca. Cabe indicar que el valor de  $\lambda_{\text{dry}}$  se asumió igual a 0.15.

Tabla 25. Cálculo de  $\lambda_{\text{wet}}$  para vid y almendro

Mes	Vid		Almendro	
	$\lambda$	$\lambda_{\text{wet}}$	$\lambda$	$\lambda_{\text{wet}}$
Ene	0.15	0.15	0.15	0.15
Feb	0.15	0.15	0.15	0.15
Mar	0.15	0.15	0.15	0.15
Abr	0.15	0.15	0.15	0.15
May	0.15	0.15	0.16	0.19
Jun	0.15	0.15	0.18	0.28
Jul	0.20	0.31	0.24	0.50
Ago	0.40	0.98	0.30	0.73
Sep	0.32	0.72	0.21	0.37
Oct	0.20	0.31	0.18	0.28
Nov	0.15	0.15	0.15	0.15
Dic	0.15	0.15	0.15	0.15

Fuente: Elaboración propia.

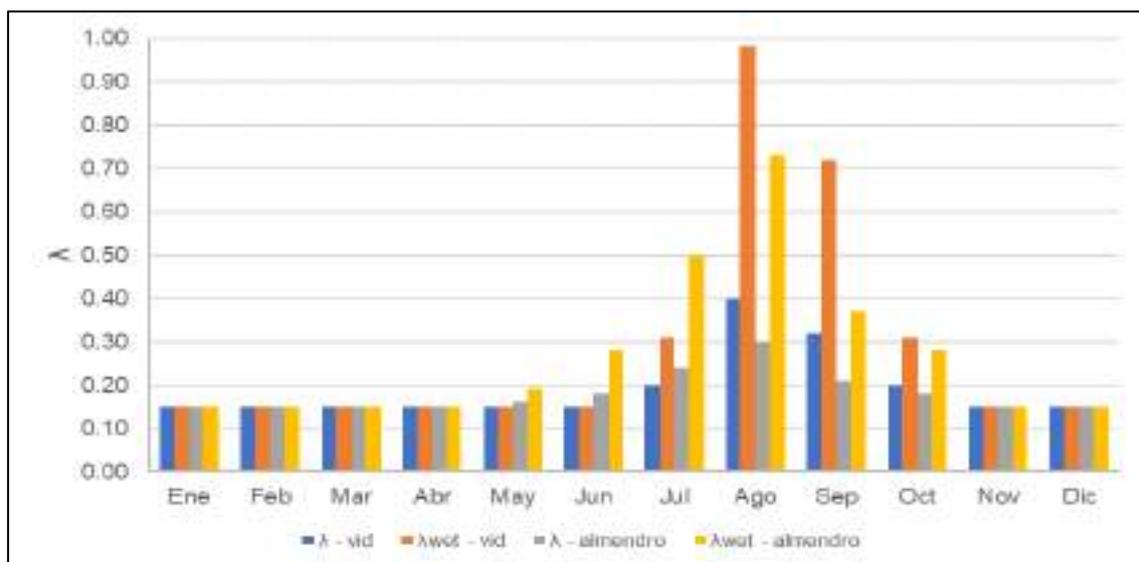


Figura 104.  $\lambda$  y  $\lambda_{\text{wet}}$  para vid y almendro.

Fuente: Elaboración propia.

## 6. Resultados

### 6.1. Calibración

Se llevaron a cabo distintas pruebas de calibración, entre las cuales se encuentran:

- a) Calibración empleando la serie temporal de caudales naturalizados en Forata.
- b) Calibración del modelo hidrológico mediante el empleo de la serie temporal de caudales procedentes solo de la escorrentía superficial calculados mediante el método Lyne.
- c) Calibración del modelo hidrológico sin y con la incorporación de la conceptualización de la concentración del área de regadío en relación al porcentaje de área mojada.
- d) Calibración de los caudales iguales o superiores a  $1 \text{ m}^3/\text{s}$  de las series temporales mencionadas en los dos primeros puntos y en los dos modelos mencionados en el tercer punto mediante Nash por rangos.

Para la calibración de un modelo hidrológico, TETIS contempla 9 factores correctores más 4 parámetros de fusión de nieve. Sin embargo, para el presente estudio se ha optado por no calibrar el FC-4 y FC-9 correspondientes a escorrentía directa y velocidad en red fluvial, dado que el FC-4 tiene una influencia poco significativa en la calibración del modelo y ya que el FC-9 está en relación al mapa de velocidad en ladera, el cual se asumirá como correcto. En ese sentido, ambos factores adoptarán su valor por defecto igual a 1. En relación a los parámetros de fusión de nieve, se asumirá un valor de 0.00065, es

decir, el valor por defecto, para el coeficiente de interpolación de temperatura con la altura, mientras que los parámetros restantes serán calibrados.

Adicionalmente, TETIS también contempla parámetros adicionales como el exponente de infiltración al tanque estático, la capacidad máxima del tanque gravitacional y el coeficiente del efecto orográfico de la lluvia, respecto a los cuales se ha optado por no calibrarlos en el presente estudio, debido a que, en el caso del coeficiente del efecto orográfico de la lluvia, se comprobó que la lluvia empleada de ERA5 acumulada entre las 0 y 24 h no presentaba diferencias significativas con la lluvia observada por AEMET. En relación a los dos parámetros adicionales restantes, no se calibraron ya que con solo el uso de los factores correctores y parámetros de fusión de nieve contemplados se obtuvieron resultados satisfactorios, como se explicará más adelante.

Es importante indicar que, para la calibración de caudales calculados mediante el método Lyne, dado que estos caudales representan la escorrentía superficial, los valores de los factores correctores de flujo base y flujo subterráneo profundo se asumieron como 0 y 1000000, respectivamente, ya que calibrar la escorrentía superficial implica hacer nula la influencia del flujo base en el caudal simulado, lo cual a su vez implica que el agua que percola tampoco sea participe en el valor del caudal simulado, por lo que, a efectos de hacer posible ello, se le asignó un valor de gran magnitud al flujo subterráneo profundo.

### **6.1.1. Factores correctores**

En la Tabla 26 y la Tabla 28 se pueden apreciar los valores de los factores correctores y los parámetros de fusión de nieve obtenidos para cada uno de los distintos modelos y métodos empleados en el proceso de calibración. Asimismo, en la Tabla 27 y Tabla 29 se muestran los valores de los índices de eficiencia obtenidos para cada uno de los modelos. Se observa que los valores más altos de índice de Nash se obtienen para las calibraciones realizadas para la serie de caudales naturalizados.

Tabla 26. Calibración del modelo hidrológico empleando el índice de Nash

Factores correctores calibrados	Con concentración del área de regadío		Sin concentración del área de regadío	
	Caudales naturalizados en Forata	Escorrentía superficial - método Lyne	Caudales naturalizados en Forata	Escorrentía superficial - método Lyne
FC-1 (Hu)	1.1400	1.2641	1.1400	1.2734
FC-2 (ET)	1.5345	1.3049	1.5395	1.3455
FC-3 (Inf.)	0.2075	0.5498	0.1975	0.5049
FC-5 (Perc.)	0.1013	0.1034	0.0951	0.0589
FC-6 (Interf.)	620	9.0562	340	2.0585
FC-7 (Fl. Sub. Prof.)	0.0615	1000000	0.0615	1000000
FC-8 (Fl. Base)	1059.9986877	0	254.9987	0
Coef. Fusión de nieve (mm/°C día)	1.2787	0.0039	1.2977	0.6144
Coef. Fusión de nieve por lluvia (mm/°C día)	1.8004	0.1023	2.6274	0.2798
Temp. Base para la fusión de nieve (°C)	1.4539	2.9549	1.4531	2.9569

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 27. Valores de los índices de eficiencia empleados

Factores correctores calibrados	Con concentración del área de regadío		Sin concentración del área de regadío	
	Caudales naturalizados en Forata	Escorrentía superficial - método Lyne	Caudales naturalizados en Forata	Escorrentía superficial - método Lyne
Índice de Nash	0.6399	0.4685	0.6365	0.4630
Error en Volumen (%)	1.354	-7.507	6.754	33.847
Índice RSR	0.6001	0.7290	0.6029	0.7328

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 28. Calibración del modelo hidrológico empleando el índice de Nash por rangos

Factores correctores calibrados	Con concentración del área de regadío		Sin concentración del área de regadío	
	Caudales naturalizados en Forata	Escorrentía superficial - método Lyne	Caudales naturalizados en Forata	Escorrentía superficial - método Lyne
FC-1 (Hu)	1.2473	1.3321	1.1806	1.3326
FC-2 (ET)	1.5546	1.4035	1.7739	1.4025
FC-3 (Inf.)	0.1011	0.1103	0.0942	0.1103
FC-5 (Perc.)	0.0518	0.1157	0.0524	0.1157
FC-6 (Interf.)	0.0120	0	0.0120	0
FC-7 (Fl. Sub. Prof.)	0.0011	1000000	0.0011	1000000
FC-8 (Fl. Base)	368.0234	0	368.0234	0
Coef. Fusión de nieve (mm/°C día)	0.8915	0.4040	0.8915	0.3529
Coef. Fusión de nieve por lluvia (mm/°C día)	3.6089	0.8286	3.6089	0.8350
Temp. Base para la fusión de nieve (°C)	1.4357	2.7463	1.4357	2.7447

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 29. Valores de los índices de eficiencia empleados para Nash por rangos

Factores correctores calibrados	Con concentración del área de regadío		Sin concentración del área de regadío	
	Caudales naturalizados en Forata	Escorrentía superficial - método Lyne	Caudales naturalizados en Forata	Escorrentía superficial - método Lyne
Nash 1	-3.9135	-6.9668	-3.7192	-6.9742
Nash 2	-4.7387	-11.5812	-4.4735	-11.6171
Nash 3	0.4543	0.0763	0.4806	0.0763
Nash Total	-0.0444	-0.9741	0.0040	-0.9769

Fuente: Elaboración propia.

En base a los resultados obtenidos, se optó por utilizar el modelo hidrológico calibrado con la serie de caudales naturalizados en Forata y con la concentración de las áreas de regadío. En esta calibración, se observa que para el FC-1 se tiene un valor de 1.14 que está relacionado con el mapa de almacenamiento estático. El valor recomendado para el factor corrector en cuestión es 1, es decir, la estimación de los valores empleados para almacenamiento estático ha sido adecuada. En relación al FC-2, el valor obtenido fue de 1.5345, mientras que su valor ideal es de 1, es decir, los valores de evapotranspiración considerados en el modelo hidrológico presentan un error de subestimación, el cual se mitigó mediante el uso del factor en mención.

Respecto al FC-3, éste debería encontrarse alrededor de 0.2 y se obtuvo un valor de 0.2075, por lo que se considera correcta la estimación de parámetros realizada para el mapa de capacidad de infiltración (ks). En lo concerniente al FC-5, su valor recomendado está alrededor de 0.2, pero se obtuvo un valor de 0.1013, por lo que se considera adecuada la estimación de parámetros realizada para el mapa de capacidad de percolación (kp).

El FC-6 debe oscilar entre 0.001 y 5000 y ya que se obtuvo un valor de 620 se considera correcta la estimación de parámetros realizada para el mapa de conductividad hidráulica de interflujo (kss).

Por otra parte, el FC-7 debería tener un valor cercano a 0. Se observa que, para Forata, el valor de dicho factor es de 0.0615.

El FC-8 representa el flujo subterráneo conectado y su valor debe de oscilar en un rango de 0.5 a 50000. En ese sentido, los valores obtenidos se encuentran en dicho rango.

En lo que respecta a los valores de los coeficientes de nieve, es importante indicar que en Forata sus valores calibrados se encuentran dentro de los rangos recomendados, razón por la cual se considera correcta la calibración de estos parámetros.

En la Figura 105 se observa la serie de caudales observados y simulados en Forata para el periodo de calibración del 01/10/2015 al 30/09/2019. Como resultado de la calibración, se ha obtenido un índice de Nash de 0.6399, así como un Error en Volumen de 1.354% y un RSR de 0.6001. Considerando los valores de estos índices, así como lo expuesto por Moriasi *et al.* (2007), y Donigian y Imhoff (2002), se puede afirmar que los resultados son satisfactorios.

Asimismo, en la Figura 105 también se puede apreciar la correspondencia entre la precipitación y el caudal. Los días 18 y 19 de diciembre de 2016 se tienen los caudales observados de 17.94 m<sup>3</sup>/s y 22.23 m<sup>3</sup>/s, los cuales se corresponden con caudales simulados de 16.89 m<sup>3</sup>/s y 23.84 m<sup>3</sup>/s, y precipitaciones de 11.92 mm y 21.38 mm, así como precipitaciones acumuladas desde el día previo de 48.49 mm y 33.30 mm, respectivamente, que se muestran en la Figura 106. Esta correspondencia también se repite para el caudal observado de 14.84 m<sup>3</sup>/s el 13/03/2017, cuyo caudal simulado es de 15.50 m<sup>3</sup>/s con precipitación acumulada del día y desde el día previo de 33.92 mm y 43.98 mm, respectivamente.

Sin embargo, no se aprecia una correspondencia para el caudal observado de 24.97 m<sup>3</sup>/s del día 25/07/2017, cuyo caudal simulado asciende a 0.16 m<sup>3</sup>/s y sus precipitaciones acumuladas del día y desde el día anterior son ambas de 0.13 mm, dado que no se produjo precipitación el día previo. Como se observó en los eventos de caudales picos descritos en el párrafo precedente, la precipitación acumulada desde el día previo debe ser superior a 30 mm para producir caudales superiores a los 15 m<sup>3</sup>/s, en ese sentido, no se cuenta con la precipitación suficiencia para generar el caudal en cuestión. Ello no permite que el modelo hidrológico pueda replicar dicho caudal observado, de lo cual se deduce que la eficiencia del modelo podría ser superior sin la presencia de estos caudales picos erróneos.

También es importante notar la precipitación ocurrida el día 19/04/2019 de 52.90 mm de magnitud, la cual se corresponde con un caudal observado de 2.82 m<sup>3</sup>/s, un caudal simulado 4.54 m<sup>3</sup>/s y una precipitación acumulada desde el día previo de 93.52 mm. La particularidad de este evento de precipitación es su elevada magnitud superior a los 50 mm, pero que produce un caudal inferior a los 5 m<sup>3</sup>/s, a comparación de los caudales picos descritos anteriormente. Esto se explicaría por las bajas precipitaciones presentadas en los meses previos. En enero y febrero 2019 se tienen precipitaciones mensuales de 3.74 y 3.86 mm, respectivamente, mientras que en marzo 2019, la precipitación mensual asciende a 23.52 mm, debido a que en el último día se tuvo una precipitación de 19.94 mm. La diferencia se hace evidente si consideramos los caudales picos registrados en diciembre 2016, en los que los meses previos de septiembre, octubre y noviembre presentaron precipitaciones mensuales de 21.60 mm, 65.06 mm y 96.62 mm, respectivamente, lo cual demuestra la importancia de las condiciones de humedad en las que se debe encontrar la cuenca para la generación de caudales pico.

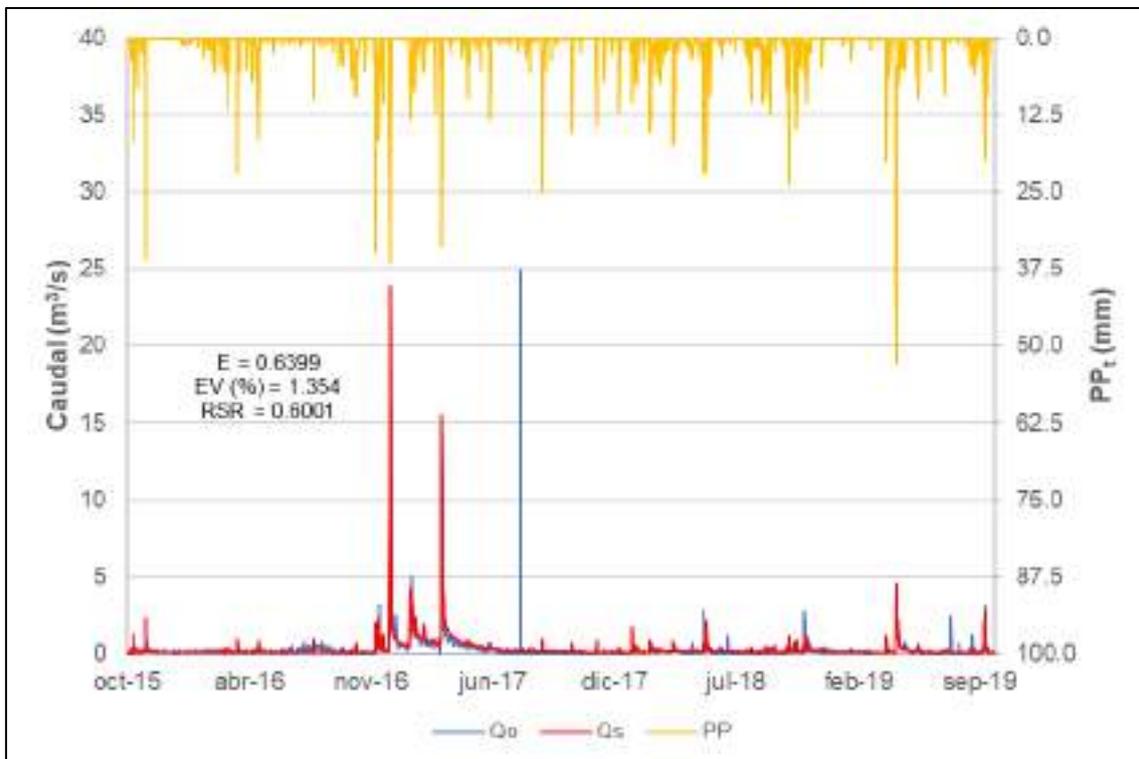


Figura 105. Caudal observado y simulado en Forata en el periodo de calibración.

Fuente: Elaboración propia.

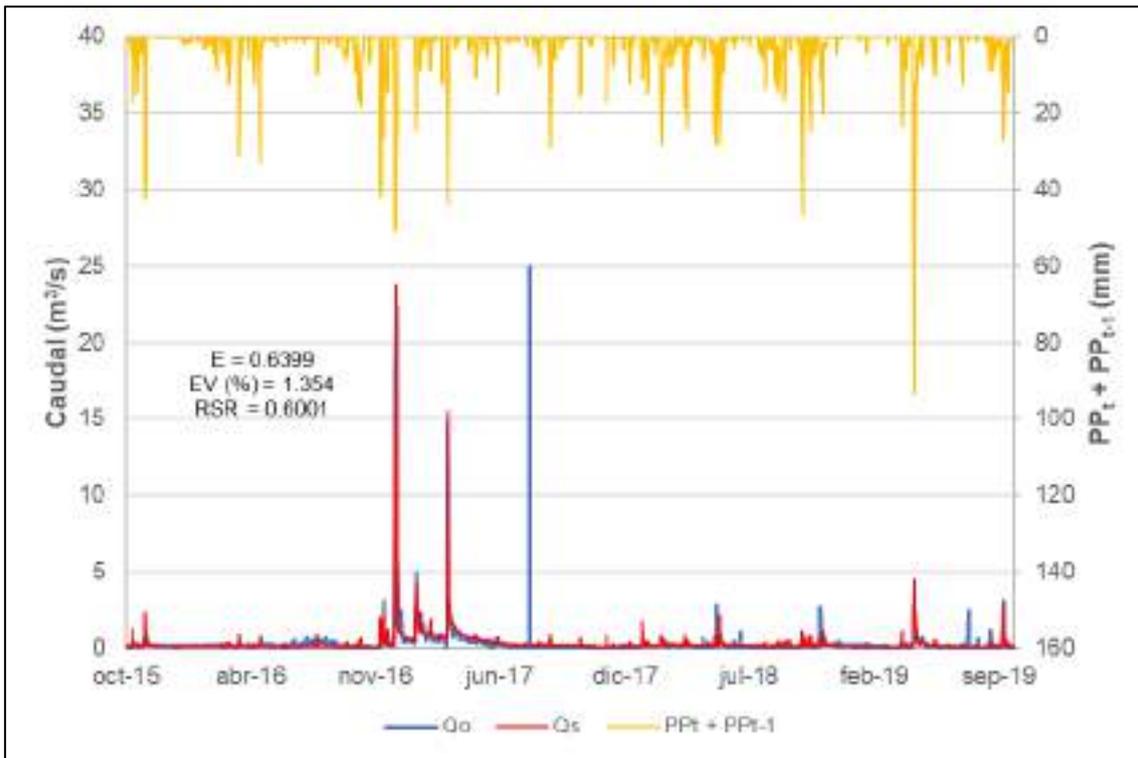


Figura 106. Caudal observado y simulado en Forata en el periodo de calibración considerando la precipitación acumulada desde el día anterior.

Fuente: Elaboración propia.

## 6.2. Validación espacial

Se procedió a realizar una validación espacial en la estación 8060 que se encuentra aguas arriba del embalse Forata. Es importante indicar que en validación espacial se replicaron los factores correctores y coeficientes calibrados en Forata, a excepción del FC-7 y FC-8 los cuales están relacionados con la conductividad hidráulica del acuífero y la capacidad de pérdidas al acuífero profundo, respectivamente, ambos relacionados con la conductividad hidráulica horizontal saturada del substrato (ksa). Ello se debe a que ambos factores están relacionados con la conexión que tiene el acuífero en la cuenca y, dado que el acuífero tiene una mayor conexión aguas abajo que aguas arriba, es necesario emplear distintos valores de ambos factores correctores en los 2 puntos en cuestión.

Asimismo, también se realizó la calibración en la estación 8060, a fin de comparar los valores obtenidos para cada factor corrector y coeficiente calibrado. Los resultados se presentan en la Tabla 30 y Tabla 31.

Tabla 30. Calibración en Forata y la estación 8060

Factores correctores calibrados	Calibración en Forata		Calibración en la estación 8060	
	Forata	8060	Forata	8060
FC-1 (Hu)	1.1400		1.0900	
FC-2 (ET)	1.5345		1.5345	
FC-3 (Inf.)	0.2075		0.2075	
FC-5 (Perc.)	0.1013		0.1013	
FC-6 (Interf.)	620		470	
FC-7 (Fl. Sub. Prof.)	0.0615	0.1545	0.0615	0.1545
FC-8 (Fl. Base)	1059.9987	291.7785	1019.9987	344.4785
Coef. Fusión de nieve (mm/°C día)	1.2787		1.2787	
Coef. Fusión de nieve por lluvia (mm/°C día)	1.8004		0.9004	
Temp. Base para la fusión de nieve (°C)	1.4539		1.2539	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 31. Valores de los índices de eficiencia empleados

Indicadores de eficiencia	Calibración en Forata		Calibración en la estación 8060	
	Forata	8060	Forata	8060
Índice de Nash	0.6399	0.6086	0.6298	0.6111
Error en Volumen (%)	1.354	14.822	5.228	30.271
Índice RSR	0.6001	0.6256	0.6084	0.6236

Fuente: Elaboración propia.

Para comprobar lo mencionado en relación a FC-7 y FC-8, se indica lo siguiente. En lo concerniente a la calibración en la estación 8060, se observan valores similares en los factores correctores y parámetros calibrados en Forata. Sin embargo, en el FC-8 se observa que para la estación 8060 el valor aumenta, en comparación con el obtenido en la calibración en Forata, mientras que el FC-8 correspondiente a Forata disminuye. Ello significa que al calibrarse aguas arriba, si bien se mantiene el hecho que aguas abajo el acuífero tiene una mayor conexión que aguas arriba, se aumenta la conexión en el acuífero en el punto aguas arriba y se la disminuye aguas abajo, en contraste con la calibración realizada en Forata.

El FC-8 representa el flujo subterráneo conectado y su valor debe de oscilar en un rango de 0.5 a 50000. En ese sentido, los valores obtenidos para ambos puntos de aforo se encuentran en dicho rango, siendo el valor de Forata superior, debido a que, como se mencionó previamente, al encontrarse más agua abajo el acuífero se encuentra más conectado, por ende, le corresponde un mayor valor al factor corrector.

Por otra parte, el FC-7 debería tener un valor cercano a 0. Se observa que para Forata y la estación 8060 el valor de dicho factor es de 0.0615 y 0.1545, respectivamente, lo cual se encuentra en congruencia con lo mencionado anteriormente en relación a la mayor conexión del acuífero conforme más agua abajo se encuentre el punto de evaluación. Como se puede ver, el valor de FC-7 para Forata es inferior que el obtenido para la estación 8060, debido a que Forata se encuentra más aguas abajo que la estación 8060, por lo que existe una mayor conexión del acuífero y, por ende, las pérdidas al acuífero profundo son menores, lo cual se refleja en un menor valor del FC-7.

Por la razón expuesta, se optó por emplear la calibración en Forata en los análisis siguientes, dado que el significado que adquieren los factores correctores es más adecuado en la calibración que se realiza más aguas abajo.

Respecto a la validación espacial en la estación 8060, ésta se puede observar en la Figura 107, en la que se aprecia un índice de Nash de 0.6086, un Error en Volumen de 14.822% y un RSR de 0.6256, por lo que a partir de lo expresado

por Moriasi *et al.* (2007), y Donigian y Imhoff (2002), se puede decir que los resultados son satisfactorios.

En relación a la correspondencia entre precipitación y caudal, se observa que para el 19/12/2016 se tiene un caudal observado de 5.30 m<sup>3</sup>/s, sin embargo, el caudal simulado es de 1.97 m<sup>3</sup>/s. Asimismo, la precipitación acumulada del día y desde el día anterior es de 18.08 mm y 25.75 mm, respectivamente. La precipitación acumulada desde el día anterior se muestra en la Figura 108.

Por otra parte, el 13 y 14/03/2017 se tienen caudales observados que ascienden a 4.61 m<sup>3</sup>/s y 4.44 m<sup>3</sup>/s, correspondientemente, mientras que sus caudales simulados tienen un valor de 5.61 m<sup>3</sup>/s y 2.96 m<sup>3</sup>/s, así como la precipitación acumulada del día es 32.07 mm y 0.15 mm, y la acumulada desde el día previo es 40.67 mm y 32.22 mm, respectivamente.

En ese sentido, para producir una escorrentía superior a 5 m<sup>3</sup>/s en la cuenca receptora de la estación 8060 se requiere una precipitación acumulada desde el día anterior de alrededor de 40 mm. Dado que el 19/12/2016 dicha precipitación es 25.75 mm, no es posible replicar el caudal observado de 5.30 m<sup>3</sup>/s.

Asimismo, el 19/04/2019 se aprecia una precipitación acumulada del día y desde el día anterior de 51.34 mm y 94.10 mm, pero con un caudal observado y simulado de 0.92 m<sup>3</sup>/s y 1.59 m<sup>3</sup>/s, respectivamente, lo cual se debe a los meses precedentes con baja precipitación.

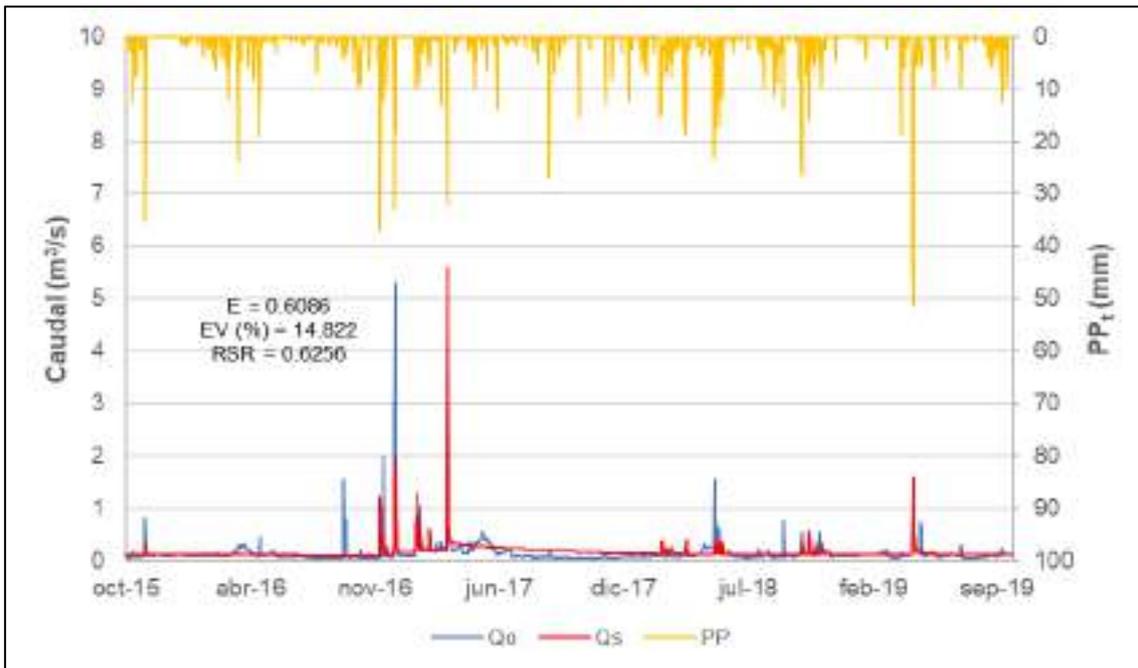


Figura 107. Validación espacial en la estación 8060.

Fuente: Elaboración propia.

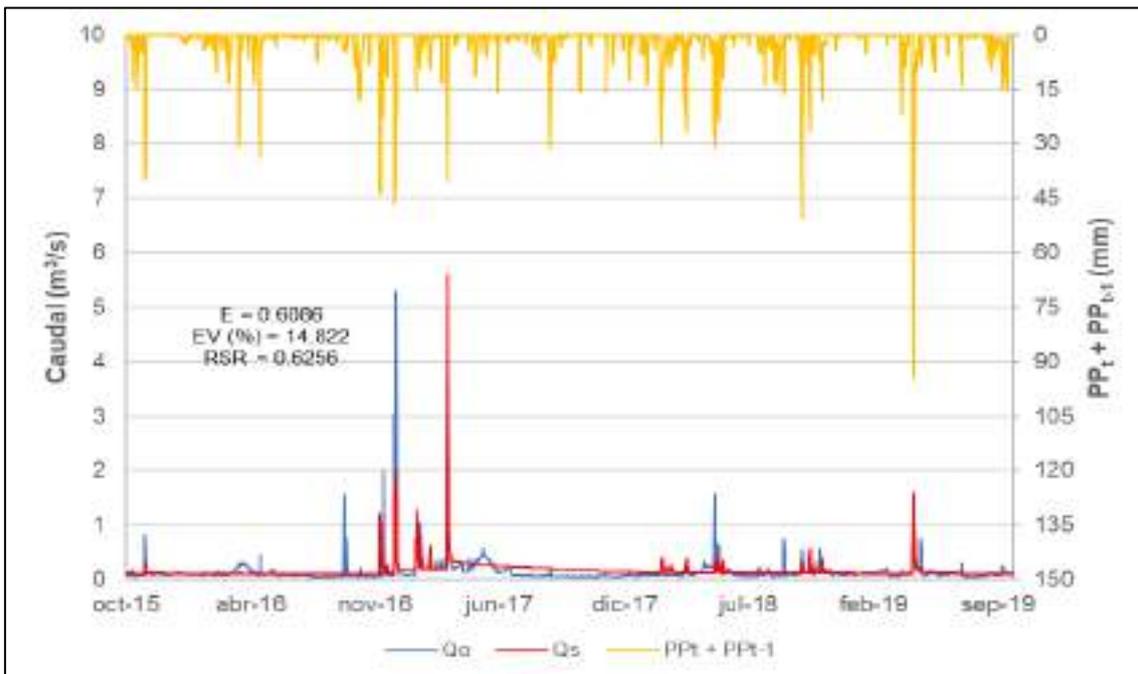


Figura 108. Validación espacial en la estación 8060 considerando la precipitación acumulada desde el día anterior.

Fuente: Elaboración propia.

### 6.3. Validación temporal

En lo concerniente a la validación temporal en Forata, se usó como periodo de validación del 01/10/2010 al 30/09/2015. En la Figura 109 se puede observar el

índice de Nash es -0.0377, el Error en Volumen es 13.761% y el RSR asciende a 1.0187, por lo que tomando como referencia a Moriasi *et al.* (2007), y Donigian y Imhoff (2002), se afirma que los resultados de la validación temporal son insatisfactorios.

En relación al resultado insatisfactorio obtenido en validación temporal, se explica lo siguiente. Se observa que para el 20/03/2012 se tiene un caudal observado de 1.08 m<sup>3</sup>/s y uno simulado de 2.24 m<sup>3</sup>/s que se corresponden con una precipitación acumulada del día y desde el día anterior de 26.47 mm y 26.60 mm, respectivamente. Asimismo, para el 28/09/2012, el caudal observado es de 0.75 m<sup>3</sup>/s y el simulado de 2.23 m<sup>3</sup>/s, mientras que la precipitación acumulada del día y desde el día previo es de 31.56 mm y 33.90 mm, correspondientemente. También se registra que para el 28/02/2013, el caudal observado y simulado ascienden a 1.03 m<sup>3</sup>/s y 6.09 m<sup>3</sup>/s, mientras que la precipitación acumulada del día y desde el día anterior es de 32.28 mm y 33.81 mm, correspondientemente.

Considerando el 20/03/2012, se aprecia que en los meses previos de diciembre, enero y febrero, las precipitaciones mensuales ascienden a 5.06 mm, 25.89 mm y 5.83 mm, respectivamente. Respecto al 28/09/2012, en los meses previos de junio, julio y agosto las precipitaciones mensuales son 17.73 mm, 7.87 mm y 8.43 mm, correspondientemente. Considerando el 28/02/2013, en los meses de noviembre, diciembre y enero, se tienen 58.53 mm, 4.78 mm y 23.27 mm como precipitación mensual, respectivamente.

Retomando los caudales observados mencionados, sus valores son bastante cercanos entre sí (1.08 m<sup>3</sup>/s, 0.75 m<sup>3</sup>/s y 1.03 m<sup>3</sup>/s), pero los valores de sus correspondientes caudales simulados son más del doble (2.24 m<sup>3</sup>/s, 2.23 m<sup>3</sup>/s y 6.09 m<sup>3</sup>/s) y, a su vez, se observa que las precipitaciones acumuladas del día y desde el día anterior se encuentran alrededor de los 25 mm, lo cual estaría indicando que para precipitaciones acumuladas de esta magnitud, el modelo hidrológico produce caudales de magnitudes cercanas a los 2 m<sup>3</sup>/s, si la precipitación acumulada de los 3 meses previos es aproximadamente 35 mm, no siendo ese el caso para el caudal de 6.09 m<sup>3</sup>/s, ya que dicha precipitación

acumulada bordea los 85 mm, por lo que su caudal observado es claramente erróneo.

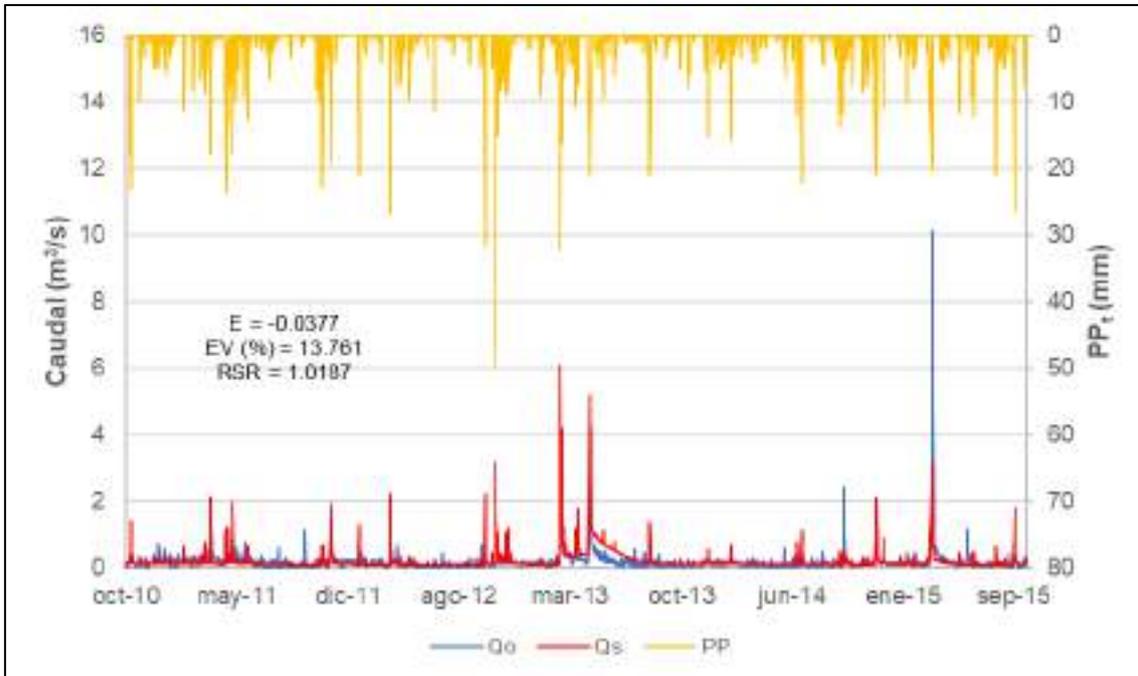


Figura 109. Caudal observado y simulado en Forata en el periodo de validación.

Fuente: Elaboración propia.

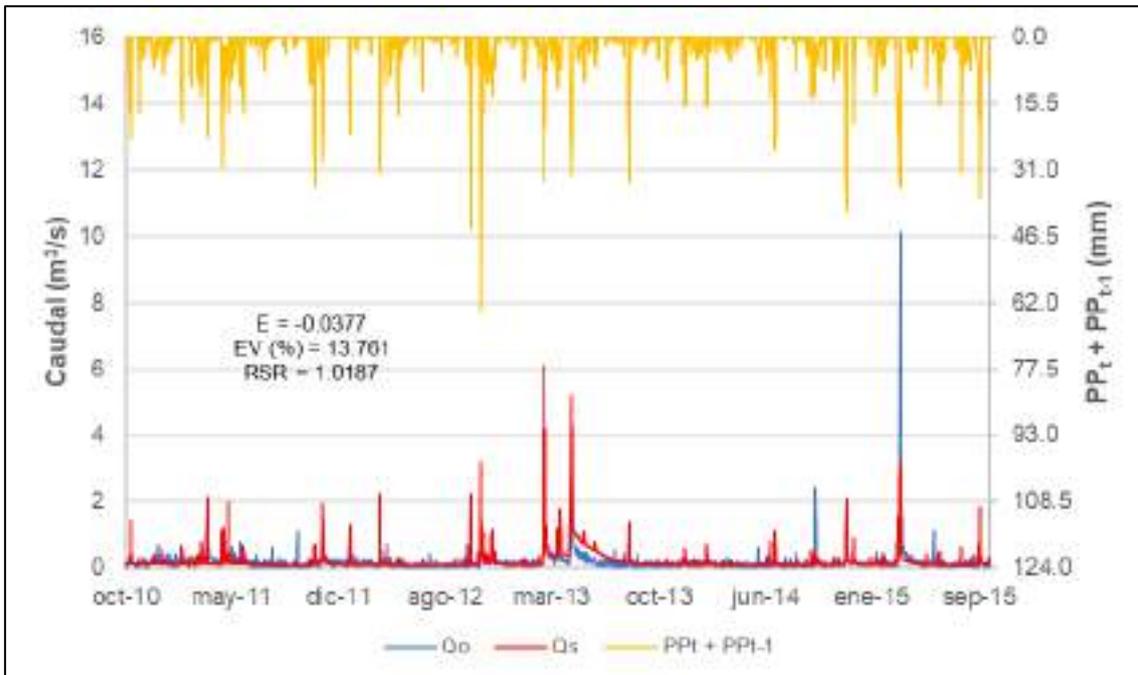


Figura 110. Caudal observado y simulado en Forata en el periodo de validación considerando la precipitación acumulada desde el día anterior.

Fuente: Elaboración propia.

Para explicar mejor los umbrales de precipitación, se partirá de lo obtenido en calibración en Forata. Considerando que los caudales observados de mayor magnitud son aquellos cuyos valores son iguales o superiores a  $1 \text{ m}^3/\text{s}$ , éstos se presentan en la Figura 111 y Figura 112 en las que se aprecian la precipitación acumulada del día y desde el día anterior, respectivamente.

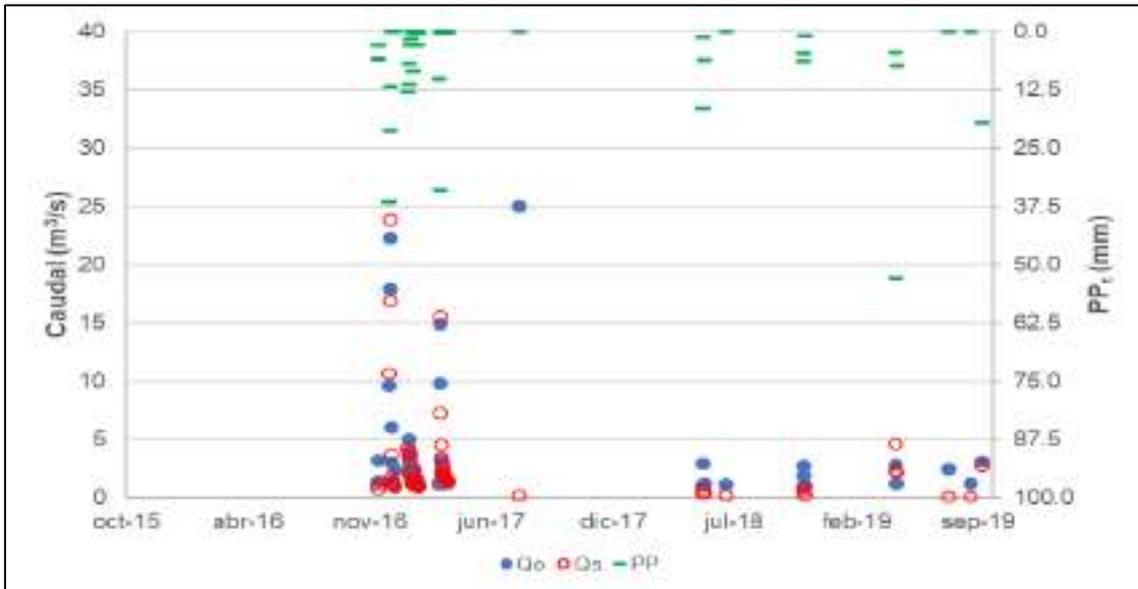


Figura 111. Caudales observados y simulados en Forata iguales o superiores a  $1 \text{ m}^3/\text{s}$  en el periodo de calibración.

Fuente: Elaboración propia.

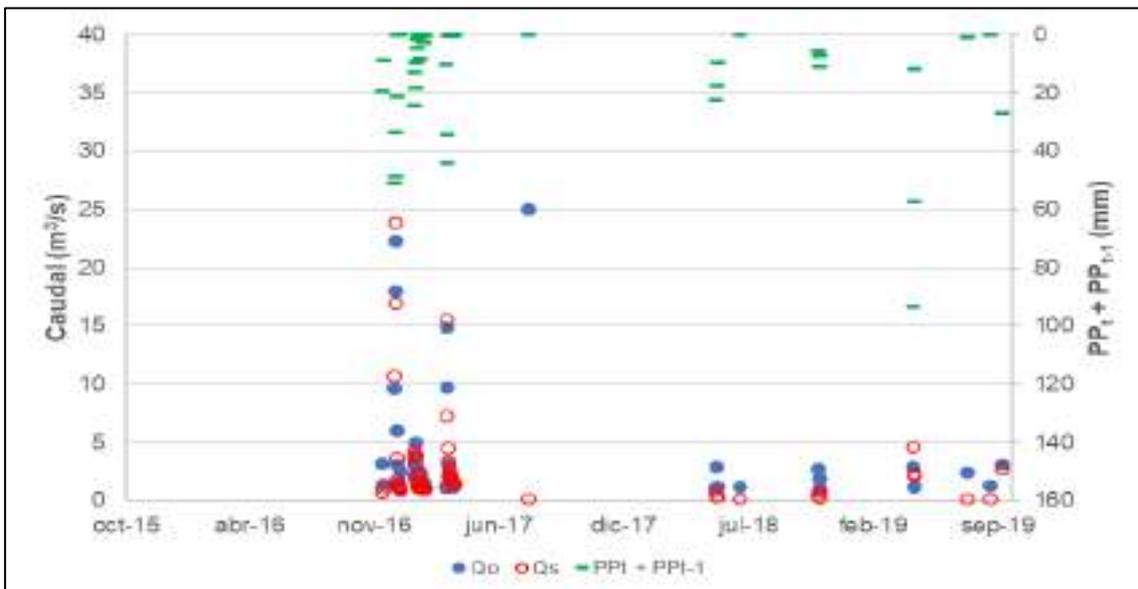


Figura 112. Caudales observados y simulados en Forata iguales o superiores a  $1 \text{ m}^3/\text{s}$  en el periodo de calibración considerando la precipitación acumulada desde el día anterior.

Fuente: Elaboración propia.

Dado que muchos de estos caudales se generan a consecuencia de un evento de precipitación de gran magnitud, en la Figura 113 y la Figura 114 se presentan los caudales superiores a  $1 \text{ m}^3/\text{s}$  producidos al inicio de estos eventos con su respectiva precipitación acumulada durante el día y desde el día previo, correspondientemente.

Como se puede observar, para eventos de precipitación acumulada superiores a los 10 mm, se producen caudales superiores a  $1 \text{ m}^3/\text{s}$ . Se puede apreciar que existen 6 eventos de precipitación por debajo de los 10 mm, los cuales se corresponden con caudales por debajo del  $1 \text{ m}^3/\text{s}$ .

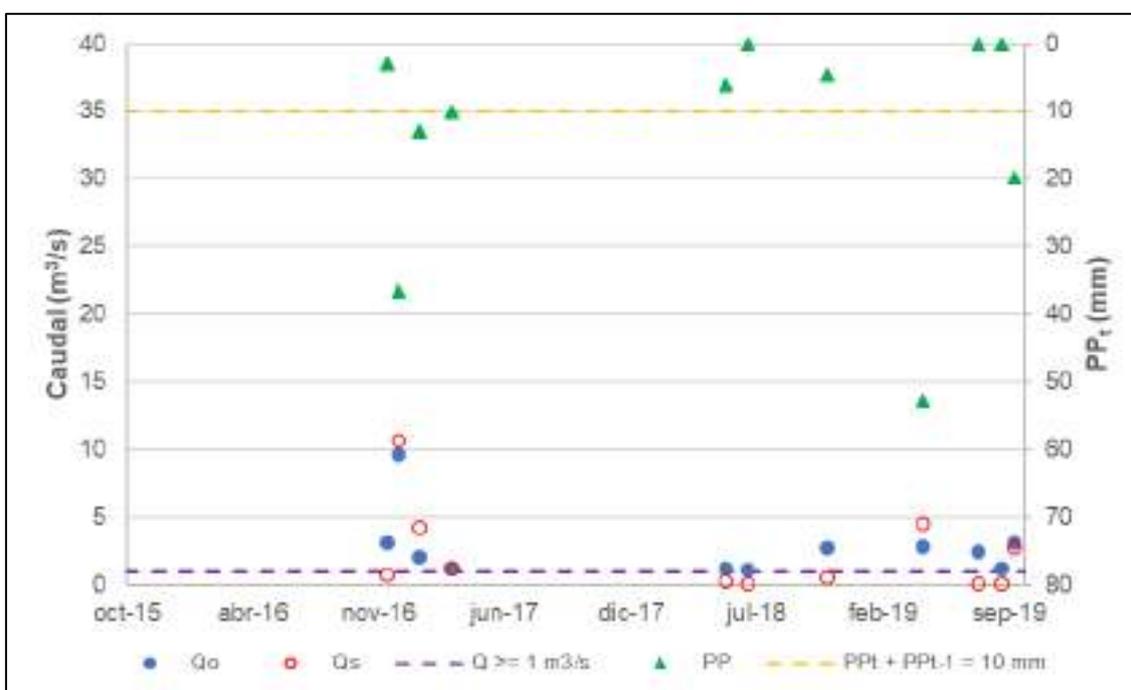


Figura 113. Caudales observados y simulados al inicio de un evento de caudales superiores a  $1 \text{ m}^3/\text{s}$  en Forata en el periodo de calibración.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 114 no se aprecia un umbral de precipitación acumulada claramente definido. Se observa que el evento del 28/11/2016 tiene una precipitación acumulada durante el día y desde el día previo de 2.85 mm y 19.56 mm, respectivamente, sin embargo, el caudal simulado es de  $0.71 \text{ m}^3/\text{s}$ , lo cual indica que el día previo tuvo una precipitación de 16.71 mm, por lo que el caudal simulado fue superior al  $1 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $2.21 \text{ m}^3/\text{s}$ ), pero el caudal observado es de  $0.35 \text{ m}^3/\text{s}$ .

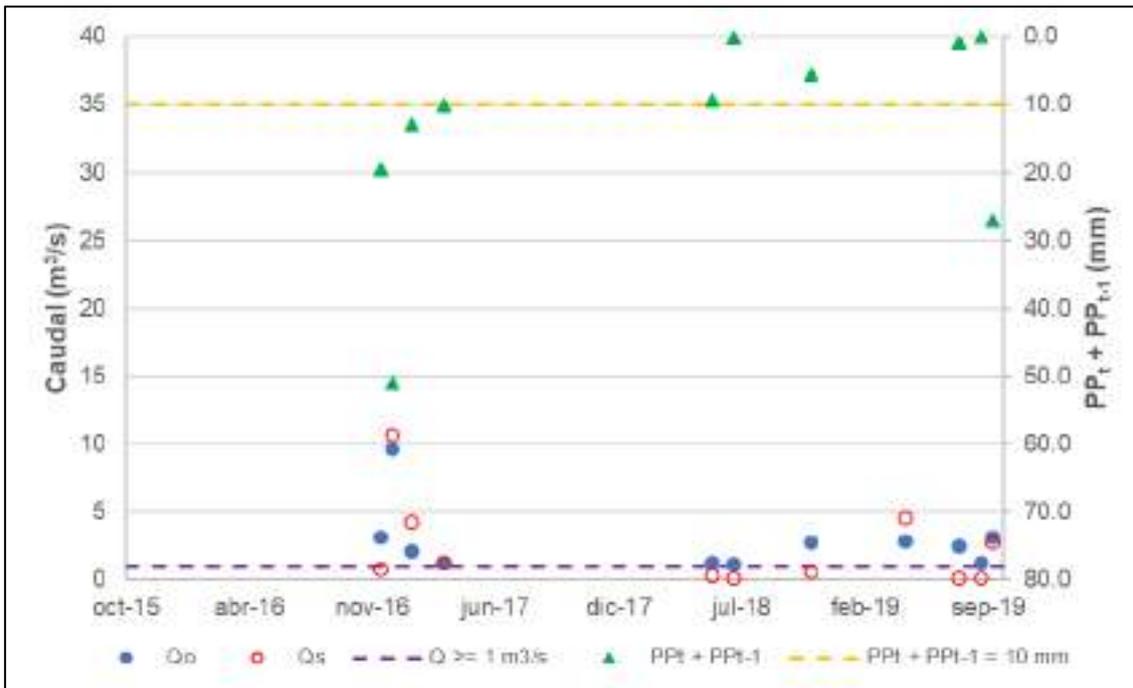


Figura 114. Caudales observados y simulados al inicio de un evento de caudales superiores a 1 m<sup>3</sup>/s en Forata en el periodo de calibración considerando la precipitación acumulada desde el día anterior.

Fuente: Elaboración propia.

A fin de comprobar que lo indicado respecto al umbral de los 10 mm de precipitación diaria generan caudales superiores a 1 m<sup>3</sup>/s al inicio de una serie de caudales de magnitud similar o superior, se realiza el análisis previo para el periodo de validación. Como se muestra en la Figura 115, los 5 eventos de precipitación que están por debajo del umbral de 10 mm producen 4 caudales inferiores a 1 m<sup>3</sup>/s. La excepción se produce el 05/03/2013 en la que la precipitación diaria es de 4.23 mm, mientras que los caudales observado y simulado ascienden a 1.24 m<sup>3</sup>/s y 1.96 m<sup>3</sup>/s, respectivamente, pero si se observa la Figura 116, la precipitación acumulada desde el día anterior es de 20.40 mm, lo cual indica que la precipitación del día previo fue de 16.17 mm, lo que produjo un caudal simulado de 4.21 m<sup>3</sup>/s para un caudal observado de 0.95 m<sup>3</sup>/s, es decir, el evento que produjo el 1.96 m<sup>3</sup>/s fue la precipitación del día previo. En ese sentido, se afirma que si la precipitación diaria excede los 10 mm se tendrá un caudal simulado superior al 1 m<sup>3</sup>/s.

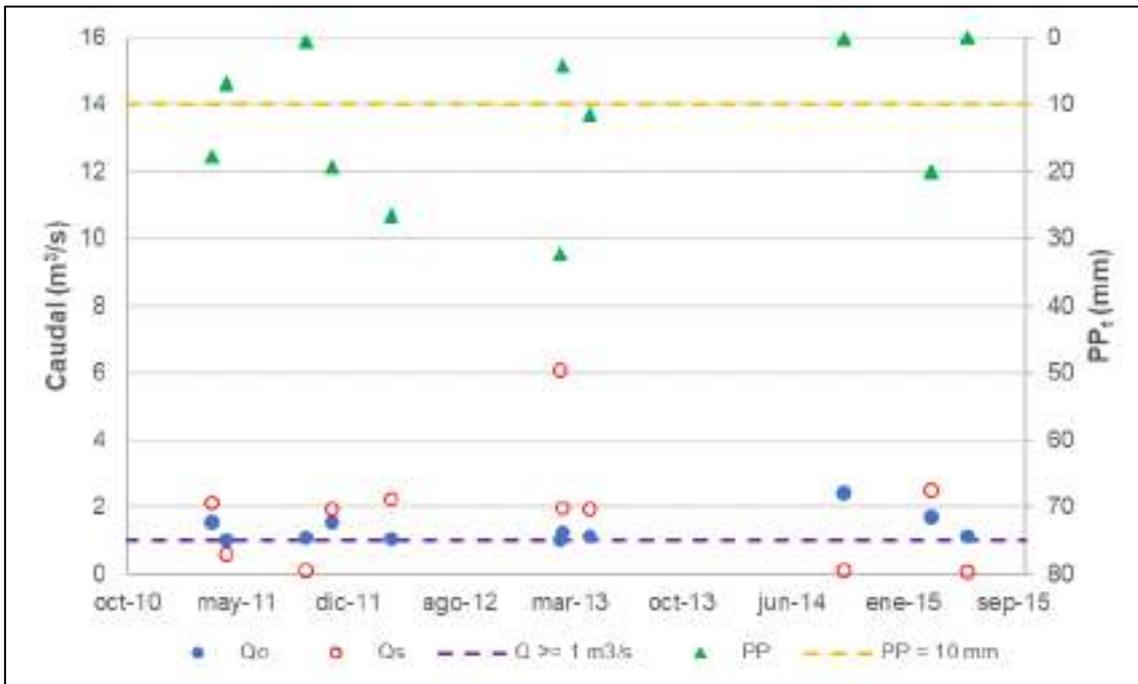


Figura 115. Caudales observados y simulados al inicio de un evento de caudales superiores a 1 m<sup>3</sup>/s en Forata en el periodo de validación.

Fuente: Elaboración propia.

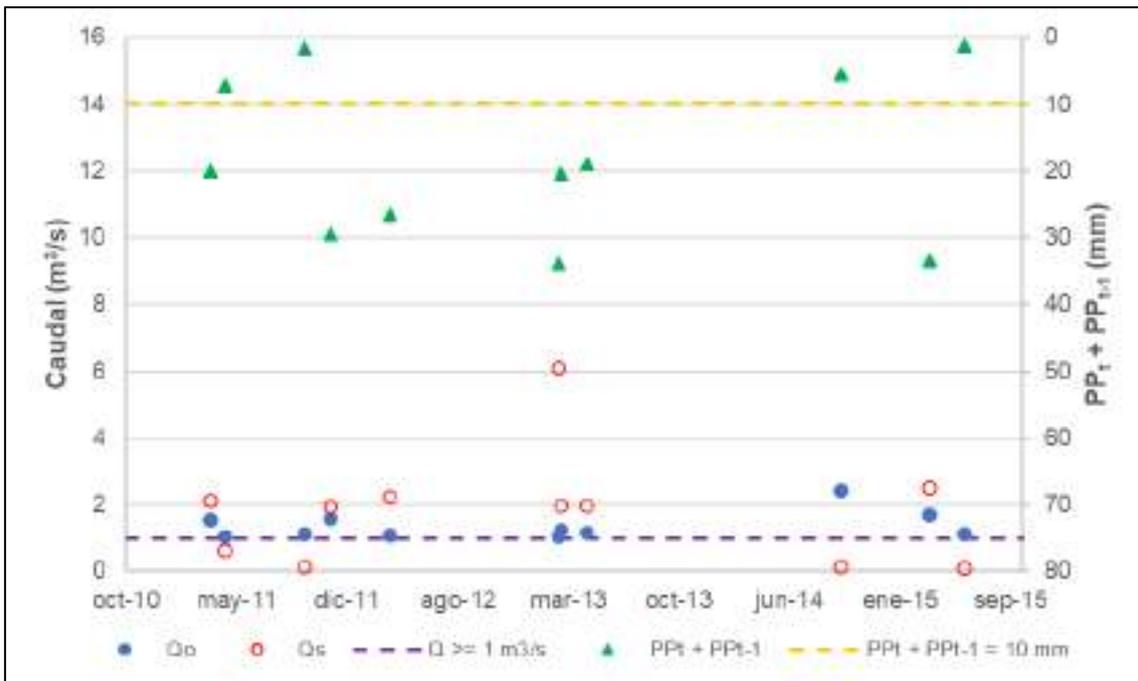


Figura 116. Caudales observados y simulados al inicio de un evento de caudales superiores a 1 m<sup>3</sup>/s en Forata en el periodo de validación considerando la precipitación acumulada desde el día anterior.

Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, en la Figura 117 y Figura 118 se observan los resultados de validación temporal en la estación 8060 para el periodo 01/10/2010 al 30/09/2015. Se obtuvo un índice de Nash de -0.1225, un Error en Volumen de 20.316% y un RSR de 1.0595, lo cual indica que los resultados son insatisfactorios.

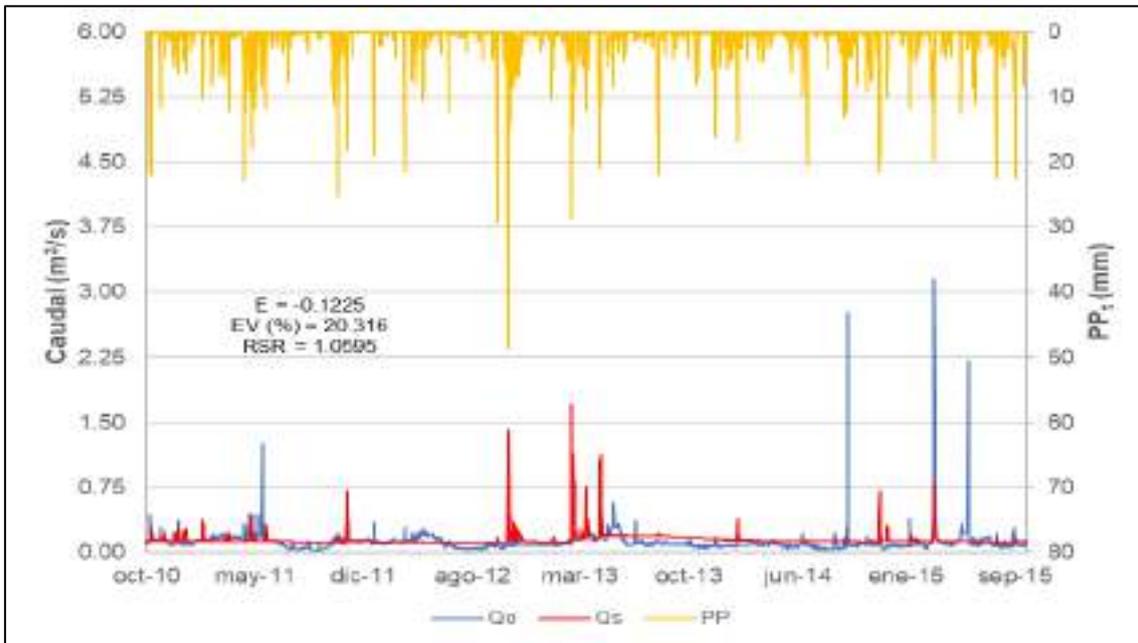


Figura 117. Caudal observado y simulado en la estación 8060 en el periodo de validación.

Fuente: Elaboración propia.

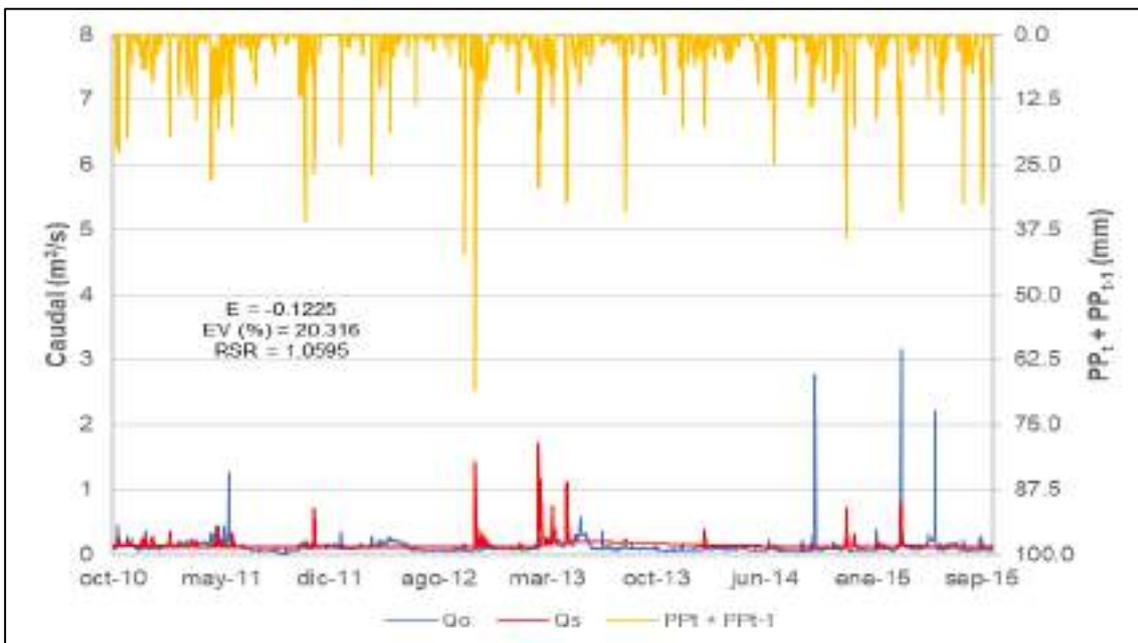


Figura 118. Caudal observado y simulado en la estación 8060 en el periodo de validación considerando la precipitación acumulada desde el día anterior.

Fuente: Elaboración propia.

## 6.4. Balance en la cuenca

A partir del modelo calibrado y validado, a fin de determinar la recarga histórica, se procedió a simular bajos 3 escenarios:

- Del 01/10/1970 al 30/09/2010 se simuló usando CLC 2012, sin considerar riego,
- Del 01/10/2010 al 30/09/2015, se empleó CLC 2012, considerando la presencia de riego.
- Del 01/10/2015 al 31/12/2022, se usó CLC 2018, considerando la existencia de riego.

En las siguientes secciones se presentarán los resultados de recarga obtenidos para la serie de 1973 al 2022. A continuación, de la Tabla 32 a la Tabla 34 se presentan los balances en la cuenca del río Magro obtenidos para cada uno de los 3 escenarios mencionados.

Tabla 32. Balance en la cuenca del río Magro del 01/10/1970 al 30/09/2010

<b>Flujo</b>	<b>Valor (mm/año*)</b>
Precipitación + fusión manto de nieve	493
<b>Cubierta vegetal:</b>	
Precipitación	486
Evaporación desde intercepción	158
<b>Suelo (almacenamiento estático):</b>	
Lluvia directa	328
Evapotranspiración	312
<b>Superficie:</b>	
Excedente	22
Escorrentía directa	3
<b>Suelo (almacenamiento gravitacional):</b>	
Infiltración gravitacional	19
Interflujo	0
<b>Acuífero:</b>	
Percolación	19
Flujo base	7
Flujo subterráneo profundo	13
<b>Desagüe fluvial:</b>	
Salida por el desagüe:	10

Nota: (\*) se empleó el año hidrológico del 01/10 al 30/09.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 33. Balance en la cuenca del río Magro del 01/10/2010 al 30/09/2015

<b>Flujo</b>	<b>Valor (mm/año*)</b>
Precipitación + fusión manto de nieve	423
<b>Cubierta vegetal:</b>	
Precipitación	421
Evaporación desde intercepción	138
<b>Suelo (almacenamiento estático):</b>	
Lluvia directa	283
Evapotranspiración	275
<b>Superficie:</b>	
Excedente	13
Escorrentía directa	2
<b>Suelo (almacenamiento gravitacional):</b>	
Infiltración	11
Interflujo	0
<b>Acuífero:</b>	
Percolación	11
Flujo base	4
Flujo subterráneo profundo	7
<b>Desagüe fluvial:</b>	
Salida por el desagüe:	6

Nota: (\*) se empleó el año hidrológico del 01/10 al 30/09.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 34. Balance en la cuenca del río Magro del 01/10/2015 al 31/12/2022

<b>Flujo</b>	<b>Valor (mm/año*)</b>
Precipitación + fusión manto de nieve	512
<b>Cubierta vegetal:</b>	
Precipitación	504
Evaporación desde intercepción	150
<b>Suelo (almacenamiento estático):</b>	
Lluvia directa	354
Evapotranspiración	336
<b>Superficie:</b>	
Excedente	29
Escorrentía directa	4
<b>Suelo (almacenamiento gravitacional):</b>	
Infiltración	25
Interflujo	0
<b>Acuífero:</b>	
Percolación	24
Flujo base	7
Flujo subterráneo profundo	16
<b>Desagüe fluvial:</b>	
Salida por el desagüe:	12

Nota: (\*) se empleó el año hidrológico del 01/10 al 30/09.

Fuente: Elaboración propia.

## 6.5. Recarga estimada en Requena-Utiel

### 6.5.1. Recarga estimada con ERA5

En lo concerniente a la recarga mensual estimada mediante los datos de ERA5, se tiene la serie temporal de recarga mensual para el periodo de 1973 al 2022, que se muestra en la Figura 119. Como se puede apreciar, el valor máximo se da en enero de 1997 y asciende a  $56.90 \text{ hm}^3$ , tal como se presenta en la Tabla 35. Asimismo, en la Tabla 36 se muestran algunos estadísticos de la precipitación mensual de ERA5 en Requena-Utiel y se observa que los  $56.90 \text{ hm}^3$  se corresponden con la precipitación mensual máxima de enero de  $105.93 \text{ mm}$ .

Adicionalmente, en la Figura 120 se presenta la recarga promedio mensual. El valor máximo ocurre en abril con  $3.70 \text{ hm}^3$ , mientras que en julio se presenta el valor mínimo de  $0.00 \text{ hm}^3$ . Se aprecia que, de agosto a enero, la recarga promedio aumenta de  $0.01 \text{ hm}^3$  a  $2.87 \text{ hm}^3$ , sin embargo, desciende en febrero a  $1.23 \text{ hm}^3$ , pero aumenta hasta alcanzar su máximo valor en abril. Posteriormente, decrece a su mínimo en julio.

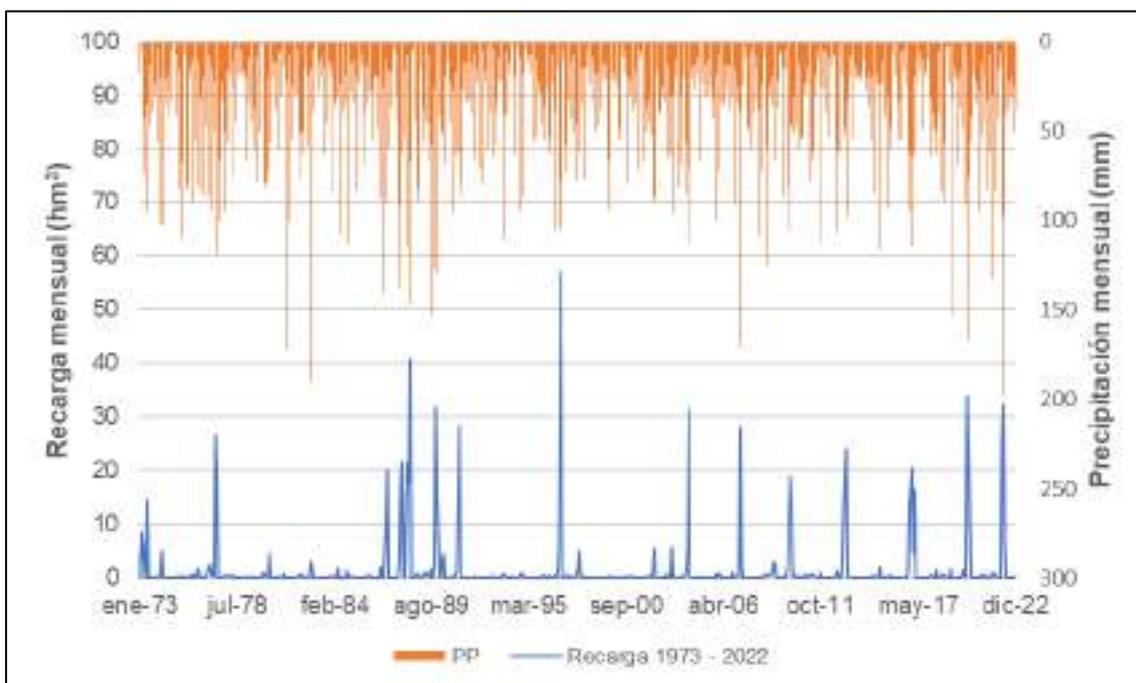


Figura 119. Recarga mensual entre 1973 y 2022 en Requena-Utiel.

Fuente: Elaboración propia.

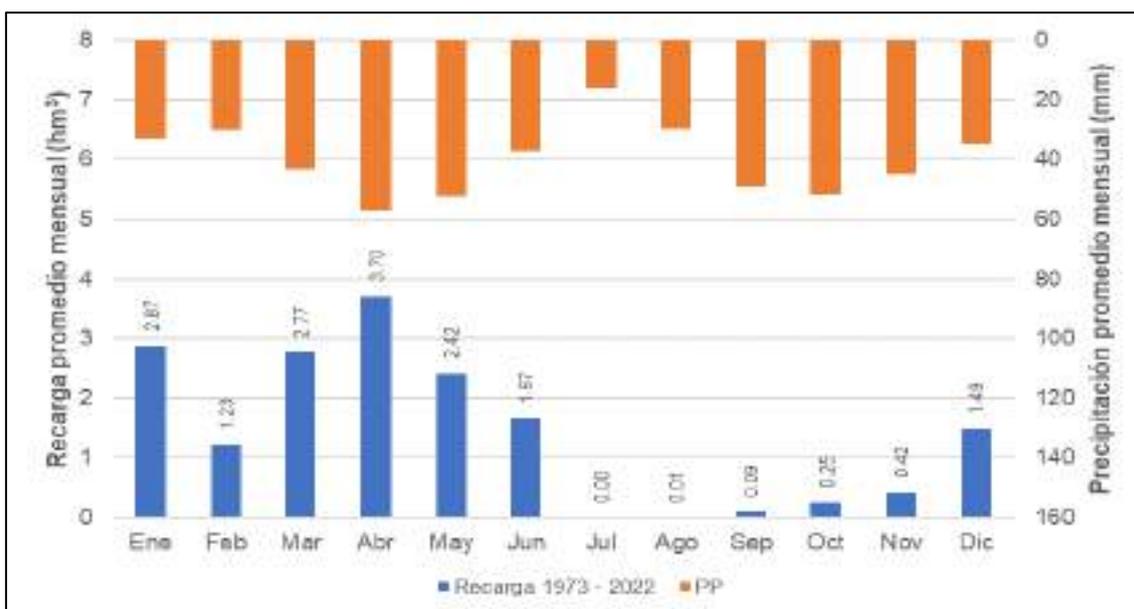


Figura 120. Recarga promedio mensual 1973 - 2022 en Requena-Utiel.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 35. Estadísticos de la recarga mensual entre 1973 y 2022 en Requena-Utiel.

Mes	Promedio (hm³)	Máximo (hm³)		Desviación estándar (hm³)
		Valor	Fecha	
Ene	2.87	56.90	01/1997	9.16
Feb	1.23	20.04	02/1987	3.90
Mar	2.77	33.97	03/2020	6.97
Abr	3.70	32.28	04/2022	8.64
May	2.42	31.55	05/2004	6.37
Jun	1.67	40.72	06/1988	6.52
Jul	0.00	0.09	07/1986	0.02
Ago	0.01	0.16	08/1997	0.03
Sep	0.09	1.47	09/1989	0.24
Oct	0.25	3.22	10/1982	0.57
Nov	0.42	4.36	11/1987	0.76
Dic	1.49	31.79	12/1989	5.33

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 36. Estadísticos de la precipitación mensual de ERA5 1973- 2022 en Requena-Utiel

Mes	Promedio (mm)	Máximo (mm)		Desviación estándar (mm)
		Valor	Fecha	
Ene	33.13	105.93	01/1997	29.83
Feb	30.05	81.49	02/1980	20.71
Mar	43.29	197.58	03/2022	39.69
Abr	57.13	172.59	04/1981	38.09
May	52.24	119.25	05/1977	30.93
Jun	37.05	147.78	06/1988	30.07
Jul	15.77	66.32	07/1977	13.64
Ago	29.65	86.94	08/1976	20.13
Sep	48.84	153.46	09/1989	33.39
Oct	51.52	190.34	10/1982	39.24
Nov	44.82	137.77	11/1987	36.81
Dic	35.00	130.54	12/1989	32.79

Fuente: Elaboración propia.

En lo concerniente a la recarga anual, en la Figura 121 se presenta de 1973 al 2022. La recarga promedio anual es de 16.92 hm<sup>3</sup>, mientras que su valor máximo es de 103.47 hm<sup>3</sup> que coincide con una precipitación anual de 658.72 mm y se produce en 1988. Si bien la precipitación de mayor magnitud no coincide con la recarga de mayor valor, esto se debe a que no solo importa la magnitud de la precipitación, sino también cómo se ha distribuido en el año. Los datos mencionados se presentan en la Tabla 37 y la Tabla 38.

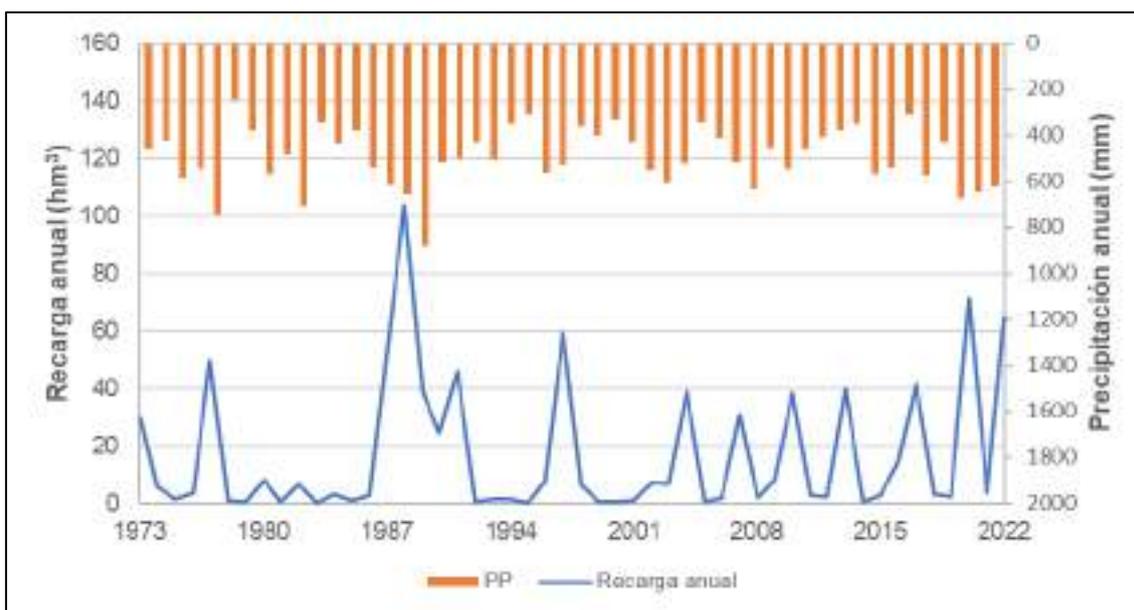


Figura 121. Recarga anual del periodo entre 1973 y 2022 en Requena-Utiel.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 37. Estadísticos de la recarga anual obtenida entre 1973 y 2022 en Requena-Utiel

Promedio (hm <sup>3</sup> )	Máximo (hm <sup>3</sup> )		Desviación estándar (hm <sup>3</sup> )
	Valor	Año	
16.92	103.47	1988	23.64

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 38. Estadísticos de la precipitación anual de ERA5 entre 1973 y 2022 en Requena-Utiel

Promedio (mm)	Máximo (mm)		Desviación estándar (mm)
	Valor	Año	
496.57	879.08	1989	126.76

Fuente: Elaboración propia.

## 6.5.2. Comparación con la recarga estimada con PATRICAL

A efectos comparativos, se procedió a contrastar los resultados de recarga obtenidos en el presente estudio con los procedentes del modelo PATRICAL, los cuales fueron brindados por el proyecto InTheMED. Las series mensuales de ambos modelos se muestran en la Figura 122, mientras que en la Figura 123 se muestran los valores promedios mensuales y se observa que los obtenidos con TETIS difieren en algunos casos en más del 100% con los de PATRICAL.

En enero, se aprecia que la recarga estimada por PATRICAL difiere en  $2.03 \text{ hm}^3$  con la de TETIS. Sin embargo, estas diferencias se reducen en febrero, marzo y abril a  $0.88 \text{ hm}^3$ ,  $1.50 \text{ hm}^3$  y  $0.80 \text{ hm}^3$ , respectivamente. Luego, en mayo, la diferencia es de  $0.66 \text{ hm}^3$ , no obstante, en junio y julio, los resultados de ambos modelos se aproximan más, difiriendo solo en  $0.08 \text{ hm}^3$  y  $0.21 \text{ hm}^3$ , correspondientemente. En agosto, la diferencia entre ambas estimaciones es de casi  $0.49 \text{ hm}^3$ . Las mayores diferencias se tienen en los meses de octubre a diciembre, llegando a su máximo valor en noviembre con  $5.04 \text{ hm}^3$ . En la Tabla 39 y Tabla 40 se presentan los estadísticos de recarga mensual de PATRICAL y TETIS, respectivamente.

Como ha podido observarse, existe una marcada diferencia entre ambos valores de la recarga promedio mensual. La mayor diferencia se tiene en los 3 últimos meses del año, lo cual se explica a partir de lo siguiente. Tal como se mencionó anteriormente, para el caso de la calibración, después de unos meses de baja precipitación, a pesar que se suscite una alta precipitación, no es posible generar un caudal de elevada magnitud, dado que la cuenca no se encuentra en las condiciones de humedad adecuadas para que ello se produzca. De manera análoga, después de los meses de julio y agosto, que son los meses más secos, siendo septiembre un mes de transición entre la temporada seca y la húmeda, si la precipitación se incrementa en los meses de octubre a diciembre, la cuenca alcanzará progresivamente las condiciones de humedad necesarias que permitan un incremento gradual de la recarga, tal como se apreciar en los meses mencionados en la Figura 123.

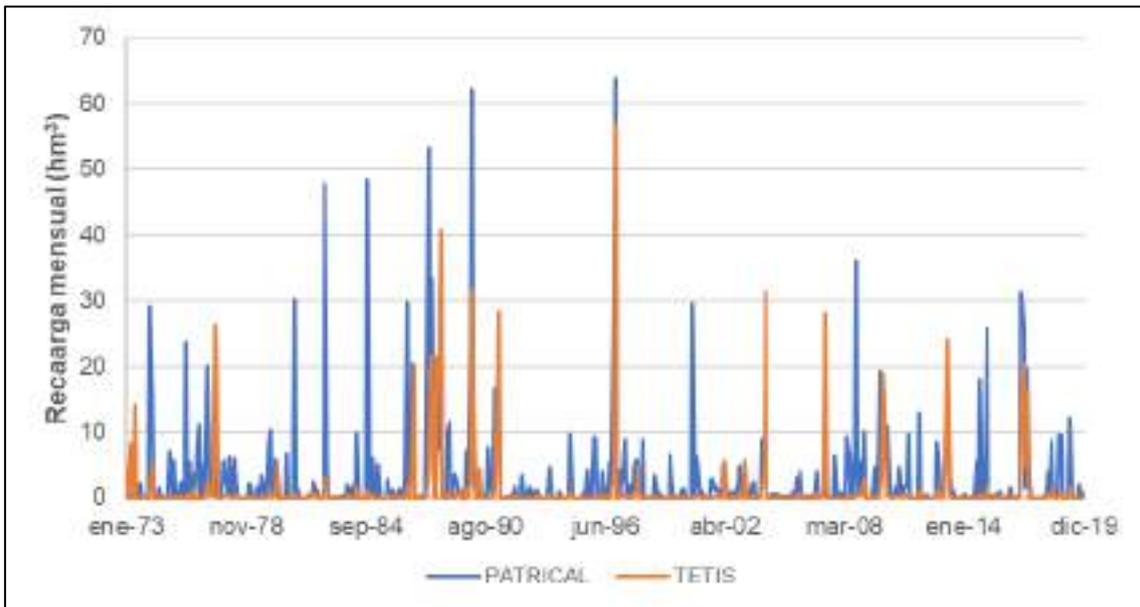


Figura 122. Recarga mensual de PATRICAL y TETIS entre 1973 y 2019 en Requena-Utiel.

Fuente: Elaboración propia.

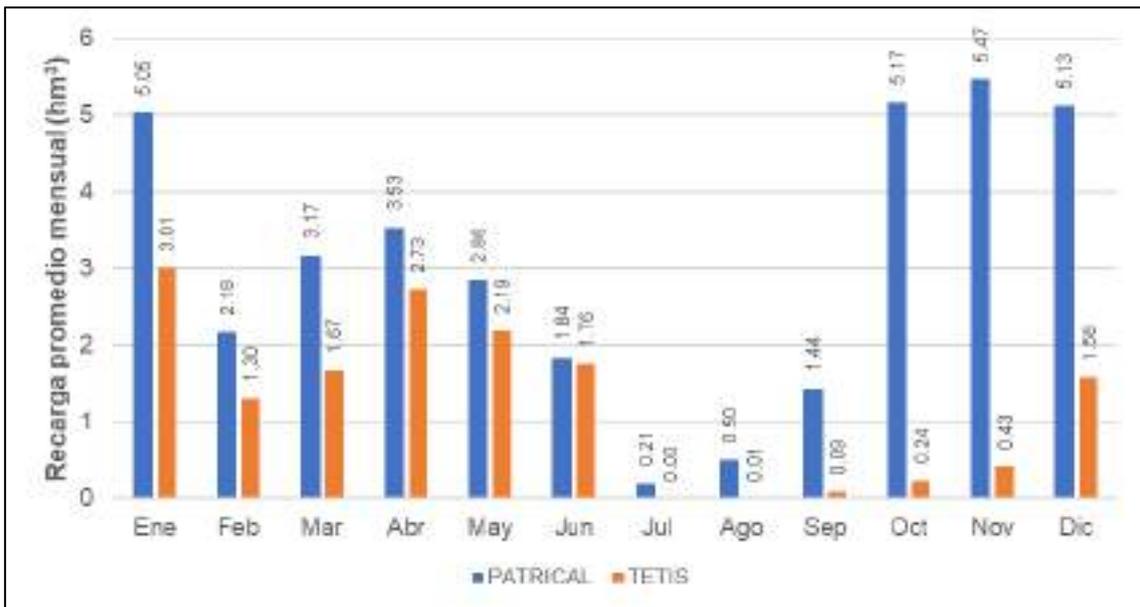


Figura 123. Comparación de la recarga promedio mensual obtenida por PATRICAL y TETIS entre 1973 y 2019 en Requena-Utiel.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 39. Estadísticos de la serie de recarga mensual entre 1973 y 2019 en Requena-Utiel de PATRICAL

Mes	Promedio (hm <sup>3</sup> )	Máximo (hm <sup>3</sup> )		Desviación estándar (hm <sup>3</sup> )
		Valor	Fecha	
Ene	5.05	63.71	01/1997	11.48
Feb	2.18	16.80	02/1991	3.78
Mar	3.17	29.21	03/1974	6.56
Abr	3.53	30.10	04/1981	6.34
May	2.86	10.86	05/1977	3.65
Jun	1.84	38.55	06/1988	5.94
Jul	0.21	6.73	07/1976	0.99
Ago	0.50	11.07	08/1976	1.72
Sep	1.44	7.62	09/2008	2.11
Oct	5.17	47.74	10/1982	10.26
Nov	5.47	53.16	11/1987	11.57
Dic	5.13	62.20	12/1989	11.58

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 40. Estadísticos de la serie de recarga mensual entre 1973 y 2019 en Requena-Utiel de TETIS

Mes	Promedio (hm <sup>3</sup> )	Máximo (hm <sup>3</sup> )		Desviación estándar (hm <sup>3</sup> )
		Valor	Fecha	
Ene	3.01	56.90	01/1997	9.43
Feb	1.30	20.04	02/1987	4.01
Mar	1.67	16.53	03/2017	4.22
Abr	2.73	28.42	04/1991	7.18
May	2.19	31.55	05/2004	6.40
Jun	1.76	40.72	06/1988	6.72
Jul	0.00	0.09	07/1986	0.02
Ago	0.01	0.16	08/1997	0.03
Sep	0.09	1.47	09/1989	0.24
Oct	0.24	3.22	10/1982	0.57
Nov	0.43	4.36	11/1987	0.78
Dic	1.58	31.79	12/1989	5.48

Fuente: Elaboración propia.

Respecto a la recarga anual, en la Figura 124 se presenta la serie histórica anual de ambos modelos. Asimismo, en la Tabla 41 y la Tabla 42 se presentan los estadísticos a nivel anual para PATRICAL y TETIS, respectivamente. Se observa que la recarga promedio anual de PATRICAL es superior en casi un 140% a la estimada por TETIS.

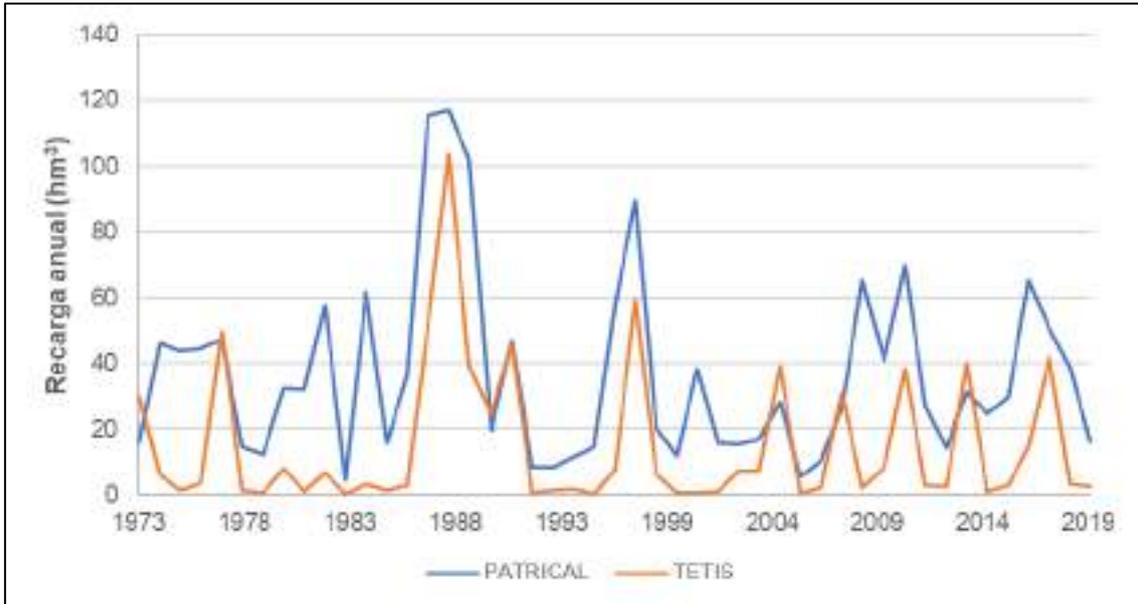


Figura 124. Recarga anual del periodo entre 1973 y 2022 de PATRICAL y TETIS en Requena-Utiel.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 41. Estadísticos de la recarga anual entre 1973 y 2019 en Requena-Utiel de PATRICAL

Promedio (hm <sup>3</sup> )	Máximo (hm <sup>3</sup> )		Desviación estándar (hm <sup>3</sup> )
	Valor	Año	
36.56	116.75	1988	27.88

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 42. Estadísticos de la recarga anual entre 1973 y 2019 en Requena-Utiel de TETIS

Promedio (hm <sup>3</sup> )	Máximo (hm <sup>3</sup> )		Desviación estándar (hm <sup>3</sup> )
	Valor	Año	
15.03	103.47	1988	21.77

Fuente: Elaboración propia.

### 6.5.3. Comparación con la recarga histórica del modelo GFDL-ESM4

El periodo de control del modelo GFDL-ESM4 es de 1979 al 2014, pero se consideró de 1980 al 2014 para compararlo con la recarga obtenida con ERA5. En la Figura 125 se muestran las series mensuales de ambos modelos, mientras que en la Tabla 43 y la Tabla 44 se puede apreciar algunos estadísticos de la recarga mensual de GFDL-ESM4 y ERA5, respectivamente.

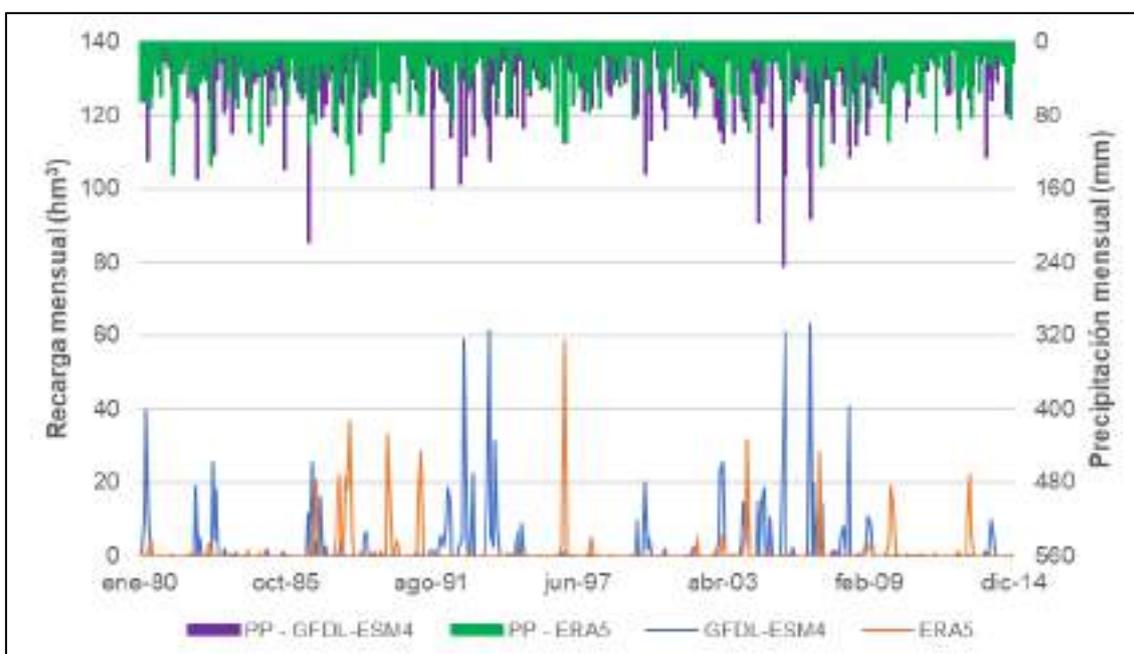


Figura 125. Recarga mensual de GFDL-ESM4 entre 1980 y 2014 en Requena-Utiel.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 126, se observa que, para GFDL-ESM4, abril tiene la mayor media con  $5.40 \text{ hm}^3$ , seguido de enero con  $5.14 \text{ hm}^3$  y mayo con  $4.15 \text{ hm}^3$ , mientras que los valores mínimos se encuentran en julio y agosto con  $0.00 \text{ hm}^3$  y  $0.02 \text{ hm}^3$ , respectivamente. Respecto a ERA5, el mayor valor de la media se da en abril con  $3.38 \text{ hm}^3$ , seguido de enero con  $3.26 \text{ hm}^3$ , mientras que el valor mínimo se da en julio con  $0.00 \text{ hm}^3$ .

En lo concerniente a los valores máximos, para GFDL-ESM4, en noviembre 2006 y enero 1994 se produjeron unas recargas de  $63.15 \text{ hm}^3$  y  $61.51 \text{ hm}^3$ , correspondientemente, mientras que para ERA5, las recargas de mayor valor se dan en enero de 1997 y junio de 1988 con  $56.90 \text{ hm}^3$  y  $40.72 \text{ hm}^3$ , respectivamente.

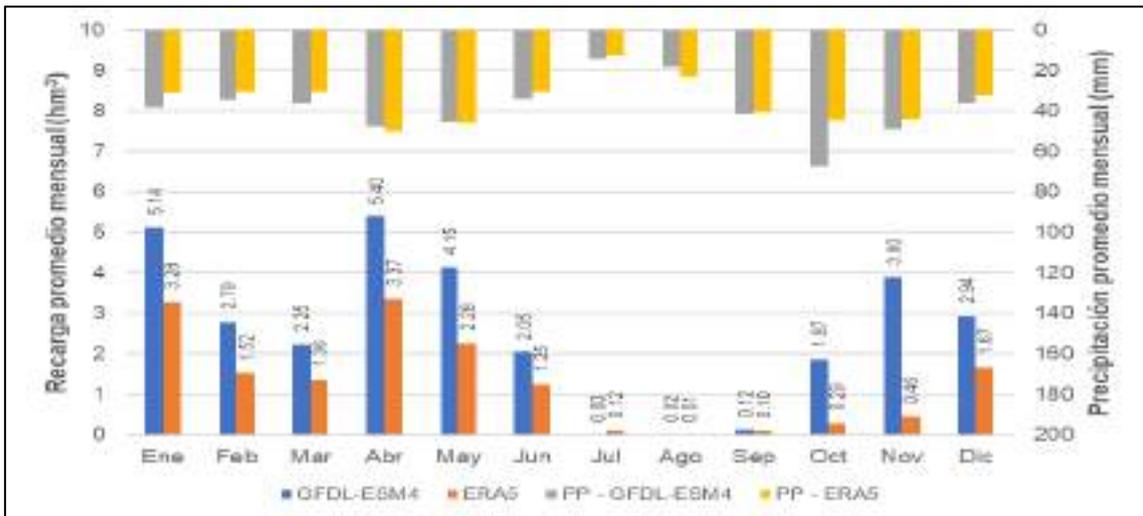


Figura 126. Recarga promedio mensual de GFDL-ESM4 y ERA5 entre 1980 y 2014 en Requena-Utiel.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 43. Estadísticos de la recarga mensual de GFDL-ESM4 entre 1980 y 2014 en Requena-Utiel

Mes	Promedio (hm <sup>3</sup> )	Máximo (hm <sup>3</sup> )		Desviación estándar (hm <sup>3</sup> )
		Valor	Fecha	
Ene	5.14	61.51	01/1994	14.48
Feb	2.79	18.33	02/1983	4.66
Mar	2.25	14.55	03/2004	4.02
Abr	5.40	39.47	04/1980	10.07
May	4.15	25.53	05/2003	7.53
Jun	2.05	40.86	06/2008	7.30
Jul	0.00	0.09	07/2009	0.01
Ago	0.02	0.32	08/1995	0.06
Sep	0.12	1.50	09/1991	0.30
Oct	1.87	28.03	10/2005	5.54
Nov	3.90	63.15	11/2006	14.56
Dic	2.94	25.58	12/1986	6.91

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 44. Estadísticos de la recarga mensual obtenida con ERA5 en el periodo entre 1980 y 2014 en Requena-Utiel

Mes	Promedio (hm <sup>3</sup> )	Máximo (hm <sup>3</sup> )		Desviación estándar (hm <sup>3</sup> )
		Valor	Fecha	
Ene	3.26	56.90	01/1997	10.44
Feb	1.55	20.04	02/1987	4.58
Mar	1.41	15.52	03/1991	3.95
Abr	3.38	28.42	04/1991	8.21
May	2.11	31.55	05/2004	6.07
Jun	1.37	40.72	06/1988	6.89
Jul	0.00	0.09	07/1986	0.02
Ago	0.01	0.16	08/1997	0.03
Sep	0.10	1.47	09/1989	0.27
Oct	0.30	3.22	10/1982	0.65
Nov	0.50	4.36	11/1987	0.87
Dic	1.68	31.79	12/1989	6.01

Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, se observa en la Figura 126 que en enero la recarga estimada con los datos de GFDL-ESM4 excede en más de un 57% que la estimada con ERA5. En febrero y marzo, la diferencia entre ambas estimaciones llega a ser del 79.8% y 59.8%, respectivamente. Sin embargo, en abril, ambos valores difieren en 2.02 hm<sup>3</sup>, lo cual equivale a un 59.8% del valor obtenido con ERA5. Luego, en mayo, se produce una diferencia del 96.6%, cayendo ésta a 49.4% en el mes siguiente, mientras que, en julio, la estimación con ERA5 es la que tiene un mayor valor, teniéndose así una desigualdad del -23.5%. A partir de agosto, nuevamente los valores de recarga con GFDL-ESM4 vuelven a ser superiores en un 28.8%, 21.1%, 530.5%, 679.1% y 75.0% en agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre, respectivamente, siendo noviembre en el que mayor discrepancia puede encontrarse.

Dada la diferencia existente entre ambas estimaciones, se procede a explicar su causa. En la Figura 125 se presenta la serie histórica de la precipitación mensual de GFDL-ESM4 y ERA5, mientras que en la Figura 126 se puede apreciar su media mensual, en la que se observa que la media no difiere en más de 10 mm en la mayoría de los meses, a excepción de octubre, mes en el que las precipitaciones promedio mensuales difieren en aproximadamente 23 mm, lo cual repercute en los meses siguientes, dado que estas altas precipitaciones al llenar más los tanques de almacenamiento estático, superficial y gravitacional, permiten que la precipitación de los meses siguientes (noviembre, diciembre y enero) contribuyan en mayor medida a la recarga, ya que un porcentaje considerable de esta precipitación percolaría al acuífero.

En la Figura 127 se aprecia que, mensualmente, GFDL-ESM4 posee un mayor rango de valores, a comparación de ERA5, a excepción de abril y agosto, meses en los cuales el valor promedio es mayor en ERA5. De manera complementaria, en la Tabla 45 y Tabla 46 se presentan datos estadísticos de la precipitación de GFDL-ESM4 y ERA5, respectivamente.

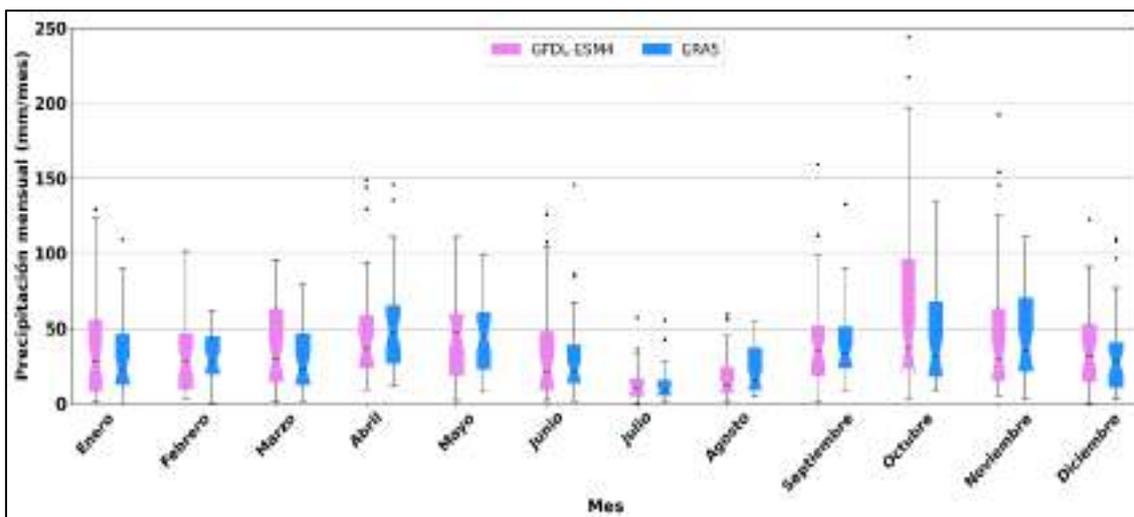


Figura 127. Boxplot de la precipitación mensual de GFDL-ESM4 y ERA5 en el periodo entre 1980 y 2014 en Requena-Utiel.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 45. Estadísticos de la precipitación mensual de GFDL-ESM4 entre 1980 y 2014 en Requena-Utiel

Mes	Promedio (mm)	Máximo		Desviación Estándar (mm)
		Valor (mm)	Fecha	
Ene	38.11	129.1	01/1994	35.62
Feb	34.07	101.6	02/2009	27.76
Mar	36.24	96.0	03/2003	27.18
Abr	47.38	149.0	04/1982	36.26
May	45.24	110.7	05/2008	30.34
Jun	33.86	125.9	06/2008	31.71
Jul	14.09	57.4	07/2009	14.66
Ago	18.06	59.5	08/1995	16.41
Sep	41.45	159.3	09/1991	33.65
Oct	67.07	244.2	10/2005	61.02
Nov	49.01	192.3	11/2006	46.43
Dic	36.11	122.7	12/1982	29.14

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 46. Estadísticos de la precipitación mensual de ERA5 entre 1980 y 2014 en Requena-Utiel

Mes	Promedio (mm)	Máximo		Desviación Estándar (mm)
		Valor (mm)	Fecha	
Ene	30.83	109.02	01/1997	26.49
Feb	30.45	61.98	02/2003	17.92
Mar	30.37	78.87	03/1991	20.83
Abr	49.93	145.65	04/1981	32.04
May	45.67	99.55	05/1984	25.83
Jun	30.34	145.70	06/1988	29.47
Jul	12.28	55.23	07/1986	11.28
Ago	23.01	54.03	08/2010	16.57
Sep	40.23	132.49	09/1989	26.39
Oct	44.15	134.84	10/1982	33.49
Nov	43.78	110.97	11/1984	31.83
Dic	32.21	109.94	12/1996	28.49

Fuente: Elaboración propia.

En lo concerniente a la recarga anual, se presenta en la Figura 128. Como se muestra en la Tabla 47, la recarga promedio anual de GFDL-ESM4 excede en aproximadamente un 95% a la de ERA5. Asimismo, en la Tabla 48 se aprecia que la precipitación promedio anual de GFDL-ESM4 excede en casi un 11% a la de ERA5, sin embargo, su dispersión es superior en casi un 46%. Además de ello, en la Figura 128 se puede ver que en 1994 y 2005 se produjeron recargas anuales que bordean los 120 hm<sup>3</sup>, las cuales se corresponden con precipitaciones anuales cercanas o superiores a los 600 mm. Previamente a dichas recargas anuales máximas, es importante notar que también se produjeron precipitaciones anuales superiores a los 600 mm, lo cual contribuyó a que la cuenca se encuentre en las condiciones de humedad propicias para que se produzcan las recargas de las magnitudes mencionadas.

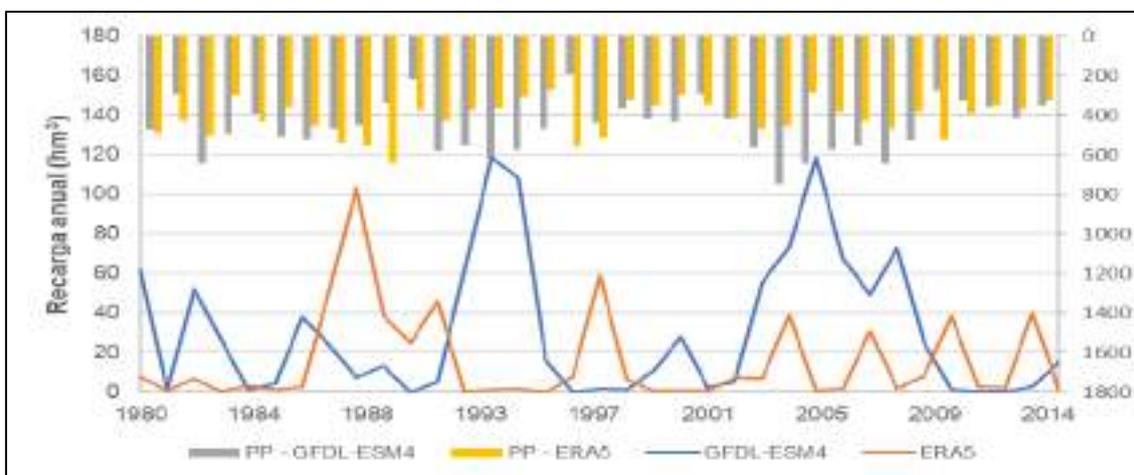


Figura 128. Recarga anual del periodo entre 1980 y 2014 de GFDL-ESM4 y ERA5 en Requena-Utiel.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 47. Estadísticos de la recarga anual entre 1980 y 2014 en Requena-Utiel de GFDL-ESM4 y ERA5

Modelo	Promedio (hm <sup>3</sup> )	Máximo (hm <sup>3</sup> )		Desviación estándar (hm <sup>3</sup> )
		Valor	Año	
GFDL-ESM4	30.61	118.29	1993	35.61
ERA5	15.67	103.47	1988	23.28

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 48. Estadísticos de la precipitación anual entre 1980 y 2014 en Requena-Utiel de GFDL-ESM4 y ERA5

Modelo	Promedio (mm)	Máximo (mm)		Desviación estándar (mm)
		Valor	Año	
GFDL-ESM4	460.68	747.76	2004	130.99
ERA5	413.25	642.13	1989	89.45

Fuente: Elaboración propia.

## **6.5.4. Recarga estimada con escenarios de Cambio Climático**

### **Escenario SSP1-2.6**

Como puede observarse en la Figura 129, considerando el escenario SSP1-2.6 en Requena-Utiel, del 2015 al 2040, la recarga promedio mensual tiene su máximo valor en abril y asciende a  $8.09 \text{ hm}^3$ , mientras que su valor mínimo se da en julio con  $0.00 \text{ hm}^3$ . Se puede observar que a partir de septiembre la recarga aumenta desde  $0.12 \text{ hm}^3$  hasta  $4.68 \text{ hm}^3$  en enero. Luego, en febrero disminuye a  $1.19 \text{ hm}^3$ , pero en los 2 meses siguientes se incrementa nuevamente hasta  $8.09 \text{ hm}^3$  en abril. En los meses posteriores, la recarga nuevamente disminuye hasta alcanzar los  $0.00 \text{ hm}^3$  en el mes de julio.

Entre los años 2041 y 2070, la recarga promedio mensual tiene su máximo valor en enero con  $4.68 \text{ hm}^3$ , mientras que sus valores mínimos se encuentran en julio y agosto con  $0.00 \text{ hm}^3$  y  $0.02 \text{ hm}^3$ , respectivamente. De septiembre a enero se ve un incremento de la recarga de  $0.18 \text{ hm}^3$  a  $4.68 \text{ hm}^3$ . Luego, la recarga promedio mensual disminuye progresivamente hasta alcanzar los  $1.86 \text{ hm}^3$  en marzo. En mayo, se aprecia que se incrementa a  $2.28 \text{ hm}^3$  y, posteriormente, disminuye hasta alcanzar el valor de  $0.00$  en julio.

En lo referente al periodo entre 2071 y 2100, se observa que en enero se tiene una recarga de  $3.24 \text{ hm}^3$ , siendo éste su valor máximo, mientras que en julio y agosto se encuentra su valor más bajo de  $0.01 \text{ hm}^3$ . Al igual que en los periodos anteriores, se aprecia un aumento de septiembre a enero de  $0.08 \text{ hm}^3$  a  $3.24 \text{ hm}^3$ , pero luego disminuye hasta llegar a  $1.23 \text{ hm}^3$  en marzo. En abril, la recarga aumenta a  $2.32 \text{ hm}^3$ , pero a partir de allí disminuye hasta alcanzar los  $0.01 \text{ hm}^3$  en julio y agosto.

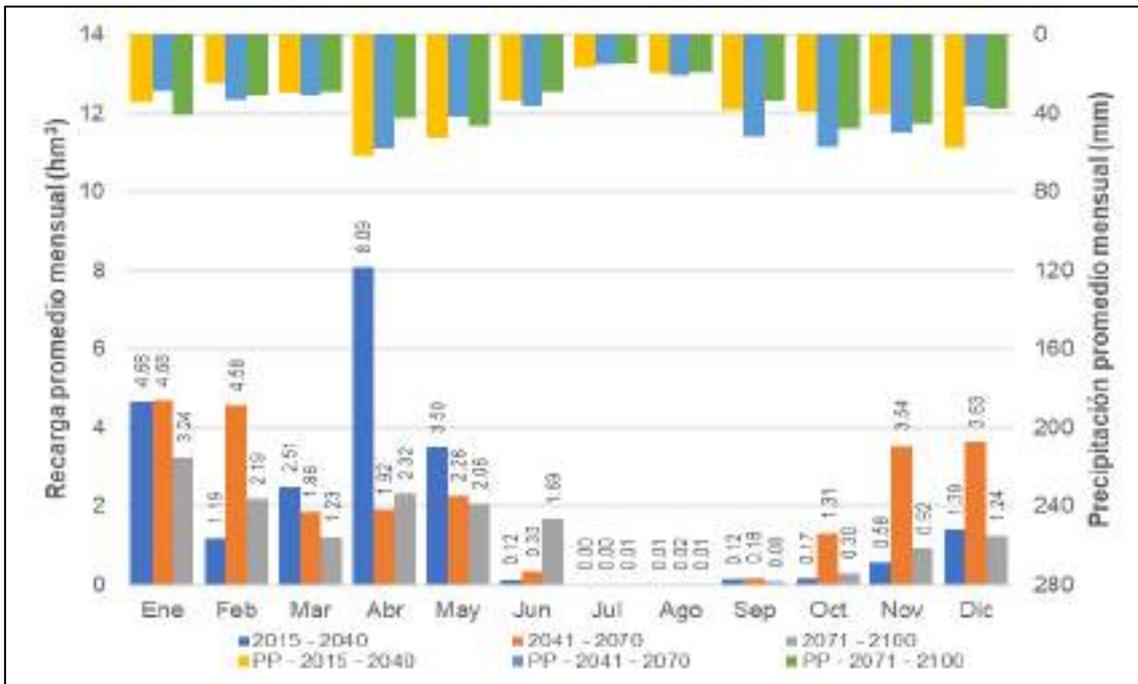


Figura 129. Recarga promedio mensual en la masa de agua subterránea Requena-Utiel para el escenario SSP1-2.6.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 49. Estadísticos de la recarga mensual para el escenario SSP1-2.6 entre 2015 y 2040 en Requena-Utiel

Mes	Promedio (hm <sup>3</sup> )	Máximo (hm <sup>3</sup> )		Desviación estándar (hm <sup>3</sup> )
		Valor (mm)	Fecha	
Ene	4.68	37.57	2038	11.07
Feb	1.19	13.00	2018	3.06
Mar	2.51	29.94	2024	6.46
Abr	8.09	63.61	2040	17.94
May	3.50	27.41	2024	7.06
Jun	0.12	0.90	2021	0.25
Jul	0.00	0.05	2037	0.01
Ago	0.01	0.14	2040	0.03
Sep	0.12	1.25	2027	0.31
Oct	0.17	1.23	2026	0.31
Nov	0.58	10.33	2037	2.03
Dic	1.39	13.51	2026	2.77

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 50. Estadísticos de la recarga mensual para el escenario  
SSP1-2.6 entre 2041 y 2070 en Requena-Utiel

Mes	Promedio (hm <sup>3</sup> )	Máximo (hm <sup>3</sup> )		Desviación estándar (hm <sup>3</sup> )
		Valor (mm)	Fecha	
Ene	4.68	35.15	2046	10.11
Feb	4.58	48.41	2046	11.62
Mar	1.86	20.61	2044	4.55
Abr	1.92	17.22	2051	4.76
May	2.28	29.48	2046	6.29
Jun	0.33	6.65	2062	1.24
Jul	0.00	0.04	2044	0.01
Ago	0.02	0.24	2065	0.05
Sep	0.18	1.63	2047	0.38
Oct	1.31	15.68	2045	3.76
Nov	3.54	39.75	2045	8.95
Dic	3.63	38.05	2062	8.20

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 51. Estadísticos de la recarga mensual para el escenario  
SSP1-2.6 entre 2071 y 2100 en Requena-Utiel

Mes	Promedio (hm <sup>3</sup> )	Máximo (hm <sup>3</sup> )		Desviación estándar (hm <sup>3</sup> )
		Valor (mm)	Fecha	
Ene	3.24	26.39	2091	7.15
Feb	2.19	39.81	2078	9.27
Mar	1.23	10.27	2086	1.81
Abr	2.32	31.73	2078	7.22
May	2.06	24.23	2090	5.07
Jun	1.69	38.82	2078	7.36
Jul	0.01	0.07	2082	0.01
Ago	0.01	0.14	2094	0.05
Sep	0.08	0.90	2077	0.29
Oct	0.30	4.27	2077	2.66
Nov	0.92	13.82	2077	4.06
Dic	1.24	24.08	2077	8.89

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 52. Estadísticos de la precipitación mensual para el escenario  
SSP1-2.6 entre 2015 y 2040 en Requena-Utiel

Mes	Promedio (mm)	Máximo		Desviación Estándar (mm)
		Valor (mm)	Fecha	
Ene	34.21	114.08	2035	27.55
Feb	24.68	98.89	2033	27.36
Mar	29.35	94.06	2040	27.30
Abr	61.65	152.08	2040	43.85
May	52.48	133.09	2028	32.00
Jun	33.94	104.46	2039	25.96
Jul	16.49	49.19	2037	15.45
Ago	19.83	74.52	2020	18.16
Sep	38.13	135.51	2027	36.26
Oct	38.77	141.23	2026	36.91
Nov	39.78	190.22	2037	43.21
Dic	57.67	167.95	2023	48.19

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 53. Estadísticos de la precipitación mensual para el escenario SSP1-2.6 entre 2041 y 2070 en Requena-Utiel

Mes	Promedio (mm)	Máximo		Desviación Estándar (mm)
		Valor (mm)	Fecha	
Ene	28.54	87.27	2060	25.26
Feb	33.04	129.52	2048	32.93
Mar	30.60	74.92	2044	22.44
Abr	58.07	162.88	2066	38.66
May	41.67	122.23	2058	38.13
Jun	35.75	108.24	2054	33.35
Jul	14.83	69.01	2059	15.88
Ago	20.83	60.92	2065	17.25
Sep	51.59	164.18	2047	45.39
Oct	57.14	231.79	2045	55.86
Nov	49.87	155.89	2042	48.73
Dic	35.82	128.01	2058	33.35

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 54. Estadísticos de la precipitación mensual para el escenario SSP1-2.6 entre 2071 y 2100 en Requena-Utiel

Mes	Promedio (mm)	Máximo		Desviación Estándar (mm)
		Valor (mm)	Fecha	
Ene	40.89	153.97	2099	38.43
Feb	30.65	135.36	2084	30.29
Mar	28.88	68.55	2079	21.53
Abr	42.62	121.32	2078	40.10
May	46.76	146.47	2072	43.26
Jun	29.10	111.30	2078	35.07
Jul	14.18	52.99	2096	15.28
Ago	19.09	73.84	2094	15.75
Sep	33.87	135.50	2077	41.57
Oct	47.46	104.71	2075	45.46
Nov	45.46	159.96	2099	33.90
Dic	37.56	95.35	2081	34.80

Fuente: Elaboración propia.

## Escenario SSP3-7.0

En relación al escenario SSP3-7.0, se observa que, para el periodo comprendido entre el 2015 y 2040, el mayor valor de la recarga promedio mensual se da en enero con  $5.98 \text{ hm}^3$ , mientras que el valor mínimo es de  $0.01 \text{ hm}^3$  y se da en julio. Se observa que, a partir de agosto, la recarga promedio mensual se incrementa hasta  $4.77 \text{ hm}^3$  en octubre. Luego, disminuye hasta alcanzar los  $0.34 \text{ hm}^3$  en diciembre, incrementándose en enero a  $5.98 \text{ hm}^3$ , pero disminuyendo hasta  $0.92 \text{ hm}^3$  en marzo. Aumenta a  $2.10 \text{ hm}^3$  en abril, pero disminuye después hasta  $0.01 \text{ hm}^3$  en julio.

Para el periodo entre el 2041 y 2070, el máximo valor se encuentra en octubre con  $3.22 \text{ hm}^3$ , mientras que su valor mínimo está en julio con  $0.00 \text{ hm}^3$ . se

observa que, de agosto a octubre, la recarga promedio mensual va de 0.02 hm<sup>3</sup> a 3.22 hm<sup>3</sup>, pero en noviembre su valor cae a 0.66 hm<sup>3</sup>, pero se incrementa hasta marzo a 3.12 hm<sup>3</sup>. En abril su valor se reduce a 1.47 hm<sup>3</sup>, mientras que en mayo llega a 2.59 hm<sup>3</sup> para luego decaer progresivamente hasta 0.00 hm<sup>3</sup> en julio.

Respecto al periodo entre 2071 y 2100, el valor máximo de la recarga promedio mensual se da en febrero con 5.65 hm<sup>3</sup>, mientras que su valor mínimo es de 0.00 hm<sup>3</sup> en julio. De agosto a noviembre se observa un incremento que oscila de 0.01 hm<sup>3</sup> a 2.65 hm<sup>3</sup>. En diciembre se produce un descenso de su valor a 0.82 hm<sup>3</sup>, pero se incrementa hasta 5.65 hm<sup>3</sup> en febrero. En marzo se produce un nuevo descenso que lo lleva hasta 1.58 hm<sup>3</sup>, pero en abril se incrementa a 3.39 hm<sup>3</sup>, aunque a partir de dicho mes decrece hasta alcanzar los 0.00 hm<sup>3</sup> en julio.

A partir de lo mencionado, se observa que en el periodo 2015-2040, existen 3 conjuntos de meses con tendencia decreciente del valor de la recarga promedio mensual, los cuales son de enero a marzo, de abril a julio y de octubre a diciembre, mientras que de julio a septiembre la recarga tiende a incrementarse. Entre el 2041 y 2070, se observa una clara tendencia creciente de agosto a octubre, de diciembre a marzo y de abril a mayo, pero una tendencia decreciente de mayo a julio. De 2071 a 2100, se ve un incremento de agosto a noviembre, de diciembre a febrero y de marzo a abril, pero un descenso de mayo a julio.

Por otra parte, en el 2015-2040, los meses de enero, febrero, abril y de julio a noviembre, es decir, la mayor parte del año, la recarga promedio mensual es superior a la del 2041-2070. Asimismo, en el 2041-2070, la mitad de los meses del año tienen una recarga por encima a la correspondiente al 2071-2100, siendo dichos meses marzo, mayo, junio, agosto, octubre y diciembre. Adicionalmente, si se compara entre los periodos 2015-2040 y 2071-2100, se observa que en los meses de febrero a mayo, septiembre, noviembre y diciembre la recarga promedio mensual aumenta del 2015 al 2100.

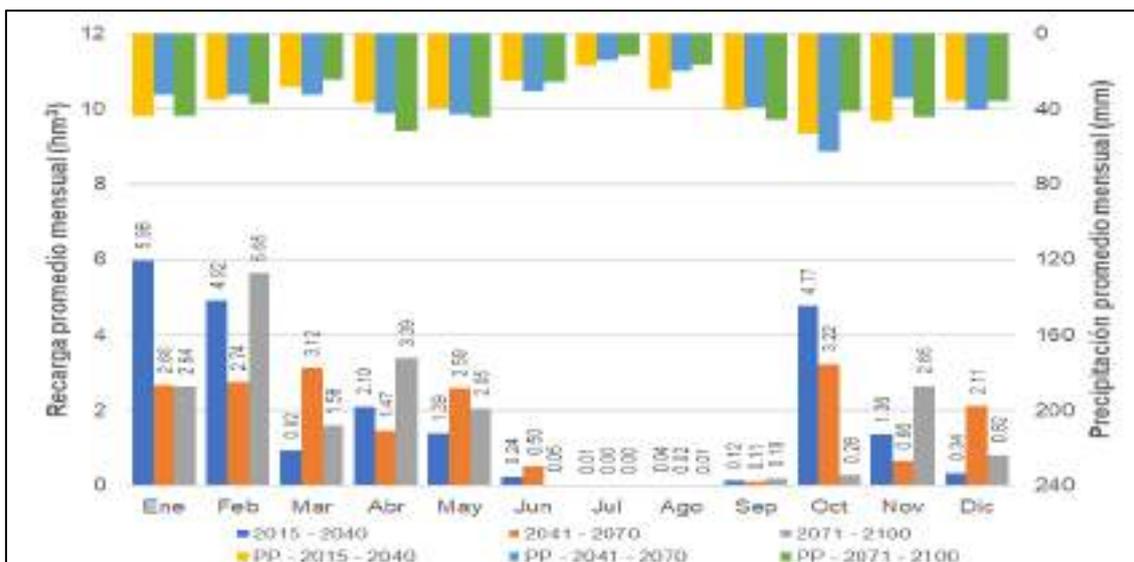


Figura 130. Recarga promedio mensual en Requena-Utiel para el escenario SSP3-7.0.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 55. Estadísticos de la recarga mensual para el escenario SSP3-7.0 entre 2015 y 2040 en Requena-Utiel

Mes	Promedio (hm <sup>3</sup> )	Máximo (hm <sup>3</sup> )		Desviación estándar (hm <sup>3</sup> )
		Valor (mm)	Fecha	
Ene	5.98	43.93	2035	12.78
Feb	4.92	94.45	2035	18.45
Mar	0.92	9.31	2031	2.42
Abr	2.10	28.12	2025	6.86
May	1.39	30.26	2031	5.93
Jun	0.24	2.81	2026	0.74
Jul	0.01	0.14	2030	0.03
Ago	0.04	0.43	2020	0.10
Sep	0.12	0.62	2038	0.19
Oct	4.77	121.70	2028	23.85
Nov	1.36	27.55	2028	5.36
Dic	0.34	2.32	2034	0.58

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 56. Estadísticos de la recarga mensual para el escenario SSP3-7.0 entre 2041 y 2070 en Requena-Utiel

Mes	Promedio (hm <sup>3</sup> )	Máximo (hm <sup>3</sup> )		Desviación estándar (hm <sup>3</sup> )
		Valor (mm)	Fecha	
Ene	2.66	29.91	2051	7.39
Feb	2.74	29.01	2066	6.81
Mar	3.12	35.02	2055	7.79
Abr	1.47	26.44	2053	4.93
May	2.59	34.85	2056	8.08
Jun	0.50	12.35	2062	2.26
Jul	0.00	0.05	2047	0.01
Ago	0.02	0.30	2070	0.06
Sep	0.11	0.83	2065	0.21
Oct	3.22	57.98	2041	11.76
Nov	0.66	9.35	2050	1.95
Dic	2.11	30.52	2070	6.29

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 57. Estadísticos de la recarga mensual para el escenario SSP3-7.0 entre 2071 y 2100 en Requena-Utiel

Mes	Promedio (hm <sup>3</sup> )	Máximo (hm <sup>3</sup> )		Desviación estándar (hm <sup>3</sup> )
		Valor (mm)	Fecha	
Ene	2.64	26.95	2095	5.99
Feb	5.65	76.66	2091	6.79
Mar	1.58	18.54	2071	7.38
Abr	3.39	26.11	2071	7.63
May	2.05	28.58	2077	9.30
Jun	0.05	0.92	2077	2.26
Jul	0.00	0.02	2096	0.00
Ago	0.01	0.04	2085	0.06
Sep	0.19	1.81	2072	0.37
Oct	0.28	2.65	2079	0.60
Nov	2.65	63.69	2079	11.59
Dic	0.82	11.56	2086	5.99

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 58. Estadísticos de la precipitación mensual para el escenario SSP3-7.0 entre 2015 y 2040 en Requena-Utiel

Mes	Promedio (mm)	Máximo		Desviación Estándar (mm)
		Valor (mm)	Fecha	
Ene	43.56	152.56	2025	44.70
Feb	35.20	180.30	2035	37.14
Mar	28.09	110.64	2031	28.62
Abr	36.84	114.52	2025	28.60
May	39.62	134.37	2034	32.36
Jun	24.95	80.82	2023	20.22
Jul	17.22	63.90	2030	15.63
Ago	29.88	102.45	2020	26.46
Sep	40.90	94.95	2018	31.26
Oct	53.11	540.73	2028	103.20
Nov	46.47	128.10	2030	37.51
Dic	35.50	162.72	2034	39.50

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 59. Estadísticos de la precipitación mensual para el escenario SSP3-7.0 entre 2041 y 2070 en Requena-Utiel

Mes	Promedio (mm)	Máximo		Desviación Estándar (mm)
		Valor (mm)	Fecha	
Ene	32.86	110.49	2055	26.36
Feb	32.47	115.97	2069	26.72
Mar	32.81	150.00	2048	33.23
Abr	42.15	103.14	2043	33.05
May	42.81	119.08	2056	33.44
Jun	30.47	89.54	2062	20.64
Jul	14.10	44.12	2055	13.98
Ago	19.84	74.53	2070	19.38
Sep	39.19	123.81	2041	35.71
Oct	62.96	306.09	2041	70.04
Nov	34.25	105.43	2052	22.83
Dic	40.49	125.81	2070	29.38

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 60. Estadísticos de la precipitación mensual para el escenario SSP3-7.0 entre 2071 y 2100 en Requena-Utiel

Mes	Promedio (mm)	Máximo		Desviación Estándar (mm)
		Valor (mm)	Fecha	
Ene	43.67	222.02	2095	49.79
Feb	37.13	180.95	2091	30.64
Mar	24.48	113.08	2096	27.28
Abr	51.54	222.60	2100	33.82
May	44.21	199.05	2073	46.17
Jun	25.56	86.40	2072	23.50
Jul	11.58	43.76	2093	12.38
Ago	16.38	69.95	2077	18.65
Sep	45.75	171.42	2072	41.41
Oct	41.22	182.05	2079	47.54
Nov	44.23	184.05	2079	38.38
Dic	35.67	159.98	2086	29.95

Fuente: Elaboración propia.

### Escenario SSP5-8.5

En lo que respecta al escenario SSP5-8.5, en la Figura 131, se observa que para el periodo entre 2015 y 2040, el valor máximo de la recarga promedio mensual es de 5.80 hm<sup>3</sup> en mayo, mientras que el mínimo es de 0.00 hm<sup>3</sup> y se da en julio. Se observa de agosto a noviembre, la recarga promedio mensual se incrementa de 0.01 hm<sup>3</sup> a 3.59 hm<sup>3</sup>, luego desciende a 1.48 hm<sup>3</sup> en diciembre, pero aumenta nuevamente hasta 3.79 hm<sup>3</sup> en febrero. Disminuye hasta 1.64 hm<sup>3</sup> en marzo y aumenta hasta alcanzar su valor máximo de 5.80 hm<sup>3</sup> en mayo, pero a partir de dicho mes empieza su descenso hasta 0.0 hm<sup>3</sup> en julio.

Respecto al periodo entre 2041 y 2070, se tiene que el valor máximo de recarga promedio mensual se da en febrero con 3.79 hm<sup>3</sup> y el mínimo se da en julio con 0.01 hm<sup>3</sup>. Se aprecia que, de agosto hasta noviembre, la recarga aumenta de 0.02 hm<sup>3</sup> a 1.14 hm<sup>3</sup>. En diciembre se produce un ligero descenso a 1.09 hm<sup>3</sup>, pero que a partir de dicho mes asciende a 3.79 hm<sup>3</sup> en febrero. Luego, en abril disminuye a 1.70 hm<sup>3</sup>, pero aumenta a 2.13 hm<sup>3</sup> en mayo, mes a partir del cual su valor va en descenso hasta llegar a 0.01 hm<sup>3</sup> en julio.

En lo concerniente al periodo entre 2071 y 2100, la recarga promedio mensual alcanza su máximo en febrero con 2.36 hm<sup>3</sup>, mientras que su mínimo es de 0.00 hm<sup>3</sup> y ocurre en julio. Se observa que de agosto a diciembre aumenta de 0.02 hm<sup>3</sup> a 2.27 hm<sup>3</sup>. En enero, su valor desciende a 1.95 hm<sup>3</sup>, pero se incrementa a 2.36 hm<sup>3</sup> en febrero, aunque nuevamente cae en marzo a

0.14 hm<sup>3</sup>, no obstante, aumenta hasta llegar a 0.68 hm<sup>3</sup> en mayo, descendiendo a 0.00 hm<sup>3</sup> en julio.

Como se puede apreciar, entre el 2015 y 2040, existen 3 conjuntos de meses que presentan una tendencia creciente: de septiembre a noviembre, de diciembre a febrero y de marzo a mayo. Por otra parte, del 2041 al 2070 los siguientes conjuntos de meses tienen una tendencia creciente: de agosto a noviembre, de diciembre a marzo y de abril a mayo. En lo concerniente al 2071 y 2100, la tendencia creciente se observa de agosto a diciembre, de enero a febrero y de marzo a mayo. Por lo general, en los 3 escenarios, de junio a agosto se tiene los meses con los valores más bajos de recarga promedio mensual, con tendencia a disminuir el valor de la recarga durante el transcurso de estos meses.

Asimismo, se observa también que en el periodo 2015-2040, el valor de la recarga promedio mensual de la mayoría de los meses está por encima de la recarga correspondiente al 2041-2070, a excepción de enero, marzo, agosto y octubre. Por otra parte, entre el 2071 y 2100, todos los valores de recarga promedio mensual están por debajo del periodo 2041-2070, a excepción de noviembre y diciembre. Adicionalmente, se aprecia que la recarga promedio de solo los meses de enero, agosto, octubre y diciembre del periodo 2071-2100 están por encima de la correspondiente al periodo 2015-2040.

Se puede afirmar que en los meses de febrero a julio, septiembre y noviembre la recarga promedio mensual tiende a disminuir del 2015 al 2100, con un notable, pero temporal incremento en marzo en el periodo 2041-2700, mientras que en agosto, octubre, diciembre y enero se aprecia el incremento de ésta.

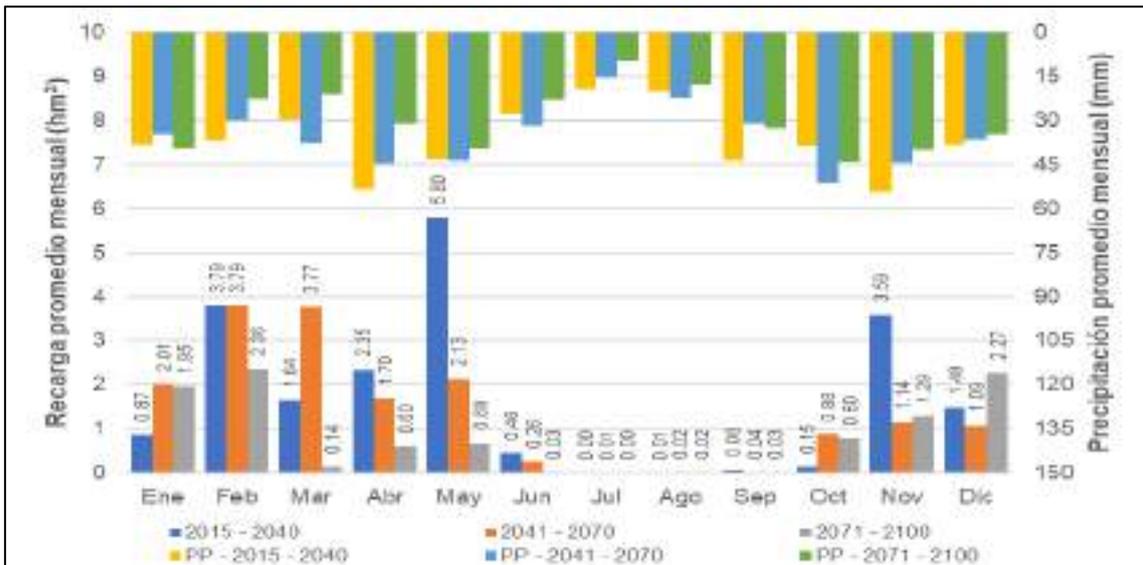


Figura 131. Recarga promedio mensual en Requena-Utiel para el escenario SSP5-8.5.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 61. Estadísticos de la recarga mensual para el escenario SSP5-8.5 entre 2015 y 2040 en Requena-Utiel

Mes	Promedio (hm <sup>3</sup> )	Máximo (hm <sup>3</sup> )		Desviación estándar (hm <sup>3</sup> )
		Valor (mm)	Fecha	
Ene	0.87	4.76	2027	1.46
Feb	3.79	50.81	2034	11.44
Mar	1.64	14.05	2030	3.82
Abr	2.35	32.00	2023	7.00
May	5.80	79.80	2029	17.20
Jun	0.46	6.08	2032	1.44
Jul	0.00	0.07	2039	0.01
Ago	0.01	0.12	2028	0.02
Sep	0.08	0.42	2016	0.12
Oct	0.15	0.99	2016	0.28
Nov	3.59	51.12	2020	12.15
Dic	1.48	16.83	2020	3.72

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 62. Estadísticos de la recarga mensual para el escenario SSP5-8.5 entre 2041 y 2070 en Requena-Utiel

Mes	Promedio (hm <sup>3</sup> )	Máximo (hm <sup>3</sup> )		Desviación estándar (hm <sup>3</sup> )
		Valor (mm)	Fecha	
Ene	2.01	29.07	2065	6.23
Feb	3.79	33.03	2055	8.56
Mar	3.77	42.16	2042	9.59
Abr	1.70	38.48	2069	7.07
May	2.13	32.49	2064	6.75
Jun	0.26	5.72	2049	1.06
Jul	0.01	0.05	2066	0.01
Ago	0.02	0.23	2044	0.05
Sep	0.04	0.43	2044	0.10
Oct	0.88	20.23	2042	3.68
Nov	1.14	19.33	2042	3.86
Dic	1.09	17.97	2056	3.41

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 63. Estadísticos de la recarga mensual para el escenario  
SSP5-8.5 entre 2071 y 2100 en Requena-Utiel

Mes	Promedio (hm <sup>3</sup> )	Máximo (hm <sup>3</sup> )		Desviación estándar (hm <sup>3</sup> )
		Valor (mm)	Fecha	
Ene	1.95	29.19	2088	5.65
Feb	2.36	42.04	2075	11.70
Mar	0.14	3.08	2088	5.71
Abr	0.60	15.80	2088	7.08
May	0.68	19.10	2088	6.49
Jun	0.03	0.21	2073	0.23
Jul	0.00	0.01	2079	0.01
Ago	0.02	0.24	2093	0.04
Sep	0.03	0.62	2079	0.12
Oct	0.80	20.33	2078	3.69
Nov	1.29	11.94	2080	2.74
Dic	2.27	35.26	2083	3.44

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 64. Estadísticos de la precipitación mensual para el escenario  
SSP5-8.5 entre 2015 y 2040 en Requena-Utiel

Mes	Promedio (mm)	Máximo		Desviación Estándar (mm)
		Valor (mm)	Fecha	
Ene	38.24	134.52	2030	39.23
Feb	37.03	123.31	2034	28.90
Mar	29.83	73.34	2032	21.17
Abr	53.16	171.58	2033	44.91
May	43.43	226.57	2029	50.82
Jun	27.88	108.08	2016	21.85
Jul	19.25	72.65	2036	20.77
Ago	20.20	69.18	2028	15.01
Sep	43.72	110.32	2031	31.03
Oct	38.72	111.91	2016	33.57
Nov	54.50	209.78	2020	52.17
Dic	38.16	110.81	2026	31.70

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 65. Estadísticos de la precipitación mensual para el escenario  
SSP5-8.5 entre 2041 y 2070 en Requena-Utiel

Mes	Promedio (mm)	Máximo		Desviación Estándar (mm)
		Valor (mm)	Fecha	
Ene	34.57	219.87	2065	46.47
Feb	30.22	98.77	2055	29.63
Mar	37.72	152.28	2042	35.37
Abr	44.67	194.73	2069	40.28
May	43.54	170.95	2064	36.31
Jun	31.87	107.02	2062	27.91
Jul	15.55	56.27	2066	14.65
Ago	22.17	102.66	2044	20.58
Sep	31.11	92.28	2044	22.48
Oct	51.27	232.66	2042	54.25
Nov	44.51	152.84	2054	38.34
Dic	36.52	164.95	2056	38.13

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 66. Estadísticos de la precipitación mensual para el escenario SSP5-8.5 entre 2071 y 2100 en Requena-Utiel

Mes	Promedio (mm)	Máximo		Desviación Estándar (mm)
		Valor (mm)	Fecha	
Ene	39.85	191.73	2088	39.75
Feb	22.54	104.31	2096	32.29
Mar	21.25	62.11	2100	27.98
Abr	31.06	103.10	2093	37.69
May	39.79	114.28	2071	36.74
Jun	22.81	73.81	2087	27.78
Jul	9.82	29.25	2077	15.13
Ago	18.02	83.69	2079	18.42
Sep	32.60	116.58	2079	25.38
Oct	44.11	234.35	2078	49.45
Nov	40.16	180.58	2083	35.87
Dic	34.59	144.96	2072	38.13

Fuente: Elaboración propia.

### Recarga anual en los 3 escenarios

En lo concerniente a la recarga anual, de la Figura 132 a la Figura 134 se presentan las recargas anuales del 2015 al 2040, del 2041 al 2070 y del 2071 al 2100, mientras que en la Figura 135 se presenta la recarga promedio anual para cada uno de los periodos mencionados y los escenarios empleados. Se observa que el escenario SSP1-2.6 posee los mayores valores de recarga promedio anual en los periodos del 2015 al 2040 y del 2041 al 2070, mientras que del 2071 al 2100, el mayor valor de recarga promedio anual se encuentra en el escenario SSP3-7.0.

A través de los 3 periodos, para el escenario SSP1-2.6, se tiene que en promedio la recarga anual es de 22.37 hm<sup>3</sup> en el 2015-2040, pero del 2041 al 2070 se incrementa a 24.33 hm<sup>3</sup>, sin embargo, decrece a 15.28 hm<sup>3</sup> del 2071 al 2100.

Para el escenario SSP3-7.0, su recarga promedio anual disminuye de 22.20 hm<sup>3</sup> a 19.20 hm<sup>3</sup> de los periodos 2015-2040 al 2041-2070. Luego, se incrementa ligeramente a 19.29 hm<sup>3</sup> en 2071-2100.

Respecto al escenario SSP5-8.5, se observa un descenso progresivo de la recarga anual promedio que toma los valores 20.23 hm<sup>3</sup>, 16.84 hm<sup>3</sup> y 10.17 hm<sup>3</sup> para los periodos 2015-2040, 2041-2070 y 2071-2100, respectivamente.

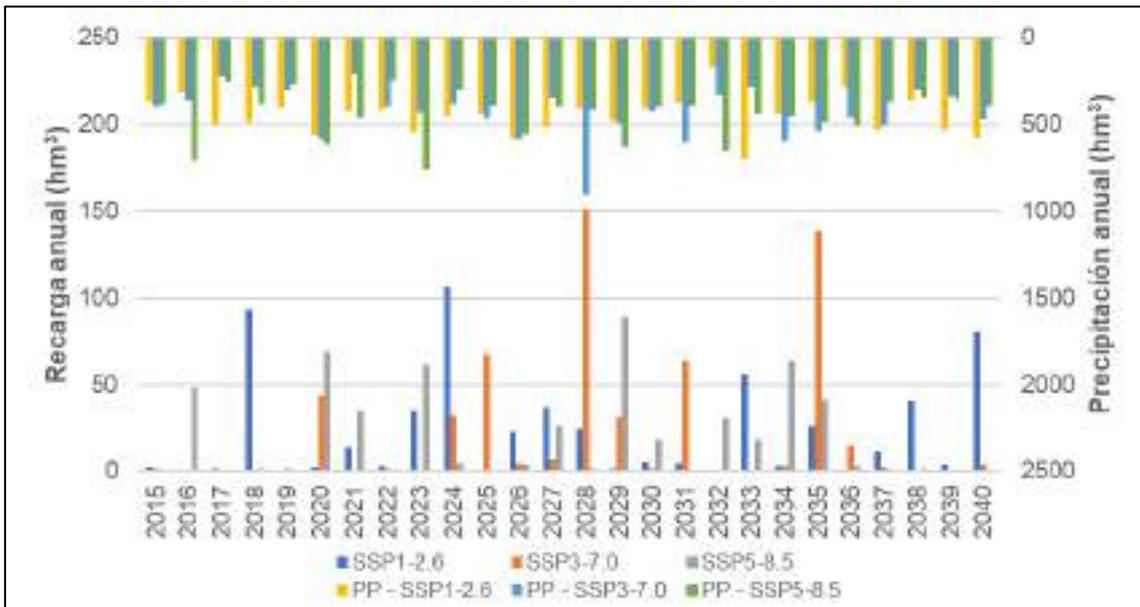


Figura 132. Recarga anual en Requena-Utiel del 2015 al 2040 para los 3 escenarios de Cambio Climático.

Fuente: Elaboración propia.

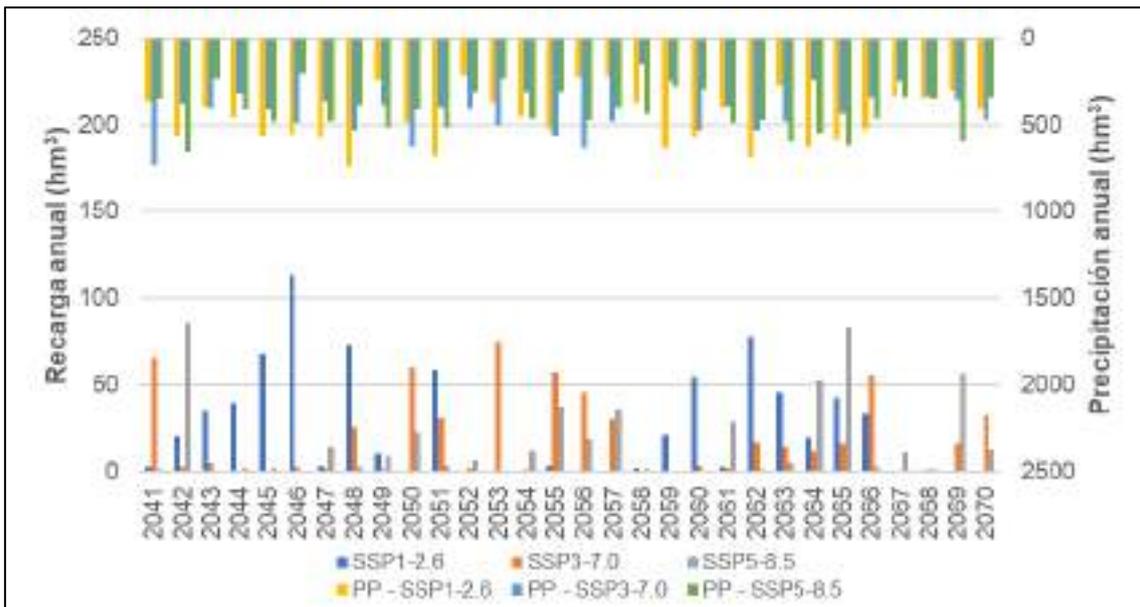


Figura 133. Recarga anual en Requena-Utiel del 2041 al 2070 para los 3 escenarios de Cambio Climático.

Fuente: Elaboración propia.

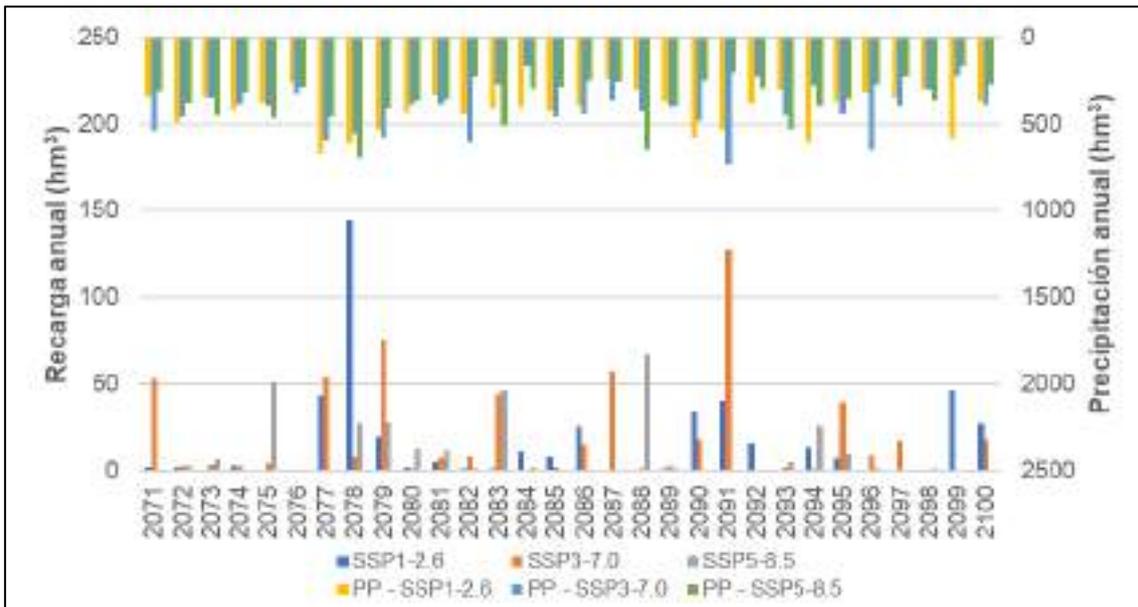


Figura 134. Recarga anual en Requena-Utiel del 2071 al 2100 para los 3 escenarios de Cambio Climático.

Fuente: Elaboración propia.

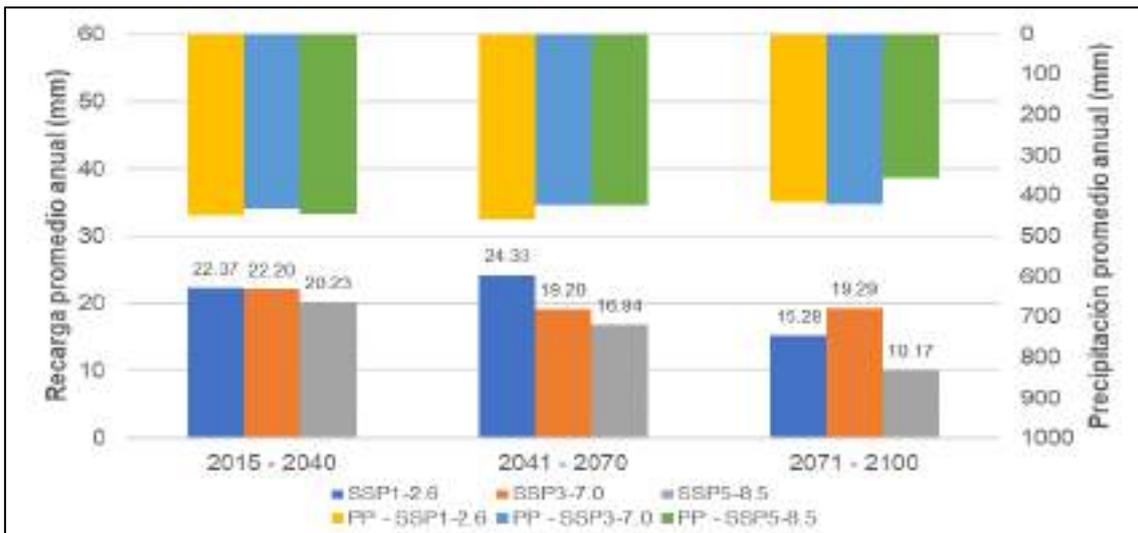


Figura 135. Recarga promedio anual en Requena-Utiel para los 3 escenarios de Cambio Climático.

Fuente: Elaboración propia.

De manera complementaria, de la Tabla 67 a la Tabla 69 se presentan datos estadísticos concernientes a la recarga anual para cada uno los escenarios y los 3 periodos considerados. De forma similar, de la Tabla 70 a la Tabla 72 se muestran valores referenciales de la precipitación anual para cada escenario y periodo analizado.

Tabla 67. Estadísticos de la recarga anual entre 2015 y 2040 en Requena-Utiel de GFDL-ESM4

Escenario	Promedio (hm <sup>3</sup> )	Máximo (hm <sup>3</sup> )		Desviación estándar (hm <sup>3</sup> )
		Valor	Año	
SSP1-2.6	22.37	106.82	2024	30.50
SSP3-7.0	22.20	150.46	2028	40.93
SSP5-8.5	20.23	88.72	2029	26.46

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 68. Estadísticos de la recarga anual entre 2041 y 2070 en Requena-Utiel de GFDL-ESM4

Escenario	Promedio (hm <sup>3</sup> )	Máximo (hm <sup>3</sup> )		Desviación estándar (hm <sup>3</sup> )
		Valor	Año	
SSP1-2.6	24.33	113.65	2046	30.28
SSP3-7.0	19.20	75.33	2053	23.23
SSP5-8.5	16.84	85.33	2042	23.96

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 69. Estadísticos de la recarga anual entre 2071 y 2100 en Requena-Utiel de GFDL-ESM4

Escenario	Promedio (hm <sup>3</sup> )	Máximo (hm <sup>3</sup> )		Desviación estándar (hm <sup>3</sup> )
		Valor	Año	
SSP1-2.6	15.28	144.26	2078	32.19
SSP3-7.0	19.29	127.54	2091	24.22
SSP5-8.5	10.17	67.34	2088	21.30

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 70. Estadísticos de la precipitación anual entre 2015 y 2040 en Requena-Utiel de GFDL-ESM4

Escenario	Promedio (hm <sup>3</sup> )	Máximo (hm <sup>3</sup> )		Desviación estándar (hm <sup>3</sup> )
		Valor	Año	
SSP1-2.6	446.99	698.37	2033	108.29
SSP3-7.0	431.34	907.92	2028	149.27
SSP5-8.5	444.11	754.83	2023	136.04

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 71. Estadísticos de la precipitación anual entre 2041 y 2070 en Requena-Utiel de GFDL-ESM4

Escenario	Promedio (hm <sup>3</sup> )	Máximo (hm <sup>3</sup> )		Desviación estándar (hm <sup>3</sup> )
		Valor	Año	
SSP1-2.6	457.75	739.16	2048	149.75
SSP3-7.0	424.41	733.85	2041	128.26
SSP5-8.5	423.71	660.33	2042	119.43

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 72. Estadísticos de la precipitación anual entre 2071 y 2100 en Requena-Utiel de GFDL-ESM4

Escenario	Promedio (hm <sup>3</sup> )	Máximo (hm <sup>3</sup> )		Desviación estándar (hm <sup>3</sup> )
		Valor	Año	
SSP1-2.6	416.51	669.59	2077	145.07
SSP3-7.0	421.42	727.86	2091	118.37
SSP5-8.5	356.60	694.87	2078	113.51

Fuente: Elaboración propia.

### **6.5.5. Variación de la recarga**

Respecto a la variación de la recarga, para Requena-Utiel, en el escenario SSP1-2.6, para el periodo 2015-2040, se tiene que la recarga promedio mensual disminuiría, respecto al periodo de control, en un 94.1%, 90.8% y 85.2% en junio, octubre y noviembre, respectivamente, aunque aumentaría en un 64.1%, 49.8%, 11.4% y 2.6% en julio, abril, marzo y septiembre, correspondientemente. Los meses restantes tienen una reducción de la recarga promedio mensual que oscila entre el 15% y 58%, a excepción de enero, cuya recarga promedio disminuiría en un 8.9%.

Luego, en el periodo 2041-2070, los meses de junio, abril y mayo disminuirían en un 84.0%, 64.5% y 45.1%, pero se incrementaría en un 64.4%, 49.5%, 23.9%, 23.5% y 13.7% en febrero, septiembre, julio, diciembre y agosto, respectivamente. En el resto de meses la recarga promedio disminuiría entre un 8% y 30%.

Posteriormente, en 2071-2100, la recarga promedio descendería en un 84.1%, 76.4% y 58.0% en octubre, noviembre y diciembre, mientras que se incrementaría en un 94.5% en julio. El resto de meses presentaría una reducción de su recarga promedio mensual en un rango del 36% y 57%, a excepción de junio y febrero cuya disminución es del 17.3% y 21.6%, respectivamente.

En el escenario SSP3-7.0, para el periodo 2015-2040, la recarga promedio mensual se reduciría en un 88.3%, 88.3% y 66.6% en junio, diciembre y mayo, respectivamente, y se incrementaría en 76.6%, 16.4% y 2.8% en febrero, enero y septiembre, teniendo un incremento de más del 100% en julio, agosto y octubre. En el resto de meses, la recarga promedio se reduce entre un 58% y 65%.

Luego, en el periodo 2041-2070, la recarga promedio se reduciría en un 83.1%, 75.4% y 72.7% en noviembre, junio y abril, respectivamente, mientras que se incrementaría en un 72.9% y 38.7% en octubre y marzo, correspondientemente. En el resto de meses, el descenso está en el rango del 12% y 49%, a excepción de febrero, julio y agosto, cuyo descenso es menor del 2%.

En lo concerniente al periodo 2071-2100, la recarga promedio decrecería en un 97.8%, 85.1% y 72.2% durante junio, octubre y diciembre, pero aumentaría en un 102.5% y 55.4% en febrero y septiembre, correspondientemente. En el resto de meses, la recarga promedio se reduciría en un rango del 29% al 62%.

En el escenario SSP5-8.5, en el periodo 2015-2040, la recarga promedio se reduciría en un 92.1%, 83.0% y 77.3% en octubre, enero y junio, respectivamente, no obstante, aumentaría en un 62.9%, 39.7% y 36.1% en julio, mayo y febrero. En el resto de meses la reducción oscila entre un 26% y 57%, a excepción de noviembre en la que es del 8.0%.

Durante 2041-2070, la recarga promedio mensual se reduciría en un 87.2%, 70.6% y 68.6% en junio, noviembre y abril, respectivamente, aunque aumentaría en un 87.8%, 67.6%, 36.0% y 17.8% en julio, marzo, febrero y agosto, correspondientemente. En los meses restantes, la recarga promedio se reduce entre el 48% y 69%.

En el periodo 2071-2100, la recarga promedio decrecería en un 98.7%, 93.8% y 88.9% en junio, marzo y abril, correspondientemente, pero se incrementaría en un 13.7% en agosto. En relación al resto de meses, su recarga promedio descendería entre un 57% y 88%, con excepción de febrero y diciembre, en los que disminuiría en un 15.5% y 22.7%, respectivamente.

A nivel anual, en Requena-Utiel, en el escenario SSP1-2.6, la recarga promedio anual se reduciría en un 26.9%, 20.5% y 50.1% en los periodos 2015-2040, 2041-2070 y 2071-2100, respectivamente. En lo concerniente al escenario SSP3-7.0, la recarga promedio anual descendería en un 27.5%, 37.3% y 37.0% del 2015 al 2040, 2041 al 2070 y 2071 al 2100, correspondientemente. Por último, en el escenario SSP5-8.5, la reducción de la recarga promedio anual es del 33.9%, 45.0% y 66.8% para los 3 periodos en el orden mencionado.

## 6.6. Recarga estimada en Cabrillas-Malacara

### 6.6.1. Recarga estimada con ERA5

En lo concerniente a la recarga mensual obtenida con ERA5 y la estimación de parámetros realizada, se tiene en la Figura 136 la serie mensual para Cabrillas-Malacara desde 1973 al 2022. Se observa que en diciembre de 1989 alcanza su valor máximo de  $3.95 \text{ hm}^3$ , tal como se presenta en la Tabla 73. Asimismo, en la Tabla 74 se muestran los estadísticos de la precipitación mensual.

Por otro parte, en la Figura 137 se muestra la recarga promedio mensual. El valor máximo se da en marzo con  $0.22 \text{ hm}^3$ , mientras que el mínimo se tiene en julio con  $0.00 \text{ hm}^3$ . Se tiene que, de agosto a octubre, la recarga promedio aumenta de  $0.01 \text{ hm}^3$  a  $0.12 \text{ hm}^3$ . Luego, en noviembre desciende ligeramente a  $0.10 \text{ hm}^3$ , pero aumenta hasta llegar a  $0.21 \text{ hm}^3$  en enero. En febrero se aprecia un claro descenso de  $0.08 \text{ hm}^3$ , pero aumenta hasta los  $0.22 \text{ hm}^3$  en marzo, aunque posteriormente disminuye hasta alcanzar los  $0.00 \text{ hm}^3$  en julio.

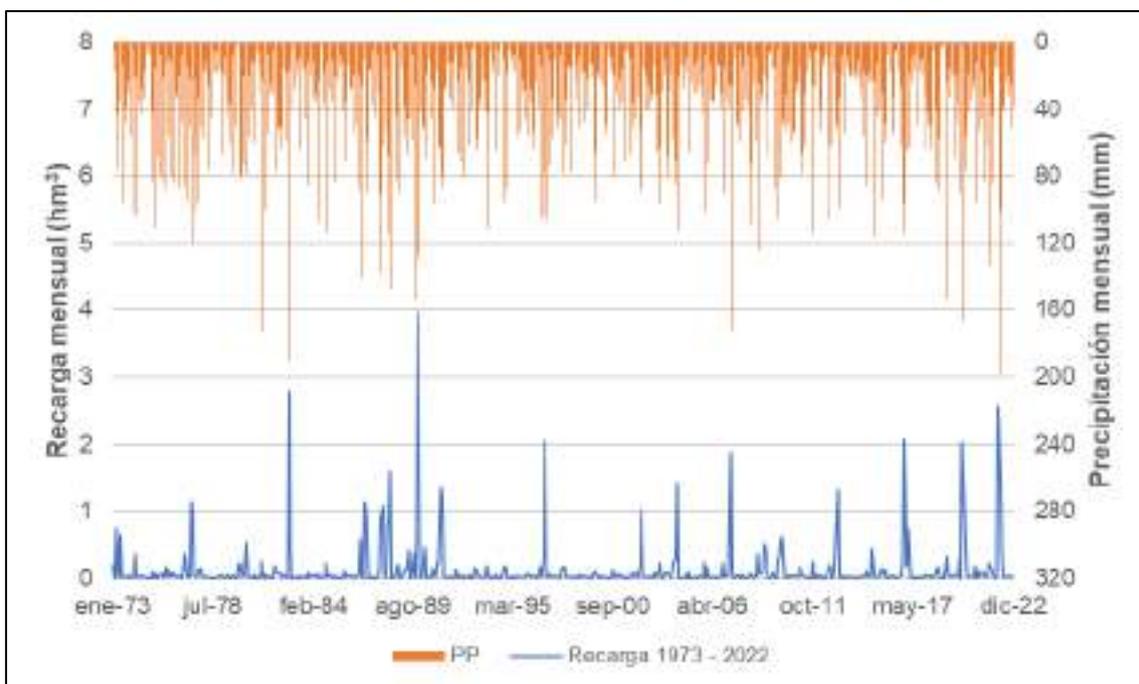


Figura 136. Recarga mensual entre 1973 y 2022 en la masa de agua subterránea Cabrillas-Malacara.

Fuente: Elaboración propia.

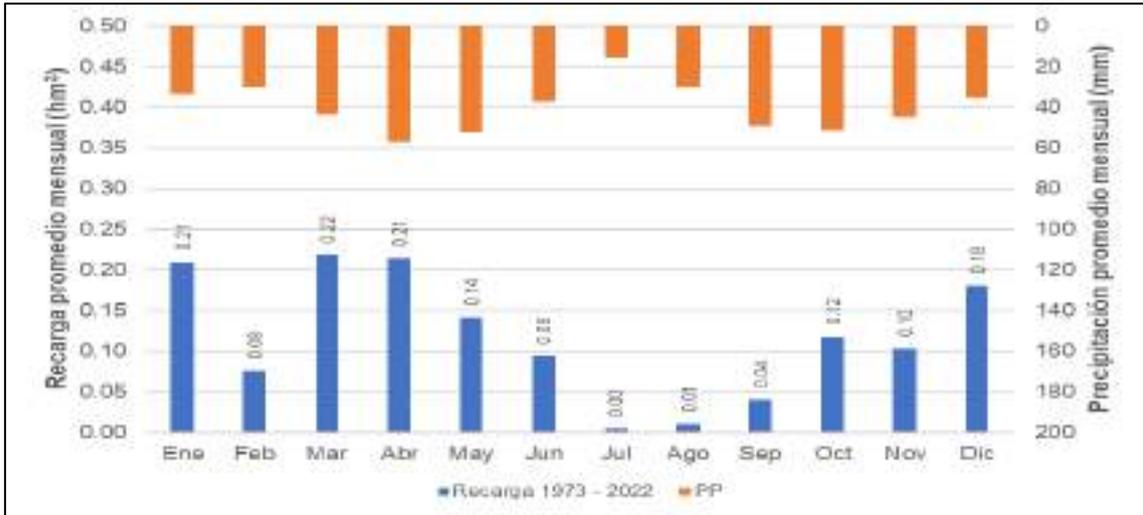


Figura 137. Recarga promedio mensual del periodo entre 1973 y 2022 Cabrillas-Malacara.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 73. Estadísticos de la serie de recarga mensual entre 1973 y 2022 en Cabrillas-Malacara

Mes	Promedio (hm³)	Máximo (hm³)		Desviación estándar (hm³)
		Valor	Fecha	
Ene	0.21	2.34	01/1990	0.49
Feb	0.08	1.04	02/1987	0.17
Mar	0.22	2.56	03/2022	0.50
Abr	0.21	1.88	04/2007	0.42
May	0.14	1.43	05/2004	0.31
Jun	0.09	1.59	06/1988	0.28
Jul	0.00	0.04	07/1977	0.01
Ago	0.01	0.04	08/1975	0.01
Sep	0.04	0.35	09/1989	0.07
Oct	0.12	2.80	10/1982	0.40
Nov	0.10	0.89	11/1987	0.17
Dic	0.18	3.95	12/1989	0.63

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 74. Estadísticos de la precipitación mensual de ERA5 entre 1973 y 2022 en Cabrillas-Malacara

Mes	Promedio (mm)	Máximo (mm)		Desviación estándar (mm)
		Valor	Fecha	
Ene	33.13	105.93	01/01/1997	29.83
Feb	30.05	81.49	01/02/1980	20.71
Mar	43.29	197.58	01/03/2022	39.69
Abr	57.13	172.59	01/04/1981	38.09
May	52.24	119.25	01/05/1977	30.93
Jun	37.05	147.78	01/06/1988	30.07
Jul	15.77	66.32	01/07/1977	13.64
Ago	29.65	86.94	01/08/1976	20.13
Sep	48.84	153.46	01/09/1989	33.39
Oct	51.52	190.34	01/10/1982	39.24
Nov	44.82	137.77	01/11/1987	36.81
Dic	35.00	130.54	01/12/1989	32.79

Fuente: Elaboración propia.

En relación a la recarga anual, su serie se muestra en la Figura 138. En la Tabla 75 se presenta que su promedio es de 1.41 hm<sup>3</sup>, mientras que su máximo es de 5.84 hm<sup>3</sup> y se da en 1989, coincidiendo con el máximo valor de precipitación anual de 771.01 mm. En la Tabla 76 se presentan los valores referenciales de la precipitación anual correspondiente.

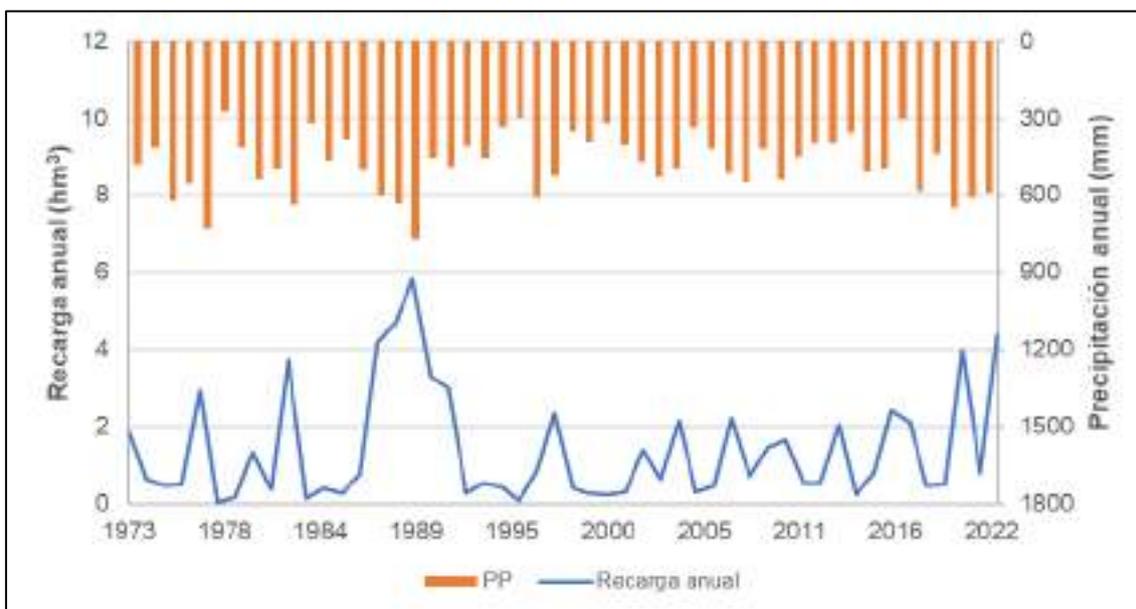


Figura 138. Recarga anual del periodo entre 1973 y 2022 en Cabrillas-Malacara.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 75. Estadísticos de la recarga anual obtenida entre 1973 y 2022 en Cabrillas-Malacara

Promedio (hm <sup>3</sup> )	Máximo (hm <sup>3</sup> )		Desviación estándar (hm <sup>3</sup> )
	Valor	Año	
1.41	5.84	1989	1.43

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 76. Estadísticos de la precipitación anual de ERA5 entre 1973 y 2022 en Cabrillas-Malacara

Promedio (mm)	Máximo (mm)		Desviación estándar (mm)
	Valor	Año	
478.47	771.01	1989	113.13

Fuente: Elaboración propia.

## 6.6.2. Comparación con la recarga estimada con PATRICAL

En la Figura 139 se pueden apreciar las series de recarga mensual de PATRICAL y TETIS, mientras que en la Figura 140 se tiene los promedios mensuales. Se observa que los valores estimados con TETIS no superan los  $0.30 \text{ hm}^3$ , mientras que los calculados con PATRICAL pueden superar los  $2.5 \text{ hm}^3$ .

En enero, se tiene la mayor diferencia entre ambas estimaciones, la cual asciende a  $2.52 \text{ hm}^3$ . En febrero, esta diferencia se reduce a  $1.28 \text{ hm}^3$ , aunque en marzo y abril se incrementa a  $2.14 \text{ hm}^3$  y  $2.15 \text{ hm}^3$ , respectivamente. En mayo, la resta de las 2 estimaciones presentadas es  $0.89 \text{ hm}^3$ . Luego, de junio a septiembre, ambos cálculos difieren como máximo en  $0.40 \text{ hm}^3$ , lo cual se da en junio y septiembre. Al igual que en el caso de Requena-Utiel, de octubre a diciembre se presenta una mayor desigualdad en ambos cálculos, lo cual se debería a la misma razón expuesta para Requena-Utiel.

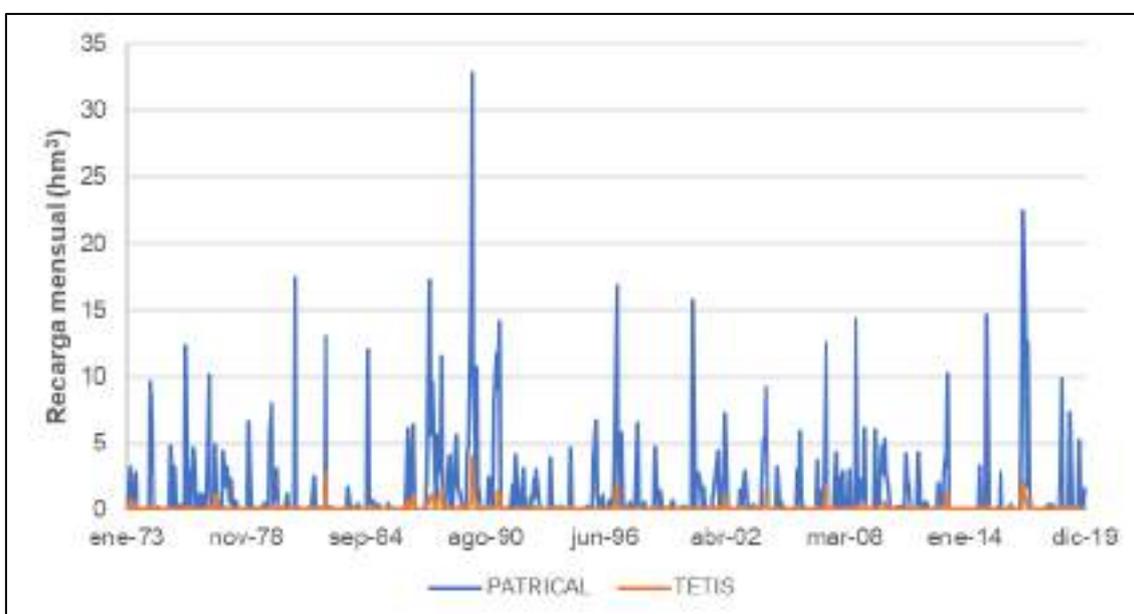


Figura 139. Recarga mensual de PATRICAL y TETIS entre 1973 y 2019 en Cabrillas-Malacara.

Fuente: Elaboración propia.

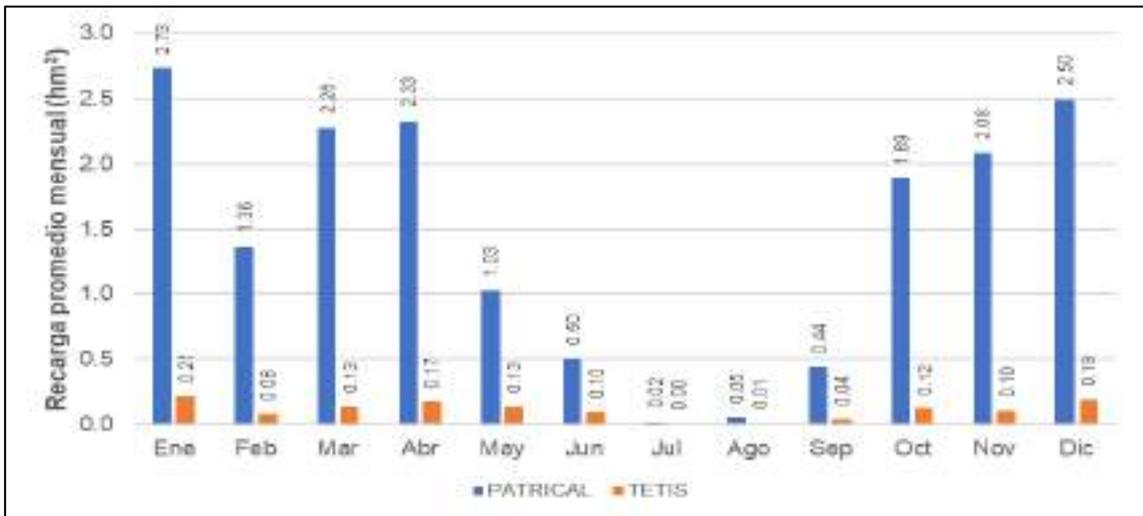


Figura 140. Comparación de la recarga promedio mensual obtenida por PATRICAL y TETIS entre 1973 y 2019 en Cabrillas-Malacara.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 77. Estadísticos de la serie de recarga mensual entre 1973 y 2019 en Cabrillas-Malacara de PATRICAL

Mes	Promedio (hm <sup>3</sup> )	Máximo (hm <sup>3</sup> )		Desviación estándar (hm <sup>3</sup> )
		Valor	Fecha	
Ene	2.73	16.83	01/1997	4.14
Feb	1.36	11.72	02/1991	2.20
Mar	2.28	14.61	03/2015	3.69
Abr	2.33	17.37	04/1981	4.03
May	1.03	9.23	05/2004	1.92
Jun	0.50	11.55	06/1988	1.81
Jul	0.02	0.31	07/1976	0.05
Ago	0.05	1.22	08/1976	0.19
Sep	0.44	5.99	09/2009	1.26
Oct	1.89	15.78	10/2000	3.69
Nov	2.08	17.26	11/1987	4.08
Dic	2.50	32.84	12/1989	5.92

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 78. Estadísticos de la serie de recarga mensual entre 1973 y 2019 en Cabrillas-Malacara de TETIS

Mes	Promedio (hm <sup>3</sup> )	Máximo (hm <sup>3</sup> )		Desviación estándar (hm <sup>3</sup> )
		Valor	Fecha	
Ene	0.21	2.34	01/1990	0.51
Feb	0.08	1.04	02/1987	0.17
Mar	0.13	1.34	03/1991	0.27
Abr	0.17	1.88	04/2007	0.38
May	0.13	1.43	05/2004	0.31
Jun	0.10	1.59	06/1988	0.29
Jul	0.00	0.04	07/1977	0.01
Ago	0.01	0.04	08/1975	0.01
Sep	0.04	0.35	09/1989	0.06
Oct	0.12	2.80	10/1982	0.41
Nov	0.10	0.89	11/1987	0.17
Dic	0.19	3.95	12/1989	0.65

Fuente: Elaboración propia.

En lo concerniente a la recarga anual, en la Figura 141 se presenta la serie anual de ambos modelos. Asimismo, en la Tabla 79 y la Tabla 80 se presentan los estadísticos a nivel anual para PATRICAL y TETIS, respectivamente. Se observa que la recarga promedio anual de PATRICAL es superior en más de un 1000% a la estimada por TETIS.

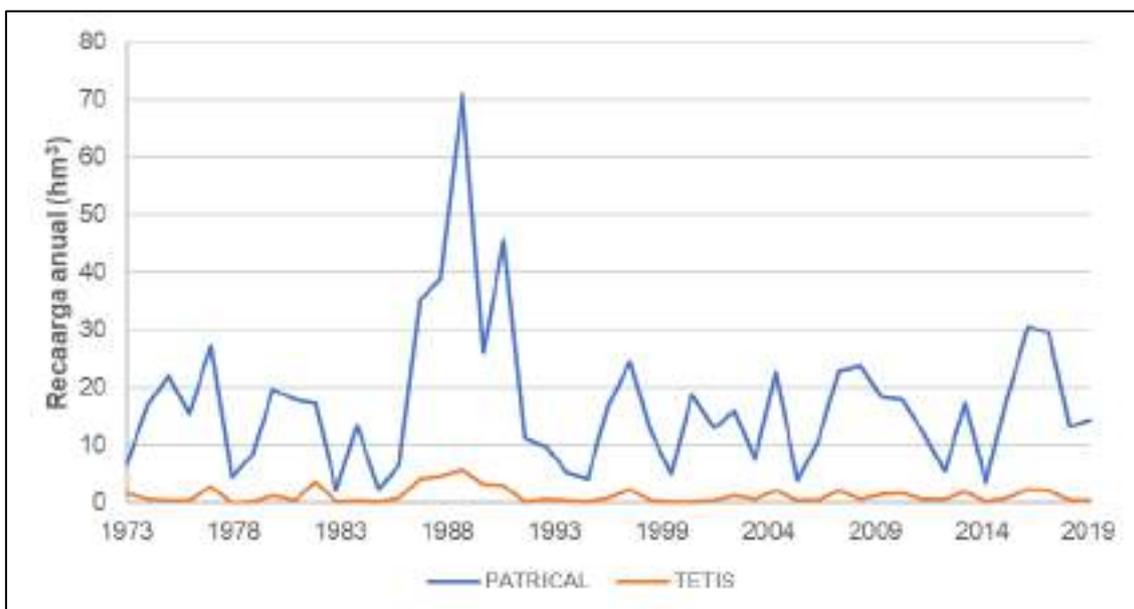


Figura 141. Recarga anual del periodo entre 1973 y 2022 de PATRICAL y TETIS en Cabrillas-Malacara.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 79. Estadísticos de la recarga anual entre 1973 y 2019 en Cabrillas-Malacara de PATRICAL

Promedio (hm <sup>3</sup> )	Máximo (hm <sup>3</sup> )		Desviación estándar (hm <sup>3</sup> )
	Valor	Año	
17.21	71.15	1989	12.70

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 80. Estadísticos de la recarga anual entre 1973 y 2019 en Cabrillas-Malacara de TETIS

Promedio (hm <sup>3</sup> )	Máximo (hm <sup>3</sup> )		Desviación estándar (hm <sup>3</sup> )
	Valor	Año	
1.31	5.84	1989	1.36

Fuente: Elaboración propia.

### 6.6.3. Comparación con la recarga histórica del modelo GFDL-ESM4

En la Figura 142 se presentan las series mensuales de la recarga con GFDL-ESM4 y ERA5, mientras que en la Tabla 81 y la Tabla 82 se muestran los estadísticos de dichas series.

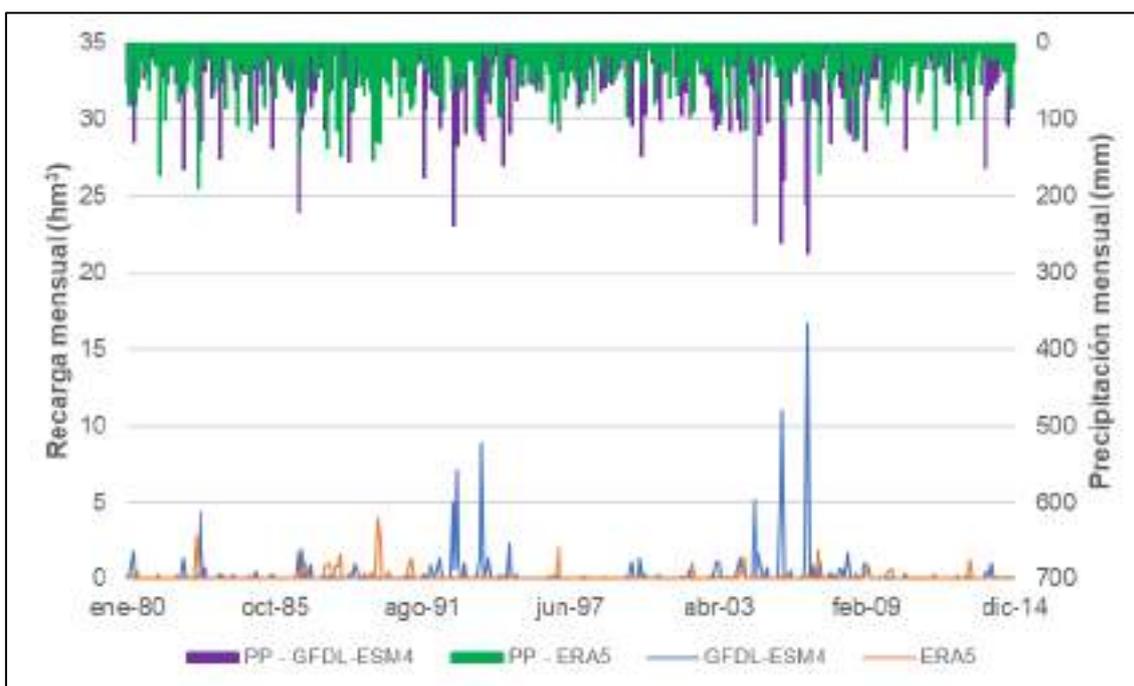


Figura 142. Recarga mensual de GFDL-ESM4 y ERA5 entre 1980 y 2014 en Requena-Utiel.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 143, se tiene que, para GFDL-ESM4, en noviembre se tiene la mayor media con  $1.01 \text{ hm}^3$ , seguido de enero con  $0.60 \text{ hm}^3$  y octubre con  $0.45 \text{ hm}^3$ , mientras que los valores mínimos se encuentran en julio y agosto, con  $0.00 \text{ hm}^3$  y  $0.01 \text{ hm}^3$ , respectivamente. Respecto a ERA5, el mayor valor de la media se da en enero con  $0.24 \text{ hm}^3$ , seguido de abril con  $0.21 \text{ hm}^3$ , mientras que el valor mínimo se da en julio y agosto con  $0.00 \text{ hm}^3$  y  $0.01 \text{ hm}^3$ , respectivamente.

En lo concerniente a los valores máximos, en noviembre 2006 y enero 1994 se produjeron unas recargas de  $16.66 \text{ hm}^3$  y  $8.80 \text{ hm}^3$ , correspondientemente, mientras que para ERA5, las recargas de mayor valor se dan en diciembre de 1989 y octubre de 1982 con  $3.95 \text{ hm}^3$  y  $2.80 \text{ hm}^3$ , respectivamente.

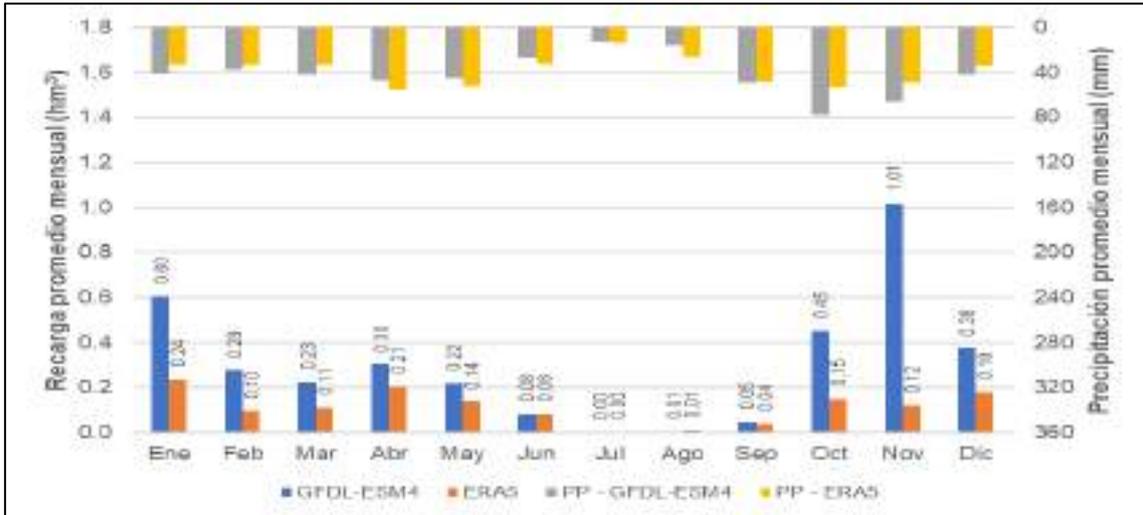


Figura 143. Recarga promedio mensual de GFDL-ESM4 y ERA5 entre 1980 y 2014 en Cabrillas-Malacara.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 81. Estadísticos de la recarga mensual de GFDL-ESM4 entre 1980 y 2014 en Cabrillas-Malacara

Mes	Promedio (hm <sup>3</sup> )	Máximo (hm <sup>3</sup> )		Desviación estándar (hm <sup>3</sup> )
		Valor	Fecha	
Ene	0.60	8.80	01/01/1994	1.86
Feb	0.28	2.27	01/02/1995	0.47
Mar	0.23	1.41	01/03/2004	0.36
Abr	0.30	1.81	01/04/1980	0.52
May	0.22	1.41	01/05/1992	0.40
Jun	0.08	1.72	01/06/2008	0.30
Jul	0.00	0.02	01/07/1997	0.01
Ago	0.01	0.05	01/08/1995	0.01
Sep	0.05	0.30	01/09/1991	0.08
Oct	0.45	5.38	01/10/2005	1.26
Nov	1.01	16.66	01/11/2006	3.38
Dic	0.38	4.37	01/12/1982	0.86

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 82. Estadísticos de la recarga mensual obtenida con ERA5 en el periodo entre 1980 y 2014 en Cabrillas-Malacara

Mes	Promedio (hm <sup>3</sup> )	Máximo (hm <sup>3</sup> )		Desviación estándar (hm <sup>3</sup> )
		Valor	Fecha	
Ene	0.24	2.34	01/1990	0.55
Feb	0.10	1.04	02/1987	0.19
Mar	0.11	1.34	03/1991	0.27
Abr	0.21	1.88	04/2007	0.43
May	0.14	1.43	05/2004	0.32
Jun	0.08	1.59	06/1988	0.28
Jul	0.00	0.03	07/2014	0.01
Ago	0.01	0.04	08/1982	0.01
Sep	0.04	0.35	09/1989	0.07
Oct	0.15	2.80	10/1982	0.48
Nov	0.12	0.89	11/1987	0.19
Dic	0.18	3.95	12/1989	0.68

Fuente: Elaboración propia.

En lo concerniente a la comparación de los resultados con GFDL-ESM4 y ERA5, se puede decir lo siguiente. Como se puede observar en la Figura 143, en enero y febrero, la recarga con GFDL-ESM4 excede en aproximadamente 150% y 180% a la estimada con ERA5, respectivamente. En marzo, ambas estimaciones discrepan en un 97.7%, pero en abril disminuye a un 46.7%, aunque en mayo aumenta a 55.4%. En junio se reduce al 1.3%, mientras que en los 2 meses siguientes ésta es de -2.3% y -40.9%, dado que la recarga de ERA5 es superior en 0.0001 hm<sup>3</sup> y 0.004 hm<sup>3</sup> en julio y agosto, respectivamente. En septiembre, nuevamente GFDL-ESM4 es mayor en un 22.4%, mientras que en los 3 meses siguientes su superioridad es del 200.3%, 734.1% y 108.4% en octubre, noviembre y diciembre, respectivamente.

En la Figura 142 se presenta la serie histórica de la precipitación mensual de ambas fuentes y en la Figura 143 se muestra la media mensual, en la que se observa que la media no difiere en más de 10 mm en la mayoría de los meses, a excepción de agosto, octubre y noviembre, lo cual repercute en los meses siguientes, tal como se explicó para el caso de Requena-Utiel.

En la Figura 144 se aprecia que, mensualmente, el modelo GFDL-ESM4 posee un mayor rango de valores, a comparación de ERA5, a excepción de abril, mayo, junio, julio y agosto, meses en los cuales el valor promedio es mayor en ERA5. De manera complementaria, en la Tabla 83 y Tabla 84 se presentan datos estadísticos de la precipitación de GFDL-ESM4 y ERA5, respectivamente.

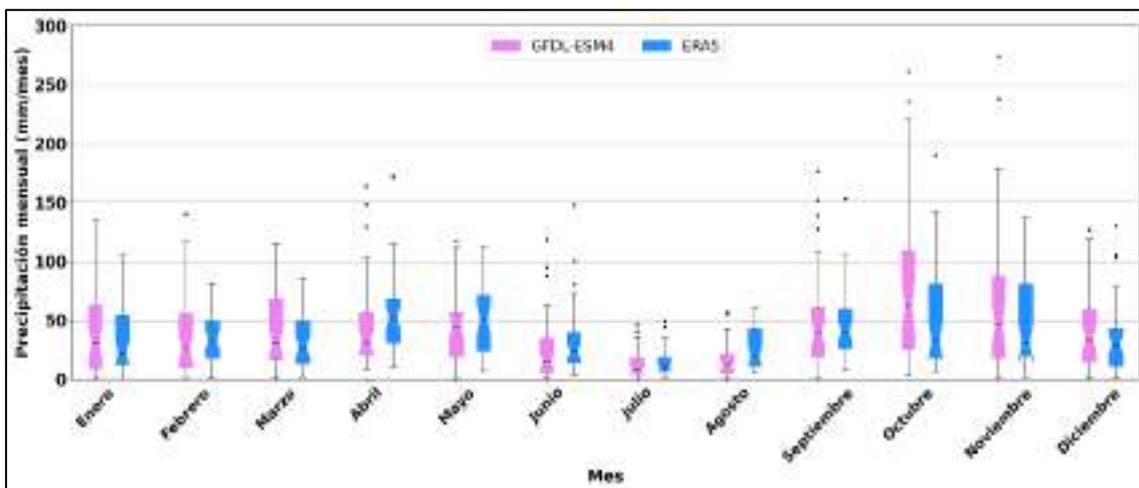


Figura 144. Boxplot de la precipitación mensual de GFDL-ESM4 y ERA5 en el periodo entre 1980 y 2014 en Cabrillas-Malacara.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 83. Estadísticos de la precipitación mensual de GFDL-ESM4 entre 1980 y 2014 en Cabrillas-Malacara

Mes	Promedio (mm)	Máximo		Desviación Estándar (mm)
		Valor (mm)	Fecha	
Ene	40.84	134.42	01/1993	37.70
Feb	37.62	140.55	02/2009	35.12
Mar	42.25	115.07	03/2004	32.58
Abr	47.13	164.03	04/1982	39.01
May	45.76	117.53	05/1993	33.57
Jun	27.52	118.62	06/2008	29.06
Jul	13.21	46.73	07/1988	13.91
Ago	16.50	57.21	08/2008	15.80
Sep	49.14	176.76	09/1991	43.86
Oct	77.80	260.95	10/2005	69.93
Nov	66.34	274.24	11/2006	67.91
Dic	42.28	127.06	12/1982	36.02

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 84. Estadísticos de la precipitación mensual de ERA5 entre 1980 y 2014 en Cabrillas-Malacara

Mes	Promedio (mm)	Máximo		Desviación Estándar (mm)
		Valor (mm)	Fecha	
Ene	33.36	105.93	01/1997	29.04
Feb	33.19	81.49	02/1980	21.20
Mar	33.23	86.58	03/1991	23.37
Abr	55.38	172.59	04/1981	38.47
May	51.95	112.24	05/2004	30.46
Jun	32.60	147.78	06/1988	30.55
Jul	13.59	49.38	07/1986	11.24
Ago	26.70	60.16	08/2010	18.60
Sep	48.40	153.46	09/1989	31.98
Oct	53.10	190.34	10/1982	43.95
Nov	48.90	137.77	11/1987	39.08
Dic	34.13	130.54	12/1989	31.29

Fuente: Elaboración propia.

En lo concerniente a la recarga anual, se presenta en la Figura 145. Como se muestra en la Tabla 85, la recarga promedio anual de GFDL-ESM4 excede en un 161.2% a la de ERA5. Asimismo, en la Tabla 86 se aprecia que la precipitación promedio anual de GFDL-ESM4 excede en un 9% a la de ERA5, sin embargo, su dispersión es superior en casi un 56%. Además de ello, en la Figura 145 se puede ver que en 1994 y 2006 se produjeron recargas anuales que bordean los 12 hm<sup>3</sup> y 18 hm<sup>3</sup>, respectivamente, las cuales se corresponden con precipitaciones anuales superiores a los 600 mm.

Adicionalmente, previamente a dichas recargas anuales máximas, es importante notar que también se produjeron precipitaciones anuales superiores a los 600 mm, lo cual contribuyó a que la cuenca se encuentre en las condiciones de

humedad propicias para que se produzcan las recargas de las magnitudes mencionadas.

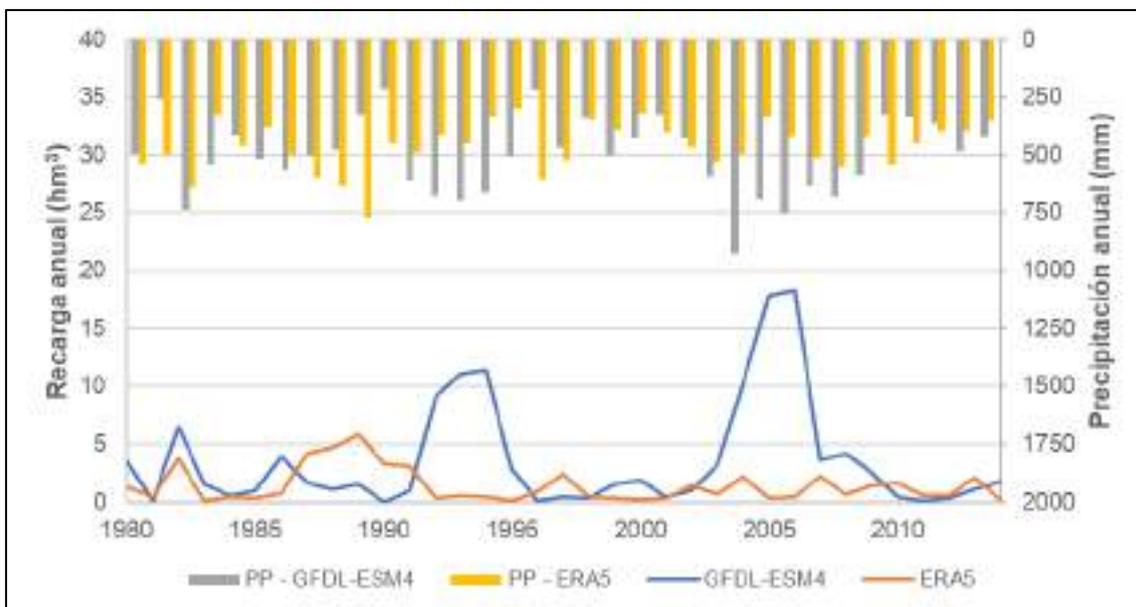


Figura 145. Recarga anual del periodo entre 1980 y 2014 de GFDL-ESM4 y ERA5 en Cabrillas-Malacara.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 85. Estadísticos de la recarga anual entre 1980 y 2014 en Cabrillas-Malacara de GFDL-ESM4 y ERA5

Modelo	Promedio (hm <sup>3</sup> )	Máximo (hm <sup>3</sup> )		Desviación estándar (hm <sup>3</sup> )
		Valor	Año	
GFDL-ESM4	3.61	18.34	2006	4.82
ERA5	1.38	5.84	1989	1.47

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 86. Estadísticos de la precipitación anual entre 1980 y 2014 en Cabrillas-Malacara de GFDL-ESM4 y ERA5

Modelo	Promedio (mm)	Máximo (mm)		Desviación estándar (mm)
		Valor	Año	
GFDL-ESM4	506.39	930.94	2004	164.92
ERA5	464.53	771.01	1989	105.83

Fuente: Elaboración propia.

## **6.6.4. Recarga estimada con escenarios de Cambio Climático**

### **Escenario SSP1-2.6**

Respecto a Cabrillas-Malacara, en la Figura 146 se presenta la recarga promedio mensual para el escenario SSP1-2.6. Para el periodo 2015-2040, se tiene que su valor máximo se da en enero con  $0.72 \text{ hm}^3$ , mientras que el valor mínimo es de  $0.00 \text{ hm}^3$  y se da en julio. Se observa un comportamiento alternado de aumento y disminución del valor de la recarga desde agosto hasta marzo, mientras que de abril a julio se aprecia una tendencia decreciente de la recarga promedio mensual.

En lo concerniente al periodo 2041-2070, el valor máximo de la recarga se produce en noviembre con  $1.30 \text{ hm}^3$ , mientras que el mínimo es de  $0.00 \text{ hm}^3$  y se da en julio. De agosto a noviembre, la recarga promedio aumenta de  $0.01 \text{ hm}^3$  a  $1.30 \text{ hm}^3$ . Luego, se tiene un descenso en diciembre a  $0.38 \text{ hm}^3$ , llegando a  $0.28 \text{ hm}^3$  en enero. En febrero, la recarga aumenta a  $0.48 \text{ hm}^3$ , pero desciende hasta  $0.18 \text{ hm}^3$  en abril. Posteriormente, en mayo, la recarga decrece a  $0.16 \text{ hm}^3$ , disminuyendo hasta los  $0.00 \text{ hm}^3$  en julio.

En relación a los años entre el 2071 y 2100, el valor máximo se encuentra en enero con  $0.30 \text{ hm}^3$ , mientras que en julio se tiene el mínimo de  $0.00 \text{ hm}^3$ . De agosto a noviembre se ve un aumento de la recarga de  $0.01 \text{ hm}^3$  a  $0.24 \text{ hm}^3$ , pero en diciembre se produce un descenso de  $0.15 \text{ hm}^3$ , aunque en enero se incrementa a  $0.30 \text{ hm}^3$ , mes a partir del cual desciende hasta  $0.16 \text{ hm}^3$  en abril. Luego, se produce un ligero incremento en mayo a  $0.17 \text{ hm}^3$ , no obstante, decrece hasta julio a  $0.00 \text{ hm}^3$ .

Se puede apreciar que en el 2015-2040 solo se tiene una tendencia decreciente definida de abril a julio, mientras que el resto del año el aumento y disminución de la recarga es alternado. En el periodo 2041-2070, de agosto a noviembre la recarga aumenta, mientras que disminuye de diciembre a enero, de febrero a julio. Respecto al periodo 2071-2100, la recarga aumenta de agosto a noviembre y de diciembre a enero, pero disminuye de febrero a abril y de mayo a julio.

Por otra parte, la recarga promedio mensual solo en los meses de enero y de marzo a mayo del periodo de 2015-2040 es superior a la de los meses correspondientes al 2041-2070, mientras que en los meses restantes este último es superior. En 2041-2070, la recarga promedio mensual de septiembre a diciembre y de febrero a abril es superior a la correspondiente en 2071-2100. Además de ello, de noviembre a enero, así como de marzo a mayo y en septiembre, la recarga promedio mensual es superior en 2015-2040 que en 2071-2100, mientras que en febrero, junio y octubre ocurre lo contrario.

Por lo mencionado, puede decirse que, en Cabrillas-Malacara, la recarga promedio mensual en el corto plazo (2041-2070) tenderá a aumentar en la mayoría de meses, llegando a alcanzar los 0.50 hm<sup>3</sup> y 1.30 hm<sup>3</sup> en octubre y noviembre, correspondientemente, mientras que de enero y de marzo a mayo se reducirá, aunque la disminución más drástica se da en enero y abril de 0.43 hm<sup>3</sup> y 0.20 hm<sup>3</sup>. Asimismo, en el largo plazo (2071-2100), la recarga promedio mensual tenderá a disminuir en la mayoría de los meses del año, a excepción de febrero, junio y octubre, aunque dicho incremento no supera los 0.12 hm<sup>3</sup>.

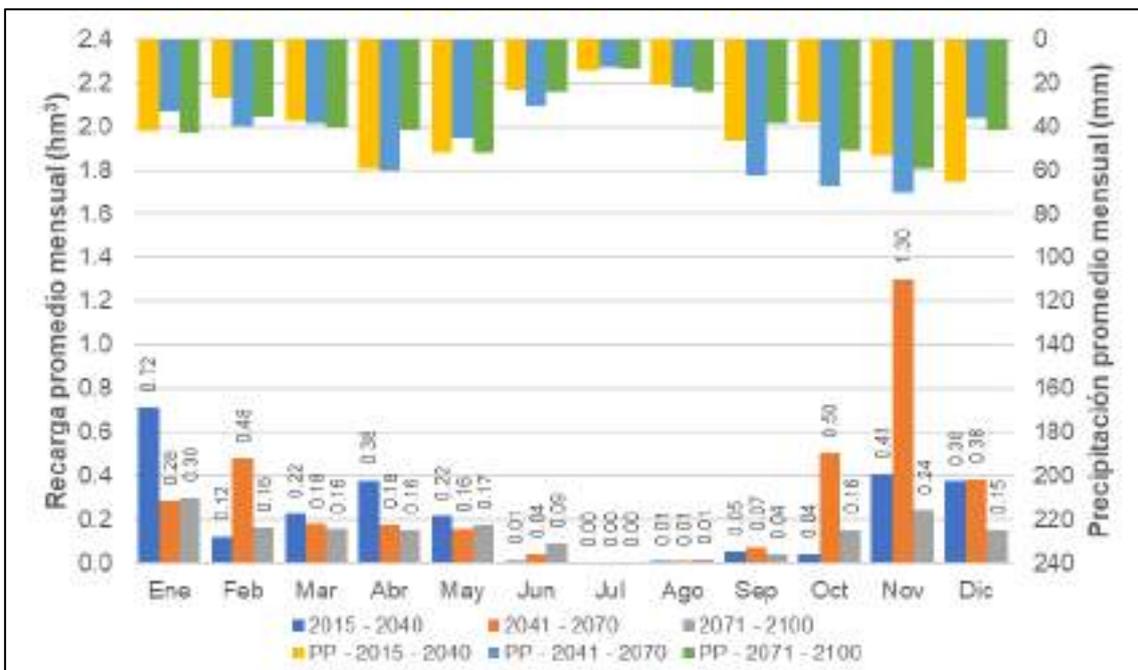


Figura 146. Recarga promedio mensual en Cabrillas-Malacara para el escenario SSP1-2.6.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 87. Estadísticos de la recarga mensual para el escenario  
SSP1-2.6 entre 2015 y 2040 en Cabrillas-Malacara

Mes	Promedio (hm <sup>3</sup> )	Máximo (hm <sup>3</sup> )		Desviación estándar (hm <sup>3</sup> )
		Valor (mm)	Fecha	
Ene	0.72	8.71	2035	2.00
Feb	0.12	1.02	2018	0.28
Mar	0.22	1.66	2024	0.42
Abr	0.38	2.50	2040	0.70
May	0.22	1.79	2028	0.42
Jun	0.01	0.06	2039	0.01
Jul	0.00	0.02	2022	0.01
Ago	0.01	0.07	2040	0.02
Sep	0.05	0.38	2027	0.10
Oct	0.04	0.34	2022	0.09
Nov	0.41	5.19	2034	1.30
Dic	0.38	4.67	2023	0.94

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 88. Estadísticos de la recarga mensual para el escenario  
SSP1-2.6 entre 2041 y 2070 en Cabrillas-Malacara

Mes	Promedio (hm <sup>3</sup> )	Máximo (hm <sup>3</sup> )		Desviación estándar (hm <sup>3</sup> )
		Valor (mm)	Fecha	
Ene	0.28	1.81	2046	0.54
Feb	0.48	7.70	2046	1.46
Mar	0.18	1.41	2044	0.32
Abr	0.18	1.14	2066	0.29
May	0.16	1.56	2046	0.33
Jun	0.04	0.73	2062	0.13
Jul	0.00	0.02	2044	0.01
Ago	0.01	0.12	2047	0.02
Sep	0.07	0.46	2047	0.11
Oct	0.50	6.75	2062	1.43
Nov	1.30	8.48	2048	2.59
Dic	0.38	2.94	2042	0.75

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 89. Estadísticos de la recarga mensual para el escenario  
SSP1-2.6 entre 2071 y 2100 en Cabrillas-Malacara

Mes	Promedio (hm <sup>3</sup> )	Máximo (hm <sup>3</sup> )		Desviación estándar (hm <sup>3</sup> )
		Valor (mm)	Fecha	
Ene	0.30	3.04	2099	0.66
Feb	0.16	1.88	2078	0.45
Mar	0.16	1.11	2086	0.19
Abr	0.16	1.45	2078	0.37
May	0.17	1.58	2078	0.41
Jun	0.09	1.58	2078	0.34
Jul	0.00	0.03	2094	0.00
Ago	0.01	0.18	2094	0.01
Sep	0.04	0.29	2077	0.09
Oct	0.16	3.50	2077	1.36
Nov	0.24	3.14	2100	1.53
Dic	0.15	1.65	2077	0.55

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 90. Estadísticos de la precipitación mensual para el escenario SSP1-2.6 entre 2015 y 2040 en Cabrillas-Malacara

Mes	Promedio (mm)	Máximo		Desviación Estándar (mm)
		Valor (mm)	Fecha	
Ene	41.71	165.02	2035	36.43
Feb	27.07	121.63	2033	33.54
Mar	37.26	125.63	2040	35.33
Abr	58.86	143.57	2040	39.93
May	52.38	157.36	2028	33.32
Jun	23.05	76.84	2039	18.85
Jul	14.65	47.42	2017	13.84
Ago	20.42	71.96	2040	21.48
Sep	46.68	182.04	2027	50.46
Oct	37.97	168.28	2022	41.77
Nov	53.55	293.81	2037	75.85
Dic	65.44	226.76	2023	62.56

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 91. Estadísticos de la precipitación mensual para el escenario SSP1-2.6 entre 2041 y 2070 en Cabrillas-Malacara

Mes	Promedio (mm)	Máximo		Desviación Estándar (mm)
		Valor (mm)	Fecha	
Ene	33.16	103.02	2060	27.98
Feb	39.75	156.19	2048	39.91
Mar	38.49	96.77	2044	30.11
Abr	60.46	153.57	2066	39.43
May	45.20	138.49	2046	42.36
Jun	30.15	99.64	2054	29.24
Jul	12.70	50.88	2059	13.32
Ago	21.74	85.71	2047	20.74
Sep	62.34	231.09	2047	60.18
Oct	67.18	251.45	2062	70.12
Nov	70.72	249.27	2051	77.05
Dic	36.01	128.83	2058	35.10

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 92. Estadísticos de la precipitación mensual para el escenario SSP1-2.6 entre 2071 y 2100 en Cabrillas-Malacara

Mes	Promedio (mm)	Máximo		Desviación Estándar (mm)
		Valor (mm)	Fecha	
Ene	43.13	196.87	2099	45.16
Feb	35.39	145.45	2080	38.96
Mar	39.89	104.28	2077	31.34
Abr	41.54	129.50	2078	41.83
May	51.94	193.59	2079	51.49
Jun	24.37	102.29	2078	32.36
Jul	13.17	56.12	2096	13.27
Ago	23.86	133.52	2094	16.14
Sep	38.72	192.36	2077	54.74
Oct	50.78	179.21	2077	57.50
Nov	59.16	233.27	2100	54.16
Dic	41.24	106.68	2081	35.78

Fuente: Elaboración propia.

## Escenario SSP3-7.0

En la Figura 147 se observan las recargas promedio mensual obtenidas para el escenario SSP3-7.0. Se tiene que para el periodo 2015-2040, el valor máximo se produce en octubre con  $1.33 \text{ hm}^3$ , mientras que el mínimo se da en julio con  $0.01 \text{ hm}^3$ . Se tiene que de agosto a octubre la recarga promedio mensual aumenta de  $0.02 \text{ hm}^3$  a  $1.33 \text{ hm}^3$ , pero disminuye hasta  $0.05 \text{ hm}^3$  en diciembre, aunque se incrementa nuevamente a  $0.63 \text{ hm}^3$  en febrero, mes a partir del cual disminuye, llegando así a su valor mínimo de  $0.01 \text{ hm}^3$  en julio.

En lo referente al periodo 2041-2070, el valor pico promedio mensual es de  $0.58 \text{ hm}^3$  y ocurre en noviembre, mientras que el mínimo es de  $0.00 \text{ hm}^3$  y acontece en julio. Se tiene que, de agosto a octubre, la recarga promedio aumenta de  $0.01 \text{ hm}^3$  a  $0.58 \text{ hm}^3$ , pero cae en  $0.08 \text{ hm}^3$  en noviembre y a partir de allí asciende hasta  $0.39 \text{ hm}^3$  en marzo. Se produce un descenso de  $0.31 \text{ hm}^3$  en abril, no obstante, en mayo se incrementa a  $0.17 \text{ hm}^3$ , pero luego desciende hasta su mínimo en julio.

En relación al periodo 2071-2100, el valor máximo del promedio mensual se da en noviembre y asciende a  $0.85 \text{ hm}^3$ , mientras que su valor mínimo sucede en julio con  $0.00 \text{ hm}^3$ . De agosto a noviembre se observa un aumento de la recarga promedio de  $0.01 \text{ hm}^3$  a  $0.85 \text{ hm}^3$ , cayendo a  $0.15 \text{ hm}^3$  en diciembre, pero incrementándose hasta  $0.76 \text{ hm}^3$  en febrero. Su valor cae en  $0.62 \text{ hm}^3$  en marzo, no obstante, se incrementa en  $0.15 \text{ hm}^3$  en abril, aunque disminuye hasta su mínimo en julio.

En el periodo 2015-2040, se observa que existen 2 grupos de meses en los que la recarga promedio se incrementa: de agosto a octubre y de diciembre a febrero, mientras que, de abril a julio, la recarga disminuye. En 2041-2070, se tiene 3 grupos de meses en los que la recarga aumenta: de agosto a octubre, de noviembre a marzo y de abril a mayo. Respecto al periodo 2071-2100, de agosto a noviembre, de diciembre a febrero y de marzo a abril, la recarga aumenta, pero de mayo a julio tiende a disminuir.

También se aprecia que en 2015-2040, la mayoría de meses del año posee un valor superior de recarga a comparación de sus correspondientes en 2041-2070, dichos meses son: enero, febrero, abril, julio, agosto, octubre y noviembre. Por

otra parte, en 2041-2070 solo 4 meses del año (marzo, junio, octubre y diciembre) están por encima que sus pares de 2071-2100, pero observando este último periodo se tiene que, a excepción de enero, de junio a agosto y octubre, sus valores promedio mensual están por encima de los del 2015-2040.

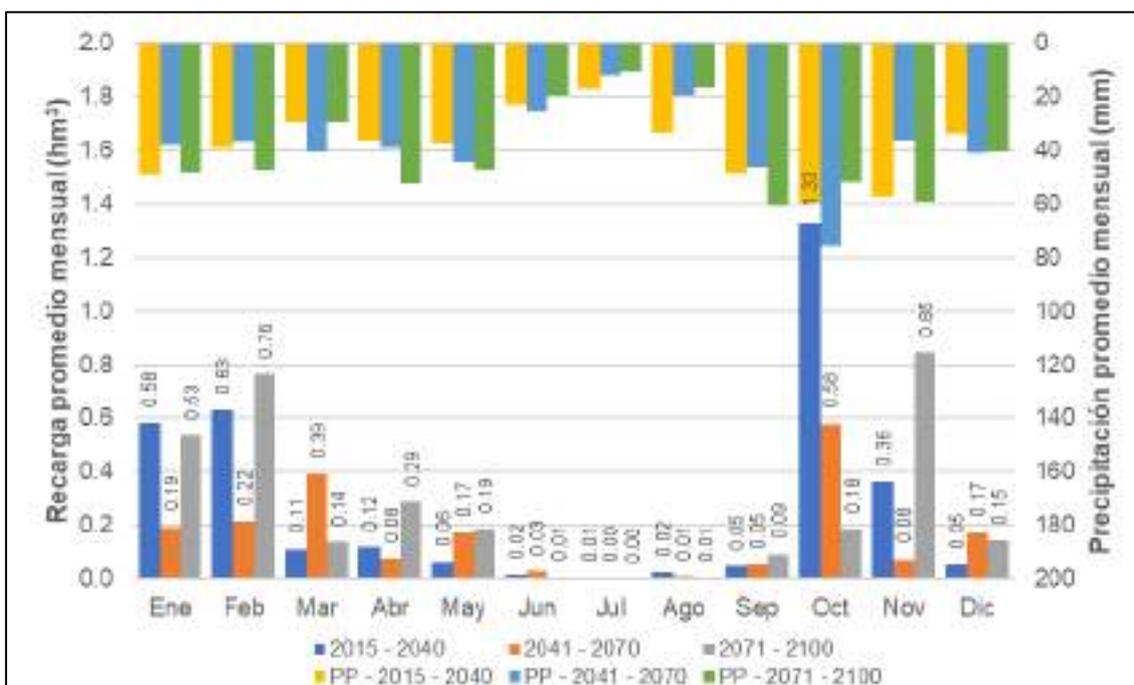


Figura 147. Recarga promedio mensual en Cabrillas-Malacara para el escenario SSP3-7.0.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 93. Estadísticos de la recarga mensual para el escenario SSP3-7.0 entre 2015 y 2040 en Cabrillas-Malacara

Mes	Promedio (hm³)	Máximo (hm³)		Desviación estándar (hm³)
		Valor (mm)	Fecha	
Ene	0.58	6.92	2025	1.49
Feb	0.63	14.35	2035	2.80
Mar	0.11	1.61	2031	0.32
Abr	0.12	1.20	2025	0.29
May	0.06	1.07	2031	0.21
Jun	0.02	0.09	2026	0.03
Jul	0.01	0.08	2030	0.02
Ago	0.02	0.30	2020	0.06
Sep	0.05	0.29	2018	0.07
Oct	1.33	33.76	2028	6.62
Nov	0.36	6.23	2028	1.22
Dic	0.05	0.31	2034	0.08

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 94. Estadísticos de la recarga mensual para el escenario SSP3-7.0 entre 2041 y 2070 en Cabrillas-Malacara

Mes	Promedio (hm <sup>3</sup> )	Máximo (hm <sup>3</sup> )		Desviación estándar (hm <sup>3</sup> )
		Valor (mm)	Fecha	
Ene	0.19	1.48	2051	0.42
Feb	0.22	2.59	2066	0.54
Mar	0.39	6.96	2055	1.29
Abr	0.08	0.66	2053	0.17
May	0.17	1.83	2056	0.42
Jun	0.03	0.56	2062	0.10
Jul	0.00	0.03	2070	0.01
Ago	0.01	0.06	2070	0.01
Sep	0.05	0.36	2065	0.10
Oct	0.58	7.69	2050	1.84
Nov	0.08	0.95	2050	0.17
Dic	0.17	2.18	2070	0.45

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 95. Estadísticos de la recarga mensual para el escenario SSP3-7.0 entre 2071 y 2100 en Cabrillas-Malacara

Mes	Promedio (hm <sup>3</sup> )	Máximo (hm <sup>3</sup> )		Desviación estándar (hm <sup>3</sup> )
		Valor (mm)	Fecha	
Ene	0.53	10.64	2095	1.93
Feb	0.76	16.16	2091	0.54
Mar	0.14	0.99	2071	1.28
Abr	0.29	3.40	2100	0.26
May	0.19	1.41	2077	0.53
Jun	0.01	0.05	2080	0.10
Jul	0.00	0.02	2083	0.00
Ago	0.01	0.06	2093	0.02
Sep	0.09	1.03	2072	0.20
Oct	0.18	3.71	2079	0.67
Nov	0.85	20.07	2079	3.66
Dic	0.15	2.12	2086	0.45

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 96. Estadísticos de la precipitación mensual para el escenario SSP3-7.0 entre 2015 y 2040 en Cabrillas-Malacara

Mes	Promedio (mm)	Máximo		Desviación Estándar (mm)
		Valor (mm)	Fecha	
Ene	49.00	180.67	2024	53.95
Feb	39.15	208.51	2035	42.74
Mar	29.43	116.24	2031	30.21
Abr	36.11	111.41	2025	29.03
May	37.90	115.05	2034	29.67
Jun	22.93	97.59	2023	22.91
Jul	17.40	70.24	2030	17.08
Ago	33.64	185.13	2020	39.22
Sep	48.48	171.09	2018	44.40
Oct	59.87	668.55	2028	127.52
Nov	57.26	183.41	2030	54.34
Dic	33.86	169.99	2034	38.80

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 97. Estadísticos de la precipitación mensual para el escenario SSP3-7.0 entre 2041 y 2070 en Cabrillas-Malacara

Mes	Promedio (mm)	Máximo		Desviación Estándar (mm)
		Valor (mm)	Fecha	
Ene	38.33	150.62	2055	34.32
Feb	36.68	146.81	2069	33.40
Mar	40.66	183.70	2048	42.51
Abr	39.14	97.07	2047	29.82
May	44.58	137.47	2046	37.46
Jun	26.00	75.30	2062	18.04
Jul	12.14	52.29	2070	13.18
Ago	19.80	71.28	2070	20.89
Sep	46.23	167.27	2065	51.24
Oct	75.89	267.81	2041	76.03
Nov	36.07	137.04	2052	27.55
Dic	40.92	149.63	2070	33.54

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 98. Estadísticos de la precipitación mensual para el escenario SSP3-7.0 entre 2071 y 2100 en Cabrillas-Malacara

Mes	Promedio (mm)	Máximo		Desviación Estándar (mm)
		Valor (mm)	Fecha	
Ene	48.27	299.74	2095	58.57
Feb	47.26	285.48	2091	37.13
Mar	29.67	138.88	2096	34.67
Abr	52.31	245.80	2100	30.58
May	47.13	206.45	2073	51.55
Jun	19.72	77.08	2072	21.36
Jul	10.59	35.54	2082	11.31
Ago	16.81	106.46	2077	24.35
Sep	60.55	251.14	2072	62.66
Oct	52.00	279.53	2079	65.15
Nov	59.08	296.93	2079	63.44
Dic	40.48	199.46	2086	33.47

Fuente: Elaboración propia.

## Escenario SSP5-8.5

En la Figura 148 se muestra la recarga promedio mensual para el escenario SSP5-8.5. Se tiene que para el periodo 2015-2040, el valor máximo se encuentra en noviembre con  $1.27 \text{ hm}^3$ , mientras que el mínimo se da en julio y agosto con  $0.01 \text{ hm}^3$ . Se tiene que de agosto a noviembre la recarga promedio aumenta de  $0.01 \text{ hm}^3$  a  $1.27 \text{ hm}^3$ , teniéndose en diciembre un descenso superior al  $1 \text{ hm}^3$  hasta llegar a  $0.22 \text{ hm}^3$ . En febrero asciende a  $0.34 \text{ hm}^3$ , pero en marzo disminuye a  $0.10 \text{ hm}^3$ , aumentando a  $0.29 \text{ hm}^3$  en mayo, no obstante, de allí en adelante desciende hasta su mínimo en julio.

En el periodo 2041-2070, el valor máximo se da en enero con  $0.46 \text{ hm}^3$ , mientras que el mínimo ocurre en julio con  $0.00 \text{ hm}^3$ . De agosto a octubre, la recarga

promedio mensual aumenta de 0.01 hm<sup>3</sup> a 0.24 hm<sup>3</sup>, pero desciende a 0.10 hm<sup>3</sup> en diciembre, aunque aumenta a 0.46 hm<sup>3</sup> en enero, sin embargo, desciende a 0.25 hm<sup>3</sup> en febrero, luego en marzo crece a 0.40 hm<sup>3</sup> y, posteriormente, desciende a su mínimo en julio.

En lo concerniente al periodo 2071-2100, en noviembre se da el valor máximo con 0.83 hm<sup>3</sup>, mientras que en julio ocurre el mínimo con 0.00 hm<sup>3</sup>. De agosto a noviembre, la recarga aumenta de 0.01 hm<sup>3</sup> a 0.83 hm<sup>3</sup>, pero en diciembre desciende a 0.31 hm<sup>3</sup>, no obstante, se incrementa a 0.46 hm<sup>3</sup> en enero. Luego, desciende a 0.05 hm<sup>3</sup> en marzo, sin embargo, en abril crece ligeramente a 0.08 hm<sup>3</sup>, mes a partir del cual desciende hasta llegar a su mínimo en julio.

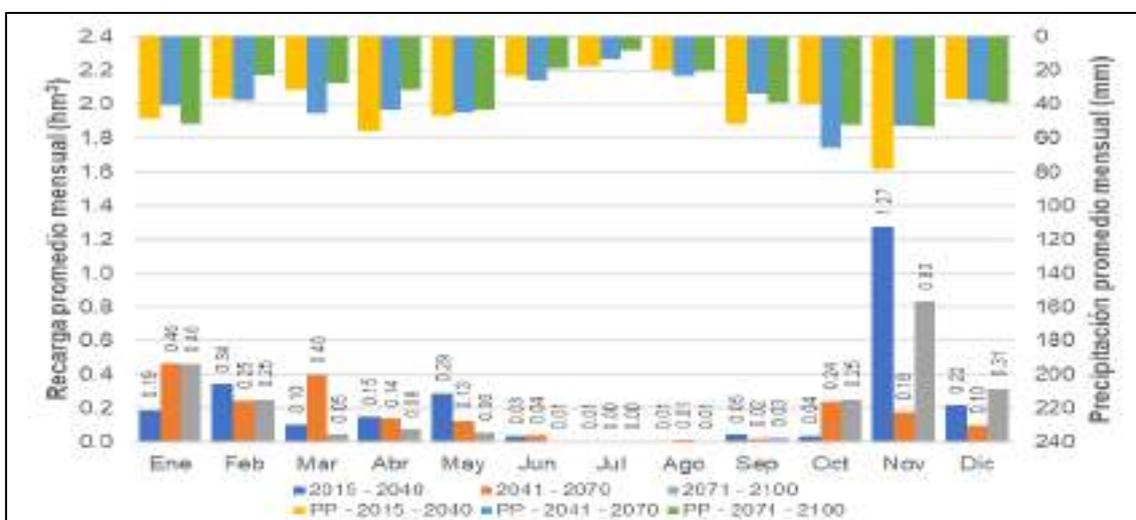


Figura 148. Recarga promedio mensual en Cabrillas-Malacara para el escenario SSP5-8.5.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 99. Estadísticos de la recarga mensual para el escenario SSP5-8.5 entre 2015 y 2040 en Cabrillas-Malacara

Mes	Promedio (hm <sup>3</sup> )	Máximo (hm <sup>3</sup> )		Desviación estándar (hm <sup>3</sup> )
		Valor (mm)	Fecha	
Ene	0.19	1.54	2034	0.35
Feb	0.34	4.63	2034	0.97
Mar	0.10	0.87	2030	0.22
Abr	0.15	1.83	2023	0.38
May	0.29	3.77	2029	0.81
Jun	0.03	0.32	2032	0.08
Jul	0.01	0.04	2026	0.01
Ago	0.01	0.05	2028	0.01
Sep	0.05	0.16	2016	0.06
Oct	0.04	0.18	2021	0.05
Nov	1.27	21.82	2020	4.49
Dic	0.22	2.44	2020	0.51

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 100. Estadísticos de la recarga mensual para el escenario SSP5-8.5 entre 2041 y 2070 en Cabrillas-Malacara

Mes	Promedio (hm <sup>3</sup> )	Máximo (hm <sup>3</sup> )		Desviación estándar (hm <sup>3</sup> )
		Valor (mm)	Fecha	
Ene	0.46	10.38	2065	1.89
Feb	0.25	1.77	2055	0.49
Mar	0.40	4.28	2065	0.98
Abr	0.14	2.40	2069	0.44
May	0.13	1.52	2064	0.33
Jun	0.04	0.90	2049	0.16
Jul	0.00	0.03	2067	0.01
Ago	0.01	0.17	2044	0.03
Sep	0.02	0.12	2064	0.03
Oct	0.24	3.55	2042	0.68
Nov	0.18	1.82	2054	0.41
Dic	0.10	0.74	2049	0.19

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 101. Estadísticos de la recarga mensual para el escenario SSP5-8.5 entre 2071 y 2100 en Cabrillas-Malacara

Mes	Promedio (hm <sup>3</sup> )	Máximo (hm <sup>3</sup> )		Desviación estándar (hm <sup>3</sup> )
		Valor (mm)	Fecha	
Ene	0.46	9.60	2088	1.75
Feb	0.25	5.87	2075	1.15
Mar	0.05	0.73	2088	0.83
Abr	0.08	1.03	2093	0.44
May	0.06	1.02	2088	0.31
Jun	0.01	0.04	2078	0.02
Jul	0.00	0.01	2077	0.01
Ago	0.01	0.06	2079	0.01
Sep	0.03	0.28	2079	0.05
Oct	0.25	6.23	2078	1.13
Nov	0.83	11.88	2080	2.18
Dic	0.31	6.63	2083	0.16

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 102. Estadísticos de la precipitación mensual para el escenario SSP5-8.5 entre 2015 y 2040 en Cabrillas-Malacara

Mes	Promedio (mm)	Máximo		Desviación Estándar (mm)
		Valor (mm)	Fecha	
Ene	48.88	173.65	2036	53.38
Feb	36.81	119.96	2034	30.81
Mar	31.75	81.85	2030	24.87
Abr	56.24	174.09	2023	46.65
May	46.74	238.24	2029	52.50
Jun	23.52	122.20	2016	23.63
Jul	17.85	79.73	2026	20.84
Ago	19.76	84.05	2028	17.00
Sep	51.66	122.43	2038	39.04
Oct	39.59	99.46	2020	28.70
Nov	78.55	410.69	2020	93.34
Dic	37.05	124.15	2017	32.77

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 103. Estadísticos de la precipitación mensual para el escenario SSP5-8.5 entre 2041 y 2070 en Cabrillas-Malacara

Mes	Promedio (mm)	Máximo		Desviación Estándar (mm)
		Valor (mm)	Fecha	
Ene	40.93	290.73	2065	60.85
Feb	37.77	139.48	2055	39.57
Mar	45.07	189.55	2042	44.51
Abr	43.63	190.91	2069	39.53
May	44.55	157.65	2064	36.24
Jun	25.81	79.68	2049	22.56
Jul	13.22	53.88	2066	13.60
Ago	23.67	135.37	2044	27.38
Sep	33.65	98.69	2044	27.43
Oct	65.94	253.64	2042	67.96
Nov	52.44	190.63	2041	49.71
Dic	38.04	166.40	2049	42.38

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 104. Estadísticos de la precipitación mensual para el escenario SSP5-8.5 entre 2071 y 2100 en Cabrillas-Malacara

Mes	Promedio (mm)	Máximo		Desviación Estándar (mm)
		Valor (mm)	Fecha	
Ene	51.32	266.94	2088	56.50
Feb	23.14	126.87	2075	42.67
Mar	27.55	84.54	2100	34.72
Abr	31.64	105.88	2093	37.91
May	43.73	132.81	2071	38.85
Jun	18.97	66.29	2078	22.27
Jul	8.30	49.31	2077	15.38
Ago	19.89	99.17	2079	22.46
Sep	38.79	181.38	2079	36.39
Oct	52.03	264.79	2078	56.99
Nov	53.02	248.54	2080	53.34
Dic	38.81	165.18	2072	41.42

Fuente: Elaboración propia.

## Recarga anual en los 3 escenarios

Respecto a la recarga anual, de la Figura 149 a la Figura 151 se presenta la recarga anual para los 3 escenarios y los 3 periodos analizados, mientras que en la Figura 152 se muestra la recarga promedio anual. En el escenario SSP1-2.6, se observa que la recarga promedio anual aumenta de 2.56 hm<sup>3</sup> a 3.59 hm<sup>3</sup> del periodo 2015-2040 al 2041-2070, mientras que en el 2071-2100 disminuye a 1.64 hm<sup>3</sup>.

En lo concerniente al escenario SSP3-7.0, se aprecia que la recarga decrece de 3.35 hm<sup>3</sup> a 1.97 hm<sup>3</sup> entre 2015-2040 y 2041-2070, pero aumenta a 3.20 hm<sup>3</sup> en 2071-2100.

En relación al escenario SSP5-8.5, se observa que también desciende de 2.70 hm<sup>3</sup> a 1.97 hm<sup>3</sup> de 2015-2040 al 2041-2070, y se incrementa a 2.33 hm<sup>3</sup> en el 2071-2100.

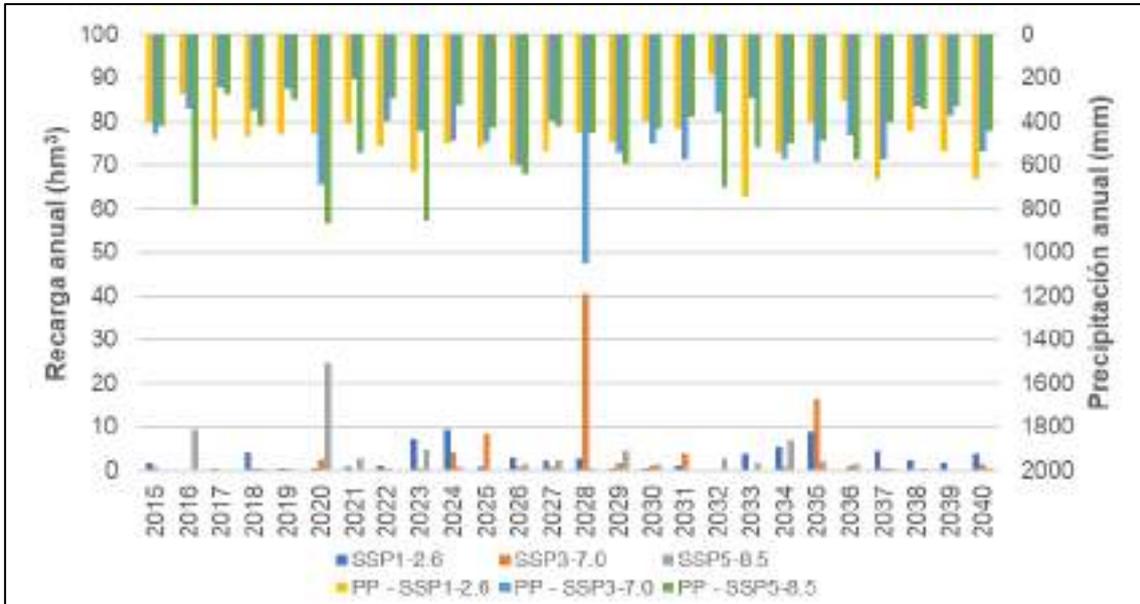


Figura 149. Recarga anual en Cabrillas-Malacara del 2015 al 2040 para los 3 escenarios de Cambio Climático.

Fuente: Elaboración propia.

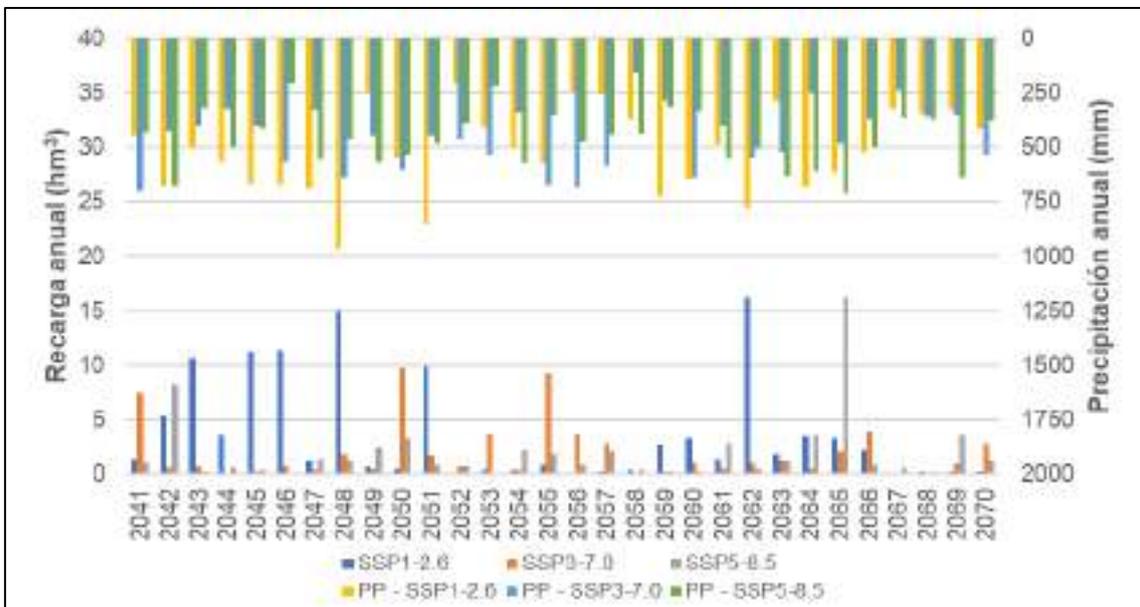


Figura 150. Recarga anual en Cabrillas-Malacara del 2041 al 2070 para los 3 escenarios de Cambio Climático.

Fuente: Elaboración propia.

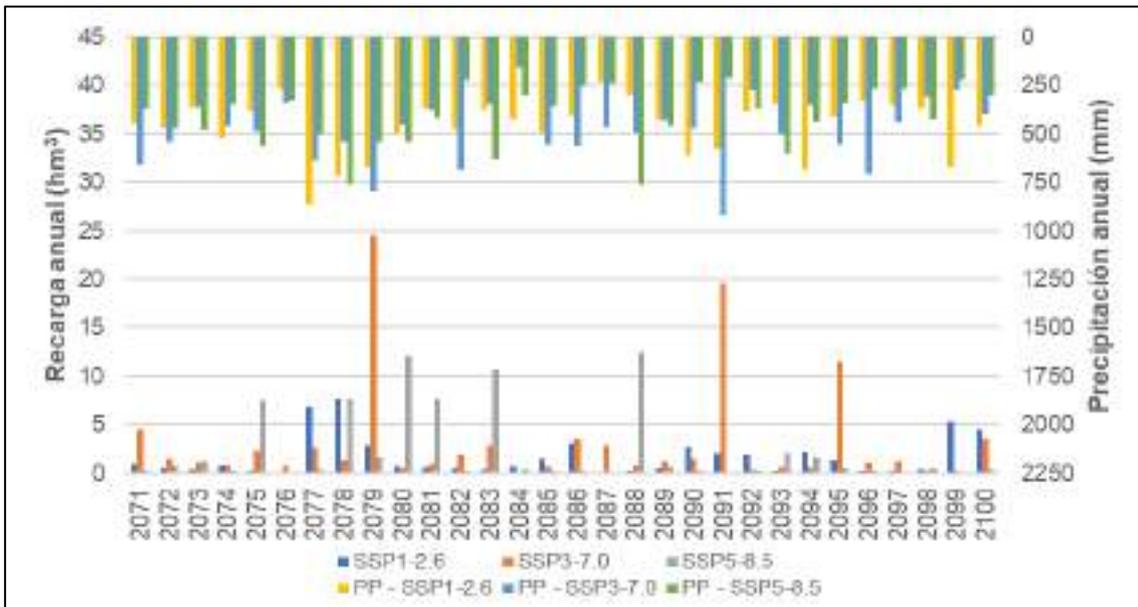


Figura 151. Recarga anual en Cabrillas-Malacara del 2071 al 2100 para los 3 escenarios de Cambio Climático.

Fuente: Elaboración propia.

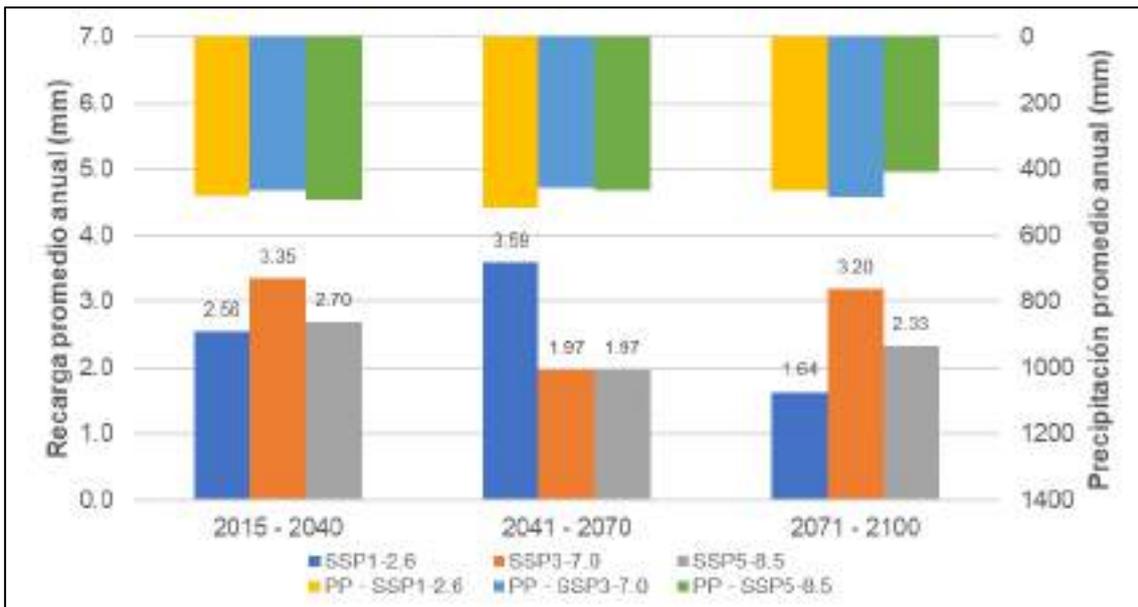


Figura 152. Recarga promedio anual en Cabrillas-Malacara para los 3 escenarios de Cambio Climático.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 105. Estadísticos de la recarga anual entre 2015 y 2040 en Cabrillas-Malacara de GFDL-ESM4

Escenario	Promedio (hm³)	Máximo (hm³)		Desviación estándar (hm³)
		Valor	Año	
SSP1-2.6	2.56	9.45	2024	2.71
SSP3-7.0	3.35	40.37	2028	8.32
SSP5-8.5	2.70	24.64	2020	5.03

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 106. Estadísticos de la recarga anual entre 2041 y 2070 en Cabrillas-Malacara de GFDL-ESM4

Escenario	Promedio (hm <sup>3</sup> )	Máximo (hm <sup>3</sup> )		Desviación estándar (hm <sup>3</sup> )
		Valor	Año	
SSP1-2.6	3.59	16.20	2062	4.77
SSP3-7.0	1.97	9.69	2050	2.61
SSP5-8.5	1.97	16.26	2065	3.16

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 107. Estadísticos de la recarga anual entre 2071 y 2100 en Cabrillas-Malacara de GFDL-ESM4

Escenario	Promedio (hm <sup>3</sup> )	Máximo (hm <sup>3</sup> )		Desviación estándar (hm <sup>3</sup> )
		Valor	Año	
SSP1-2.6	1.64	7.58	2078	3.58
SSP3-7.0	3.20	24.58	2079	4.56
SSP5-8.5	2.33	12.41	2088	3.76

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 108. Estadísticos de la precipitación anual entre 2015 y 2040 en Cabrillas-Malacara de GFDL-ESM4

Escenario	Promedio (hm <sup>3</sup> )	Máximo (hm <sup>3</sup> )		Desviación estándar (hm <sup>3</sup> )
		Valor	Año	
SSP1-2.6	479.05	742.49	2033	122.66
SSP3-7.0	465.04	1048.35	2028	172.60
SSP5-8.5	488.39	866.29	2020	166.58

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 109. Estadísticos de la precipitación anual entre 2041 y 2070 en Cabrillas-Malacara de GFDL-ESM4

Escenario	Promedio (hm <sup>3</sup> )	Máximo (hm <sup>3</sup> )		Desviación estándar (hm <sup>3</sup> )
		Valor	Año	
SSP1-2.6	517.89	968.19	2048	195.49
SSP3-7.0	456.45	700.07	2041	143.08
SSP5-8.5	464.71	711.54	2065	126.96

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 110. Estadísticos de la precipitación anual entre 2071 y 2100 en Cabrillas-Malacara de GFDL-ESM4

Escenario	Promedio (hm <sup>3</sup> )	Máximo (hm <sup>3</sup> )		Desviación estándar (hm <sup>3</sup> )
		Valor	Año	
SSP1-2.6	463.20	863.71	2077.00	185.57
SSP3-7.0	483.87	915.03	2091	149.43
SSP5-8.5	407.19	763.07	2078	125.55

Fuente: Elaboración propia.

### **6.6.5. Variación de la recarga**

En lo concerniente a Cabrillas-Malacara, en el escenario SSP1-2.6 para el periodo 2015-2040, la recarga promedio mensual se reduciría en un 90.9%, 85.8% y 60.0% en octubre, junio y noviembre, respectivamente, pero se incrementaría en un 68.8%, 28.9%, 24.7%, 18.4% y 6.6% en agosto, julio, abril, enero y septiembre, correspondientemente. Por otra parte, la recarga promedio del resto de meses se reduce en menos 1%, excepto febrero que lo hace en un 56.5%.

Durante 2041-2070, la recarga promedio disminuiría en un 53.3%, 50.3% y 41.3% en enero, junio y abril, respectivamente. Por otra parte, en agosto, febrero y septiembre, la recarga promedio aumentaría en un 96.5%, 73.2% y 49.6%, correspondientemente. Asimismo, marzo y mayo tendrían reducciones entre el 19.1% y 26.6%, mientras que el resto de meses presentaría aumentos por debajo del 28%.

En relación al periodo 2071-2100, en junio y julio se tendría un aumento del 6.4% y 21.3%, respectivamente, diferenciándose agosto por un incremento de más del 100%, pero en noviembre, octubre, diciembre y enero se reduciría en un 76.1%, 65.4%, 59.8% y 50.7%, correspondientemente. Los demás meses presentarían un descenso entre el 20% y 49%.

En el escenario SSP3-7.0, para el periodo 2015-2040, en octubre, febrero y julio se tendría un aumento de la recarga en un 195.5%, 127.7% y 108.7%, respectivamente, destacándose agosto porque presentaría un incremento superior al 300%, aunque en diciembre, junio y mayo se tendría un descenso del 85.7%, 79.0% y 70.8%, correspondientemente. Los meses de marzo, abril y noviembre presentan un descenso de su recarga promedio en el rango del 50% y 65%, mientras que en enero y septiembre es menor al 5%.

Durante el 2041-2070, en noviembre, abril y enero la recarga promedio decrecería en un 92.6%, 74.5% y 67.9%, respectivamente, mientras en marzo, agosto, octubre, septiembre y julio aumentaría en 74.7%, 60.1%, 29.0%, 7.5% y 1.3%, correspondientemente. En los demás meses, la recarga promedio se reduce entre un 21% y 65%.

Además, en 2071-2100, en junio, diciembre y octubre la recarga promedio se reduce en 89.9%, 61.3% y 58.9%, respectivamente, mientras que en febrero, septiembre y agosto aumentaría en un 175.1%, 81.7% y 23.3%, correspondientemente. En el resto de meses, la reducción de la recarga promedio se encuentra entre el 4% y 39%.

En lo concerniente al escenario SSP5-8.5, en el periodo 2015-2040, en julio, mayo, agosto, noviembre y febrero la recarga promedio aumentaría en un 59.9%, 32.5%, 29.1%, 25.1% y 24.0%, respectivamente, pero se reduciría en un 91.5%, 68.8% y 58.4% en octubre, enero y junio, correspondientemente, mientras que en los demás meses su reducción oscilaría entre un 41% y 55%, a excepción de septiembre que se reduce en un 5.8%.

En el periodo 2041-2070, la recarga promedio descendería en noviembre, diciembre y septiembre en un 82.5%, 73.4% y 58.2%, respectivamente, mientras que en agosto, marzo y julio se incrementaría en un 122.6%, 75.9% y 14.4%, correspondientemente. En los otros meses, la recarga promedio se reduciría entre un 23% y 55%, a excepción de febrero que decrece en un 10.7%.

Durante 2071-2100, la recarga promedio mensual de agosto se incrementaría en más de un 70%, mientras que se reduciría en junio, marzo, abril y mayo en un 90.5%, 79.5%, 75.0% y 72.3%, respectivamente. En julio, septiembre y octubre, la reducción oscila entre un 44% y 51%, mientras que en los demás meses es menor al 24%.

En relación a la recarga promedio anual, para el escenario SSP1-2.6, en el periodo 2015-2040 ésta se reduce en un 29.2%, mientras que en el periodo 2041-2070 su reducción es menor, ya que llega a ser del 0.4%, pero del 2071 al 2100 disminuye drásticamente en un 54.5%. Por otra parte, en el escenario SSP3-7.0, para el periodo 2015-2040 la recarga promedio anual disminuiría en un 7.1%, siendo este decremento aun mayor en el 2041 al 2070, llegando a ser del 45.3%, aunque en los años siguientes hasta el 2100, solo decrecería en un 11.4%. Finalmente, en el escenario SSP5-8.5, del 2015 al 2040, la recarga promedio anual decrecería en un 25.3% y su descenso sería mayor en el 2041-2070 de un 45.4%, no obstante, en el último periodo disminuye en un 35.3%.

## 7. Conclusiones

Se logró implementar de manera satisfactoria el modelo hidrológico TETIS en las zonas de las masas de agua subterránea Requena-Utiel y Cabrillas-Malacara, lo cual permitió evaluar la recarga histórica y la variación de la misma antes distintos escenarios de Cambio Climático.

Más concretamente, se concluye lo siguiente:

- a) Se implementó el modelo hidrológico TETIS calibrado en Forata con un índice de Nash de 0.6399, un error en volumen de 1.354% y un índice RSR de 0.6001, mientras que su validación se realizó espacialmente en la estación 8060, ubicada aguas arriba de Forata, con un índice de Nash de 0.6086, un error de volumen de 14.822% y un índice RSR de 0.6256, por lo que se considera que los resultados se consideran como satisfactorios, según lo expuesto por Moriasi *et al.* (2007), y Donigian y Imhoff (2002). Por otra parte, la validación temporal y espacio-temporal no fue satisfactoria, ya que entre el 01/10/2010 al 30/09/2015 la serie de caudales observados oscila continuamente de manera abrupta, no siendo posible simular dicha serie.
- b) En relación a la modelación hidrológica empleando el método Lyne, los resultados no fueron satisfactorios, debido a la poca correspondencia entre los caudales de escorrentía superficial y la precipitación, lo cual dificulta la simulación hidrológica de la escorrentía directa. Asimismo, debido a la oscilación continua y abrupta de la serie de caudales observados, al aplicar en ella el método Lyne, dicha oscilación se

mantiene, lo que también dificulta la obtención de resultados satisfactorios.

- c) Respecto a la recarga histórica, en la masa de agua subterránea Requena-Utiel, se tiene que en el periodo de 1973 al 2022, la recarga promedio mensual varía de 0.00 hm<sup>3</sup> al 2.87 hm<sup>3</sup>, presentándose el valor máximo y mínimo en enero y julio, respectivamente, mientras que la recarga promedio anual asciende a 16.92 hm<sup>3</sup>.

En relación a la masa de agua subterránea Cabrillas-Malacara, para el periodo mencionado, la recarga promedio mensual varía de 0.00 hm<sup>3</sup> y 0.22 hm<sup>3</sup>, teniendo el máximo valor en marzo y el mínimo en julio. Por otra parte, su recarga promedio anual es 1.41 hm<sup>3</sup>.

- d) Respecto a la recarga promedio anual en Requena-Utiel, en el escenario SSP1-2.6, se reduciría en un 26.9%, 20.5% y 50.1% en los periodos 2015-2040, 2041-2070 y 2071-2100, respectivamente. En lo concerniente al escenario SSP3-7.0, la recarga promedio anual descendería en un 27.5%, 37.3% y 37.0% del 2015 al 2040, 2041 al 2070 y 2071 al 2100, correspondientemente. Por último, en el escenario SSP5-8.5, la recarga promedio anual se reduciría en un 33.9%, 45.0% y 66.8% para los 3 periodos en el orden mencionado. La variación de la recarga tanto a nivel mensual como anual se observa en la Tabla 111 y Tabla 112.

Tabla 111. Recarga promedio mensual y anual en Requena-Utiel para los 3 escenarios de Cambio Climático

Mes	Periodo de control	SSP1-2.6			SSP3-7.0			SSP5-8.5		
		2015 -	2041 -	2071 -	2015 -	2041 -	2071 -	2015 -	2041 -	2071 -
		2040	2070	2100	2040	2070	2100	2040	2070	2100
Ene	5.14	4.68	4.68	3.24	5.98	2.66	2.64	0.87	2.01	1.95
Feb	2.79	1.19	4.58	2.19	4.92	2.74	5.65	3.79	3.79	2.36
Mar	2.25	2.51	1.86	1.23	0.92	3.12	1.58	1.64	3.77	0.14
Abr	5.40	8.09	1.92	2.32	2.10	1.47	3.39	2.35	1.70	0.60
May	4.15	3.50	2.28	2.06	1.39	2.59	2.05	5.80	2.13	0.68
Jun	2.05	0.12	0.33	1.69	0.24	0.50	0.05	0.46	0.26	0.03
Jul	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
Ago	0.02	0.01	0.02	0.01	0.04	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02
Sep	0.12	0.12	0.18	0.08	0.12	0.11	0.19	0.08	0.04	0.03
Oct	1.87	0.17	1.31	0.30	4.77	3.22	0.28	0.15	0.88	0.80
Nov	3.90	0.58	3.54	0.92	1.36	0.66	2.65	3.59	1.14	1.29
Dic	2.94	1.39	3.63	1.24	0.34	2.11	0.82	1.48	1.09	2.27
Anual	30.61	22.37	24.33	15.28	22.20	19.20	19.29	20.23	16.84	10.17

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 112. Variación porcentual de la recarga promedio mensual y anual en Requena-Utiel para los 3 escenarios de Cambio Climático

Mes	SSP1-2.6			SSP3-7.0			SSP5-8.5		
	2015 - 2040	2041 - 2070	2071 - 2100	2015 - 2040	2041 - 2070	2071 - 2100	2015 - 2040	2041 - 2070	2071 - 2100
Ene	-8.9	-8.8	-36.8	16.4	-48.1	-48.6	-83.0	-60.9	-62.0
Feb	-57.5	64.4	-21.6	76.6	-1.8	102.5	36.1	36.0	-15.5
Mar	11.4	-17.3	-45.5	-58.9	38.7	-29.8	-26.9	67.6	-93.8
Abr	49.8	-64.5	-56.9	-61.2	-72.7	-37.3	-56.5	-68.6	-88.9
May	-15.6	-45.1	-50.3	-66.6	-37.6	-50.6	39.7	-48.6	-83.5
Jun	-94.1	-84.0	-17.3	-88.3	-75.4	-97.8	-77.3	-87.2	-98.7
Jul	64.1	23.9	94.5	107.4	-1.7	-49.0	62.9	87.8	-87.2
Ago	-18.7	13.7	-49.4	168.6	-0.4	-61.8	-44.9	17.8	13.7
Sep	2.6	49.5	-36.2	2.8	-12.2	55.4	-32.7	-68.7	-73.5
Oct	-90.8	-29.8	-84.1	155.7	72.9	-85.1	-92.1	-52.8	-57.1
Nov	-85.2	-9.3	-76.4	-65.0	-83.1	-32.1	-8.0	-70.6	-66.9
Dic	-52.7	23.5	-58.0	-88.3	-28.3	-72.2	-49.7	-62.9	-22.7
Anual	-26.9	-20.5	-50.1	-27.5	-37.3	-37.0	-33.9	-45.0	-66.8

Fuente: Elaboración propia.

- e) En lo concerniente a la variación de la recarga promedio anual en Cabrillas-Malacara, para el escenario SSP1-2.6, en 2015-2040 se reduce en un 29.2%, mientras que en 2041-2070 su reducción es del 0.4%, pero del 2071 al 2100 disminuye drásticamente en un 54.5%. Por otra parte, en el escenario SSP3-7.0, para el periodo 2015-2040 disminuiría en un 7.1%, siendo en el 2041 al 2070 del 45.3%, aunque en los años siguientes hasta el 2100, solo decrecería en un 11.4%. Finalmente, en el escenario SSP5-8.5, del 2015 al 2040 decrecería en un 25.3% y su descenso sería mayor en el 2041-2070 de un 45.4%, no obstante, en el último periodo disminuye en 35.3%. Lo mencionado se observa en la Tabla 113 y Tabla 114.

Tabla 113. Recarga promedio mensual y anual en Cabrillas-Malacara para los 3 escenarios de Cambio Climático

Mes	Periodo de control	SSP1-2.6			SSP3-7.0			SSP5-8.5		
		2015 - 2040	2041 - 2070	2071 - 2100	2015 - 2040	2041 - 2070	2071 - 2100	2015 - 2040	2041 - 2070	2071 - 2100
Ene	0.60	0.72	0.28	0.30	0.58	0.19	0.53	0.19	0.46	0.46
Feb	0.28	0.12	0.48	0.16	0.63	0.22	0.76	0.34	0.25	0.25
Mar	0.23	0.22	0.18	0.16	0.11	0.39	0.14	0.10	0.40	0.05
Abr	0.30	0.38	0.18	0.16	0.12	0.08	0.29	0.15	0.14	0.08
May	0.22	0.22	0.16	0.17	0.06	0.17	0.19	0.29	0.13	0.06
Jun	0.08	0.01	0.04	0.09	0.02	0.03	0.01	0.03	0.04	0.01
Jul	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
Ago	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Sep	0.05	0.05	0.07	0.04	0.05	0.05	0.09	0.05	0.02	0.03
Oct	0.45	0.04	0.50	0.16	1.33	0.58	0.18	0.04	0.24	0.25
Nov	1.01	0.41	1.30	0.24	0.36	0.08	0.85	1.27	0.18	0.83
Dic	0.38	0.38	0.38	0.15	0.05	0.17	0.15	0.22	0.10	0.31
Anual	3.61	2.56	3.59	1.64	3.35	1.97	3.20	2.70	1.97	2.33

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 114. Variación porcentual de la recarga promedio mensual y anual en Cabrillas-Malacara para los 3 escenarios de Cambio Climático

Mes	SSP1-2.6			SSP3-7.0			SSP5-8.5		
	2015 - 2040	2041 - 2070	2071 - 2100	2015 - 2040	2041 - 2070	2071 - 2100	2015 - 2040	2041 - 2070	2071 - 2100
Ene	18.4	-53.3	-50.7	-3.2	-67.9	-11.7	-68.8	-23.1	-23.7
Feb	-56.5	73.2	-40.6	127.7	-22.1	175.1	24.0	-10.7	-9.1
Mar	-0.3	-19.1	-29.4	-51.3	74.7	-38.1	-54.6	75.9	-79.5
Abr	24.7	-41.3	-48.8	-60.6	-74.5	-4.7	-49.7	-54.7	-75.0
May	-0.4	-26.6	-20.2	-70.8	-21.5	-14.5	32.5	-40.8	-72.3
Jun	-85.8	-50.3	6.4	-79.0	-64.4	-89.9	-58.4	-48.8	-90.5
Jul	28.9	6.8	21.3	108.7	1.3	-9.1	59.9	14.4	-50.1
Ago	68.8	96.5	163.3	322.8	60.1	23.3	29.1	122.6	73.8
Sep	6.6	49.6	-26.5	-0.3	7.5	81.7	-5.8	-58.2	-49.5
Oct	-90.9	11.1	-65.4	195.5	29.0	-58.9	-91.5	-46.7	-44.1
Nov	-60.0	28.0	-76.1	-64.1	-92.6	-16.5	25.1	-82.5	-18.2
Dic	-0.05	2.4	-59.8	-85.7	-54.2	-61.3	-41.5	-73.4	-16.5
Anual	-29.2	-0.4	-54.5	-7.1	-45.3	-11.4	-25.3	-45.4	-35.3

Fuente: Elaboración propia.

## 8. Bibliografía

- Agricultura. El cultivo de la cebada. 1ª parte.* (s/f). Recuperado el 11 de agosto de 2023, de <https://infoagro.com/herbaceos/forrajes/cebada.htm>
- Biosca, M. (2022). *Diseño de una red de riego localizado para una plantación de 15,4 ha de almendros situada en el término municipal de Font de La Figuera (Valencia)*.
- Burman, R. D., & Pochop, L. O. (1994). *Evaporation, Evapotranspiration and Climatic Data*. Elsevier.
- Carlotto, T., & Chaffe, P. L. B. (2019). Master Recession Curve Parameterization Tool (MRCPtool): Different approaches to recession curve analysis. *Computers & Geosciences*, 132, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2019.06.016>
- Chamorro, A. M., & Tamagno, N. (2004). *Producción de materia seca aérea y radical de colza primaveral (Brassica napus L. ssp oleifera forma annua)*.
- Chinguel, D. (2013). *Biomasa y secuestro de carbono radicular, en bosque natural de “algarrobo” en campus de Universidad de Piura (UDEP)*.
- CIREN. (2020). *Resultados y Aspectos Económicos de Proyecciones Climáticas para Especies Frutales en la Cuenca del Aconcagua*.
- Confederación Hidrográfica del Júcar, O. A. (2020). *Plan de Explotación de la Masa de Agua Subterránea Requena-Utiel*.
- Confederación Hidrográfica del Júcar, O. A. (2023). *Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar. Memoria—Anejo 12. Evaluación del Estado de las Masas de Agua Superficial y Subterránea. Ciclo de planificación hidrológica 2022-2027*.
- Copernicus Climate Change Service. (2019). *ERA5-Land hourly data from 2001 to present [dataset]*. ECMWF. <https://doi.org/10.24381/CDS.E2161BAC>
- D. N. Moriasi, J. G. Arnold, M. W. Van Liew, R. L. Bingner, R. D. Harmel, & T. L. Veith. (2007). Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations. *Transactions of the ASABE*, 50(3), 885–900. <https://doi.org/10.13031/2013.23153>
- Domenico, P. A., & Schwartz, F. W. (1998). *Physical and Chemical Hydrogeology, 2nd Edition | Wiley*. Wiley.Com. <https://www.wiley.com/en-us/Physical+and+Chemical+Hydrogeology%2C+2nd+Edition-p-9780471597629>
- Domínguez, L. E. M., Castañeda, C. L., & Riquelme, I. B. (2016). *Desarrollo radical y rendimiento en diferentes variedades de trigo, cebada y triticale bajo condiciones limitantes de humedad del suelo*.
- Donigian, A., & Imhoff, J. (2002). *From the stanford model to BASINS: 40 years of watershed modeling In ASCE Task committee on evolution of hydrologic methods through computers. Session 6: Watershed modeling case studies*.
- Eyring, V., Bony, S., Meehl, G. A., Senior, C. A., Stevens, B., Stouffer, R. J., & Taylor, K. E. (2016). Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization. *Geoscientific Model Development*, 9(5), 1937–1958. <https://doi.org/10.5194/gmd-9-1937-2016>
- Fanlo, F. (1961). *El Chopo*.
- FAO, Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo—Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*.

- Francés, F., Vélez, J. I., & Vélez, J. J. (2007). Split-parameter structure for the automatic calibration of distributed hydrological models. *Journal of Hydrology*, 332(1–2), 226–240. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2006.06.032>
- GIHMA. (2021). Descripción del Modelo Conceptual Distribuido de Simulación Hidrológica TETIS v.9. *Ingeniería del agua*, 18(1), ix. <https://doi.org/10.4995/ia.2014.3293>
- Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Hirahara, S., Horányi, A., Muñoz-Sabater, J., Nicolas, J., Peubey, C., Radu, R., Schepers, D., Simmons, A., Soci, C., Abdalla, S., Abellan, X., Balsamo, G., Bechtold, P., Biavati, G., Bidlot, J., Bonavita, M., ... Thépaut, J. (2020). The ERA5 global reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 146(730), 1999–2049. <https://doi.org/10.1002/qj.3803>
- ISIMIP. (s/f). *The Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project*. ISIMIP. Recuperado el 17 de agosto de 2023, de <https://www.isimip.org/>
- Jiménez, S. D. M. (2015). "DURACIÓN DE LAS ETAPAS FENOLÓGICAS Y PROFUNDIDAD.
- John, J. G., Blanton, C., McHugh, C., Radhakrishnan, A., Rand, K., Vahlenkamp, H., Wilson, C., Zadeh, N. T., Dunne, J. P., Dussin, R., Horowitz, L. W., Krasting, J. P., Lin, P., Malyshev, S., Naik, V., Ploshay, J., Shevliakova, E., Silvers, L., Stock, C., ... Zeng, Y. (2018). *NOAA-GFDL GFDL-ESM4 model output prepared for CMIP6 ScenarioMIP* [dataset]. Earth System Grid Federation. <https://doi.org/10.22033/ESGF/CMIP6.1414>
- Lange, S. (2019). *WFDE5 over land merged with ERA5 over the ocean (W5E5)* (1.0) [dataset]. GFZ Data Services. <https://doi.org/10.5880/PIK.2019.023>
- Maldonado, P. (2020). *Plantación de viñedo de 8 ha en regadío en el término municipal de Aranjuez (Las Infantas, Madrid)*.
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (s/f). *Cuencas y subcuencas hidrográficas*. Recuperado el 6 de agosto de 2023, de <https://www.miteco.gob.es/es/cartografia-y-sig/ide/descargas/agua/cuencas-y-subcuencas.html>
- Nainggolan, R., Perangin-angin, R., Simarmata, E., & Tarigan, A. F. (2019). Improved the Performance of the K-Means Cluster Using the Sum of Squared Error (SSE) optimized by using the Elbow Method. *Journal of Physics: Conference Series*, 1361(1), 012015. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1361/1/012015>
- Oderiz, J. A., Uhaldegaray, M. G., Frasier, I., Quiroga, A. R., Amiotti, N., & Zalba, P. (2017). *RAÍCES DE CULTIVOS DE COBERTURA. CANTIDAD, DISTRIBUCIÓN E INFLUENCIA SOBRE EL N MINERAL*.
- Organismo Autónomo Centro Nacional de Información. (s/f). *Centro de Descargas del CNIG (IGN)*. Centro de Descargas del CNIG. Recuperado el 6 de agosto de 2023, de <http://centrodedescargas.cnig.es>
- Overview of global climate projections—Copernicus Services—ECMWF Confluence Wiki*. (s/f). Recuperado el 17 de agosto de 2023, de <https://confluence.ecmwf.int/display/COPSRV/Overview+of+global+climate+projections>
- Peral García, C., Navascués Fernández-Victorio, B., & Ramos Calzado, P. (2017). *Serie de precipitación diaria en rejilla con fines climáticos*. Agencia Estatal de Meteorología. <https://doi.org/10.31978/014-17-009-5>
- Pérez Membrives, M. Á. (2019). *Modelo matemático del flujo de agua subterránea de los acuíferos de Requena-Utiel y Cabrillas-Malacara (Valencia)*. <https://riunet.upv.es/handle/10251/128980>
- Plan de Explotación Masas Subterráneas*. (s/f). Recuperado el 25 de agosto de 2023, de <https://www.chj.es/es-es/medioambiente/PlanExplotacion/Paginas/PlandeExplotaci%C3%B3nMasasSubterr%C3%A1neas.aspx>
- Pombosa, A. (2016). *Determinación de las etapas fenológicas del cultivo de alfalfa (Medicago sativa) Var. Morada Paisana bajo las condiciones climáticas del Cantón Cevallos*.
- Pool, S., Francés, F., Garcia-Prats, A., Puertes, C., Pulido-Velazquez, M., Sanchis-Ibor, C., Schirmer, M., Yang, H., & Jiménez-Martínez, J. (2021). Hydrological Modeling of the Effect of the Transition From Flood to Drip Irrigation on Groundwater Recharge Using Multi-Objective Calibration. *Water Resources Research*, 57(8), e2021WR029677. <https://doi.org/10.1029/2021WR029677>
- Pulido, M., Lobo L, D., Lozano P., Z., & Hernández, R. (2011). *Relación entre propiedades físicas de un suelo de los llanos centrales y el desarrollo de raíces de maíz (Zea mays L.) en sistemas mejorados maíz- ganado Relationship between soil physic properties and root growth in a soil at the central plains under livestock-maize improved systems*.

- Ramírez, L. (2012). *ANÁLISIS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO HIDROLÓGICO DISTRIBUIDO CON INFORMACIÓN ESTÁNDAR EN ESPAÑA*. Máster Universitario en Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente.
- Reveles-Hernández, M., Velásquez-Valle, R., & Bravo-Lozano, Á. G. (2009). *TECNOLOGÍA PARA CULTIVAR AJO EN ZACATECAS*.
- Riu, N., Settepani, V., & Settepani, C. (1999). *Álamos de 5 años—Regímenes de riego*.
- Rivas, R., & Ocampo, D. (2009). *Comportamiento del balance de energía en un cultivo de avena*.
- Siabi, E. K., Awafo, E. A., Kabo-bah, A. T., Derkyi, N. S. A., Akpoti, K., Mortey, E. M., & Yazdanie, M. (2023). Assessment of Shared Socioeconomic Pathway (SSP) climate scenarios and its impacts on the Greater Accra region. *Urban Climate*, 49, 101432. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2023.101432>
- Steinley, Douglas. (2006). K-means clustering: A half-century synthesis. *British Journal of Mathematical and Statistical Psychology*, 59(1), 1–34. <https://doi.org/10.1348/000711005X48266>
- Tenesaca, C. (2015). *FENOLOGÍA Y PROFUNDIDAD RADICAL DEL CULTIVO DE GIRASOL (Helianthus annuus) var. Sunbright EN EL SECTOR QUEROCHACA, CANTÓN CEVALLOS, PROVINCIA DE TUNGURAHUA*.
- Tóth, B., Weynants, M., Pásztor, L., & Hengl, T. (2017). 3D soil hydraulic database of Europe at 250 m resolution. *Hydrological Processes*, 31(14), 2662–2666. <https://doi.org/10.1002/hyp.11203>
- Vu, T. T., Kiesel, J., Guse, B., & Fohrer, N. (2019). Analysis of the occurrence, robustness and characteristics of abrupt changes in streamflow time series under future climate change. *Climate Risk Management*, 26, 100198. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2019.100198>
- Wilson, M. G. (1998). *EVALUACIÓN DEL SISTEMA RADICAL DEL CULTIVO DE TRIGO MEDIANTE DOS MÉTODOS DE MEDICIÓN*.
- Zekâi, Ş. (2015). *Climate Change, Droughts, and Water Resources* (pp. 321–391). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802176-7.00006-7>