



Universidad  
Complutense  
Madrid



Universidad  
Rey Juan Carlos



POLITÉCNICA

## EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LOS REGIMENES DE PRECIPITACIÓN Y DE CAUDALES EN LOS PRINCIPALES RÍOS DE LA CUECA DEL JARAMA. CONSECUENCIA EN LOS PLANES DE RESTAURACIÓN FLUVIAL

Máster Universitario en Restauración de Ecosistemas

**Presentado por:**

D. BOWEI CHENG

**Director:**

Dr. DIEGO GARCÍA DE JALÓN

**Tutor académico:**

Dr. DIEGO GARCÍA DE JALÓN

En China, a 28 de enero de 2021

# Índice

Resumen .....	1
Abstract .....	2
1. Introducción .....	3
1.1. Antecedentes .....	3
1.2. El impacto de la precipitación en la generación de escorrentía en la cuenca .....	4
2. Delimitación de área de estudio .....	6
2.1. Localización geográfica .....	6
2.1.1. Cuenca del Río Jarama .....	6
2.1.2. Cuenca del Río Lozoya .....	8
2.1.3. Cuenca del Río Guadalix .....	9
2.1.4. Cuenca del Río Manzanares .....	10
2.2. Delimitación de subcuenca .....	11
3. Métodos de investigación de precipitación y hidrológicos y fuentes de datos. ....	12
3.1. Métodos de datos de precipitación y hidrológicos .....	12
3.1.1. Estimación de tendencia lineal .....	12
3.1.2. Anomalía acumulativa .....	13
3.1.3. Prueba de tendencia de Mann-Kendall .....	13
3.1.4. Tasa de contribución de precipitación .....	14
3.1.5. Método de predicción .....	15
3.2. Fuente de datos .....	17
3.2.1. Datos hidrológicos .....	17
3.2.2. Datos de precipitación .....	17
4. Cambios de precipitación de varios años en cada subcuenca .....	20
4.1. Precipitación anual .....	20
4.1.1. Precipitación anual en cuenca del Loyoya .....	20
4.1.2. Precipitación anual en cuenca del Guadalix .....	21
4.1.3. Precipitación anual en cuenca del Manzanares .....	21
4.1.4. Precipitación anual en cuenca del Jarama 1 .....	22
4.1.5. Precipitación anual en cuenca del Jarama 2 .....	22
4.1.6. Precipitación anual en cuenca del Jarama 3 .....	23
4.2. Anomalías de precipitación .....	24
4.2.1. Anomalías multianuales de precipitación en la cuenca del Lozoya .....	24
4.2.2. Anomalías plurianuales de precipitación en la cuenca de Guadalix .....	24
4.2.3. Anomalías plurianuales de precipitación en la Cuenca del Manzanares .....	25
4.2.4. Anomalías plurianuales de precipitación en la cuenca del Jarama 1 .....	26
4.2.5. Anomalías de precipitación multianual en la cuenca del Jarama 2 .....	27
4.2.6. Anomalías multianuales de precipitación en la cuenca del Jarama 3 .....	27
4.3. Anomalías acumuladas de precipitación anual .....	28
4.3.1. Anomalías acumuladas de precipitación anual en la Cuenca del Lozoya .....	28
4.3.2. Anomalías acumuladas de precipitación anual en la Cuenca del Guadalix .....	29
4.3.3. Anomalías acumuladas de precipitación anual en la Cuenca del Manzanares .....	29

4.3.4. Anomalías acumuladas de precipitación anual en la Cuenca del Jarama 1 .....	30
4.3.5. Anomalías acumuladas de precipitación anual en la Cuenca del Jarama 2 .....	30
4.3.6. Anomalías acumuladas de precipitación anual en la Cuenca del Jarama 3 .....	31
4.4. Prueba de mutación M-K de precipitación anual .....	32
4.4.1. Prueba de mutación M-K de precipitación anual en la cuenca del Lozoya .....	32
4.4.2. Prueba de mutación M-K de precipitación anual en la cuenca del Guadalix .....	32
4.4.3. Prueba de mutación M-K de precipitación anual en la cuenca del Manzanares ..	33
4.4.4. Prueba de mutación M-K de precipitación anual en la cuenca del Jarama 1 .....	34
4.4.5. Prueba de mutación M-K de precipitación anual en la cuenca del Jarama 2 .....	35
4.4.6. Prueba de mutación M-K de precipitación anual en la cuenca del Jarama 3 .....	36
5. Cambios en el caudal de los ríos en cada subcuenca .....	36
5.1. Cambios en el caudal medio .....	36
5.1.1. Cambios en el caudal medio del río Lozoya .....	36
5.1.2. Cambios en el caudal medio del río Guadalix .....	37
5.1.3. Cambios en el caudal medio del río Manzanares .....	37
5.1.4. Cambios en el caudal medio del río Jarama 1 .....	38
5.1.5. Cambios en el caudal medio del río Jarama 2 .....	39
5.1.6. Cambios en el caudal medio del río Jarama 3 .....	39
5.2. Cambios de anomalía en el caudal medio anual .....	40
5.2.1. Cambios de anomalía en el caudal medio anual del río Lozoya .....	40
5.2.2. Cambios de anomalía en el caudal medio anual del río Guadalix .....	40
5.2.3. Cambios de anomalía en el caudal medio anual del río Manzanares .....	41
5.2.4. Cambios de anomalía en el caudal medio anual del río Jarama 1 .....	42
5.2.5. Cambios de anomalía en el caudal medio anual del río Jarama 2 .....	43
5.2.6. Cambios de anomalía en el caudal medio anual del río Jarama 3 .....	43
5.3. Cambios acumulados de anomalías en el caudal medio anual .....	44
5.3.1. Cambios acumulados de anomalías en el caudal medio anual del río Lozoya .....	44
5.3.2. Cambios acumulados de anomalías en el caudal medio anual del río Guadalix ..	45
5.3.3. Cambios acumulados de anomalías en el caudal medio anual del río Manzanares ..	46
5.3.4. Cambios acumulados de anomalías en el caudal medio anual del río Jarama 1 ..	47
5.3.5. Cambios acumulados de anomalías en el caudal medio anual del río Jarama 2 ..	47
5.3.6. Cambios acumulados de anomalías en el caudal medio anual del río Jarama 3 ..	48
5.4. Prueba de mutación M-K de la escorrentía anual .....	49
5.4.1. Prueba de mutación M-K de la escorrentía anual en la cuenca del Lozoya .....	49
5.4.2. Prueba de mutación M-K de la escorrentía anual en la cuenca del Guadalix .....	50
5.4.3. Prueba de mutación M-K de la escorrentía anual en la cuenca del Manzanares ..	51
5.4.4. Prueba de mutación M-K de la escorrentía anual en la cuenca del Jarama 1 .....	52
5.4.5. Prueba de mutación M-K de la escorrentía anual en la cuenca del Jarama 2 .....	53
5.4.6. Prueba de mutación M-K de la escorrentía anual en la cuenca del Jarama 3 .....	54
6. La relación entre la lluvia y la escorrentía y la predicción futura .....	54
6.1. Análisis de los factores que influyen en la relación lluvia-escorrentía .....	54
6.1.1. Factores naturales .....	55
6.1.2. Factores humanos .....	55

6.2. Comparación entre las precipitaciones y caudales circulantes en cada subcuenca .....	56
6.3. La correlación entre la lluvia y la escorrentía en cada subcuenca .....	60
6.3.1. La correlación entre la lluvia y la escorrentía en cuenca del Lozoya .....	60
6.3.2. La correlación entre la lluvia y la escorrentía en cuenca del Guadalix .....	60
6.3.3. La correlación entre la lluvia y la escorrentía en cuenca del Manzanares .....	62
6.3.4. La correlación entre la lluvia y la escorrentía en cuenca del Jarama 1 .....	63
6.3.5. La correlación entre la lluvia y la escorrentía en cuenca del Jarama 2 .....	64
6.3.6. La correlación entre la lluvia y la escorrentía en cuenca del Jarama 3 .....	65
6.4. Predicción futura .....	70
7. Restauración del río .....	71
7.1. Coerción humana al ecosistema fluvial .....	71
7.2. Mejorar las condiciones hidrológicas del río .....	72
7.2.1 Introducción general .....	72
7.2.2. El impacto del embalse en el ecosistema del río río abajo .....	73
8. Conclusión .....	74
Bibliografía .....	76
Agradecimientos .....	78
Anexo .....	79

# Índice de figuras

Figura 1. Río Jarama .....	6
Figura 2. Ubicación del río Jarama y sus tres afluentes.....	7
Figura 3. Río Lozoya.....	8
Figura 4. Río Guadalix.....	10
Figura 5. Río Manzanares .....	11
Figura 6. La distribución espacial de las estaciones originales de MOPREDAS (a). Estación de análisis de tendencias seleccionada 1946-2005 (b). .....	18
Figura 7. Distribución de las estaciones de observación MOPREDAS .....	19
Figura 8. Seis subcuencas y distribución de las estaciones de observación MOPREDAS .....	19
Figura 9. Precipitación anual en cuenca del Lozoya .....	20
Figura 10. Precipitación anual en cuenca del Guadalix .....	21
Figura 11. Precipitación anual en cuenca del Manzanares.....	21
Figura 12. Precipitación anual en cuenca del Jarama 1.....	22
Figura 13. Precipitación anual en cuenca del Jarama 2.....	22
Figura 14. Precipitación anual en cuenca del Jarama 3.....	23
Figura 15. Cambios en las anomalías de precipitación en la cuenca del Lozoya .....	24
Figura 16. Cambios en las anomalías de precipitación en la cuenca del Guadalix .....	25
Figura 17. Cambios en las anomalías de precipitación en la cuenca del Manzanares .....	25
Figura 18. Cambios en las anomalías de precipitación en la cuenca del Jarama 1 .....	26
Figura 19. Cambios en las anomalías de precipitación en la cuenca del Jarama 2 .....	27
Figura 20. Cambios en las anomalías de precipitación en la cuenca del Jarama 3 .....	27
Figura 21. Cambio de anomalía acumulativo de precipitación en la cuenca del Lozoya .....	28
Figura 22. Cambio de anomalía acumulativo de precipitación en la cuenca del Guadalix .....	29
Figura 23. Cambio de anomalía acumulativo de precipitación en la cuenca del Manzanares .....	29
Figura 24. Cambio de anomalía acumulativo de precipitación en la cuenca del Jarama 1 .....	30
Figura 25. Cambio de anomalía acumulativo de precipitación en la cuenca del Jarama 2 .....	31
Figura 26. Cambio de anomalía acumulativo de precipitación en la cuenca del Jarama 3 .....	31
Figura 27. Curva estadística M-K de precipitación anual en la cuenca del Lozoya .....	32
Figura 28. Curva estadística M-K de precipitación anual en la cuenca del Guadalix .....	33
Figura 29. Curva estadística M-K de precipitación anual en la cuenca del Manzanares .....	33
Figura 30. Curva estadística M-K de precipitación anual en la cuenca del Jarama 1 .....	34
Figura 31. Curva estadística M-K de precipitación anual en la cuenca del Jarama 2 .....	35
Figura 32. Curva estadística M-K de precipitación anual en la cuenca del Jarama 3 .....	36
Figura 33. Cambios en el caudal medio del río Lozoya.....	37
Figura 34. Cambios en el caudal medio del río Guadalix.....	37
Figura 35. Cambios en el caudal medio del río Manzanares .....	38
Figura 36. Cambios en el caudal medio del río Jarama 1 .....	38
Figura 37. Cambios en el caudal medio del río Jarama 2 .....	39
Figura 38. Cambios en el caudal medio del río Jarama 3 .....	39
Figura 39. Cambios de anomalía en el caudal medio anual del río Lozoya .....	40
Figura 40. Cambios de anomalía en el caudal medio anual del río Guadalix .....	40

Figura 41. Cambios de anomalía en el caudal medio anual del río Manzanares.....	41
Figura 42. Cambios de anomalía en el caudal medio anual del río Jarama 1.....	42
Figura 43. Cambios de anomalía en el caudal medio anual del río Jarama 2.....	43
Figura 44. Cambios de anomalía en el caudal medio anual del río Jarama 3.....	43
Figura 45. Cambios acumulados de anomalías en el caudal medio anual del río Lozoya.....	44
Figura 46. Cambios acumulados de anomalías en el caudal medio anual del río Guadalix.....	45
Figura 47. Cambios acumulados de anomalías en el caudal medio anual del río Manzanares.....	46
Figura 48. Cambios acumulados de anomalías en el caudal medio anual del río Jarama 1.....	47
Figura 49. Cambios acumulados de anomalías en el caudal medio anual del río Jarama 2.....	47
Figura 50. Cambios acumulados de anomalías en el caudal medio anual del río Jarama 3.....	48
Figura 51. Curva estadística M-K de escorrentía anual en la cuenca del Lozoya.....	49
Figura 52. Curva estadística M-K de escorrentía anual en la cuenca del Guadalix.....	50
Figura 53. Curva estadística M-K de escorrentía anual en la cuenca del Manzanares.....	51
Figura 54. Curva estadística M-K de escorrentía anual en la cuenca del Jarama 1.....	52
Figura 55. Curva estadística M-K de escorrentía anual en la cuenca del Jarama 2.....	53
Figura 56. Curva estadística M-K de escorrentía anual en la cuenca del Jarama 3.....	54
Figura 57. Comparación entre las precipitaciones y caudales circulantes en cuenca del Lozoya...	56
Figura 58. Comparación entre las precipitaciones y caudales circulantes en cuenca del Guadalix	57
Figura 59. Comparación entre las precipitaciones y caudales circulantes en cuenca del Manzanares.....	57
Figura 60. Comparación entre las precipitaciones y caudales circulantes en cuenca del Jarama 1	58
Figura 61. Comparación entre las precipitaciones y caudales circulantes en cuenca del Jarama 2	58
Figura 62. Comparación entre las precipitaciones y caudales circulantes en cuenca del Jarama 3	59
Figura 63. Correlación entre lluvia y escorrentía en la cuenca del Lozoya.....	60
Figura 64. Correlación entre lluvia y escorrentía en la cuenca del Guadalix.....	61
Figura 65. Correlación entre lluvia y escorrentía en la cuenca del Manzanares.....	62
Figura 66. Correlación entre lluvia y escorrentía en la cuenca del Jarama 1.....	63
Figura 67. Correlación entre lluvia y escorrentía en la cuenca del Jarama 2.....	64
Figura 68. Correlación entre lluvia y escorrentía en la cuenca del Jarama 3.....	65
Figura 69. Cambio de caudal máximo del río Jarama.....	66
Figura 70. Cambio de caudal medio del río Jarama.....	67
Figura 71. Cambio de caudal mínimo de río Jarama.....	67
Figura 72. Comparativa de los caudales medios diarios.....	68
Figura 73. Probabilidad de recurrencia 1968-1988.....	69
Figura 74. Probabilidad de recurrencia 1989-2009.....	69
Figura 75. Modelo de red neuronal BP de capa de entrada-capa media-capa de salida.....	16

# Índice de tablas

Tabla 1. Subcuencas en la cuenca del Jarama .....	11
Tabla 2. Ubicación de estación de aforo .....	17
Tabla 3. Probabilidad de recurrencia .....	69
Tabla 4. Previsión del caudal futuro del río Jarama .....	71

## Resumen

El trabajo de este artículo tiene como objetivo la tendencia de cambio de precipitación y cambios de caudales en la Cuenca del Jarama. Para ello se analiza estadísticamente la distribución temporal y espacial y las características de evolución de la lluvia y la escorrentía en toda la cuenca desde 1945 hasta 2005, utilizando estimación de tendencia lineal, método de anomalía acumulativa (Mann-Kendall) prueba de tendencia, coeficiente de correlación y análisis de regresión. Sobre esta base, se analizó y estudió la relación de respuesta de los cambios de escorrentía en toda la cuenca con la distribución temporal y espacial de la lluvia, y se utilizó el modelo VMD-BP para predecir la aportación del río Jarama. Se analizaron los efectos de los ríos bajo factores naturales y humanos, especialmente el desarrollo y la utilización irrazonable de los ríos por los humanos después de 1980, lo que llevó a la degradación de los ríos y al deterioro de la función de servicio. Ante la falta de factores ecológicos en la operación actual del embalse, a partir del impacto negativo del modo de operación actual del embalse sobre el entorno ecológico, se construyen los fundamentos teóricos y principios básicos de la operación ecológica del embalse. Combinando la tecnología existente de control de inundaciones y manejo de los embalses, se propone un método de control de caudales de desembalse que cumple con el caudal ecológico aguas abajo, construye un conjunto de reposición ecológica del embalse y utilización integral, así como medidas de restauración de ríos en un sentido amplio.

**Palabras claves:** MOPREDAS, Estimación de tendencia lineal, Método de anomalías acumulativas, Prueba de tendencia de Mann-Kendall, Coeficiente de correlación y análisis de regresión, Precipitaciones-caudales

## Abstract

The work of this paper aims at the change trend of precipitation and flow changes in the Jarama Basin, and statistically analyzes the temporal and spatial distribution and evolution characteristics of rainfall and runoff in the whole basin from 1945 to 2005, using linear trend estimation, cumulative anomaly method, Man-Kendall trend test, correlation coefficient and regression analysis and other methods to analyze in detail the trend changes of precipitation and runoff in each sub-basin of the Jarama River. On this basis, the response relationship of runoff changes in the whole basin to the temporal and spatial distribution of rainfall was further analyzed and studied, and the VMD-BP model was used to predict the river discharge of the Jarama River. Analyzed the effects of rivers under natural and human factors, especially the unreasonable development and utilization of rivers by humans after 1980, which led to river degradation and service function decline. In view of the lack of ecological factors in the current reservoir operation, starting from the negative impact of the current operation mode of the reservoir on the ecological environment, the theoretical basis and basic principles of the reservoir ecological operation have been constructed. Combining the existing flood control and dispatching technology of the reservoir, proposes a reservoir discharge flow control method that meets the downstream ecological replenishment, builds a set of ecological replacement of the reservoir and comprehensive use, as well as river restoration measures in a broad sense.

**Keywords:** MOPREDAS, Linear trend estimation, Cumulative anomalies method, Mann-Kendall trend test, Correlation coefficient and regression analysis, Precipitation-flows

# 1. Introducción

## 1.1. Antecedentes

El agua es fuente de vida, elemento vital indispensable para la supervivencia y reproducción de todas las criaturas de la tierra, y un factor ecológico importante que mantiene el ciclo virtuoso del ecosistema. La fluidez de los recursos hídricos hace que circule entre las capas de la tierra, lo que afecta profundamente la formación, evolución y desarrollo de la estructura de la superficie terrestre. Es precisamente por la circulación constante de los recursos hídricos que la tierra entera "vive". Como la tierra y la energía, los recursos hídricos son las condiciones básicas necesarias para el mantenimiento y desarrollo de la sociedad humana, así como recursos estratégicos que afectan la economía nacional, los medios de vida de las personas y el desarrollo social y económico.

Sin embargo, desde el siglo XX, el clima mundial ha seguido calentándose significativamente. Con el rápido crecimiento de la población y el rápido desarrollo económico, la demanda humana de agua ha crecido cada vez más rápido, y la contradicción entre el suministro y la demanda de agua se ha vuelto cada vez más prominente (Rignot et al., 2003). La escorrentía es una parte importante de los recursos hídricos y uno de los eslabones clave en el ciclo del agua. Sus cambios contienen cambios no lineales como aleatoriedad, tendencias, ciclos y cambios abruptos. La precipitación es una condición necesaria para la formación y transformación de la escorrentía y las actividades humanas. El impacto en la superficie subyacente conducirá a cambios en el ciclo natural del agua de la cuenca, cambiando así la relación original lluvia-escorrentía en la cuenca. Por lo tanto, es particularmente importante revelar y comprender en detalle la ley de correlación (Fuenzalida et al., 1989) y cambio de la lluvia y la escorrentía, y aclarar la tasa de contribución del cambio climático y las actividades humanas al cambio de la escorrentía de la cuenca hidrográfica, que puede proporcionar el uso local sostenible de los recursos hídricos y

la construcción integral de una sociedad ahorradora de agua.

En el campo de la ecología, el agua en el ecosistema también es un elemento indispensable, es tanto el portador de la circulación material como el medio del flujo de energía, sin agua es imposible hablar de la estructura y función del ecosistema. Como principal forma existente de recursos hídricos en la tierra, la escorrentía de los ríos es indispensable para satisfacer las necesidades de agua doméstica, agua de riego agrícola, agua industrial y medio ambiente ecológico de las personas. En los últimos años, con los problemas del agua como vínculo (Rivera et al., 2002), la investigación exhaustiva sobre el impacto del cambio climático en los recursos hídricos regionales, las inundaciones y sequías, los efectos socioeconómicos y las estrategias de adaptación al desarrollo sostenible se ha convertido en un tema importante en el campo de la investigación del cambio global (Hampton, 1988).

La serie de datos meteorológicos a largo plazo contiene mucha información, que puede reflejar bien la ley local de variación de las precipitaciones, que afecta el desarrollo agrícola de un lugar, el desarrollo turístico, los viajes de los ciudadanos, los arreglos para eventos importantes, el monitoreo del clima, el suministro de agua urbana, etc. Hay muchos aspectos de la influencia.

## **1.2. El impacto de la precipitación en la generación de escorrentía en la cuenca**

La escorrentía de cuencas es un proceso dinámico con variación temporal y espacial, el agua de lluvia cae al suelo y sufre una serie de efectos como interceptación de plantas, relleno de suelos, infiltración de suelos, evaporación de suelos y transpiración de plantas antes de que comience a producir escorrentías superficiales. Como fuente principal de recursos hídricos superficiales, la precipitación, su distribución temporal y espacial y los cambios determinan directamente el grado de sequedad y humedad y la cantidad de recursos hídricos en una región (Marche et al., 1978). La investigación sobre el mecanismo de generación de escorrentía y convergencia causada por la precipitación se remonta al experimento de generación de escorrentía y convergencia

en la década de 1930 (Mayo et al., 1995). Horton ha llevado a cabo muchos experimentos trascendentales en torno al proceso de infiltración por precipitación y ha obtenido resultados innovadores e importantes: la escorrentía superficial se produce solo cuando la intensidad de la lluvia es mayor que la capacidad de infiltración del suelo, y solo la zona vadosa subterránea contiene La escorrentía subterránea solo ocurrirá cuando el volumen de agua alcance la capacidad de retención del campo. Estos dos fenómenos se comparan vívidamente con las funciones de "tamiz" y "umbral" (Horton, 1935). En la década de 1960, la hidrología emergente de las laderas logró nuevos avances en el estudio de los mecanismos de escorrentía: la teoría de Horton puede explicar mejor el fenómeno de escorrentía en regiones áridas / semiáridas, pero en regiones húmedas, especialmente la cobertura de vegetación Las áreas altas no son ideales. Casi en el mismo período, también se propuso el mecanismo de proceso de la escorrentía en áreas húmedas, a saber, la teoría de la escorrentía total. La escorrentía total se refiere a la escorrentía solo después de que la humedad del suelo alcanza la capacidad de retención de agua del campo. Sin embargo, ya sea una escorrentía superosmótica o una escorrentía total, los eventos de precipitación deben alcanzar una cierta intensidad, es decir, el umbral de escorrentía (Villalba, 1994). En un evento de precipitación, la escorrentía sobreosmótica y la escorrentía de almacenamiento completo a menudo ocurren al mismo tiempo. Por lo tanto, bajo cierta cantidad de precipitación, la relación entre el tiempo de precipitación y la intensidad de la precipitación generalmente determina qué modo de generación de escorrentía es dominante. Después de eso, las teorías emergentes representadas por la teoría de generación de escorrentía de interfaz, la teoría no lineal de generación de escorrentía de ganancia variable en el tiempo, la generación de escorrentía aleatoria y la teoría de la convergencia, etc., han profundizado continuamente la investigación sobre el mecanismo de generación de escorrentía (Xia Jun et al., 2003; Rui Xiaofang , 2016) Con el continuo avance de la ciencia y la tecnología, se han aplicado nuevos métodos a la investigación hidrológica. Si hay investigaciones que aplican la tecnología de trazadores a los experimentos de generación de escorrentía en cuencas

hidrográficas, se encuentra que el proceso de generación de escorrentía no solo se ve afectado por la precipitación inmediata, sino que la humedad del suelo y el agua subterránea también afectarán este proceso al mismo tiempo (Gu Weizu et al., 2010).

## **2. Delimitación de área de estudio**

### **2.1. Localización geográfica**

#### **2.1.1. Cuenca del Río Jarama**

El río Jarama es un raudal localizado en la Península Ibérica, específicamente en la Comunidad de Madrid. Recorre las provincias españolas de Guadalajara y Madrid y es considerado el curso de aguas de mayor extensión de los que pasan por esta última, la cual atraviesa en dirección norte-sur por su mitad este, siendo límite entre Madrid y Castilla-La Mancha en algunos de sus segmentos.

El río Jarama nació en Sierra Cebollera en el macizo de Ayllón, provincia de Guadalajara. En su cima se encuentra el límite natural entre las provincias de Madrid y Guadalajara, pasando por un valle estrecho y tortuoso, colocando Hayedo de Montejo en su margen derecha. Desde el curso bajo de La Hiruela, el río sale de la Comunidad de Madrid y entra en Guadalajara, donde mantiene su recorrido hacia el este y gira inmediatamente hacia el sur y permanece en Elba. Muchos embalses. Aguas abajo de la presa que forma el embalse, el río pasa por un tramo fuertemente empotrado, primero al sur y luego al oeste, hasta volver a entrar en la Comunidad de Madrid, aguas abajo de su confluencia con el río Lozoa, a la altura de Patones de Arriba. Atraviesa la comunidad en una dirección definida hacia el sur, por su mitad oriental, hasta desembocar en el río Tajo, aguas abajo de Aranjuez (Figura 2). Es el río más importante de la Comunidad de Madrid, y sus afluentes forman la columna vertebral de la red de drenaje más importante de la región. Su área de drenaje es de 11597 kilómetros cuadrados y la longitud del río es de 194,2 kilómetros.

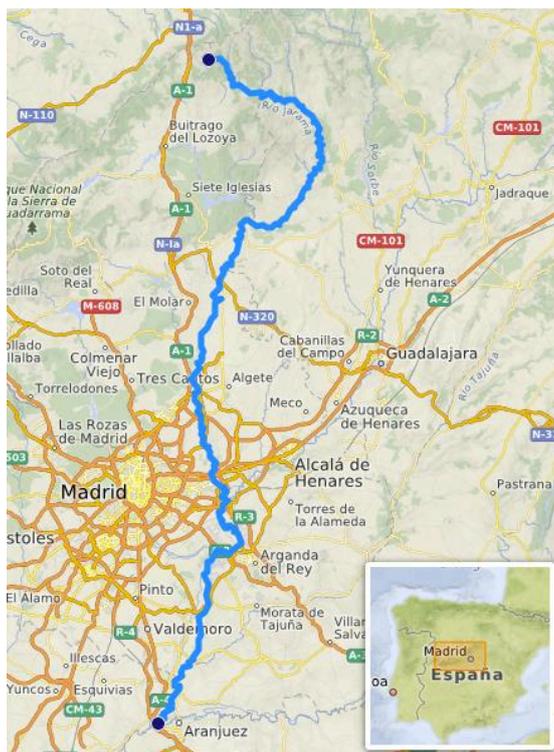


Figura 1. Río Jarama

Existen cuatro ríos principales (Figura 1) en la Cuenca del Jarama, a saber, el río Jarama, el río Lozoya, el río Guadalix y el río Manzanares.



Figura 2. Ubicación del río Jarama y sus tres afluentes.

## 2.1.2. Cuenca del Río Lozoya

En la sierra del norte de Madrid, contamos con numerosos arroyos y ríos, que además de su excelente valor paisajístico, también conservan ricos recursos vegetales y animales.

Río Lozoya (Figura 3) comienza su curso desde el Macizo de Peñalara, comunidad de Madrid, España, parque natural protegido de la Sierra de Guadarrama. Allí enclavado en cascadas y lagunas desciende a través de sus 91 kms de largo, atravesando en forma transversal la comunidad de Madrid, España hasta llegar a su desembocadura en el río Jarama.

El recorrido del río Lozoya está interrumpido por cinco embalses interconectados (Pinilla, Riosequillo, Puentes Viejas, El Villar y El Atazar), estos embalses cuentan con ricos recursos ornitológicos donde se pueden realizar diferentes actividades, como Piragüismo o padel surf. La Sierra Leona ha sido declarada estación náutica, y el embalse de Atazar cuenta con instalaciones náuticas que se pueden utilizar para la vela y otros deportes.

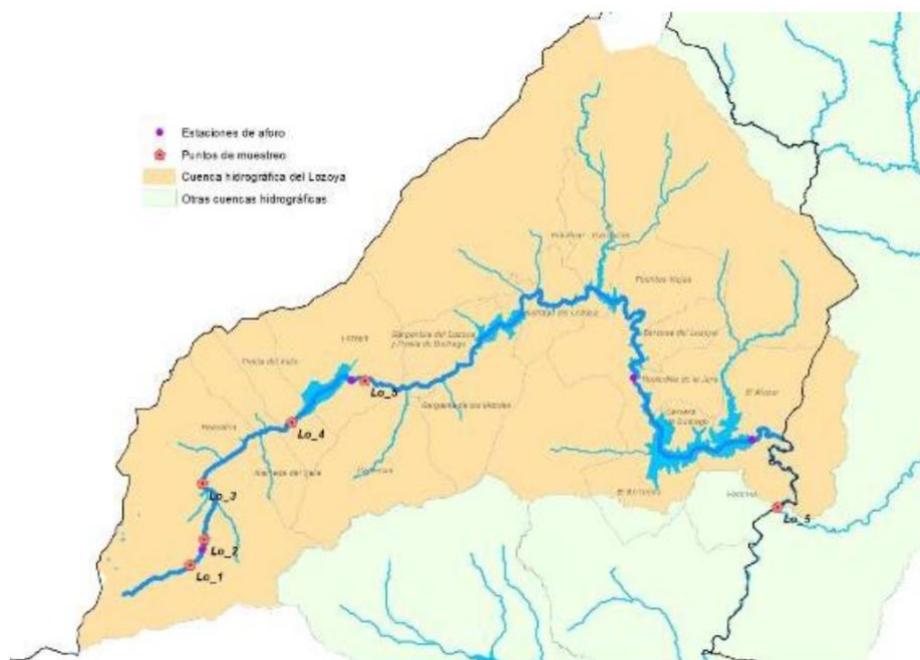


Figura 1. Río Lozoya

(Esta figura es de la Estrategia de Recuperación y Conservación de los Ríos de la Comunidad de Madrid.

Las estaciones de muestreo más grandes están marcadas en la figura. Entre los años de datos de cada estación de muestreo, a continuación se selecciona el sitio Lo-2 con los datos más completos.)

### **2.1.3. Cuenca del Río Guadalix**

El río Guadalix nace en la vertiente meridional de la Sierra de Guadarrama, recogiendo las escorrentías y aguas de diversos arroyos y del río Miraflores que descienden por la ladera sur del puerto de La Morcuera. Tras quedar retenidas sus aguas en el embalse de Miraflores de 0,53 hm<sup>3</sup> de capacidad, el río discurre en dirección dominante hacia el sureste por un valle encajonado y laderas de fuerte pendiente, hasta llegar al municipio de Miraflores de la Sierra. Pasado el mismo, el río cambia de orientación hacia el este, atravesando el municipio de Guadalix de la Sierra, para llegar al embalse de Pedrezuela, incluido en el Catálogo de Embalses y Humedales de la Comunidad de Madrid. Tras este embalse, el río discurre muy encajonado con dirección predominante hacia el sur y, aguas abajo de San Agustín de Guadalix, atraviesa un valle abierto, entre zonas agrícolas de secano y montes bajos adhesados, para finalmente confluir con el Jarama entre urbanizaciones.

El Guadalix es un río relativamente pequeño, de caudales reducidos pero permanentes, que drena una superficie de cuenca de 330,13 km<sup>2</sup> en un recorrido del cauce principal de 41,2 km, y que carece de afluentes de importancia (Figura 4).

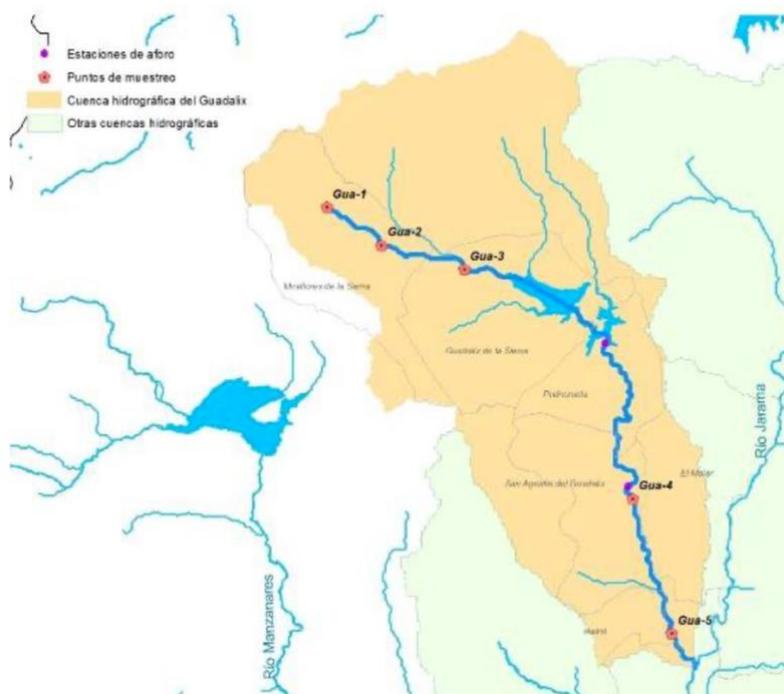


Figura 2. Río Guadalix. (Esta figura es de la Estrategia de Recuperación y Conservación de los Ríos de la Comunidad de Madrid. Las estaciones de muestreo más grandes están marcadas en la figura. Con base en el año de datos de cada estación de muestreo, a continuación, se selecciona el sitio Gua\_5 con los datos más completos.)

#### 2.1.4. Cuenca del Río Manzanares

La fuente de agua del río Manzanares proviene del Alto de las Guarramillas (Silva et al., 1988) en Ventisquero de la Condesa en la vertiente sur de la Sierra de Guadarrama (ver Figura 5). La parte más alta del río fluye hacia el este en un estrecho valle, recogiendo las aguas de la Sierra del Francés y La Pedriza. Conduce hacia el sureste hasta la localidad de Manzanares el Real, y luego hacia un valle más amplio, que hoy está sumergido por el Embalse de Santillana, que está incluido en el Catálogo de Embalses y Humedales. ". La presa que forma el embalse se ubica en medio del río, correspondiente a un estrecho valle, en ese río el agua fluye hacia el sur hasta llegar a la presa El Pardo. En este sentido, el río se ha mantenido en un recorrido bajo, atravesando la ciudad de Madrid en un tramo de la zona que ha sufrido grandes presas y canalizaciones, recogiendo el vertido de numerosas depuradoras, para luego llegar

La confluencia del río Jarama a la altura de Rivas. Vaciamadrid (Vaciamadrid) trazó aquí un gran arco que conecta con los cerros que rodean el Pico Coberteras al norte, formando parte del Parque Regional Sureste.

Su área de drenaje es de 1.242 kilómetros cuadrados, lo que equivale exactamente a la Comunidad de Madrid, con una longitud total de 86,5 kilómetros y sin afluentes importantes.

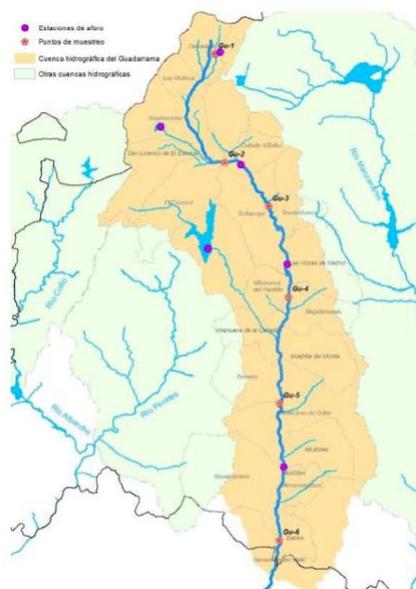


Figura 3. Río Manzanares (Esta figura es de la Estrategia de Recuperación y Conservación de los Ríos de la Comunidad de Madrid. Las estaciones de muestreo más grandes están marcadas en la figura. Con base en el año de datos de cada estación de muestreo, a continuación se selecciona el sitio Gu-5 con los datos más completos.)

## 2.2. Delimitación de subcuenca

Dividimos el río Jarama en tres tramos a partes iguales con fines de investigación, por lo que este artículo divide la cuenca del río Jarama en 6 subcuencas.

Tabla 1. Subcuencas en la cuenca del Jarama

Subcuenca	Río
Cuenca del Lozoya	Río Lozoya
Cuenca del Guadalix	Río Guadalix
Cuenca del Manzanares	Río Manzanares

Cuenca del Jarama 1	Río Jarama
Cuenca del Jarama 2	Río Jarama
Cuenca del Jarama 3	Río Jarama

### 3. Métodos de investigación de precipitación y hidrológicos y fuentes de datos.

#### 3.1. Métodos de datos de precipitación y hidrológicos

##### 3.1.1. Estimación de tendencia lineal

Utilice  $x_i$  para denotar la variable con tamaño de muestra  $n$  y la variable de tiempo  $t_i$  para establecer una ecuación de regresión lineal de  $x_i$  y  $t_i$ :

$$x_i = a + bt_i \quad i = 1, 2, \dots, n$$

En la fórmula:  $a$  es la constante de regresión y  $b$  es el coeficiente de regresión, que se puede estimar mediante el método de mínimos cuadrados. La estimación de mínimos cuadrados de las variables  $x_i$  y  $t_i$ ,  $b$  y  $a$  es:

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n x_i t_i - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n x_i) (\sum_{i=1}^n t_i)}{\sum_{i=1}^n t_i^2 - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n t_i)^2}$$

$$a = \bar{x} - b\bar{t}$$

Dónde:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^n x_i \right), \bar{t} = \left( \sum_{i=1}^n t_i \right)$$

Encuentre el coeficiente de correlación entre  $t_i$  y  $x_i$ :

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n x_i t_i - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n x_i) (\sum_{i=1}^n t_i)}{\sqrt{\left( \sum_{i=1}^n t_i^2 - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n t_i)^2 \right) \left( \sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n x_i)^2 \right)}}$$

El coeficiente de correlación  $r$  representa la cercanía de la relación lineal entre  $x$  y  $t$ . Al

examinar la significancia de  $r$  para obtener el nivel de significancia  $\alpha$ , se puede juzgar si la relación lineal entre  $x$  y  $t$  es significativa. Si  $|r| > r_a$ , significa que la tendencia de cambio de  $x$  en el tiempo  $t$  es significativa; de lo contrario, no es significativa (Ausensi et al., 2005).

### 3.1.2. Anomalía acumulativa

La anomalía acumulativa es un método más comúnmente utilizado para juzgar la tendencia de cambio (Yang Mingjin et al. 2009) Al observar la curva de anomalía acumulativa, las fases de los cambios de secuencia se pueden dividir. Para la secuencia muestral  $x_1, x_2 \dots x_n$ , la anomalía acumulada en un cierto tiempo  $t$  se puede expresar como la ecuación 1:

$$S_t = \sum_{i=1}^t (x_i - \bar{x}) \quad t = 1, 2, \dots, n$$

Dónde:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^t x_i$$

La anomalía acumulada en  $n$  tiempos se puede obtener utilizando la ecuación 1. La curva  $S_t$ - $t$  se dibuja por años y el análisis de tendencias se puede realizar de acuerdo con las características de cambio de la curva.

### 3.1.3. Prueba de tendencia de Mann-Kendall

La prueba de tendencia de Mann-Kendall (MK) es un método de prueba estadístico no paramétrico, tiene la ventaja de que la muestra no puede seguir una distribución específica, no se interfiere fácilmente con valores singulares y el cálculo es relativamente simple.

Para la serie de tiempo  $x$ , el tamaño de la muestra es  $n$ , construya una columna de orden:

$$s_k = \sum_{i=1}^k r_i \quad k = 2, 3, \dots, n$$

entre ellos:

$$r_i = \begin{cases} +1, & \text{cuando } x_i > x_j \\ 0, & \text{cuando } x_i < x_j \end{cases} \quad j = 1, 2, \dots, n$$

Entre ellos, la columna de secuencia  $S_k$  es el valor acumulativo del número de valores en el tiempo  $i > j$ .

Suponiendo que las series de tiempo son aleatorias e independientes, defina las estadísticas

$$UF_k = \frac{[S_k - E(S_k)]}{\sqrt{var(S_k)}}$$

El estadístico  $UF_i$  presenta una distribución normal estándar, ordenada de acuerdo con la serie temporal  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , dado el nivel de significancia  $\alpha$ , consultar la tabla de distribución normal, si  $|UF_i| > U_\alpha$  muestra que la secuencia  $x$  tiene un cambio de tendencia significativo en el tiempo.

De acuerdo con la serie de tiempo  $x$  en orden inverso  $x_n, \dots, x_2, x_1$ , repita el proceso anterior mientras usa

$$UB_k = -UF_k (k = n, n-1, \dots, 1), \quad UB_i = 0$$

Organice y trace todos los valores de  $UF_k$  y  $UB_k$  en orden. Si  $UF_k > 0$  o  $UB_k > 0$ , indica que la secuencia  $x$  está en una tendencia ascendente y  $< 0$  es una tendencia descendente. Cuando  $UF_k$  o  $UB_k$  atraviesa la línea de valor crítico, indica que la tendencia de cambio ha alcanzado el nivel de significancia correspondiente. El lapso para romper la línea crítica es la duración del fenómeno de cambio repentino. Si  $UF_k$  o  $UB_k$  se cruzan dentro de la línea crítica, entonces el momento en el que se encuentra la intersección es el tiempo de mutación.

### 3.1.4. Tasa de contribución de precipitación

La proporción de Cambio en el promedio de precipitación y Cambio en el caudal medio en las dos secciones.

Por ejemplo, la precipitación media de la serie 1 es  $a_1$ , el caudal medio del río es  $b_1$ , la precipitación media de la serie 2 es  $a_2$ , el caudal medio del río es  $b_2$  y la tasa de contribución de la precipitación es

$$\frac{a_2 - a_1}{b_2 - b_1} \times 100\%$$

### 3.1.5. Método de predicción

El modelo VMD se linealiza y suaviza paso a paso de acuerdo con las características de los datos de secuencia. Tiene grandes ventajas en el procesamiento de datos no lineales y no estacionarios. La red neuronal BP tiene altas capacidades de ajuste no lineal y se forma fusionando los dos métodos (Heggenes et al., 1990). El modelo VMD-BP maneja el ajuste no lineal y la predicción del nivel y el flujo del agua, lo que reduce la complejidad y mejora la precisión de la predicción del modelo. La construcción del modelo VMD-BP se divide en cuatro partes: descomposición de VMD, reconstrucción de componentes de descomposición, entrenamiento y predicción de la red neuronal de BP y salida de resultados de predicción.

#### (1) Descomposición de VMD

El método VMD determina el centro de frecuencia y el ancho de banda de cada componente de descomposición mediante la búsqueda iterativa de la solución óptima del modelo variacional y realiza de forma adaptativa la división del dominio de frecuencia de la señal y la separación efectiva de cada componente. Usando la descomposición de VMD, los datos de entrada  $a$  y los datos de salida  $b$  se suavizan y descomponen respectivamente en múltiples componentes que representan las características de los datos originales. La descomposición de VMD se divide en el proceso de construcción del modelo VMD y su proceso de análisis.

#### (2) Reconstrucción de componentes de descomposición

Los componentes obtenidos mediante la descomposición de las variables de entrada

y de salida del modelo VMD se reconstruyen de acuerdo con sus correspondientes cantidades de descomposición. Es decir, los componentes descompuestos de los datos de entrada y los datos de salida se combinan respectivamente según el primer componente, el segundo componente, etc. para formar  $k$  conjuntos de datos.  $u_{nk}$  representa el  $k$ -ésimo componente de la  $n$ -ésima variable de entrada y  $o_k$  representa el  $k$ -ésimo componente de la variable de salida.

### (3) Entrenamiento de redes neuronales de BP

Realice el entrenamiento de la red neuronal de BP en las múltiples combinaciones de datos obtenidas mediante los cálculos anteriores para obtener la estructura de red de cada combinación de componentes. La red neuronal BP es esencialmente un perceptrón multicapa, por lo que también es una estructura de red de tres capas de capa de entrada, capa oculta y capa de salida. El proceso de entrenamiento de la red neuronal BP se divide en dos partes: propagación hacia adelante de la señal y propagación hacia atrás del error.

### (4) Salida de resultados de pronóstico

Los datos predichos se introducen correspondientemente en la estructura de red de cada combinación de componentes para calcular el valor predicho  $D_n$  de cada combinación de componentes, y finalmente los valores predichos se superponen para obtener el valor predicho final y generar el resultado.

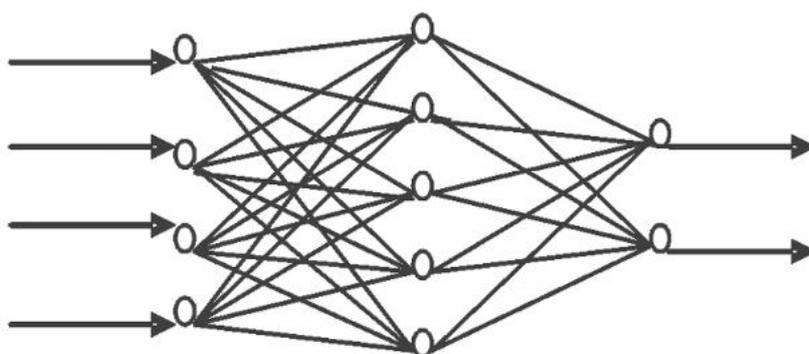


Figura 4. Modelo de red neuronal BP de capa de entrada-capacapa media-capacapa de salida

## 3.2. Fuente de datos

### 3.2.1. Datos hidrológicos

Este trabajo selecciona los datos hidrológicos de los observatorios hidrológicos que registraron datos hidrológicos relativamente completos en cada subcuenca, respectivamente:

Tabla 2. Ubicación de estación de aforo

Subcuenca	Estación de Aforo	Cód. ROEA	Coordenadas
Cuenca del Lozoya	Río Lozoya en El Paular	3002	UTM X: 425430 Y:4522276
Cuenca del Guadalix	Río Guadalix en Pesadilla	3054	UTM X: 448420 Y:4505260
Cuenca del Manzanares	Río Manzanares en Madrid (P.Sindical)	3070	UTM X: 436715 Y:4479240
Cuenca del Jarama 1	Río Jarama en Valdepeñas de la Sierra	3153	UTM X: 460720 Y:4524390
Cuenca del Jarama 2	Río Jarama en Mejorada del Campo	3052	UTM X: 456875 Y:4471956
Cuenca del Jarama 3	Río Jarama en Puente Titulcia	3174	UTM X: 450631 Y:4443307

Información de estación de aforo está en Anexo 3.

Podemos obtener datos de El Centro de Estudios Hidrográficos.

### 3.2.2. Datos de precipitación

Utilizando la cantidad total de datos disponibles de la Agencia Meteorológica Española (AEMET, antes INM), se desarrolló una nueva base de datos de precipitación mensual para las provincias vecinas de España. La nueva base de datos MOPREDAS (Base de datos de precipitación mensual en español) se construye (GONZÁLEZ et al., 2005, J. Climatol. 2010) utilizando las 6821 series de datos originales que se han registrado durante al menos 10 años. Estos proporcionan un total de 2670 secuencias completas

y uniformes para el período 1946-2005, y actualmente son el conjunto de datos de precipitación mensual más completo y extenso disponible en España.

La Figura 6 muestra la distribución espacial de la serie 2670 reconstruida de 1946 a 2005 y la serie 6821 original.

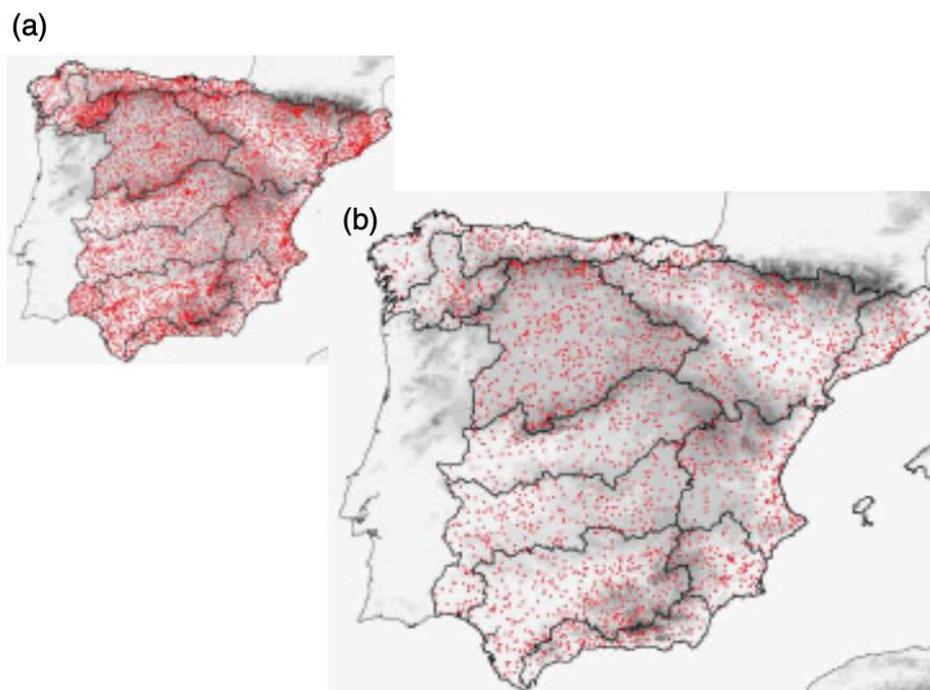


Figura 5. La distribución espacial de las estaciones originales de MOPREDAS (a). Estación de análisis de tendencias seleccionada 1946-2005 (b). Esta figura está disponible en color en línea en [www.interscience.wiley.com/ijoc](http://www.interscience.wiley.com/ijoc)

La figura 7 y figura 8 muestra la distribución de las estaciones de observación MOPREDAS en el área de estudio

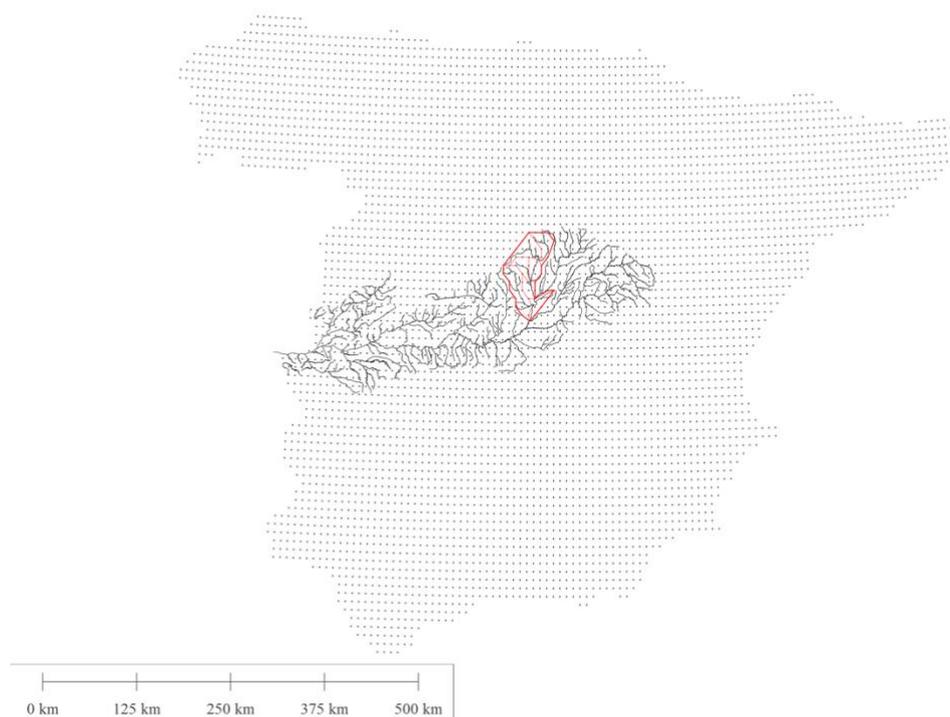


Figura 6. Distribución de las estaciones de observación MOPREDAS

Debido a que la longitud del río Jarama es demasiado larga, para poder analizar y calcular con precisión, decimos que el río Jarama está dividido en tres partes, de modo que el área de cada parte es equivalente al área de cada subcuenca. Esta división es más precisa y contrastada.

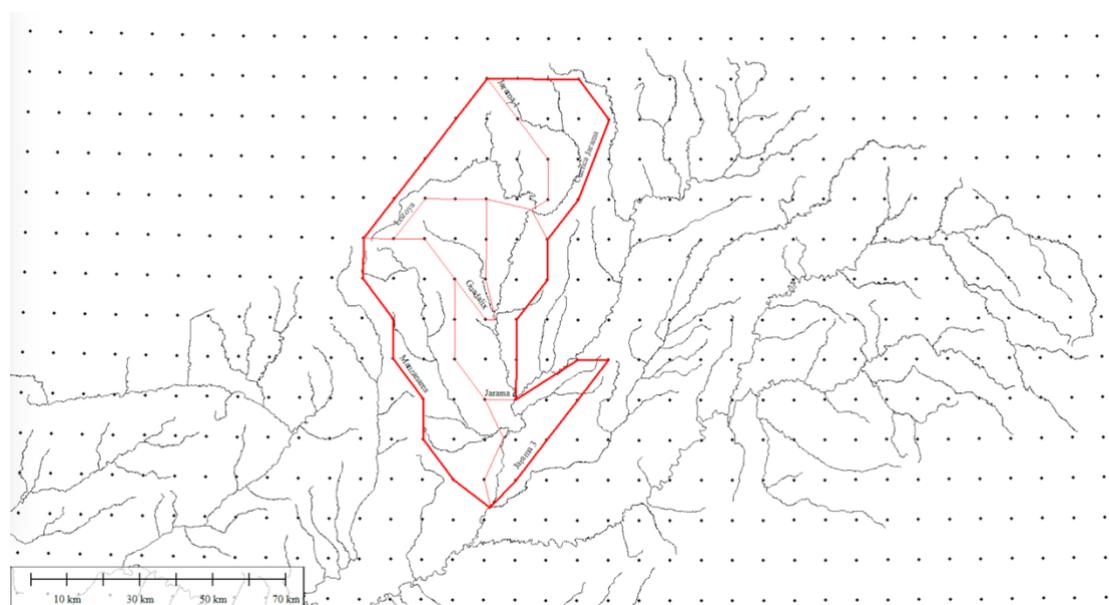


Figura 7. Seis subcuencas y distribución de las estaciones de observación MOPREDAS

Dividimos los sitios de observación de MOPREDAS de acuerdo con las características topográficas de cada subcuenca y la dirección del río. Encontramos que las ubicaciones de algunas estaciones de observación se encuentran en el límite de la subcuenca. Para facilitar las estadísticas de precipitación en subcuenca, en el proceso de cálculo, están en el área El peso del punto interior es 1, y el peso de la estación de observación en el punto de la línea divisoria es 0,5, lo que nos conviene para contar la precipitación de subcuenca.

## 4. Cambios de precipitación de varios años en cada subcuenca

### 4.1. Precipitación anual

#### 4.1.1. Precipitación anual en cuenca del Lozoya

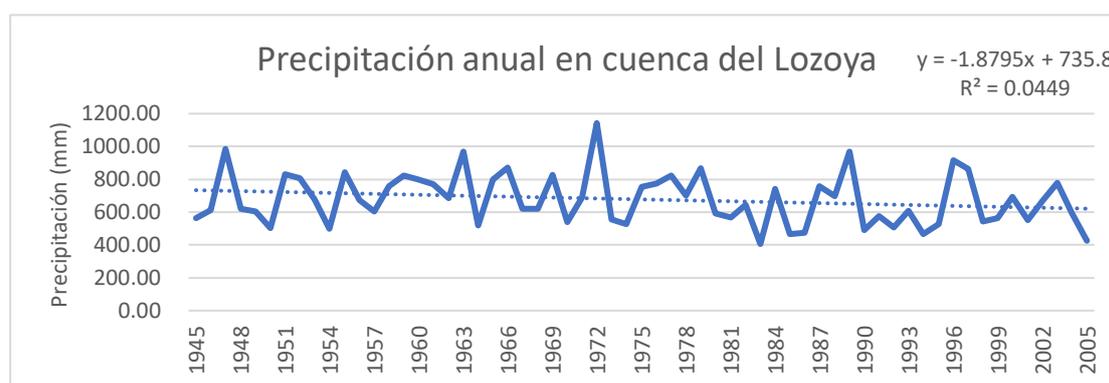


Figura 8. Precipitación anual en cuenca del Lozoya

La precipitación promedio plurianual de Cuenca del Lozoya es de 677.54 mm, el valor más alto apareció en 1972, 1142.64 mm, el valor más bajo apareció en 1983, solo 405.91 mm La precipitación anual mostró una leve tendencia a la baja en general.

### 4.1.2. Precipitación anual en cuenca del Guadalix

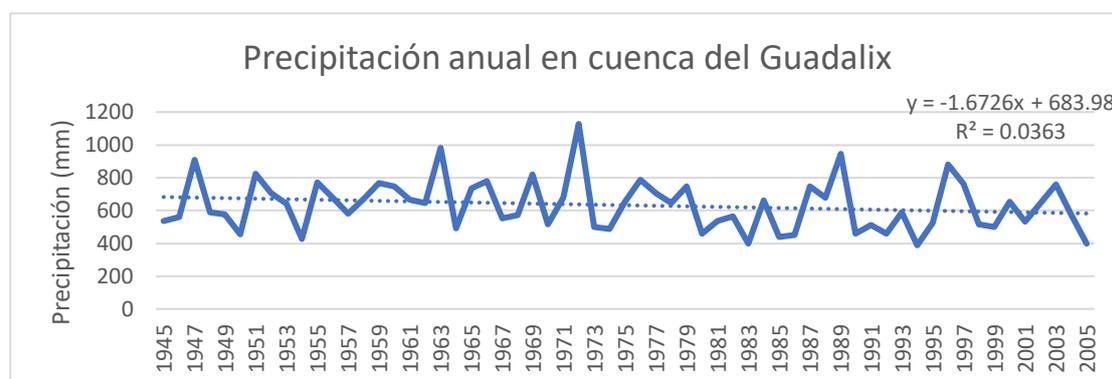


Figura 9. Precipitación anual en cuenca del Guadalix

La precipitación promedio plurianual de Cuenca del Guadalix es de 632.13 mm, el valor más alto apareció en 1972, 1127.64 mm, el valor más bajo apareció en 1994, solo 388.00 mm, la precipitación anual mostró una leve tendencia a la baja en general.

### 4.1.3. Precipitación anual en cuenca del Manzanares

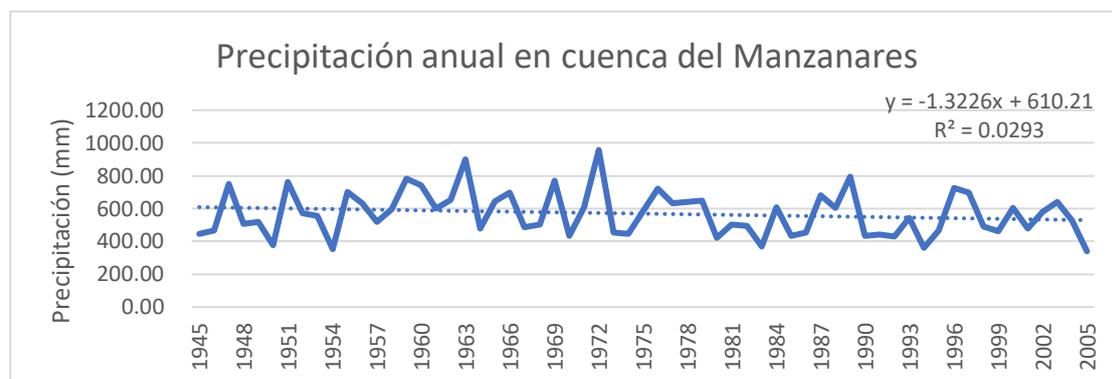


Figura 10. Precipitación anual en cuenca del Manzanares

La precipitación promedio plurianual de Cuenca del Manzanares es de 569,21 mm, el valor más alto se presentó en 1972 con 956,93 mm, el valor más bajo apareció en 2005, con solo 339,71 mm, la precipitación anual mostró una leve tendencia a la baja en general.

#### 4.1.4. Precipitación anual en cuenca del Jarama 1

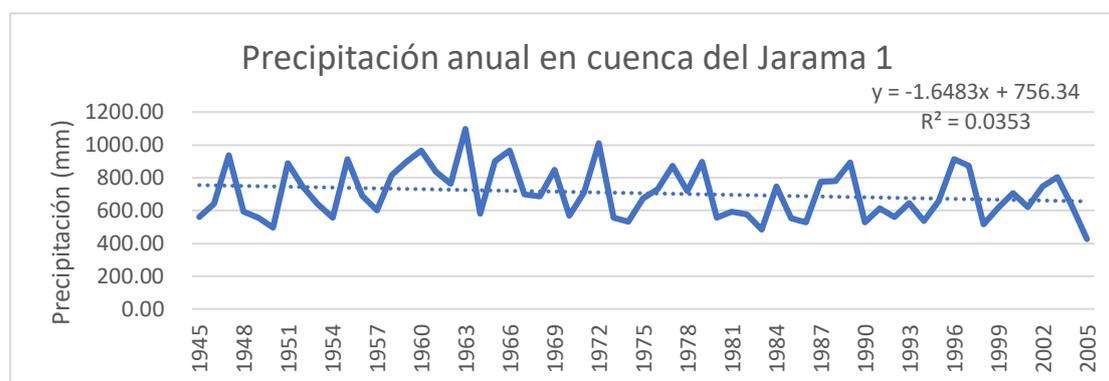


Figura 11. Precipitación anual en cuenca del Jarama 1

La precipitación promedio plurianual de Cuenca del Jarama 1 es de 705,25 mm, el valor más alto se presentó en 1963, que fue de 1097,31 mm, el valor más bajo apareció en 2005, con solo 425,88 mm, la precipitación anual mostró una ligera tendencia a la baja.

#### 4.1.5. Precipitación anual en cuenca del Jarama 2



Figura 12. Precipitación anual en cuenca del Jarama 2

La precipitación promedio plurianual de Cuenca del Jarama 2 es de 44,18 mm, el valor más alto apareció en 1958, que fue de 134,50 mm, el valor más bajo apareció en 1967, con solo 2,11 mm. La tendencia general de precipitación anual no cambia.

### 4.1.6. Precipitación anual en cuenca del Jarama 3

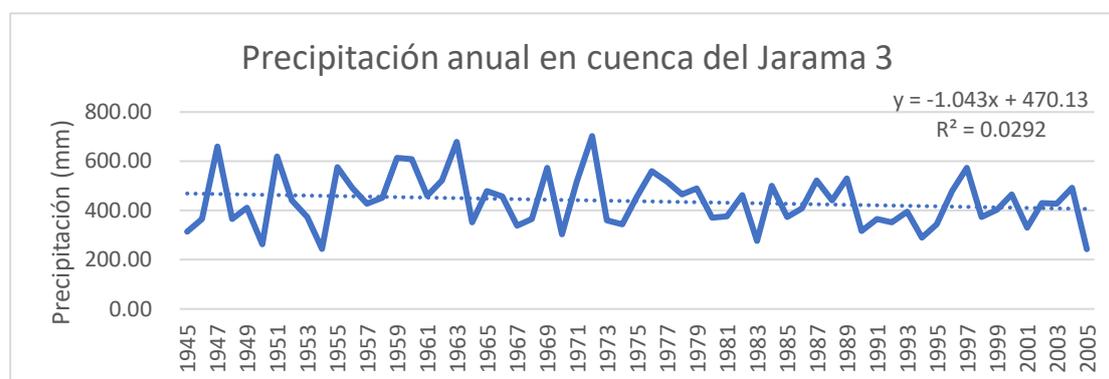


Figura 13. Precipitación anual en cuenca del Jarama 3

La precipitación promedio plurianual de Cuenca del Jarama 1 es de 437,79 mm. El valor más alto se presentó en 1972, que fue de 702,58 mm, el valor más bajo apareció en 2005, con solo 242,83 mm. La precipitación anual mostró una leve tendencia a la baja en general.

Desde la perspectiva del análisis de precipitación, la precipitación en Cuenca del Jarama mostró una tendencia ascendente antes de 1980. Desde 1981, la precipitación ha disminuido gradualmente y tendió a disminuir.

## 4.2. Anomalías de precipitación

### 4.2.1. Anomalías multianuales de precipitación en la cuenca del Lozoya

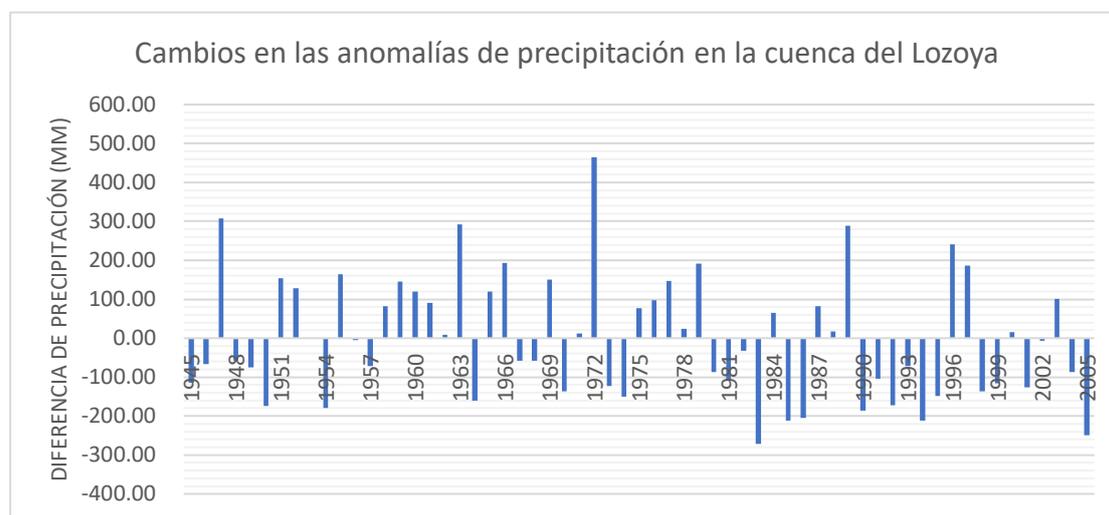


Figura 14. Cambios en las anomalías de precipitación en la cuenca del Lozoya

La Figura 15 muestra la anomalía de precipitación anual en la cuenca del Lozoya. Como se muestra en la figura, los cambios en la precipitación durante los últimos 60 años han mostrado cambios de tendencia obvios, sin características típicas de fluctuación, y la distribución de anomalías positivas y negativas es desigual. Las anomalías positivas se distribuyen principalmente en el período temprano (antes de 1979), y las anomalías negativas se concentran en el período posterior (después de 1980), lo que indica que su tendencia general a la baja a largo plazo.

### 4.2.2. Anomalías plurianuales de precipitación en la cuenca de Guadalix

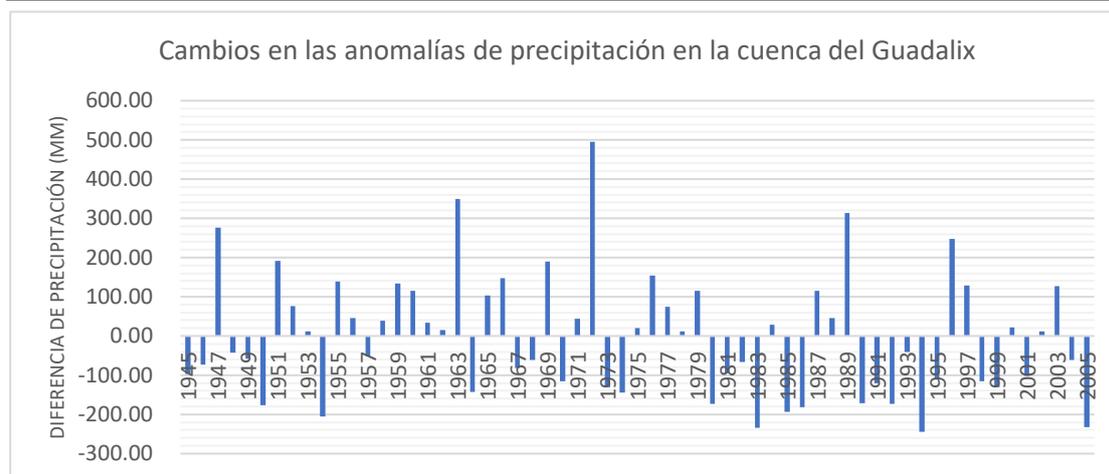


Figura 15. Cambios en las anomalías de precipitación en la cuenca del Guadalix

La Figura 16 muestra la anomalía de precipitación anual en la cuenca de Guadalix. Como se muestra en la figura, los cambios en la precipitación durante los últimos 60 años han mostrado cambios de tendencia obvios, sin características típicas de fluctuación, y la distribución de anomalías positivas y negativas es desigual. Las anomalías positivas se distribuyen principalmente en el período temprano (antes de 1971), y las anomalías negativas se concentran en el período posterior (después de 1972), lo que indica que su tendencia general a la baja a largo plazo.

#### 4.2.3. Anomalías plurianuales de precipitación en la Cuenca del Manzanares

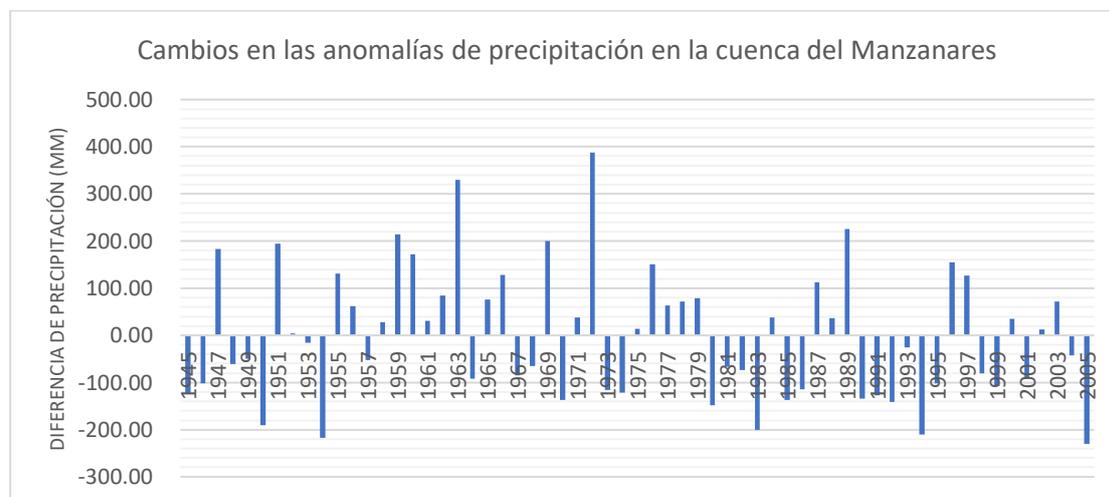


Figura 16. Cambios en las anomalías de precipitación en la cuenca del Manzanares

La Figura 17 muestra la anomalía de precipitación anual en la cuenca del Manzanares. Como se muestra en la figura, los cambios en la precipitación durante los últimos 60 años han mostrado cambios de tendencia obvios, sin características típicas de fluctuación, y la distribución de anomalías positivas y negativas es desigual. Las anomalías positivas se distribuyen principalmente en el período temprano (antes de 1972), y las anomalías negativas se concentran en el período posterior (después de 1973), lo que indica que su tendencia general a la baja a largo plazo.

#### 4.2.4. Anomalías plurianuales de precipitación en la cuenca del Jarama 1

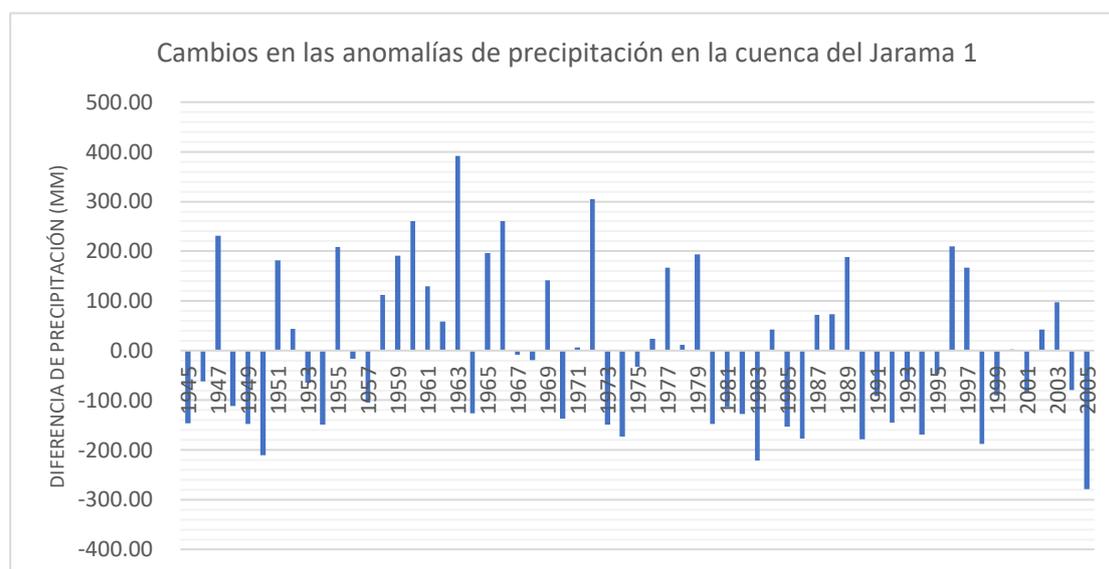


Figura 17. Cambios en las anomalías de precipitación en la cuenca del Jarama 1

La Figura 18 muestra la anomalía de precipitación anual en la cuenca del Jarama 1. Como se muestra en la figura, los cambios de precipitación en los últimos 60 años han mostrado cambios de tendencia obvios, sin características típicas de fluctuación, y la distribución de anomalías positivas y negativas es muy desigual. Las anomalías positivas se distribuyen principalmente en el período temprano (antes de 1979), y las anomalías negativas se concentran en el período posterior (después de 1980), lo que indica que su tendencia general a la baja a largo plazo.

#### 4.2.5. Anomalías de precipitación multianual en la cuenca del Jarama 2

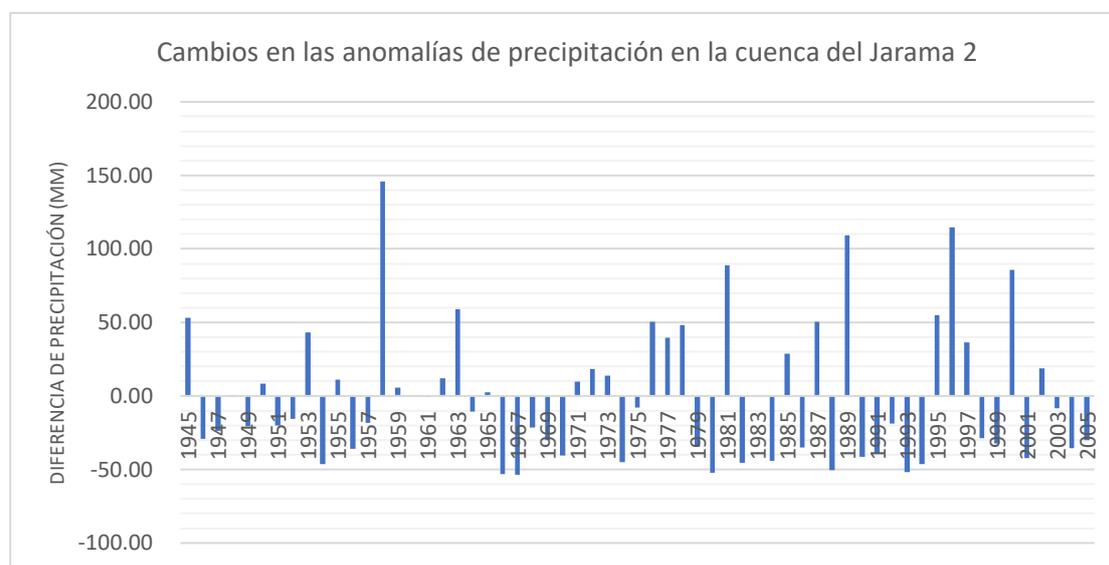


Figura 18. Cambios en las anomalías de precipitación en la cuenca del Jarama 2

La Figura 19 muestra la anomalía de precipitación anual en la cuenca del Jarama 2. Como se muestra en la figura, los cambios de precipitación en los últimos 60 años no han mostrado cambios de tendencia obvios, y hay características típicas de fluctuación. La distribución de anomalías positivas y negativas mostró una distribución uniforme después de 1971. Muestra que su tendencia a largo plazo no ha cambiado mucho.

#### 4.2.6. Anomalías multianuales de precipitación en la cuenca del Jarama 3

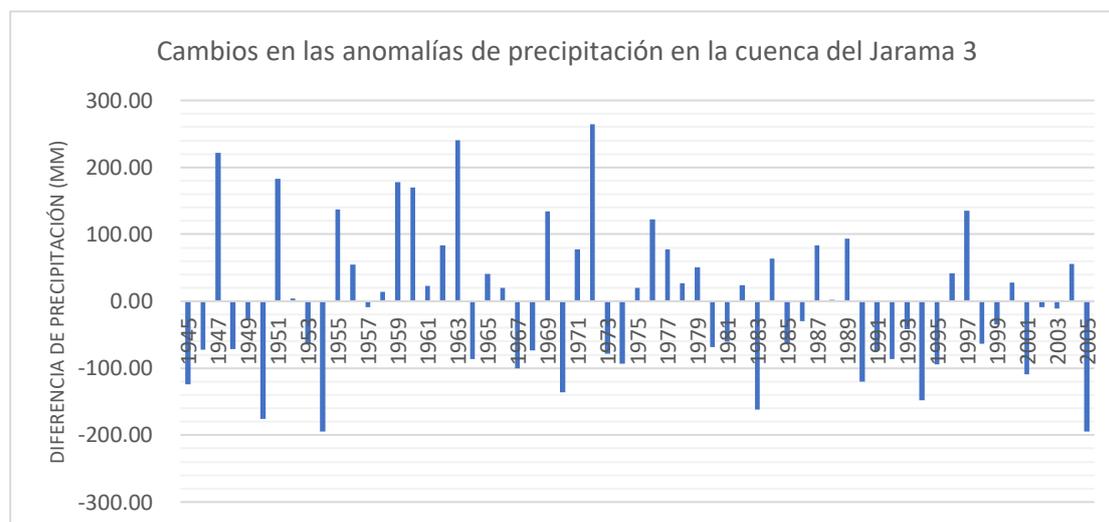


Figura 19. Cambios en las anomalías de precipitación en la cuenca del Jarama 3

La Figura 20 muestra la anomalía de precipitación anual en la cuenca del Jarama 3. Como se muestra en la figura, los cambios de precipitación en los últimos 60 años han mostrado cambios de tendencia obvios, sin características típicas de fluctuación, y la distribución de anomalías positivas y negativas es relativamente desigual. Las anomalías positivas se distribuyen principalmente en el período temprano (antes de 1979), y las anomalías negativas se concentran en el período posterior (después de 1980), lo que indica que su tendencia general a la baja a largo plazo.

### 4.3. Anomalías acumuladas de precipitación anual

#### 4.3.1. Anomalías acumuladas de precipitación anual en la Cuenca del Lozoya

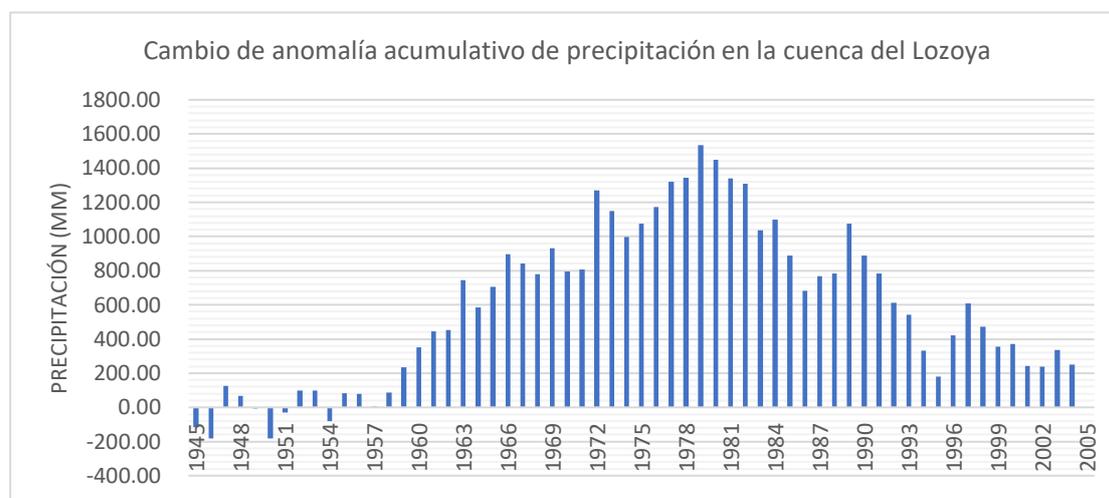


Figura 20. Cambio de anomalía acumulativo de precipitación en la cuenca del Lozoya

Los resultados de la anomalía acumulada de la precipitación anual en la Cuenca del Lozoya (Figura 21) muestran que la precipitación ha tenido un cambio característico de tres etapas, primero una constancia (1945 a 1957), posterior aumento y luego en disminución, con la etapa ascendente de 1958 a 1979 y la etapa descendente de 1980 a 2005.

### 4.3.2. Anomalías acumuladas de precipitación anual en la Cuenca del Guadalix

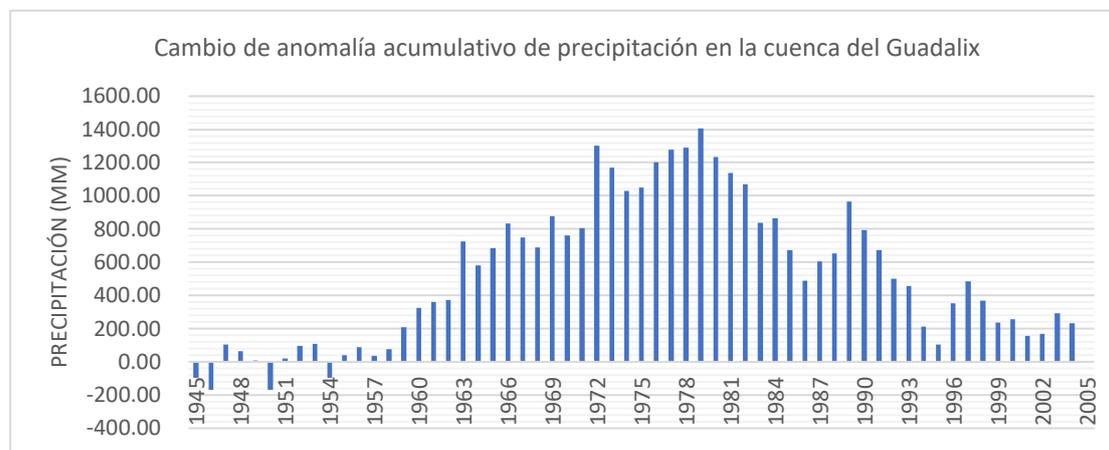


Figura 21. Cambio de anomalía acumulativo de precipitación en la cuenca del Guadalix

La anomalía acumulada de precipitación anual en la cuenca de Guadalix (Figura 22) muestra que la precipitación exhibe una característica de cambio de tres etapas, primero en aumento y luego en disminución, con la etapa ascendente de 1957 a 1980 y la etapa descendente de 1981 a 2005.

### 4.3.3. Anomalías acumuladas de precipitación anual en la Cuenca del Manzanares

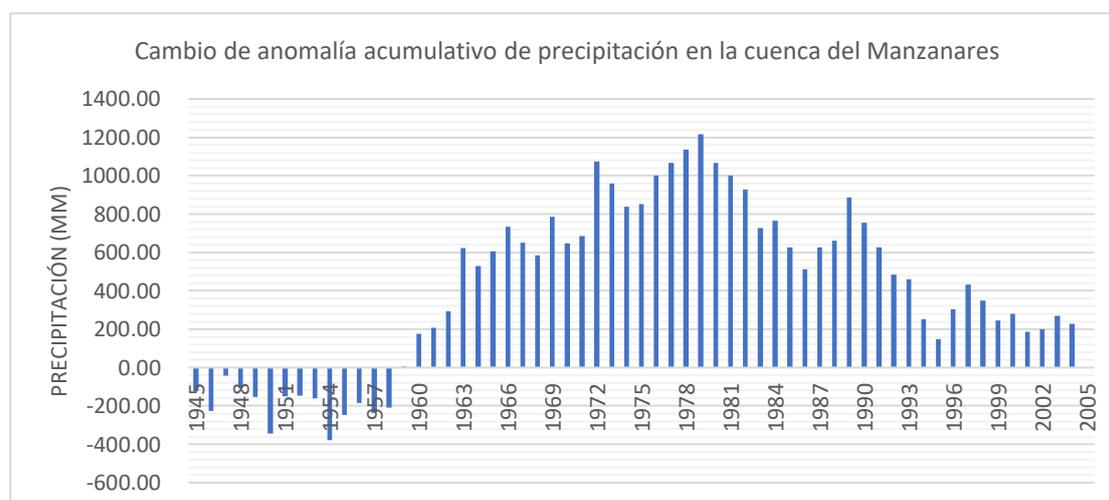


Figura 22. Cambio de anomalía acumulativo de precipitación en la cuenca del Manzanares

Los resultados de la anomalía acumulada de la precipitación anual en la Cuenca del Manzanares (Figura 23) muestran que la precipitación muestra una característica de cambio en tres etapas: primero constante, posteriormente disminuye, con la etapa ascendente de 1957 a 1980 y la etapa descendente de 1981 a 2005.

#### 4.3.4. Anomalías acumuladas de precipitación anual en la Cuenca del Jarama 1

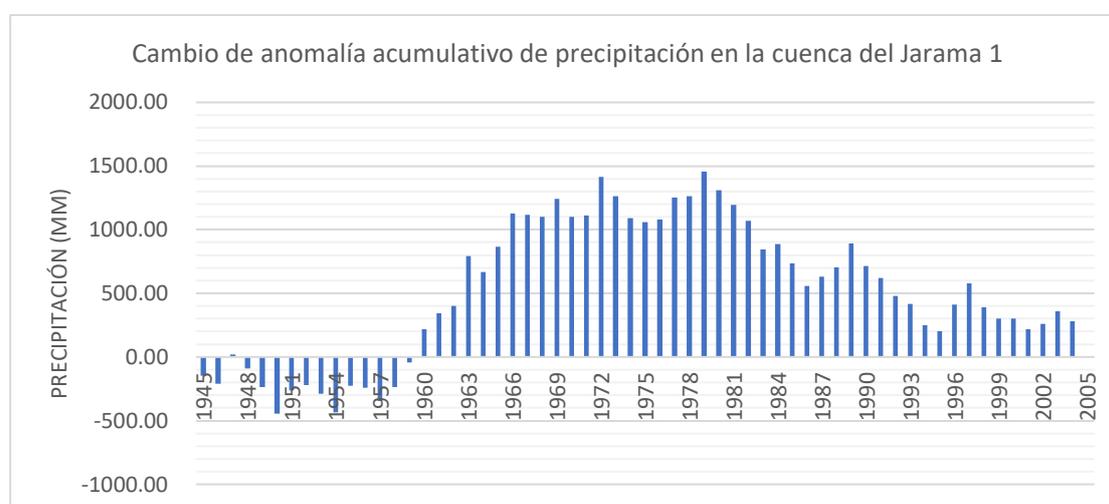


Figura 23. Cambio de anomalía acumulativo de precipitación en la cuenca del Jarama 1

La anomalía acumulada de precipitación anual en la cuenca del Jarama 1 (Figura 24) muestra que la precipitación muestra aproximadamente una característica de cambio de dos etapas que primero aumenta y luego disminuye. La etapa ascendente es de 1957 a 1972, y la etapa descendente incluye 1979-2005. De 1972 a 1979, la precipitación mostró una tendencia fluctuante.

#### 4.3.5. Anomalías acumuladas de precipitación anual en la Cuenca del Jarama 2

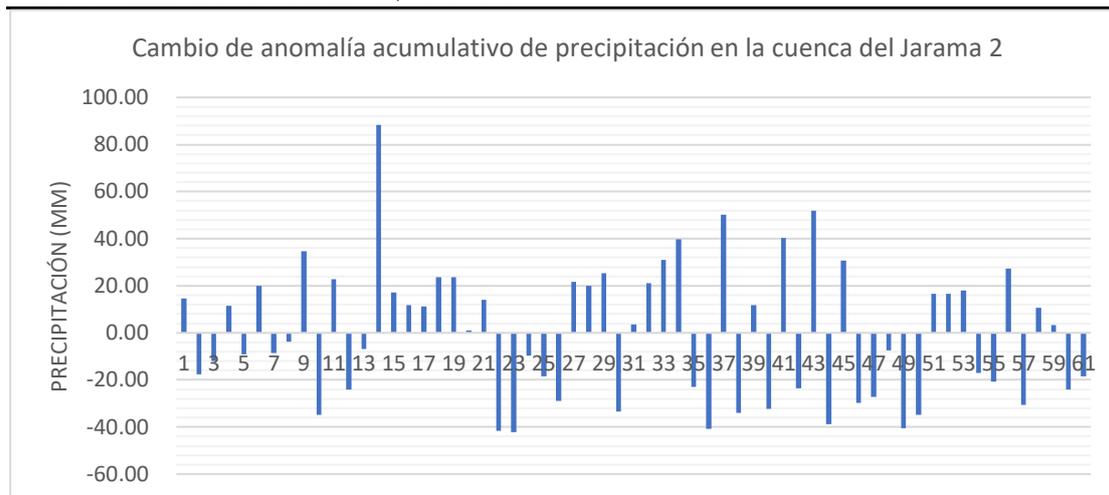


Figura 24. Cambio de anomalía acumulativo de precipitación en la cuenca del Jarama 2

Los resultados de la anomalía acumulada de precipitación anual en la cuenca del Jarama 2 (Figura 25) muestran que la precipitación y la precipitación experimentaron dos etapas de declive y dos etapas de aumento. La etapa de declive fue 1945-1957 y 1969-1975, y la etapa de aumento fue 1958- 1966 y 1976-1995. Después de 1996, las precipitaciones comenzaron a recuperarse.

#### 4.3.6. Anomalías acumuladas de precipitación anual en la Cuenca del Jarama 3

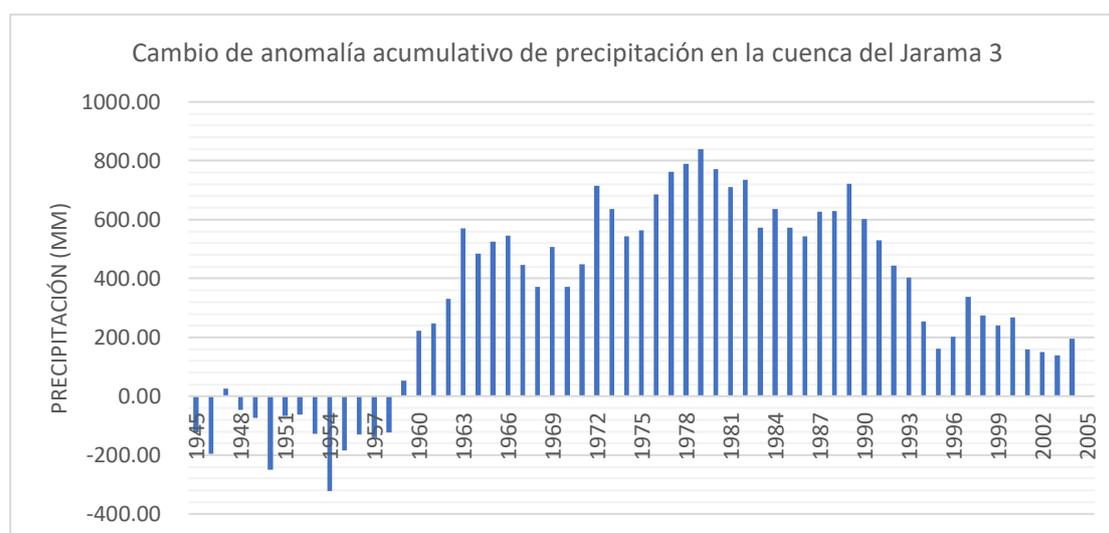


Figura 25. Cambio de anomalía acumulativo de precipitación en la cuenca del Jarama 3

La anomalía acumulada de precipitación anual en la cuenca del Jarama 3 (Figura 26) muestra que la precipitación muestra aproximadamente una característica de cambio

de tres etapas que primero aumenta y luego disminuye. La etapa ascendente es de 1957 a 1979, y la etapa descendente incluye 1980-2005.

#### 4.4. Prueba de mutación M-K de precipitación anual

##### 4.4.1. Prueba de mutación M-K de precipitación anual en la cuenca del

##### Lozoya

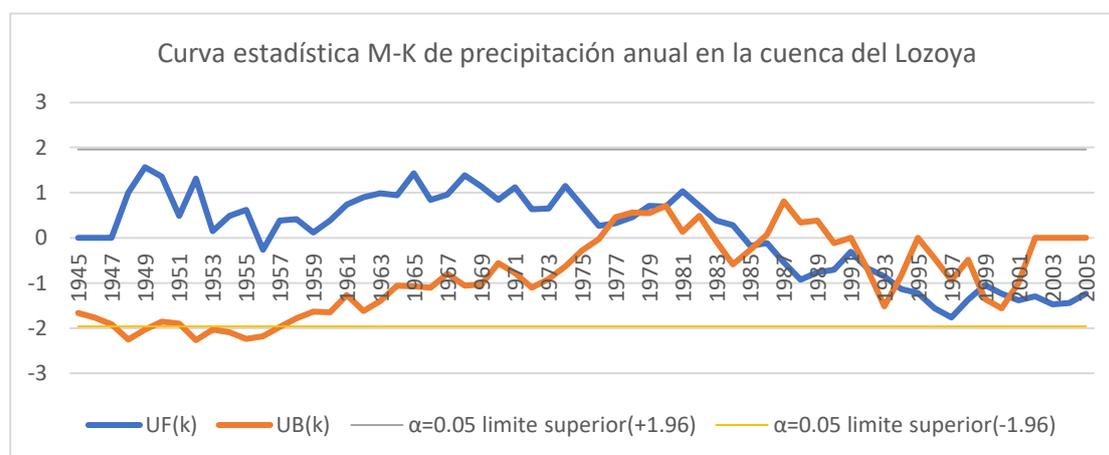


Figura 26. Curva estadística M-K de precipitación anual en la cuenca del Lozoya

La Figura 27 muestra los resultados de la prueba de mutación M-K en la cuenca del Lozoya, muestra que la precipitación anual tiene una ligera tendencia a la baja y no alcanza el nivel de significancia de 0.05. En los resultados se detectó un punto de mutación que ocurrió alrededor de 1977.

##### 4.4.2. Prueba de mutación M-K de precipitación anual en la cuenca del

##### Guadalix

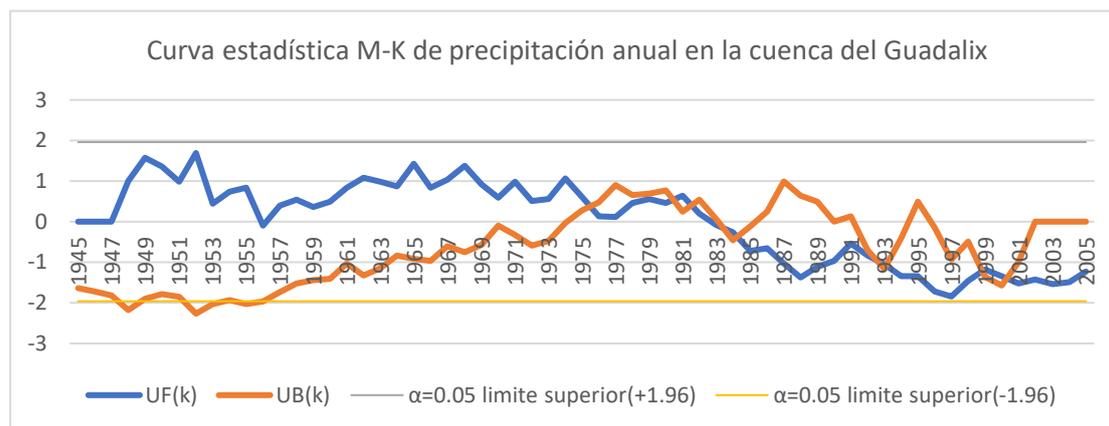


Figura 27. Curva estadística M-K de precipitación anual en la cuenca del Guadalix

La Figura 28 muestra los resultados de la prueba de mutación M-K en la cuenca del Guadalix, que muestra que la precipitación anual tiene una leve tendencia a la baja y no alcanza el nivel de significancia de 0.05. En los resultados, se detectó un punto de mutación que ocurrió alrededor de 1976.

#### 4.4.3. Prueba de mutación M-K de precipitación anual en la cuenca del Manzanares

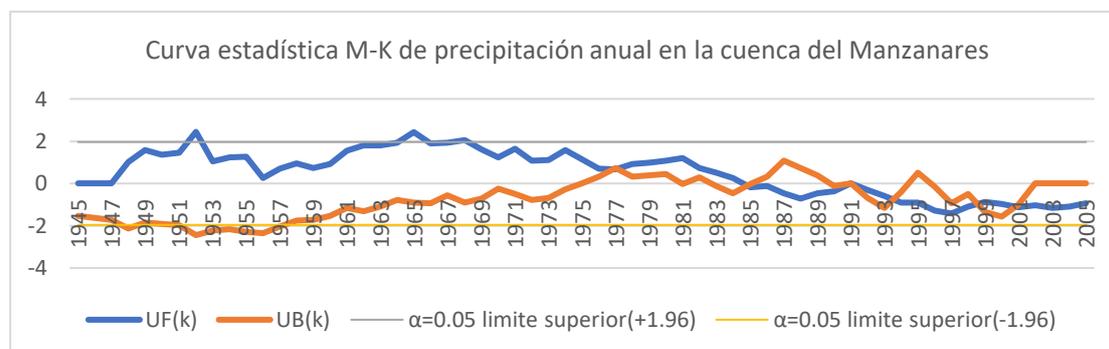


Figura 28. Curva estadística M-K de precipitación anual en la cuenca del Manzanares

La Figura 29 muestra los resultados de la prueba de mutación M-K en la cuenca del Manzanares, muestra que la precipitación anual muestra una leve tendencia a la baja y no alcanza el nivel de significancia de 0.05. En los resultados se detectó un punto de mutación que ocurrió alrededor de 1985.

#### 4.4.4. Prueba de mutación M-K de precipitación anual en la cuenca del

#### Jarama 1

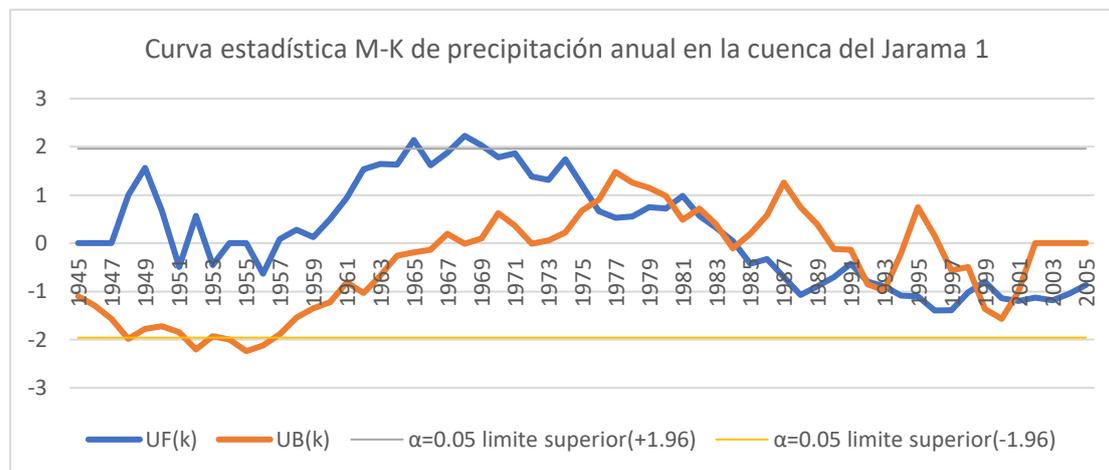


Figura 29. Curva estadística M-K de precipitación anual en la cuenca del Jarama 1

En la Figura 30 se muestran los resultados de la prueba de mutación M-K en la cuenca del Jarama 1, que muestra que la precipitación anual tiene una leve tendencia a la baja, alcanzando un nivel de significancia de 0.05. En los resultados, se detectó un punto de mutación que ocurrió alrededor de 1976.

#### 4.4.5. Prueba de mutación M-K de precipitación anual en la cuenca del Jarama 2

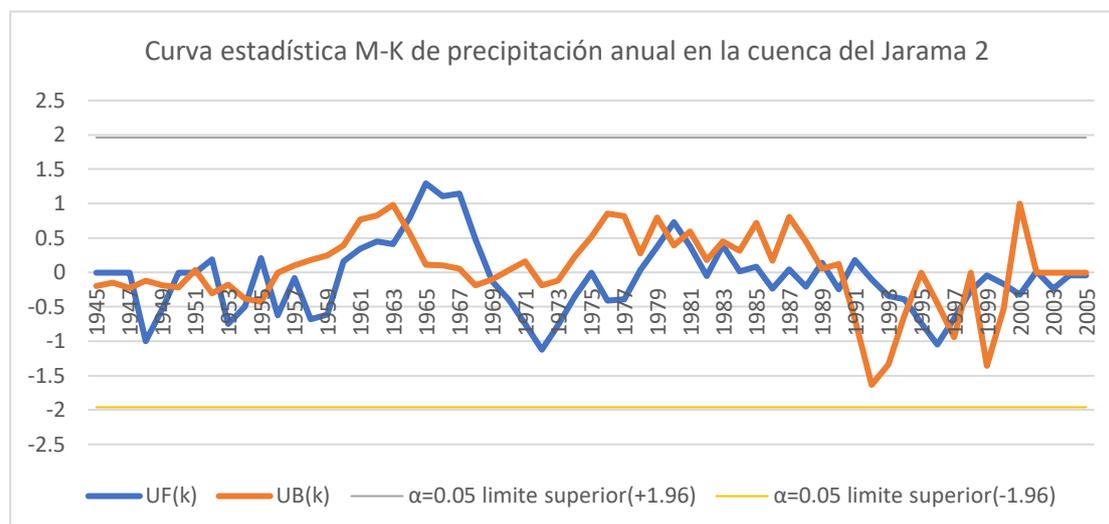


Figura 30. Curva estadística M-K de precipitación anual en la cuenca del Jarama 2

La Figura 31 muestra los resultados de la prueba de mutación M-K en la cuenca del Jarama 2. Muestra que la precipitación anual muestra que no hay una tendencia obvia en la precipitación anual y no alcanza el nivel de significancia de 0.05. En los resultados, se detectaron puntos de mutación que ocurrieron alrededor de 1955 y 1969, lo que confirma que ocurrió la mutación.

#### 4.4.6. Prueba de mutación M-K de precipitación anual en la cuenca del

#### Jarama 3

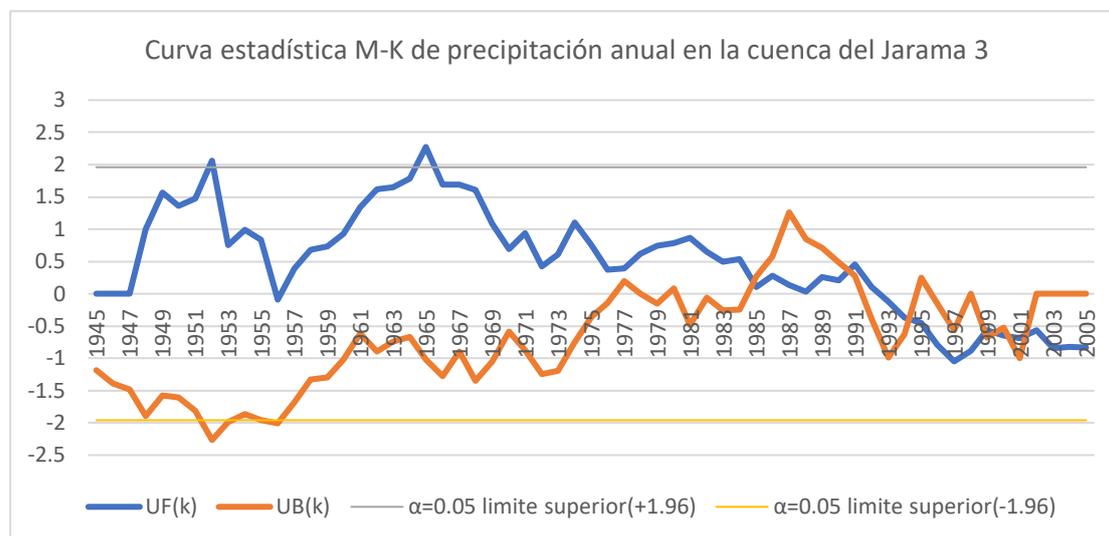


Figura 31. Curva estadística M-K de precipitación anual en la cuenca del Jarama 3

La Figura 32 muestra los resultados de la prueba de mutación M-K en la cuenca del Jarama 3. Muestra que la precipitación anual tiene una leve tendencia a la baja, alcanzando un nivel de significancia de 0.05 en 1952. En los resultados se detectó un punto de mutación que ocurrió alrededor de 1985.

## 5. Cambios en el caudal de los ríos en cada subcuenca

### 5.1. Cambios en el caudal medio

#### 5.1.1. Cambios en el caudal medio del río Lozoya

En los últimos 60 años, el caudal promedio plurianual del río Lozoya fue de 1,4 m<sup>3</sup> / s, el valor máximo apareció en 1995, que fue de 2,5 m<sup>3</sup> / s; el valor mínimo aparecido en 1998 fue de solo 0,6 m<sup>3</sup> / s. La esorrentía promedio no muestra una tendencia

clara a largo plazo en su conjunto, y la tasa de tendencia decenal promedio es de solo 0.0047 m<sup>3</sup> /a·s.

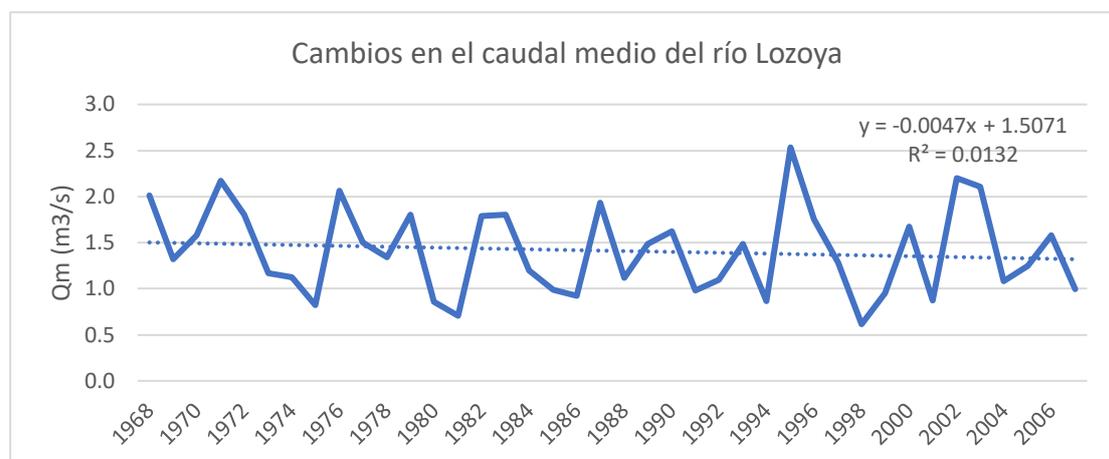


Figura 32. Cambios en el caudal medio del río Lozoya

### 5.1.2. Cambios en el caudal medio del río Guadalix

En los últimos 60 años, el caudal promedio plurianual del río Guadalix fue de 0,80 m<sup>3</sup> / s, el valor máximo apareció en 1995, que fue de 3,10 m<sup>3</sup> / s; el valor mínimo apareció en 1980, solo 0,11 m<sup>3</sup> / s. La escorrentía promedio mostró una leve tendencia a la baja en su conjunto, con una tasa promedio de tendencia decenal de 0.0073 m<sup>3</sup> /a·s.

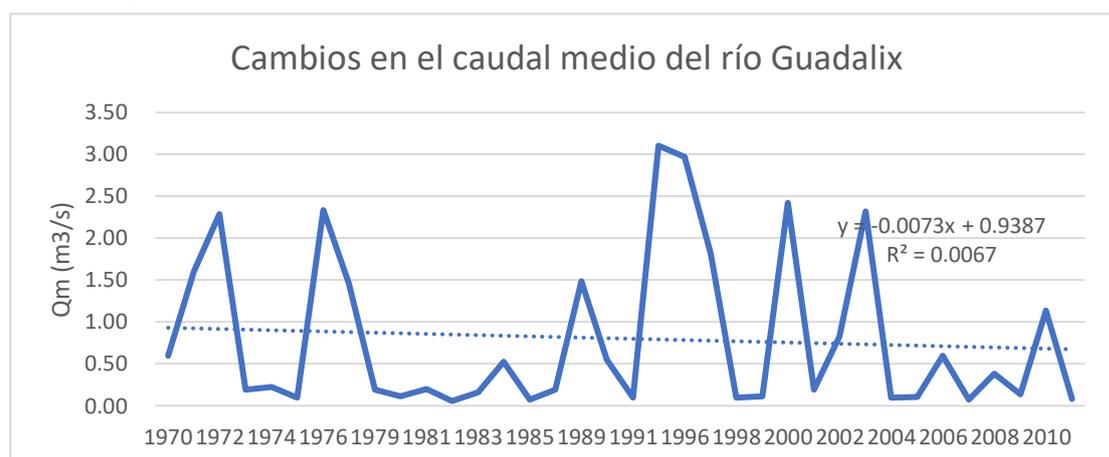


Figura 33. Cambios en el caudal medio del río Guadalix

### 5.1.3. Cambios en el caudal medio del río Manzanares

En los últimos 60 años, el caudal promedio plurianual del río Manzanares fue de 3,11

m<sup>3</sup> / s, el valor máximo apareció en 1978, que fue de 10,57 m<sup>3</sup> / s; el valor mínimo apareció en 1964, fue de solo 0,19 m<sup>3</sup> / s. La escorrentía media mostró una tendencia a la baja en su conjunto, y la tasa media de tendencia decenal alcanzó los 0,0395 m<sup>3</sup> /a·s.

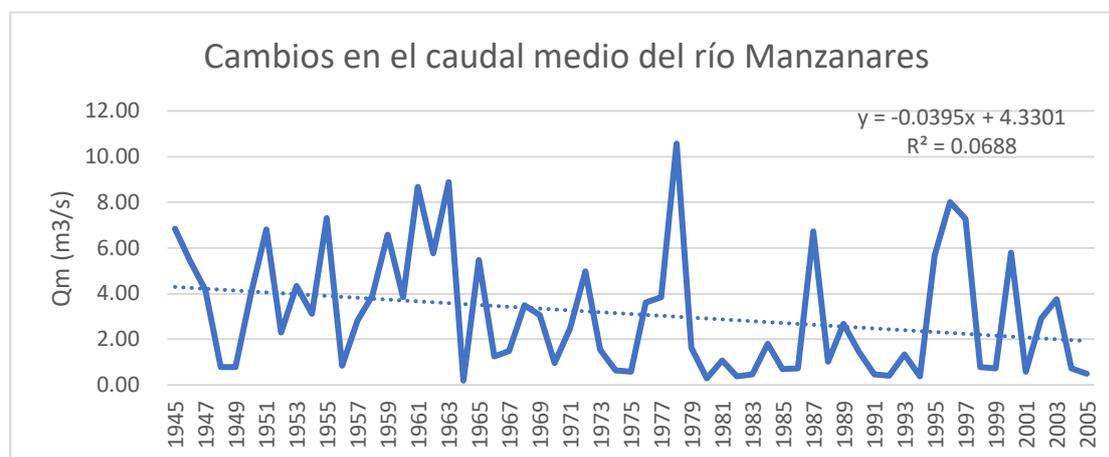


Figura 34. Cambios en el caudal medio del río Manzanares

#### 5.1.4. Cambios en el caudal medio del río Jarama 1

En los últimos 60 años, el caudal medio plurianual del río Jarama 1 fue de 4,57 m<sup>3</sup> / s, y el valor máximo apareció en 2002 en 24,25 m<sup>3</sup> / s; el valor más bajo apareció en 1980, con solo 0,42 m<sup>3</sup> / s. La escorrentía promedio mostró una tendencia creciente en su conjunto, con una tasa de tendencia decenal promedio de 0.0714 m<sup>3</sup> /a·s.

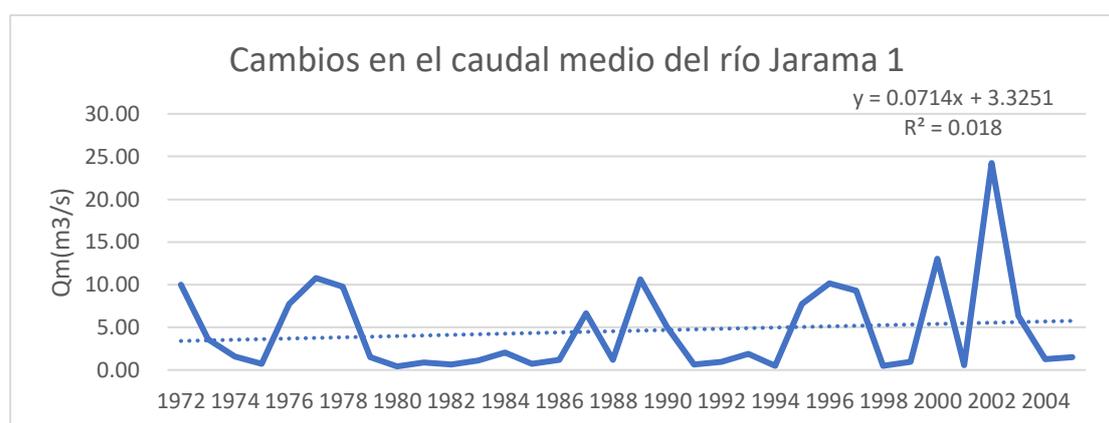


Figura 35. Cambios en el caudal medio del río Jarama 1

### 5.1.5. Cambios en el caudal medio del río Jarama 2

En los últimos 60 años, el caudal medio plurianual del río Jarama 2 fue de 25,61 m<sup>3</sup> / s, el valor máximo apareció en 1965 en 71,47 m<sup>3</sup> / s; el valor más bajo apareció en 1975, solo 5,74 m<sup>3</sup> / s. La escorrentía promedio mostró una tendencia a la baja en su conjunto, y la tasa de tendencia decenal promedio fue tan alta como 0.2813 m<sup>3</sup> /a.s.

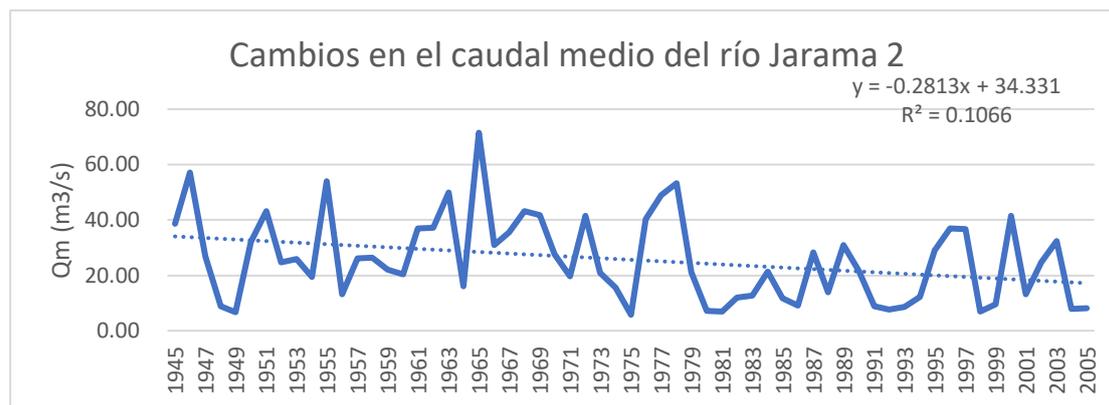


Figura 36. Cambios en el caudal medio del río Jarama 2

### 5.1.6. Cambios en el caudal medio del río Jarama 3

En los últimos 60 años, el caudal promedio plurianual del río Jarama 3 fue de 35,07m<sup>3</sup>/s, el máximo apareció en 1972, que fue de 92,90 m<sup>3</sup> / s; el valor más bajo apareció en 1988, fue de solo 23,83 m<sup>3</sup> / s. La escorrentía promedio mostró una tendencia a la baja en su conjunto, y la tasa de tendencia decenal promedio es tan alta como 0.7792m<sup>3</sup> /a.s.

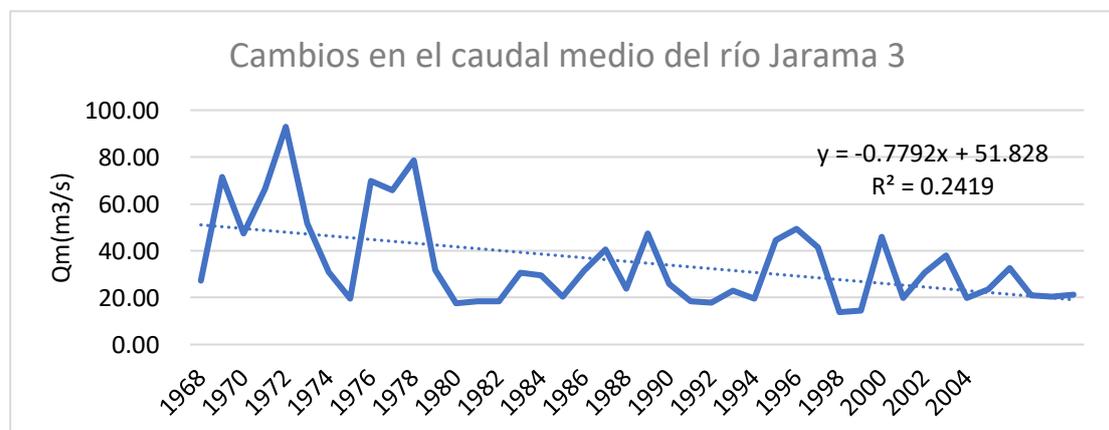


Figura 37. Cambios en el caudal medio del río Jarama 3

## 5.2. Cambios de anomalía en el caudal medio anual

### 5.2.1. Cambios de anomalía en el caudal medio anual del río Lozoya

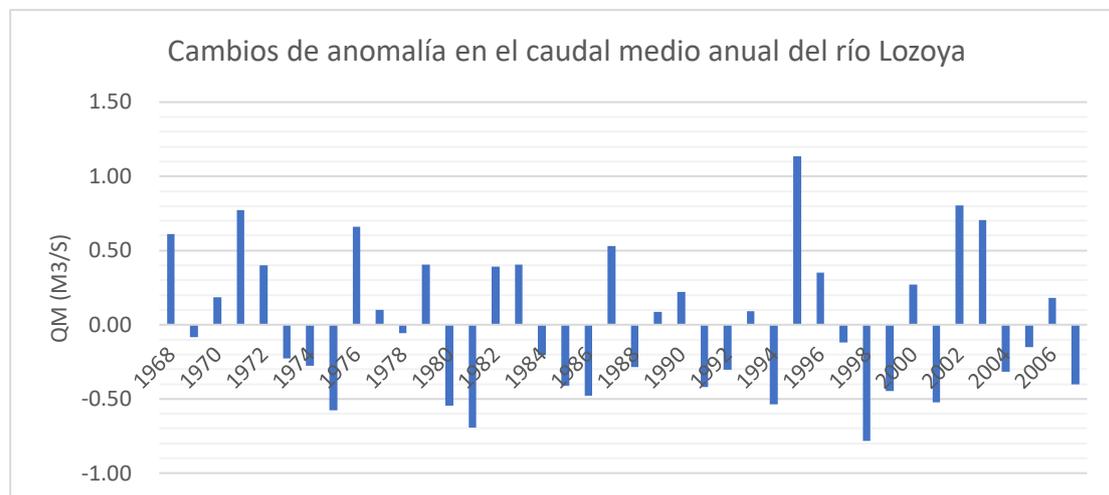


Figura 38. Cambios de anomalía en el caudal medio anual del río Lozoya

La Figura 39 muestra las anomalías de la escorrentía en la cuenca del Lozoya. Los cambios de escorrentía en los últimos 60 años han mostrado características típicas de fluctuación. La distribución de anomalías positivas y negativas es relativamente uniforme y no hay un cambio de tendencia obvio.

### 5.2.2. Cambios de anomalía en el caudal medio anual del río Guadalix

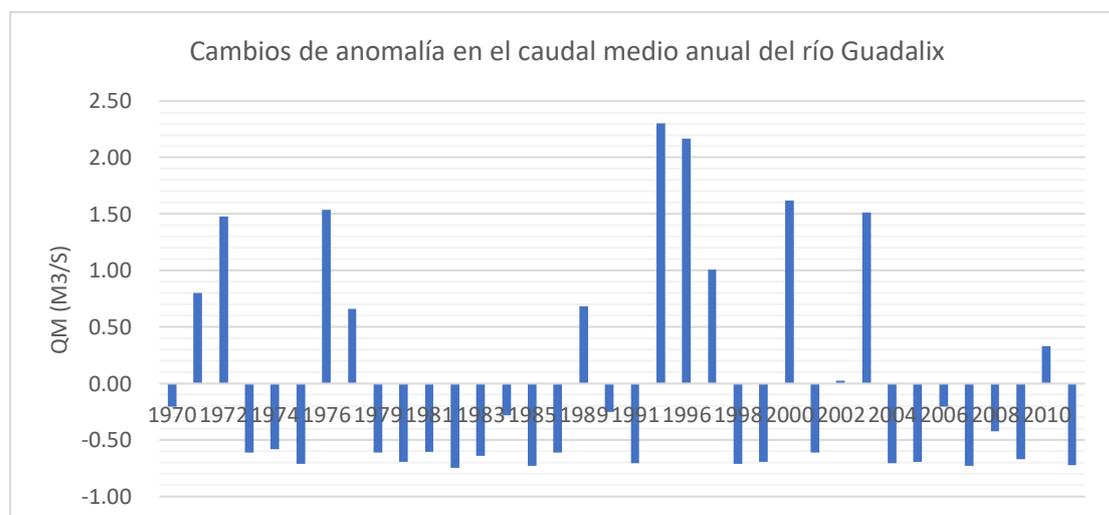


Figura 39. Cambios de anomalía en el caudal medio anual del río Guadalix

La Figura 40 muestra las anomalías de la escorrentía en la cuenca del Guadalix. Durante los últimos 60 años, las anomalías positivas se distribuyen principalmente en 1991-1997, y las anomalías negativas se concentran en la mayoría de los períodos, lo que indica que la escorrentía a largo plazo ha mostrado una tendencia general a la baja.

### 5.2.3. Cambios de anomalía en el caudal medio anual del río Manzanares

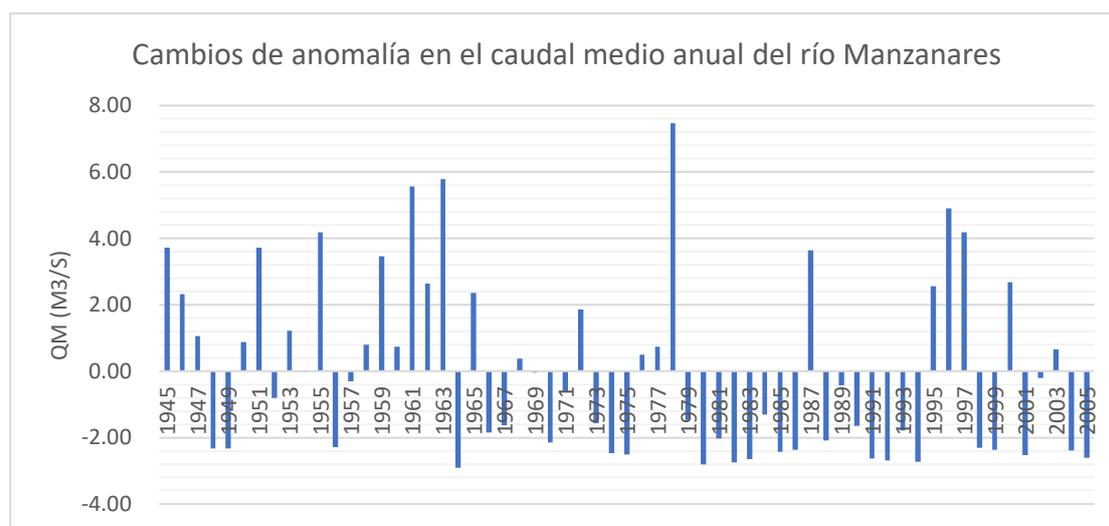


Figura 40. Cambios de anomalía en el caudal medio anual del río Manzanares

La Figura 41 muestra las anomalías de la escorrentía en la cuenca del Manzanares. Los cambios en la escorrentía durante los últimos 60 años han demostrado que las anomalías positivas se distribuyen principalmente en el período temprano y las anomalías negativas se concentran en el período posterior, lo que indica que la escorrentía a largo plazo tiene una tendencia general a la baja.

### 5.2.4. Cambios de anomalía en el caudal medio anual del río Jarama 1

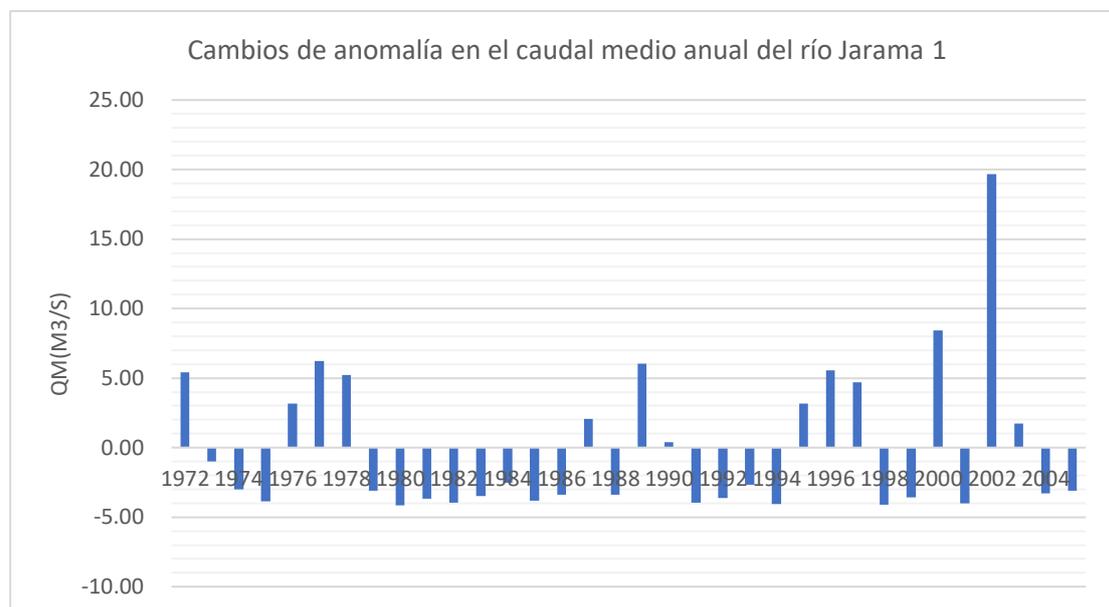


Figura 41. Cambios de anomalía en el caudal medio anual del río Jarama 1

La Figura 42 muestra las anomalías de la escorrentía en la cuenca del Jarama 1. Los cambios en la escorrentía durante los últimos 60 años mostraron que las anomalías positivas se distribuyeron principalmente en 2000-2003, y las anomalías negativas se concentraron en la mayoría de los períodos, lo que indica que la escorrentía general mostró una tendencia general a la baja.

### 5.2.5. Cambios de anomalía en el caudal medio anual del río Jarama 2

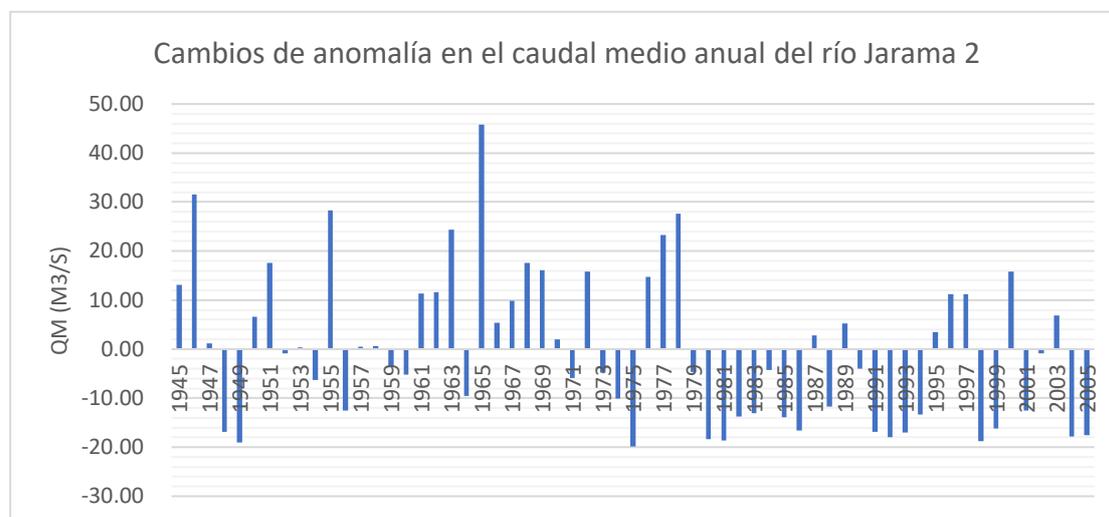


Figura 42. Cambios de anomalía en el caudal medio anual del río Jarama 2

La Figura 43 muestra las anomalías de la escorrentía en la cuenca del Jarama 2. Los cambios en la escorrentía durante los últimos 60 años han demostrado que las anomalías positivas se distribuyen principalmente en el período temprano y las anomalías negativas se concentran en el período posterior, lo que indica que la escorrentía a largo plazo tiene una tendencia general a la baja.

### 5.2.6. Cambios de anomalía en el caudal medio anual del río Jarama 3

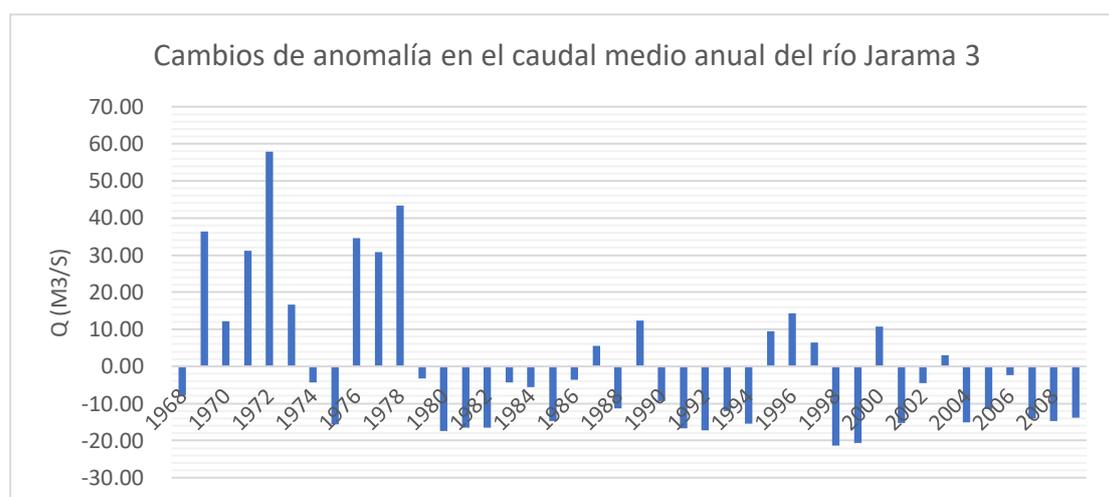


Figura 43. Cambios de anomalía en el caudal medio anual del río Jarama 3

La Figura 44 muestra las anomalías de la escorrentía en la cuenca del Jarama 3. Los

cambios en la escorrentía durante los últimos 60 años han demostrado que las anomalías positivas se distribuyen principalmente en el período temprano y las anomalías negativas se concentran en el período posterior, lo que indica que la escorrentía a largo plazo tiene una tendencia general a la baja.

### 5.3. Cambios acumulados de anomalías en el caudal medio anual anual

#### 5.3.1. Cambios acumulados de anomalías en el caudal medio anual del río Lozoya

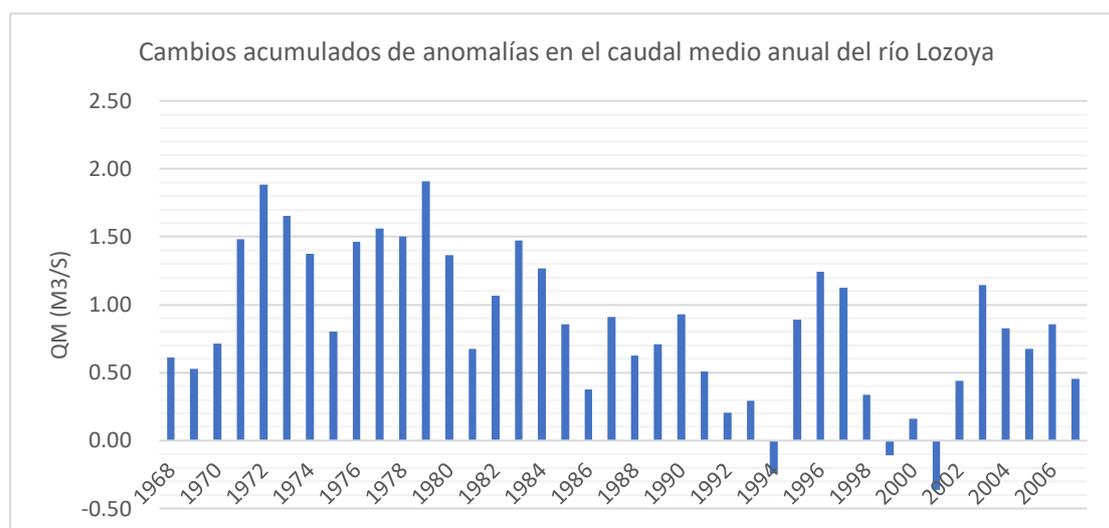


Figura 44. Cambios acumulados de anomalías en el caudal medio anual del río Lozoya

La Figura 45 muestra el resultado de anomalías acumulativas en la cuenca del Lozoya. La escorrentía presenta una característica de cambio de dos etapas que primero aumenta y luego disminuye. La etapa ascendente es de 1945 a 1979, y la etapa descendente incluye de 1980 a 2005.

### 5.3.2. Cambios acumulados de anomalías en el caudal medio anual del río Guadalix

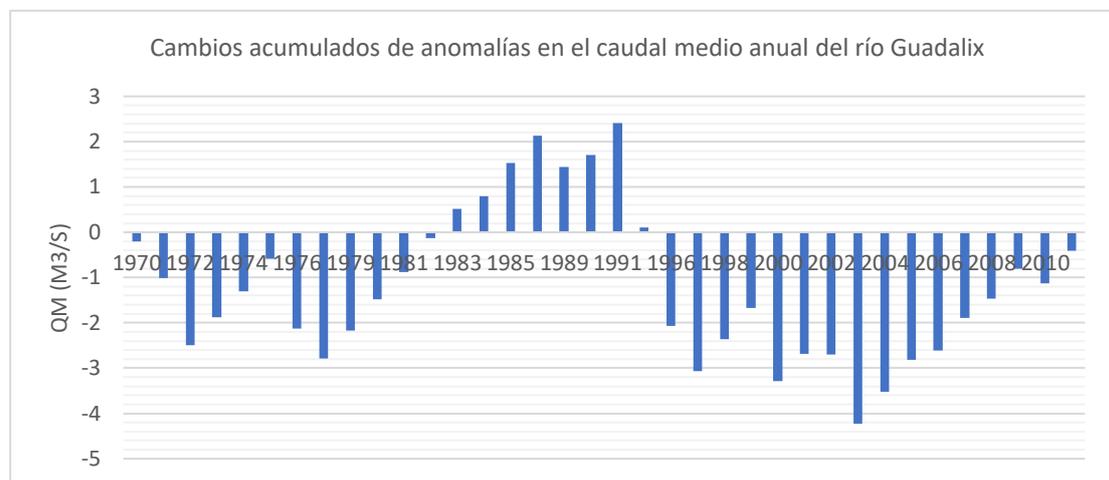


Figura 45. Cambios acumulados de anomalías en el caudal medio anual del río Guadalix

La Figura 46 es el resultado de anomalías acumulativas en la cuenca del Guadalix. La escorrentia mostró una característica de cambio en dos etapas (incluidas ligeras fluctuaciones) que primero aumentó y luego disminuyó. La etapa ascendente fue de 1977 a 1991, y la etapa descendente fue de 1992 a 2005.

### 5.3.3. Cambios acumulados de anomalías en el caudal medio anual del río Manzanares

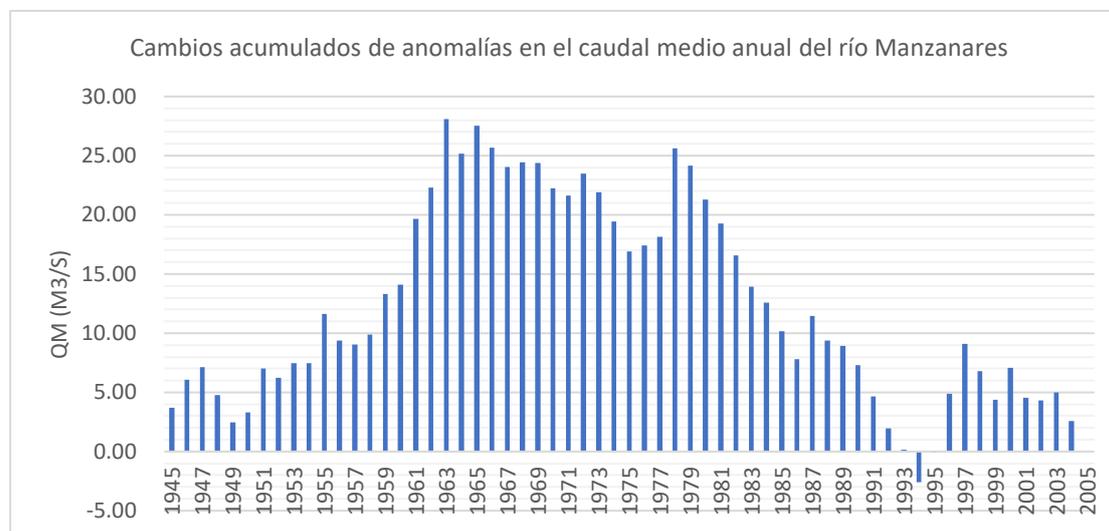


Figura 46. Cambios acumulados de anomalías en el caudal medio anual del río Manzanares  
La Figura 47 muestra el resultado de anomalías acumulativas en la cuenca del Manzanares. La escorrentía presenta un cambio característico de dos etapas, primero en aumento y luego en disminución: la etapa ascendente es de 1945 a 1965 y la etapa descendente incluye 1967-1994. Entre ellos, hubo ligeras fluctuaciones en 1973-1979.

### 5.3.4. Cambios acumulados de anomalías en el caudal medio anual del río Jarama 1

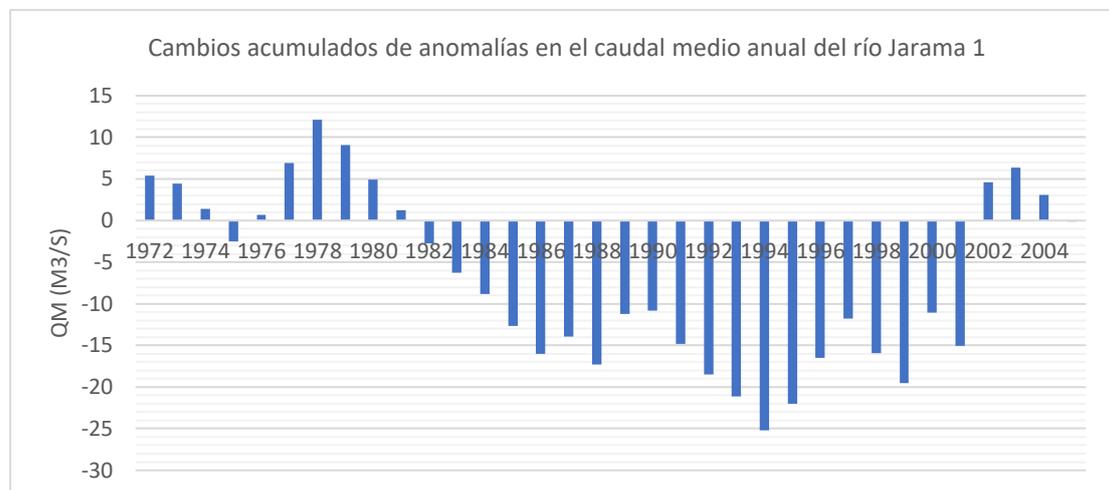


Figura 47. Cambios acumulados de anomalías en el caudal medio anual del río Jarama 1

La Figura 48 muestra el resultado de anomalías acumulativas en la cuenca del Jarama 1. La escorrentía presenta un cambio característico de dos etapas, primero en aumento y luego en disminución: la etapa ascendente es de 1945 a 1980 y la etapa descendente incluye 1981-2005. Después de 2000, el tráfico ha aumentado.

### 5.3.5. Cambios acumulados de anomalías en el caudal medio anual del río Jarama 2

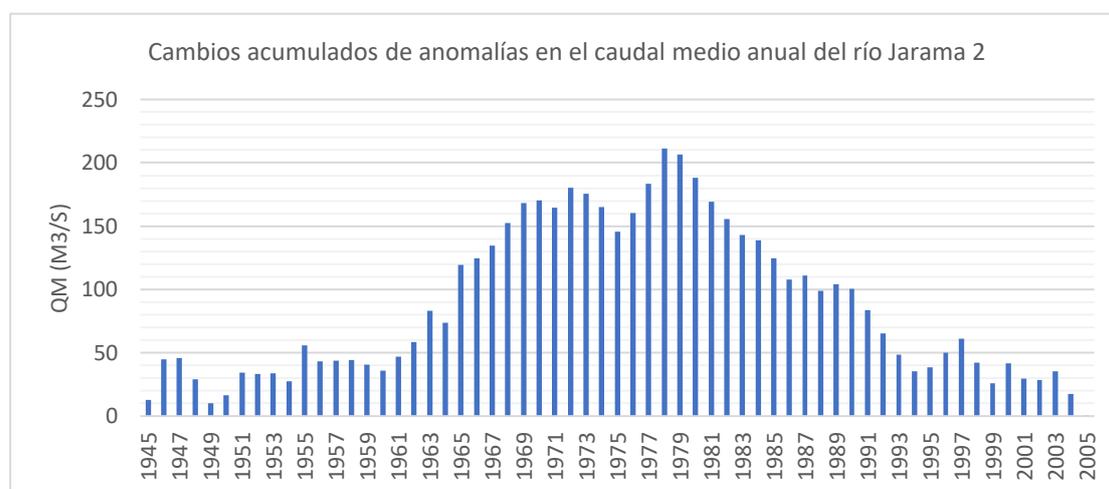


Figura 48. Cambios acumulados de anomalías en el caudal medio anual del río Jarama 2

La Figura 49 muestra el resultado de anomalías acumulativas en la cuenca del Jarama 2. La escorrentía presenta una característica de cambio de dos etapas que primero aumenta y luego disminuye. La etapa ascendente es de 1945 a 1979, y la etapa descendente incluye de 1980 a 2005.

### 5.3.6. Cambios acumulados de anomalías en el caudal medio anual del río Jarama 3

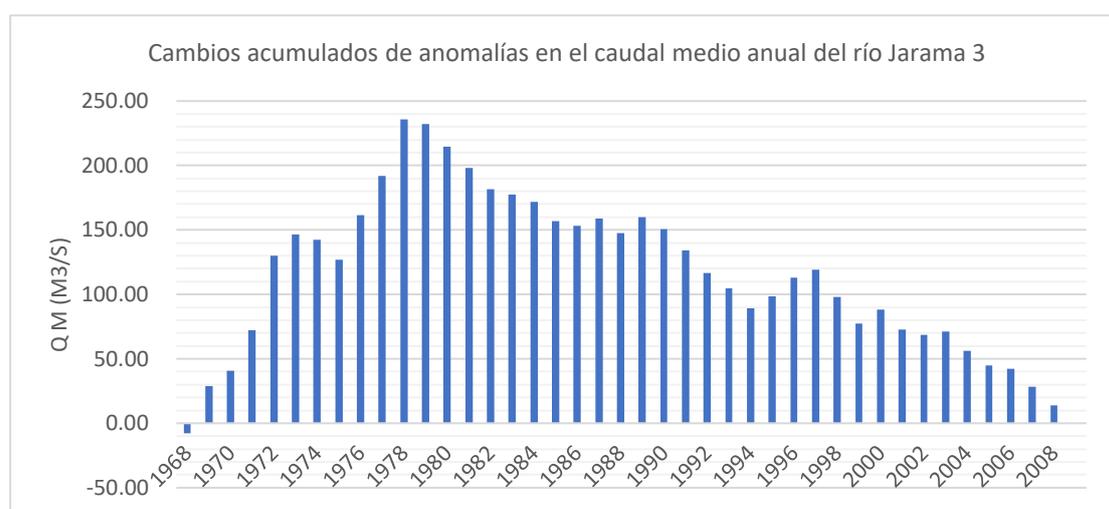


Figura 49. Cambios acumulados de anomalías en el caudal medio anual del río Jarama 3

La Figura 50 muestra el resultado de anomalías acumulativas en la cuenca del Jarama 3. Muestra que la escorrentía de la cuenca del Jarama 3 muestra una característica de cambio de dos etapas que primero aumenta y luego disminuye. La etapa ascendente es de 1968 a 1978 y la etapa descendente es de 1979 a 2005.

En conclusión, los resultados de anomalías y anomalías acumulativas muestran de forma más intuitiva que las características de los cambios de escorrentía entre las distintas subcuencas del río Jarama son bastante diferentes. En particular, la tendencia decreciente de la escorrentía del río Lozoya y del río Manzanares se ha aliviado y ha comenzado a recuperarse; mientras que el río Guadalix Jarama La tendencia a la disminución de la escorrentía de los ríos no ha mostrado ninguna mejora significativa.

## 5.4. Prueba de mutación M-K de la escorrentía anual

### 5.4.1. Prueba de mutación M-K de la escorrentía anual en la cuenca del

#### Lozoya

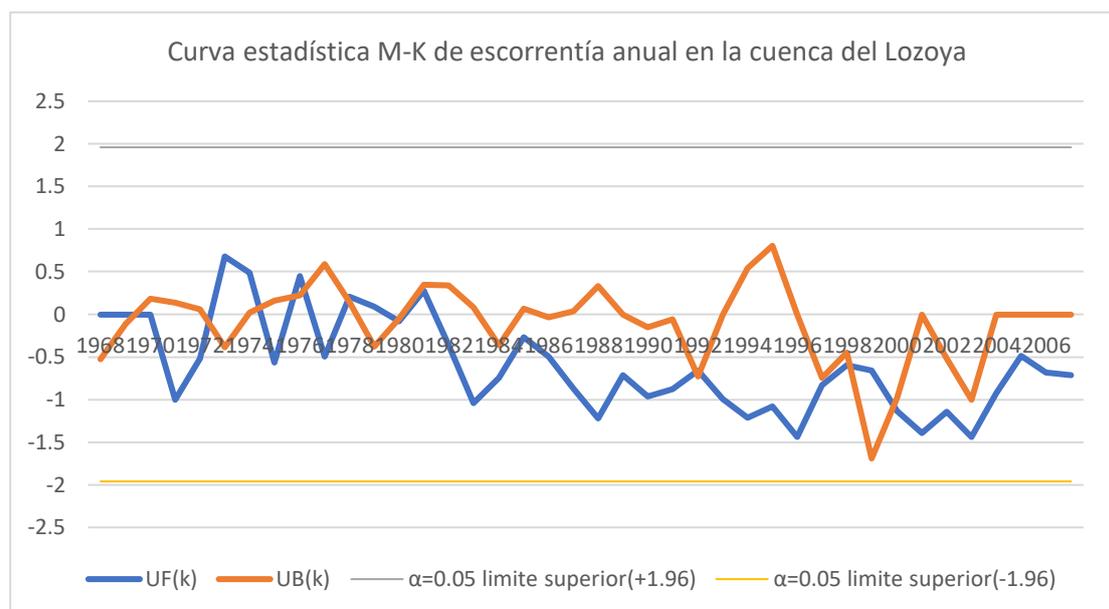


Figura 50. Curva estadística M-K de escorrentía anual en la cuenca del Lozoya

La Figura 51 muestra los resultados de la prueba de mutación M-K en la cuenca del Lozoya. De la figura, se puede encontrar que ni la etapa ascendente ni la descendente alcanzaron el nivel de significancia de 0.05. El punto de mutación se detectó alrededor de 1975, luego de lo cual la escorrentía continuó disminuyendo.

## 5.4.2. Prueba de mutación M-K de la esorrentía anual en la cuenca del

### Guadalix

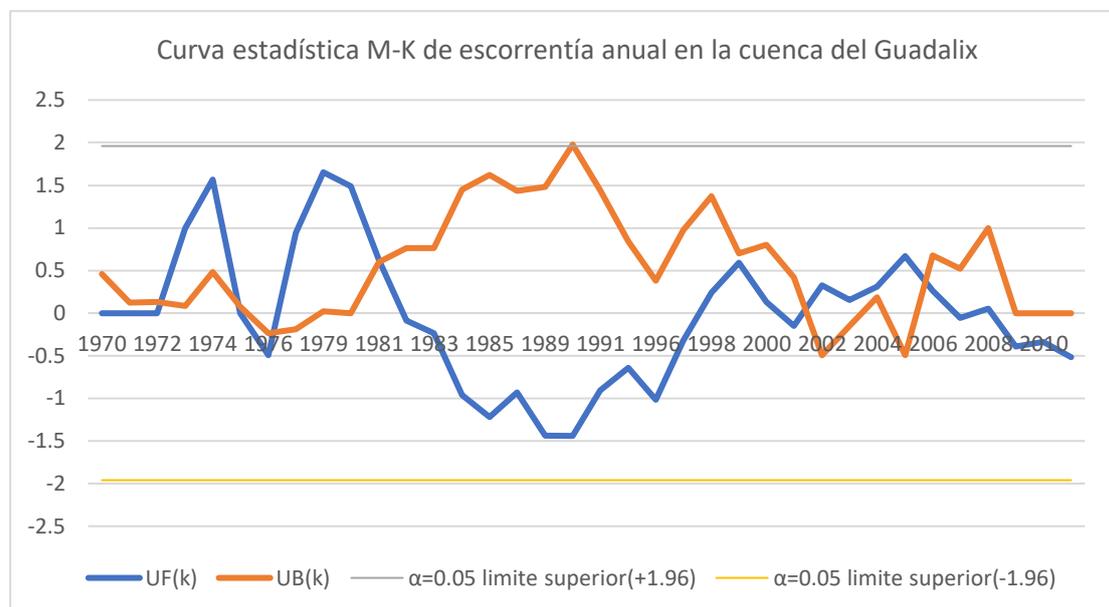


Figura 51. Curva estadística M-K de esorrentía anual en la cuenca del Guadalix

En la figura 52 se muestran los resultados de la prueba de mutación M-K en la cuenca del Guadalix, se puede ver en la figura que la etapa de declive alcanzó un nivel de significancia de 0.05, el punto de mutación se detectó alrededor de 1981 y luego la esorrentía continuó descendiendo. El punto de mutación se detectó nuevamente alrededor de 2001, después de lo cual la esorrentía aumentó ligeramente.

### 5.4.3. Prueba de mutación M-K de la esorrentía anual en la cuenca del Manzanares

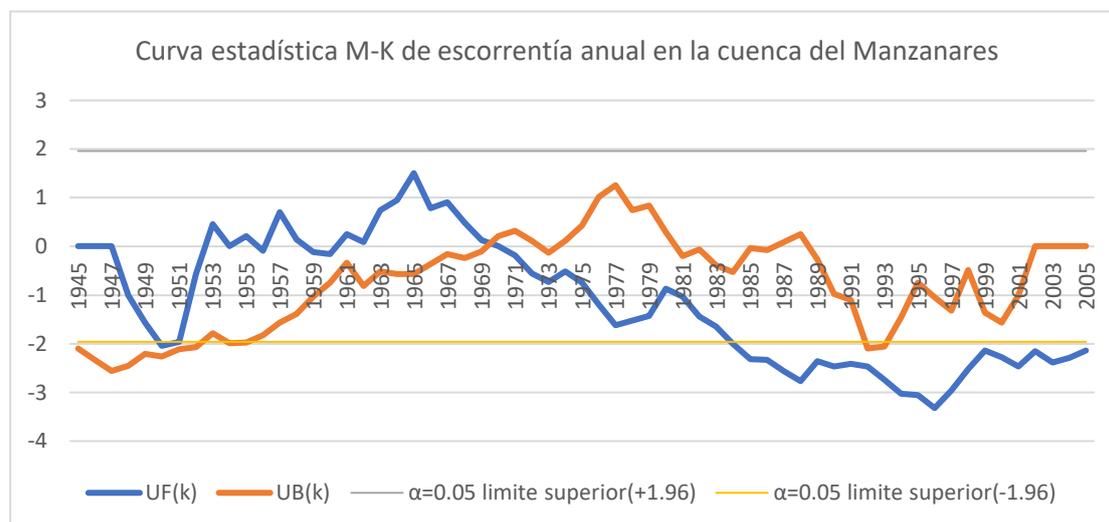


Figura 52. Curva estadística M-K de esorrentía anual en la cuenca del Manzanares

En la Figura 53 se muestran los resultados de la prueba de mutación M-K en la cuenca del Manzanares. De la figura se puede encontrar que la etapa de declive alcanzó un nivel de significancia de 0.05, y el punto de mutación se detectó alrededor de 1970, luego de lo cual la esorrentía continuó disminuyendo.

#### 5.4.4. Prueba de mutación M-K de la esorrentía anual en la cuenca del

#### Jarama 1

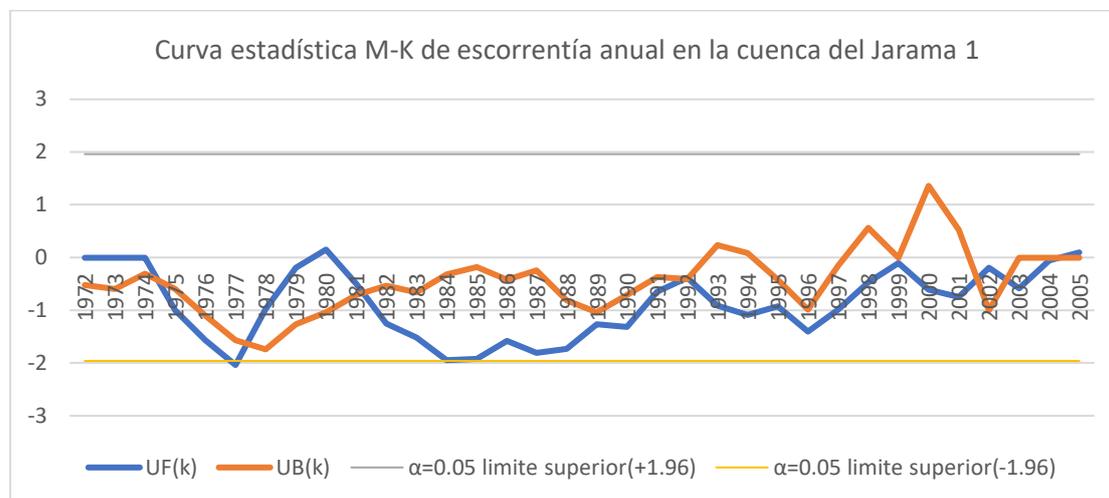


Figura 53. Curva estadística M-K de esorrentía anual en la cuenca del Jarama 1

En la Figura 54 se muestran los resultados de la prueba de mutación M-K en la cuenca del Jarama 1. Se puede encontrar que ni la etapa ascendente ni descendente alcanzaron el nivel de significancia de 0.05. El punto de mutación se detectó alrededor de 1981, luego de lo cual la esorrentía continuó disminuyendo.

### 5.4.5. Prueba de mutación M-K de la esorrentía anual en la cuenca del Jarama 2

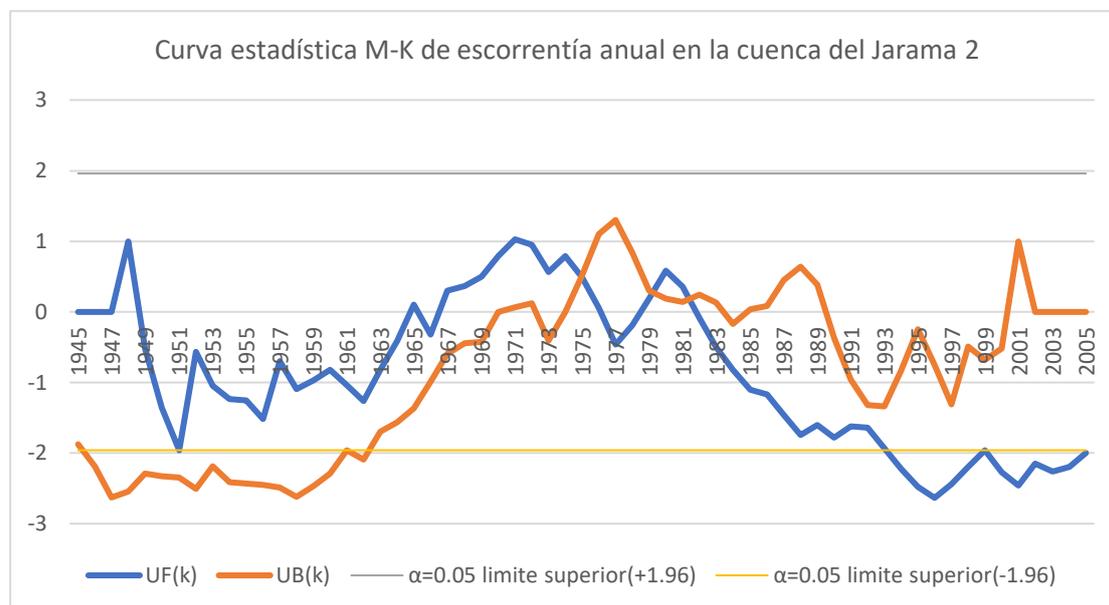


Figura 54. Curva estadística M-K de esorrentía anual en la cuenca del Jarama 2

La Figura 55 muestra los resultados de la prueba de mutación M-K en la cuenca del Jarama 2. A partir de la figura, se puede encontrar que la etapa de declive alcanzó un nivel de significancia de 0.05. El punto de mutación se detectó alrededor de 1975, y luego la esorrentía continuó disminuyendo.

## 5.4.6. Prueba de mutación M-K de la esorrentía anual en la cuenca del Jarama 3

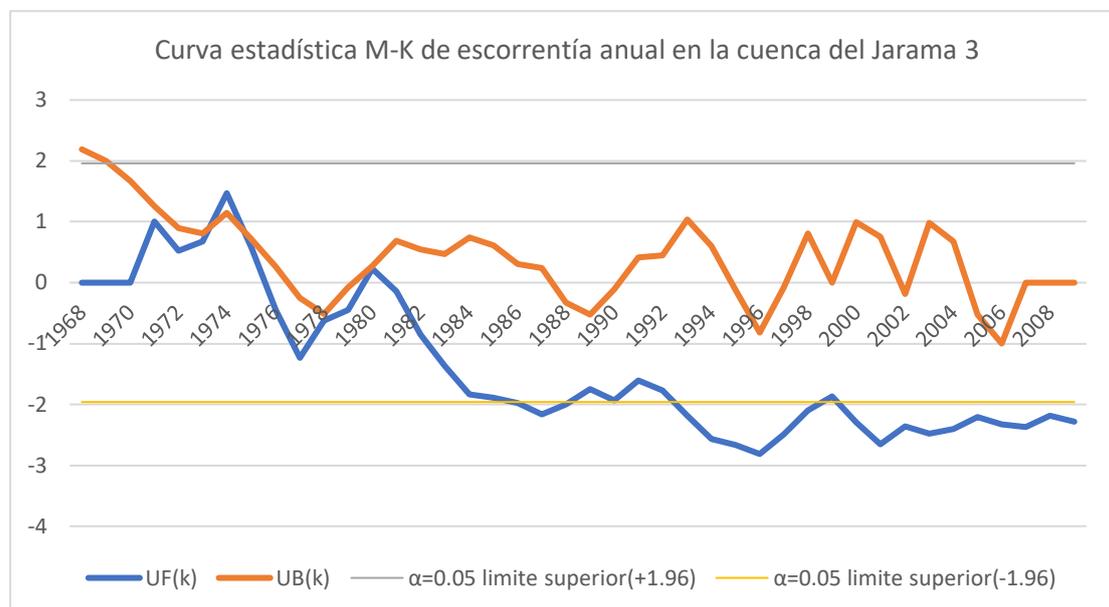


Figura 55. Curva estadística M-K de esorrentía anual en la cuenca del Jarama 3

La Figura 56 muestra los resultados de la prueba de mutación M-K en la cuenca del Jarama 3. De la figura, se puede encontrar que la etapa de declive alcanzó un nivel de significancia de 0.05. El punto de mutación se detectó alrededor de 1971, y luego la esorrentía continuó disminuyendo.

## 6. La relación entre la lluvia y la esorrentía y la predicción futura

### 6.1. Análisis de los factores que influyen en la relación lluvia-esorrentía

Los factores que afectan la relación entre lluvia y esorrentía incluyen principalmente factores naturales y factores humanos.

### **6.1.1. Factores naturales**

Incluyen principalmente factores como el clima, la geología y los accidentes geográficos y la cobertura vegetal. El clima es el factor más básico e importante que afecta la escorrentía. Sus elementos de precipitación y evaporación afectan directamente la formación y los cambios de la escorrentía. Por ejemplo, las diferencias en el nivel, la intensidad, el patrón de lluvia y las precipitaciones previas pueden provocar lluvias y escorrentías. La relación ha cambiado; los accidentes geográficos geológicos se refieren principalmente a varios tipos de rocas, suelos, estructuras de estratos, diversos cuerpos de agua y la morfología superficial, la altura y la ubicación geográfica de varios cuerpos de agua y coberturas superficiales, como la misma precipitación en diferentes regiones, diferentes entornos y diferentes estructuras geológicas. Habrá grandes diferencias en la escorrentía; la cobertura vegetal se refiere principalmente al tipo, tamaño y densidad de la vegetación, y su impacto en la escorrentía se refleja principalmente en: La vegetación puede retener una cierta cantidad de agua durante la lluvia, lo que a su vez afecta el proceso de formación de la escorrentía.

### **6.1.2. Factores humanos**

Incluyendo factores como la construcción de proyectos de conservación del agua, la construcción de tierras agrícolas, la construcción urbana, la conservación del agua y el suelo y el desarrollo y la utilización de los recursos hídricos. La construcción artificial cambia la superficie hidrológica subyacente original de muchas maneras, como cambiar la permeabilidad del agua, reducir la pendiente del suelo y destruir la vegetación natural original en la superficie. La construcción de embalses cambia el proceso hidrológico original río abajo y la construcción de tierras de cultivo cambia el método de escorrentía original. La construcción urbana ha reducido en gran medida la infiltración de lluvia y aumentado la probabilidad de anegamiento urbano; la gestión integral de la conservación del agua y el suelo en terrazas y pequeñas cuencas

hidrográficas ha cambiado la estructura del suelo y la estructura geológica, ha aumentado la vegetación del suelo y tiene un impacto en la generación de escorrentías; desarrollo y utilización de los recursos hídricos El grado es diferente, en algunas zonas la sobreexplotación de las aguas subterráneas es grave, el nivel de las aguas subterráneas desciende mucho y la escasez de agua en la zona no saturada aumenta, lo que conduce a la atenuación de la escorrentía superficial y afecta la relación entre la lluvia y la escorrentía.

En la actualidad, aún faltan métodos objetivos y creíbles para distinguir entre los factores naturales y los provocados por el hombre que afectan la relación entre la lluvia y la escorrentía, por lo que este artículo solo analiza el impacto de la lluvia sobre la escorrentía por cambios en la precipitación.

## 6.2. Comparación entre las precipitaciones y caudales circulantes en cada subcuenca

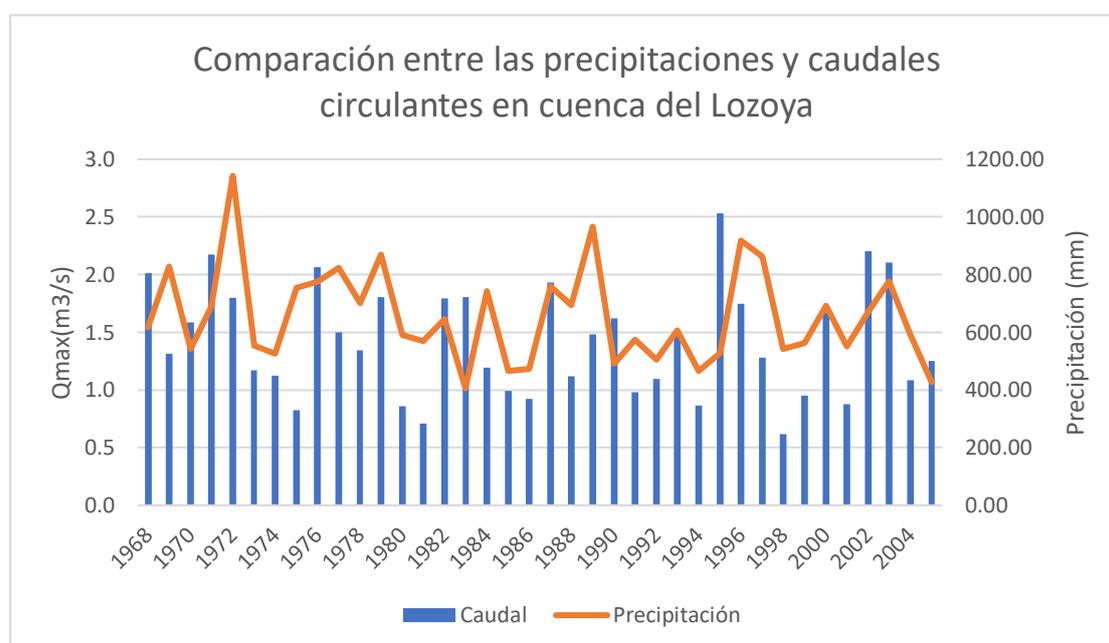


Figura 56. Comparación entre las precipitaciones y caudales circulantes en cuenca del Lozoya

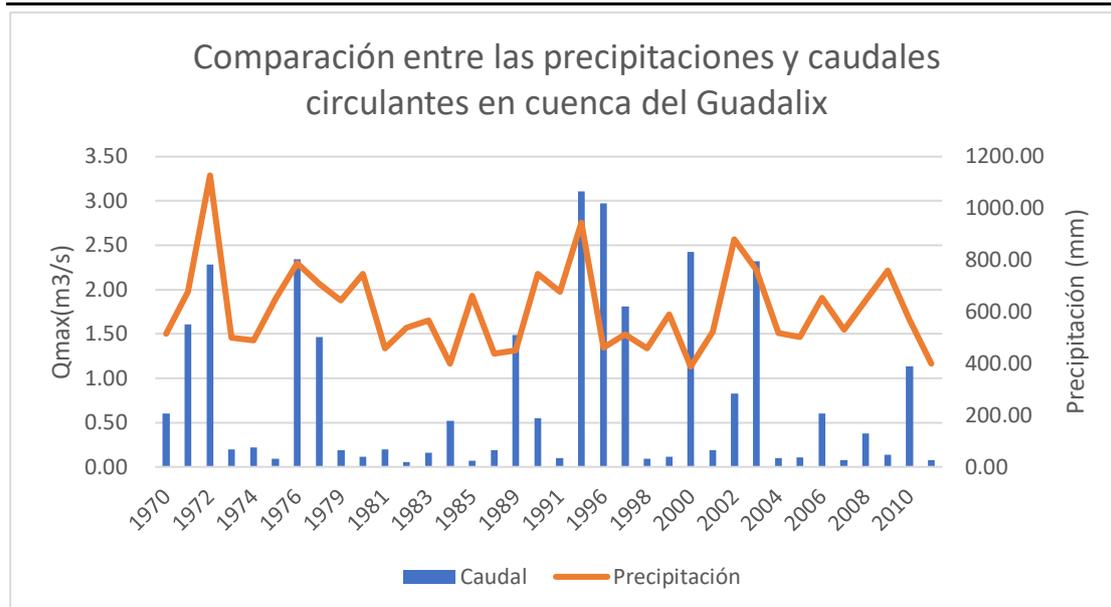


Figura 57. Comparación entre las precipitaciones y caudales circulantes en cuenca del Guadalix

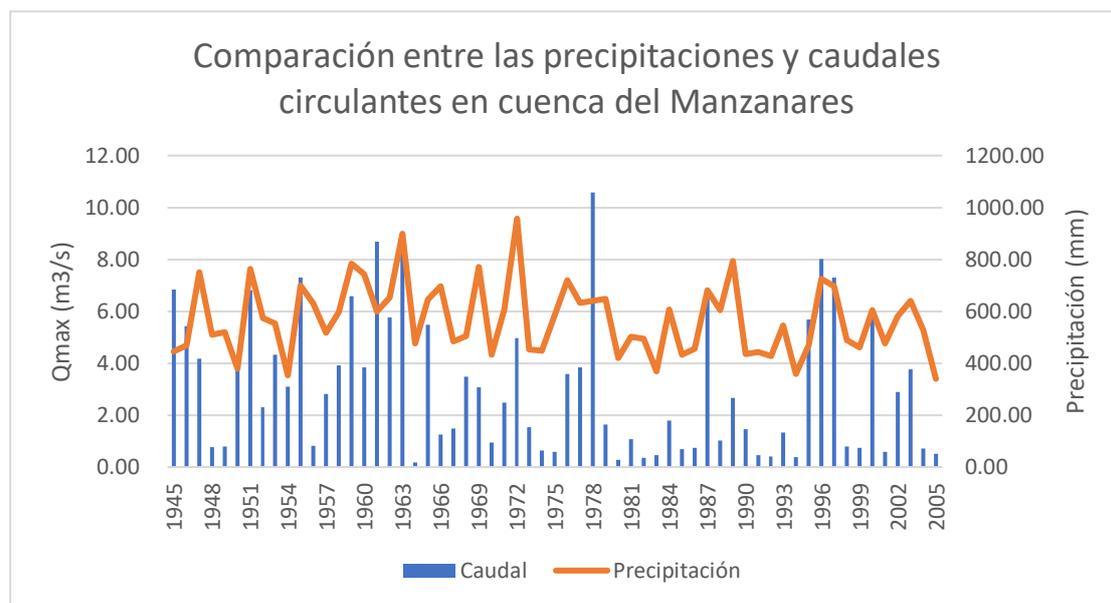


Figura 58. Comparación entre las precipitaciones y caudales circulantes en cuenca del Manzanares

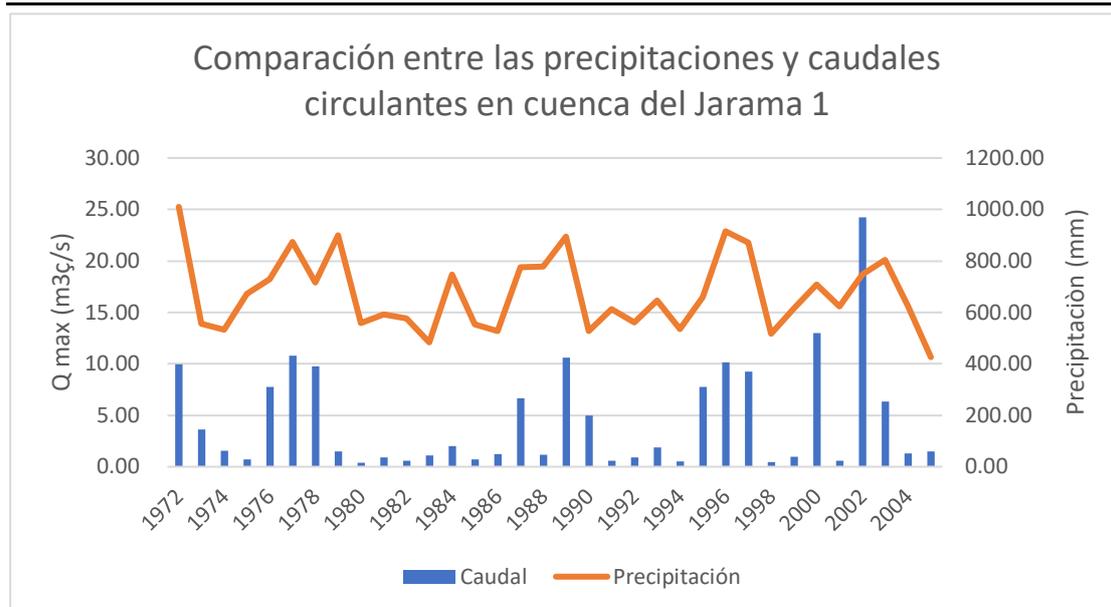


Figura 59. Comparación entre las precipitaciones y caudales circulantes en cuenca del Jarama 1

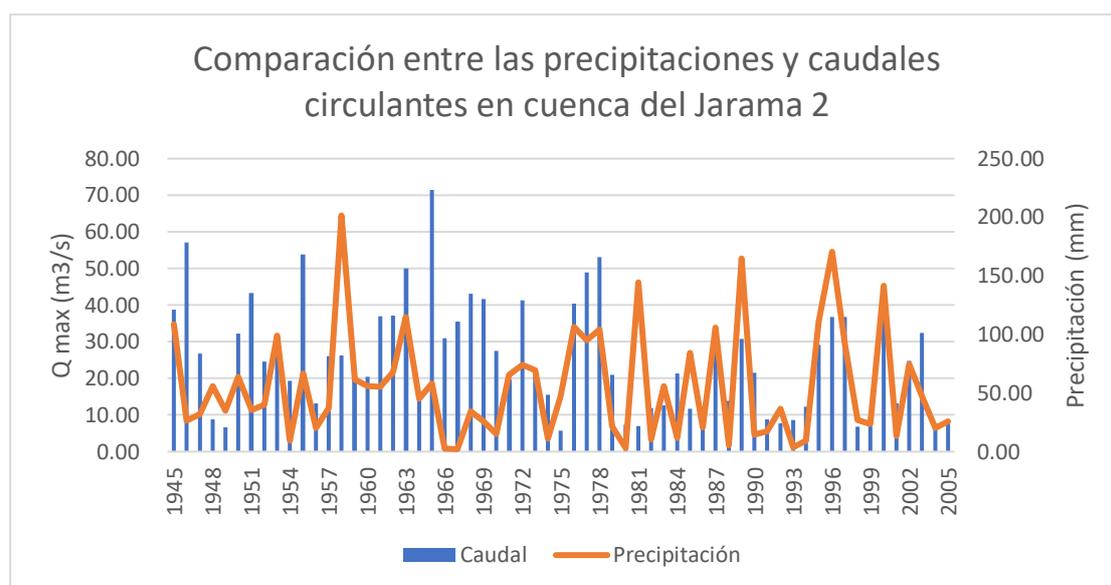


Figura 60. Comparación entre las precipitaciones y caudales circulantes en cuenca del Jarama 2

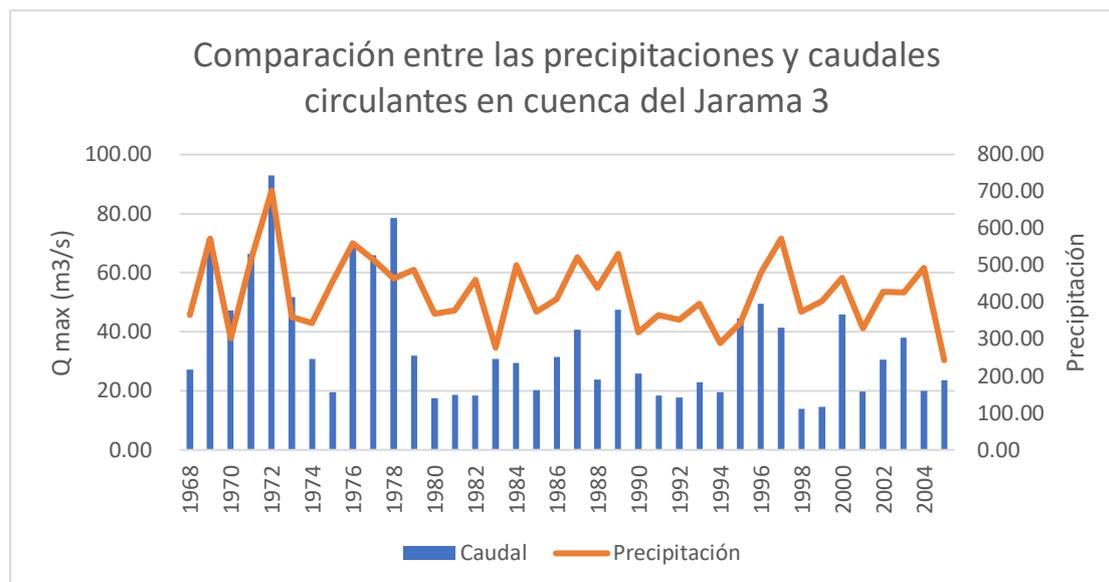


Figura 61. Comparación entre las precipitaciones y caudales circulantes en cuenca del Jarama 3  
Combinado con los resultados de la prueba de tendencia M-K, se cree preliminarmente que el área antes de 1980 estaba menos o casi no afectada por las actividades humanas. Se seleccionó el período de 1945 a 1980 antes del punto de mutación como período de referencia del período de estudio, y se utilizó el análisis de regresión para establecer la correlación entre la precipitación anual y la escorrentía en condiciones naturales para diferentes subcuencas.

### 6.3. La correlación entre la lluvia y la escorrentía en cada subcuenca

#### 6.3.1. La correlación entre la lluvia y la escorrentía en cuenca del Lozoya

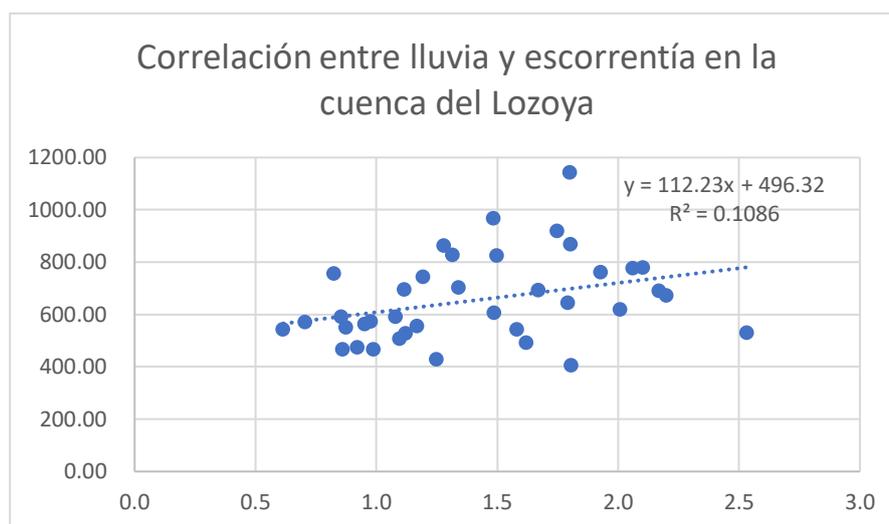


Figura 62. Correlación entre lluvia y escorrentía en la cuenca del Lozoya

La correlación entre lluvia y escorrentía en la cuenca del Lozoya es  $y = 112.23x + 496.32$  ( $R^2 = 0.1086$ ).

El coeficiente de correlación es demasiado pequeño, lo que indica que la tasa de contribución de la precipitación a la escorrentía es pequeña.

Según los datos actuales, la escorrentía natural promedio de 1945 a 1980 se estima en 1,7 mm, y la escorrentía natural promedio de 1981 a 2005 es de 1,4 mm, una disminución de 0,3 mm. La precipitación media medida de 1945 a 1980 fue de 662,42 mm, y la precipitación media medida de 1981 a 2005 fue de 654,83 mm, una disminución de 7,59 mm. La tasa de contribución del cambio en la escorrentía causada por cambios en la precipitación fue de 4,1%.

#### 6.3.2. La correlación entre la lluvia y la escorrentía en cuenca del Guadalix

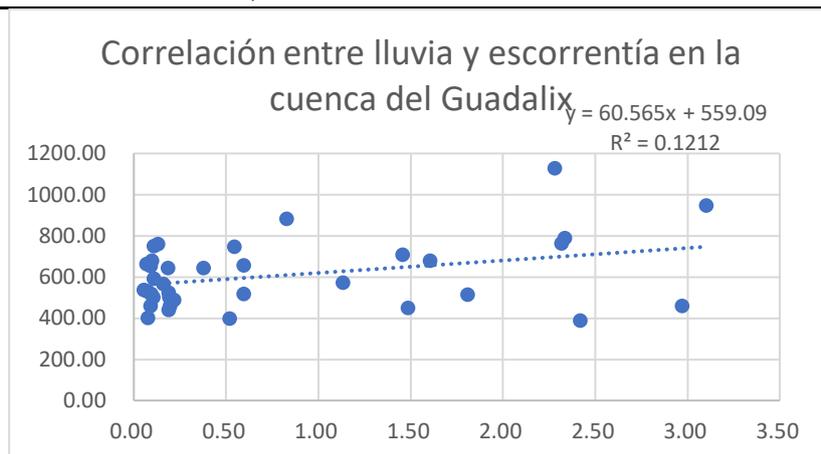


Figura 63. Correlación entre lluvia y escorrentía en la cuenca del Guadalix

La correlación entre lluvia y escorrentía en la cuenca del Guadalix es  $y = 60.565x + 559.09$  ( $R^2 = 0.1212$ ).

El coeficiente de correlación es demasiado pequeño, lo que indica que la tasa de contribución de la precipitación a la escorrentía es pequeña.

De acuerdo con la relación lluvia-escorrentía, la escorrentía natural promedio de 1945 a 1980 se estima en 0,91 mm, y la escorrentía natural promedio de 1981 a 2005 es de 0,56 mm, una disminución de 0,35 mm. La precipitación media medida de 1945 a 1980 fue de 684,80 mm, y la precipitación media medida de 1981 a 2005 fue de 680,30 mm, una disminución de 4,50 mm. La tasa de contribución del cambio en la escorrentía causada por cambios en la precipitación fue de 7,78%.

### 6.3.3. La correlación entre la lluvia y la escorrentía en cuenca del Manzanares

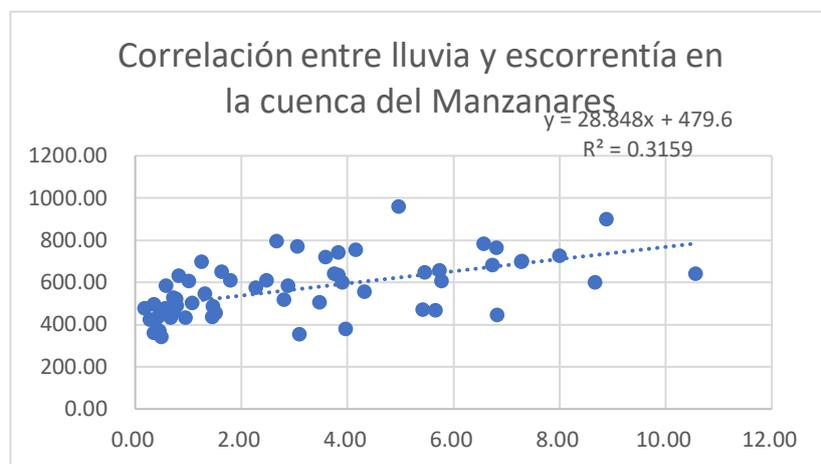


Figura 64. Correlación entre lluvia y escorrentía en la cuenca del Manzanares

La correlación entre precipitaciones y escorrentías en la cuenca del Manzanares es  $y = 28,848x + 479,6$  ( $R^2 = 0,3159$ ).

El coeficiente de correlación relativamente pequeño indica que la tasa de contribución de la precipitación a la escorrentía es pequeña.

Según la relación lluvia-escorrentía, la escorrentía natural promedio de 1945 a 1980 fue de 3.96 mm y la escorrentía natural promedio de 1981 a 2005 fue de 2.47 mm, una disminución de 1.49 mm. La precipitación media medida de 1945 a 1980 fue de 594,18 mm, y la precipitación media medida de 1981 a 2005 fue de 550,67 mm, una disminución de 43,51 mm. La tasa de contribución del cambio en la escorrentía causada por cambios en la precipitación fue de 3,34%.

### 6.3.4. La correlación entre la lluvia y la escorrentía en cuenca del Jarama 1

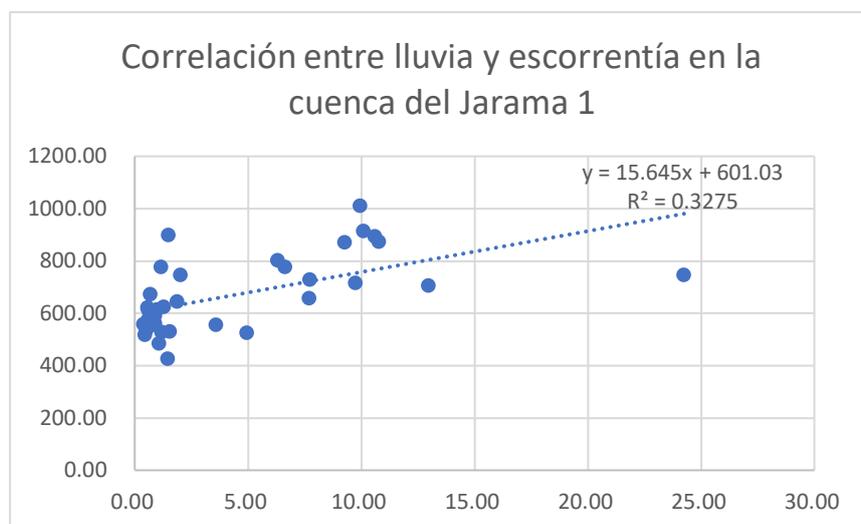


Figura 65. Correlación entre lluvia y escorrentía en la cuenca del Jarama 1

La correlación entre la precipitación y la escorrentía en la cuenca del Jarama 1 es  $y = 15,645x + 601,03$  ( $R^2 = 0,3275$ ).

El coeficiente de correlación relativamente pequeño indica que la tasa de contribución de la precipitación a la escorrentía es pequeña.

Según la relación lluvia-escorrentía, la escorrentía natural promedio de 1945 a 1980 se estima en 5,12 mm y la escorrentía natural promedio de 1981 a 2005 es de 4,38 mm, una disminución de 0,74 mm. La precipitación media medida de 1945 a 1980 fue de 727,24 mm, y la precipitación media medida de 1981 a 2005 fue de 720,04 mm, una disminución de 7,20 mm. La tasa de contribución del cambio en la escorrentía causada por cambios en la lluvia fue del 10,2%.

### 6.3.5. La correlación entre la lluvia y la escorrentía en cuenca del Jarama 2

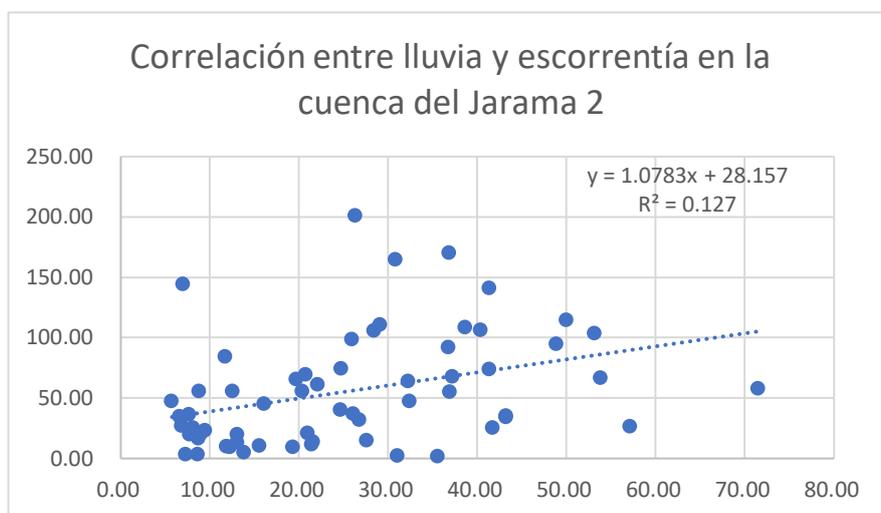


Figura 66. Correlación entre lluvia y escorrentía en la cuenca del Jarama 2

La correlación entre lluvia y escorrentía en la cuenca del Jarama 2 es  $y = 1.0783x + 28.157$  ( $R^2 = 0.127$ ).

El coeficiente de correlación es demasiado pequeño, lo que indica que la tasa de contribución de la precipitación a la escorrentía es pequeña.

De acuerdo con la relación lluvia-escorrentía, la escorrentía natural promedio de 1945 a 1980 se estima en 30.83 mm, y la escorrentía natural promedio de 1981 a 2005 es de 18.09.38 mm, una disminución de 12.75 mm. La precipitación media medida de 1945 a 1980 fue de 83,87 mm, y la precipitación media medida de 1981 a 2005 fue de 57,31 mm, una disminución de 26,56 mm. La tasa de contribución del cambio en la escorrentía causada por cambios en la precipitación fue de 37,9%.

### 6.3.6. La correlación entre la lluvia y la escorrentía en cuenca del Jarama 3

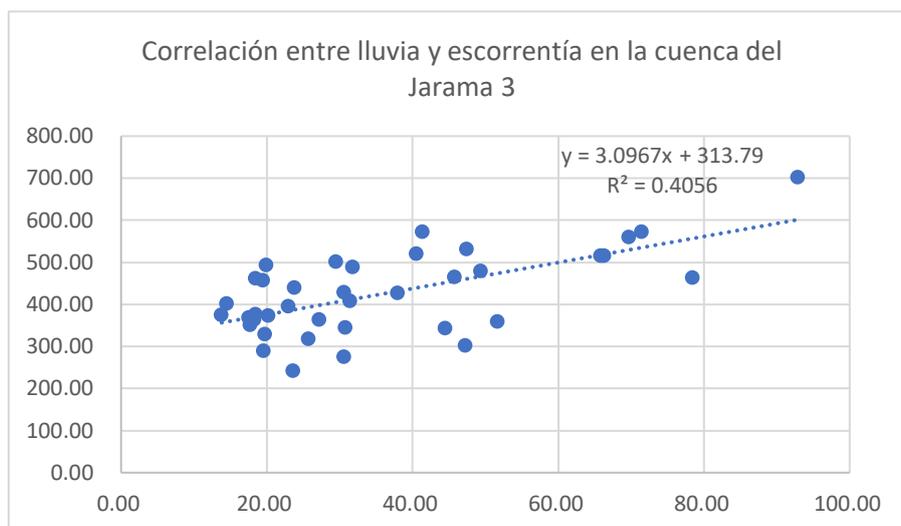


Figura 67. Correlación entre lluvia y escorrentía en la cuenca del Jarama 3

La correlación entre lluvia y escorrentía en la cuenca del Jarama 3 es  $y = 3.0967x + 313.79$  ( $R^2 = 0.4056$ ).

El coeficiente de correlación relativamente pequeño indica que la tasa de contribución de la precipitación a la escorrentía es pequeña.

De acuerdo con la relación lluvia-escorrentía, la escorrentía natural promedio de 1945 a 1980 se estima en 51,60 mm, y la escorrentía natural promedio de 1981 a 2005 es de 28,28 mm, una disminución de 23,32 mm. La precipitación media medida de 1945 a 1980 fue de 462,88 mm, y la precipitación media medida de 1981 a 2005 fue de 406,92 mm, una disminución de 55,96 mm. La tasa de contribución del cambio en la escorrentía causada por cambios en la precipitación fue del 31,6%.

Encontramos que a partir de 1980 la correlación entre precipitación y caudal disminuyó significativamente, indicando que el factor principal fue el factor humano, por lo que proponemos el siguiente análisis para el río Jarama:

Primero, el río Lozoya es el afluente más grande del río Jarama, y también es el afluente que más contribuye a los cambios en el flujo del río Jarama. Aguas arriba de la confluencia con este río, el río Jarama se construyó en el embalse de El Vado (1954), y su capacidad de almacenamiento de agua es relativamente pequeña (56 hm<sup>3</sup>). Aguas

abajo de la confluencia con el río Lozoya, también está controlado por grandes presas, especialmente la presa de El Atazar (1972). En este momento, el río Jarama muestra mayores cambios en estacionalidad, promedio mensual y el tamaño y la frecuencia de sus valores extremos.

Para el análisis de los caudales del río Jarama se han analizado los datos de la estación de aforo de código ROEA, 3175, llamada como estación "ARANJUEZ (PUENTE LARGO)" que se encuentra aguas debajo de nuestro tramo y que recoge prácticamente los caudales de toda la cuenca del Jarama. Hemos tenido la serie de datos tomada (40 años) es lo suficiente representativa para lo acontecido aguas en el tramo de estudio. Por todo esto la estación de referencia para el análisis de caudales será la de ARANJUEZ (PUENTE LARGO), localizada en las coordenadas UTM X: 448200 Y: 4437480. Con un registro de caudal máximo en periodo histórico (40 años), el caudal medio anual fue de 21,31 m<sup>3</sup>/s, el mínimo anual de 11,58 m<sup>3</sup>/s y el máximo anual de 46,69 m<sup>3</sup>/s.

La serie histórica de caudales máximos, medios y mínimos es la que se muestra a continuación en la Figuras 69-71.

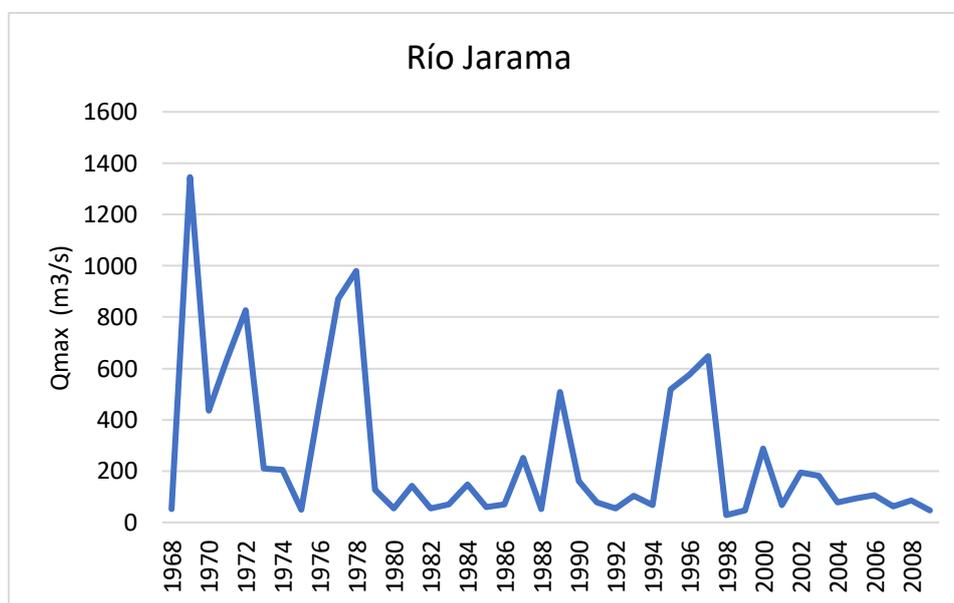


Figura 68. Cambio de caudal máximo del río Jarama

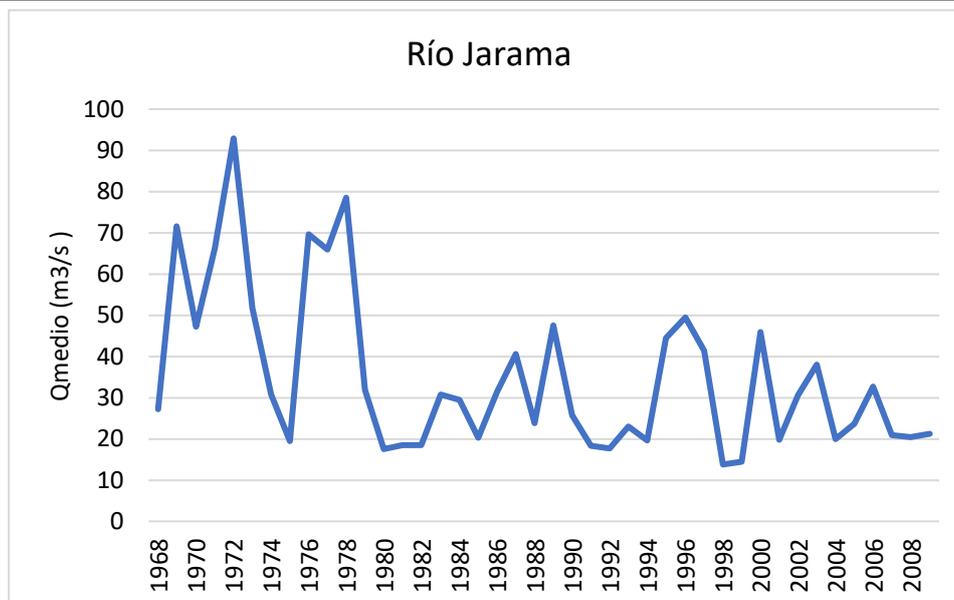


Figura 69. Cambio de caudal medio del río Jarama

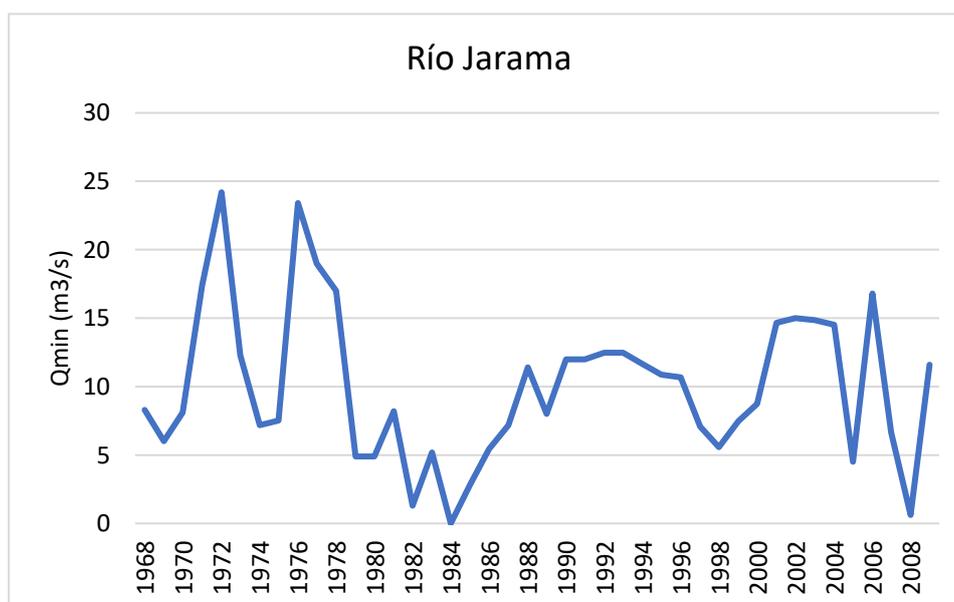


Figura 70. Cambio de caudal mínimo de río Jarama

Todos estos valores varían al analizar los caudales antes y después de la construcción del Embalse de El Vado de la evolución del tramo de estudio.

Para la caracterización del régimen en condiciones naturales, se analizaron los datos hidrológicos del periodo comprendido entre los años 1968-1988. Durante este período, el caudal medio anual fue de 42,18 m³/s, el mínimo anual de 12,82 m³/s y el máximo anual de 123,34 m³/s. Además, presentó una aportación media anual de 225,57 Hm³. Para el régimen en condiciones reguladas, se tomó el periodo 1989-2009. En este caso,

el caudal medio anual fue de 28,31 m<sup>3</sup>/s, el mínimo anual de 11,47 m<sup>3</sup>/s y el máximo anual de 84,48 m<sup>3</sup>/s. Además, presentó una aportación media anual de 186,37 Hm<sup>3</sup>.

El análisis de caudales medios diarios realizado para los dos periodos indica una disminución de caudal circulante durante casi la totalidad del año hidrológico, evidenciando el efecto de la detracción de caudales realizada en el Embalse de El Vado. La figura 72 muestra una comparativa de los caudales medios diarios correspondientes a los dos regímenes.

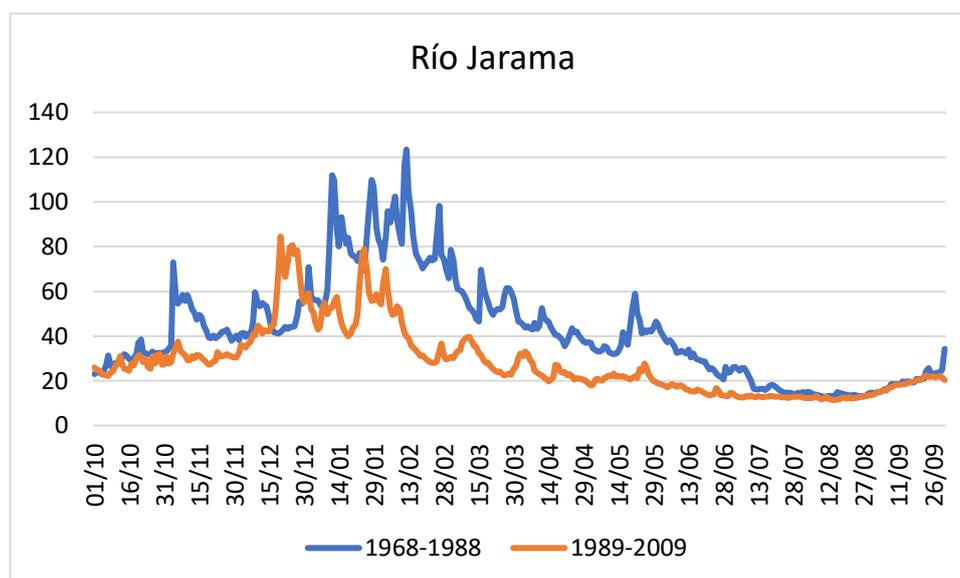


Figura 71. Comparativa de los caudales medios diarios

Para obtener el caudal máximo esperado correspondiente el periodo de retorno de 10 años (Q<sub>10</sub>), se realizó un ajuste logarítmico a partir de los datos de caudal máximo ordenados por probabilidad de recurrencia (Tabla 3). Del ajuste para el periodo 1968 – 1988 (Figura 73), se desprende que el caudal Q<sub>10</sub> es de 14.38 m<sup>3</sup>/s, y del ajuste realizado para el periodo 1989 – 2009 (Figura 74), se obtiene un caudal Q<sub>10</sub> de 11.99 m<sup>3</sup>/s.

Tabla 3. Probabilidad de recurrencia

orden	Qmax68-88				Qmax89-09					
	Qmax	Período	Período	Período	Qmax	Período	Período	Período		
		retorno	retorno	retorno		retorno	retorno	retorno		
1	1346	0.0454545	22	1346	1	647.72	0.0454545	22	647.72	
2	979.999	0.0909091	11	979.999	2	574.917	0.0909091	11	574.917	
3	872	0.1363636	7.3333333	872	3	518.238	0.1363636	7.3333333	518.238	
4	827.5	0.1818182	5.5	827.5	4	508.842	0.1818182	5.5	508.842	
5	636	0.2272727	4.4	636	5	288.463	0.2272727	4.4	288.463	
6	460	0.2727273	3.6666667	460	6	194.516	0.2727273	3.6666667	194.516	
7	436	0.3181818	3.1428571	436	7	181.139	0.3181818	3.1428571	181.139	
8	252.9	0.3636364	2.75	252.9	8	161.237	0.3636364	2.75	161.237	
9	210.8	0.4090909	2.4444444	210.8	9	107.764	0.4090909	2.4444444	107.764	
10	206	0.4545455	2.2	206	caudal bankfull	102.882	0.4545455	2.2	102.882	caudal bankfull
11	148.8	0.5	2	148.8	11	93.129	0.5	2	93.129	
12	144	0.5454545	1.8333333	144	12	85.256	0.5454545	1.8333333	85.256	
13	126.4	0.5909091	1.6923077	126.4	13	78.983	0.5909091	1.6923077	78.983	
14	71.174	0.6363636	1.5714286	71.174	14	77.818	0.6363636	1.5714286	77.818	
15	70.79	0.6818182	1.4666667	70.79	15	68.475	0.6818182	1.4666667	68.475	
16	59.938	0.7272727	1.375	59.938	16	66.608	0.7272727	1.375	66.608	
17	55.6	0.7727273	1.2941176	55.6	17	63.646	0.7727273	1.2941176	63.646	
18	55.6	0.8181818	1.2222222	55.6	18	55.691	0.8181818	1.2222222	55.691	
19	52.2	0.8636364	1.1578947	52.2	19	46.693	0.8636364	1.1578947	46.693	
20	51.74	0.9090909	1.1	51.74	20	46.565	0.9090909	1.1	46.565	
21	48.7	0.9545455	1.047619	48.7	21	28.647	0.9545455	1.047619	28.647	

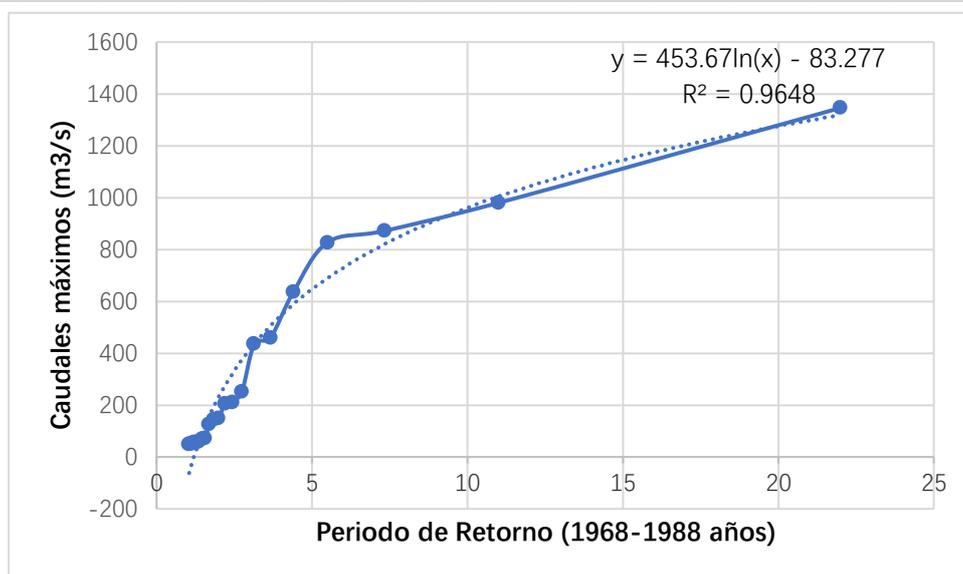


Figura 72. Probabilidad de recurrencia 1968-1988

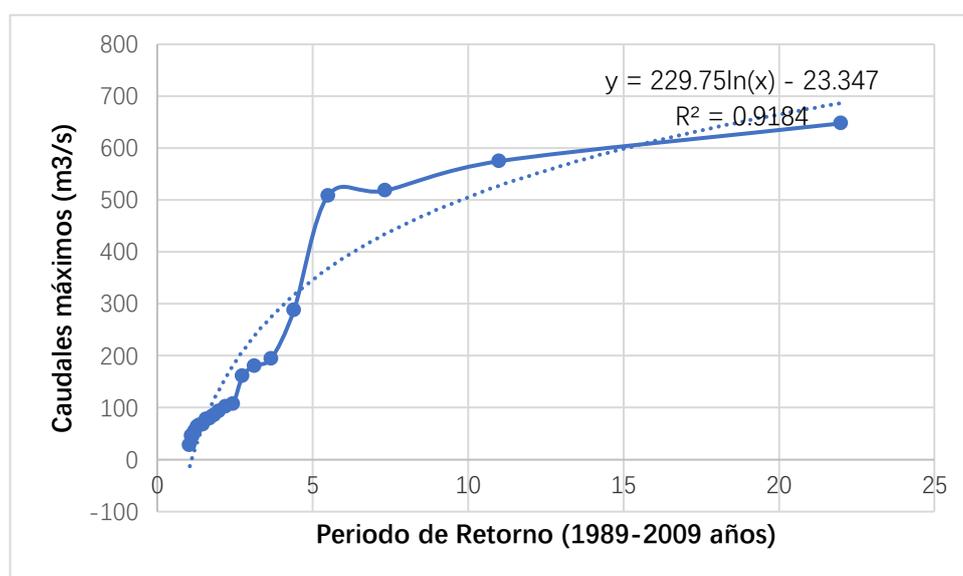


Figura 73. Probabilidad de recurrencia 1989-2009

A esta Figura se le asocia la siguiente Tabla.

Periodo de retorno	caudal (m <sup>3</sup> /s)
Q75	67.32865385
Q50	45.13776923
Q25	23.87692308
Q10	16.50923077

## 6.4. Predicción futura

Los métodos tradicionales de pronóstico de flujo incluyen modelos hidrológicos y métodos estadísticos de datos, etc., y generalmente tienen problemas como la construcción de modelos complejos, parámetros difíciles de obtener y resultados de ajuste insatisfactorios (Casassa, 1995). En los últimos años, con el auge y el desarrollo de los métodos de inteligencia artificial, se han promovido y aplicado gradualmente métodos inteligentes como las redes neuronales, las máquinas de vectores de soporte, la descomposición de ondas y los algoritmos genéticos. La red neuronal artificial tiene las características de fácil construcción, autoadaptación y aprendizaje en tiempo real, y es adecuada para procesar datos hidrológicos complejos y no lineales.

El modelo VMD es un nuevo método de análisis de señales propuesto por Dragomiretskiy y Zosso en 2014. Descompone datos de secuencias complejas, no lineales y asimétricas en múltiples funciones de modo propio relativamente estables con cambios escalonados en la frecuencia (BLIMF, funciones de modo intrínseco de banda limitada), es adecuado para tratar la volatilidad de los datos hidrológicos. Supera los problemas de la mezcla modal en la descomposición en modo empírico, la descomposición del valor medio local, la transformada de ondas empíricas y otros modos, la incapacidad de eliminar ruido adicional y la determinación del número de funciones en modo propio. Este artículo combina el modelo VMD, basado en la excelente capacidad de ajuste no lineal de la red neuronal BP, construye un método de predicción del caudal fluvial basado en el modelo VMD-BP, reduce la volatilidad y

complejidad de los datos a través del modelo VMD y luego predice a través de la red neuronal BP El propósito de mejorar la efectividad de la previsión.

Para el río Jarama, usamos el modelo anterior para predecir el flujo del río.

Tabla 4. Previsión del caudal futuro del río Jarama

Año	Valor predictivo (m3/s)	Valor actual (m3/s)	Error (m3/s)	Error relativo/%
2006	9.85	8.29	-1.56	18.82
2007	6.85	11.14	4.29	38.45
2008	9.82	11.42	1.60	13.94
2009	9.65	9.96	0.31	3.05
2010	9.86	9.46	-0.40	4.25

Por tanto, el modelo de predicción es ideal para la predicción de la esorrentía anual del río Jarama.

Se puede observar en la Tabla 4 que en la predicción de esorrentía en los años futuros por la red neuronal, excepto 2007, el error relativo es de 38.45%. Según el estándar de error de pronóstico hidrológico en otros años, todos cumplen con el pronóstico hidrológico. estándar Todos los pronósticos de cuatro años están calificados.

## 7. Restauración del río

### 7.1. Coerción humana al ecosistema fluvial

Desde la década de 1950, los seres humanos han llevado a cabo en los ríos

transformaciones de objetivos múltiples, generales, a gran escala y de alta frecuencia. Estas transformaciones han promovido en gran medida el desarrollo social y el progreso humano y han traído enormes beneficios económicos a la humanidad. Sin embargo, con la intensificación del desarrollo y la utilización de los recursos fluviales por parte de las personas, las funciones naturales de los ríos se han visto gravemente dañadas, poniendo en peligro directamente la continuidad de la vida del río cuando la gente se da cuenta de que los proyectos de conservación del agua, la recuperación de tierras, la contaminación de los ríos y otras actividades humanas dan lugar a ecosistemas fluviales. Cuando se introdujo la coerción, la gente comenzó a reflexionar sobre los efectos adversos del comportamiento humano en el ecosistema fluvial.

La presión causada por la naturaleza y las actividades humanas sobre el ecosistema se llama estrés en ecología. Hay muchas razones para el estrés de las actividades humanas en los ríos, pero en esencia, se puede dividir en tres categorías. Una es hacer que la estacionalidad del flujo de agua natural satisfaga las necesidades de los humanos en diferentes momentos. Los humanos utilizan varias medidas para cambiar las condiciones de flujo de los ríos naturales, lo que resulta en El caudal de agua se aplana, el caudal del río se reduce y el caudal de agua aumenta. El segundo es cambiar la capa de cobertura del suelo, lo que afecta la permeabilidad del suelo y la división del agua de lluvia, lo que afecta la generación de escorrentía. Por ejemplo, la tala humana de vegetación conduce a la escorrentía de los ríos. La tercera es que después de que los humanos toman agua, descargan las aguas residuales usadas en el río, lo que contamina el agua del río.

## **7.2. Mejorar las condiciones hidrológicas del río**

### **7.2.1 Introducción general**

Como un medio importante para que los humanos controlen las inundaciones, regulen la escorrentía, aseguren el uso del agua y la generación de energía (Rivera y Casassa, 2002), las presas dividen el sistema fluvial natural e interconectado en sistemas

parcialmente artificiales y naturales controlados, y cambian fundamentalmente el mecanismo de circulación del agua del río y el lodo del río. La ley del movimiento de la arena destruye el equilibrio original del río, lo que tiene un impacto más o menos negativo en el entorno físico, ecológico y social de la cuenca.

### **7.2.2. El impacto del embalse en el ecosistema del río río abajo**

Las características físicas, químicas y ecológicas de los ríos son el resultado de muchos factores en la cuenca. Una vez que el río está represado y almacenado, el río producirá una serie de complejas reacciones en cadena, que cambiarán los factores físicos, biológicos y químicos del río.

El ajuste del caudal del río por el embalse EL VADO cambia el patrón de caudal del río aguas abajo. El modo de operación de los reservorios grandes, medianos y pequeños producirá diferentes modos de descarga, que afectarán el material de origen, la energía, la estructura del ecosistema y la función del río. La construcción de la presa ha provocado cambios en las condiciones hidráulicas del río Jarama, dando lugar a los correspondientes cambios en diversos entornos ecológicos como la ribera y la llanura aluvial, lo que a su vez tiene un impacto indirecto en la topografía y la estabilidad geológica del río.

El embalse de EL VADO represado provocará cambios en las condiciones hidrodinámicas del río, principalmente debido a la ralentización del caudal del río Jarama, lo que provocará cambios significativos en la migración de material particulado y las propiedades de mezcla de la masa de agua. El modo de operación del embalse EL VADO afecta el modo de descarga, como generación de energía, riego y control de inundaciones, lo que a su vez afecta los factores hidráulicos e hidrológicos del río aguas abajo. Los datos encontraron que el vertido provocado por la generación de energía hidroeléctrica de la presa EL VADO en el río Jarama provocó fluctuaciones evidentes en el vertido del río Jarama, y los puntos de cambio repentino fueron evidentes. Por ejemplo, en la cuenca del Jarama 3, en 1970, el caudal aumentó bruscamente de 45,53m<sup>3</sup> / s en su estado natural a 104,23m<sup>3</sup> / s, y la descarga limpió

el sedimento depositado en el cauce río abajo y el impacto en el río. El nivel y la calidad del agua era mucho mayor que el caudal El impacto de los ecosistemas fluviales.

## 8. Conclusión

Este artículo toma como objeto el clima y la escorrentía de la cuenca del Jarama de 1945 a 2005, utilizando teorías ecológicas e hidrológicas, análisis estadístico multivariante y sistemas de información geográfica, y utilizando datos meteorológicos e hidrológicos para analizar el clima histórico y la escorrentía de la cuenca del Jarama. y sus subcuencas Cambiar tendencias y características, comprender el impacto del cambio climático en la variación del ciclo hidrológico y explorar la correlación entre el clima y los cambios en la recarga de la escorrentía.

Se utilizó estadística descriptiva para analizar los cambios a largo plazo y las características de fase de la precipitación en la cuenca del río Jarama y la descarga del río Jarama. Se utilizó el método de prueba no paramétrico prueba de mutación de Mann-kendall para diagnosticar el tiempo de ocurrencia de cambios repentinos en la precipitación y las características de los cambios en cada fase Variedad.

En los últimos 60 años, (a) la precipitación general en la cuenca del Jarama ha mostrado una leve tendencia a la baja, y la disminución del caudal del río es evidente. (b) El año del cambio repentino fue alrededor de 1970. La tendencia de cambio de la subcuenca tiene buena consistencia. A través del análisis de correlación, llegamos a la conclusión de que (c) la precipitación es la causa de los cambios en el flujo, pero no la causa total. Teniendo en cuenta el impacto de los factores humanos, es decir, el impacto de la construcción de presas en la ecología del río. Además, los factores humanos se corrigen en el modelo de pronóstico de flujo, y la precisión del pronóstico está bien realizada, y el valor promedio de los errores de varios años es inferior al 15%. Esto muestra que (d) el mecanismo de reabastecimiento de la escorrentía en la cuenca del Jarama ha cambiado y la pequeña influencia de los factores de precipitación puede ser la causa del cambio repentino en la escorrentía. Combinado con la puesta en servicio de la presa EL VADO entre 1960-1970, se confirma el año del cambio brusco

en el caudal del río Jarama, y el resultado es más certero.

## Bibliografía

- AUSENSI, P. Evaluación de métodos hidrológicos para la completación de datos faltantes. Talca, Chile: Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Talca, 2005, 111 pp.
- CASASSA, G. Glacier inventory in Chile: Current status and recent glacier variations. *Annals of Glaciology*. Vol. 21, 1995, pp. 317-322.
- EC (European Commission), 2000. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of October the 23rd establishing a framework for Community action in the field of water policy. *Official Journal of the European Communities*, L327/1.
- Egozi R, Ashmore P. 2008. Defining and measuring braiding intensity. *Earth Surface Processes and Landforms* 33, p 2121–2138.
- FUENZALIDA, H., VILLAGRÁN, C., BERNAL, P., FUENTES, E., SANTIBÁÑEZ, F., PEÑA, H., MONTECINO, V., HAJEK, E. y RUTLLANT, J. Cambio climático global y eventuales efectos en Chile. *Amb. y Des.* Vol. 2, 1989, pp. 37-42.
- GONZÁLEZ-HIDALGO JC, BRUNETTI M, DE LUIS M, (2010) A new tool for monthly precipitation analysis in Spain: MOPREDAS database (Monthly precipitation trends December 1945-November 2005). *International Journal of Climatology*, DOI: 10.1002/joc.2115
- Gu Weizu, Shang Xiting, Zhai Shaoran, Lu Jiaju, Frentress J, Jeffrey M, Carol K. La paradoja de la lluvia y la escorrentía en la cuenca hidrográfica experimental natural [J]. *Advances in Water Science*. 2010, 21 (4): 471-478 .
- HAMPTON, M. & M. ACEITUNO. 1988. Direct observation techniques for habitat use criteria development on the Trinity River, Trinity County, California. U.S. Fish and Wildlife Service Biological Report, 88 (11): 159-180.
- HEGGENES, J., A. BRABRAND & S. J. SALTVEIT. 1990. Comparison of three methods for studies of stream habitat use by young brown trout and atlantic salmon. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 119: 101-111.
- Horton R E. *Surface runoff phenomena: Horton Hydrology Laboratory*[M]. 1935.
- LA MARCHE, V. Three-ring evidence of past climate variability. *Nature, Climatology Supplement*. Vol. 276. No. 5686, November, 1978, pp. 334-338.
- LLOYD, J. Climatic variation North-Central Chile from 1866-1970. *Journal of hydrology*. Vol. 19, 1973, pp. 53-70.
- MAYO, M., B. GALLEGO, D. GARCÍA DE JALÓN & P. A. BROTONS. 1995. Preferencias de hábitat de la trucha común en la Época de freza. Río Dulce, Guadalajara. *Limnetica*, 11 (1): 49-54.

- RIGNOT, E., RIVERA, A., and CASASSA, G. Contribution of the Patagonia Icefields of South America to Global Sea Level Rise. *Science*. Vol. 302, 2003, pp. 434-437.
- RIVERA, A., ACUÑA, C., CASASSA, G., and BOWN, F. Use of remote sensing and field data to estimate the contribution of Chilean glaciers to the sea level rise. *Annals of Glaciology*. Vol. 34, 2002, pp. 367-372.
- Rui Xiaofang. Teoría de la generación y convergencia de la escorrentía aleatoria [J]. *Progreso en los recursos hídricos y la ciencia y tecnología hidroeléctricas*. 2016, 36 (5): 8-12.
- Silva, P.; Goy, J.L.; Zazo, C.; Hoyos, M. & Alberdi, M.T. (1988b). El valle del Manzanares y su relación con la depresión Prados-Guaten durante el Pleistoceno inferior (Madrid, España). II Congreso geológico de España. *Comunicaciones*, 1 (Granada, 1988): 403-406.
- VILLALBA, R. Tree-rings and glacial evidence for the medieval warm epoch and the little ice in Southern South America. *Climate Change*. Vol. 26, 1994, pp. 183-197.
- Xia Jun, Wang Gangsheng, Lv Aifeng, Tan Ge. Simulación distribuida de ganancia variable en el tiempo del ciclo del agua en la cuenca [J]. *Acta Geographica Sinica*. 2003, (5): 789-796
- Yang Mingjin, Zhang Bo, Wang Haiqing, Yuan Jianping. Análisis de la ley de variación de la escorrentía de la cuenca del río Heihe de 1950 a 2004 [J]. *Resources Science*. 2009, 1 (5): 413-419.
- Cartografía y memoria geológica del Mapa Geológico de España a escala 1:50.000, Serie MAGNA, no de Hoja 582 (Getafe). Instituto Tecnológico y Geominero de España, Madrid.

Recursos web:

- [www.globalbioclimatics.org](http://www.globalbioclimatics.org)
- <http://info.igme.es/cartografiadigital/geologica/>
- <http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/informacion-disponible/Paisajes.aspx>
- <http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/>
- <https://fototeca.cnig.es/>
- <http://ceh-flumen64.cedex.es/anuarioaforos/default.asp>
- [https://ceh.cedex.es/web\\_ceh\\_2018/default.htm](https://ceh.cedex.es/web_ceh_2018/default.htm)

## **Agradecimientos**

En primer lugar, quiero agradecer a Diego García de Jalón por ejercer un excelente papel como director de este trabajo de fin de máster, por su disposición y apoyo. Agradezco profundamente al Programa de Formación de alto nivel maestrías, por brindarme la maravillosa oportunidad de cursar esta maestría. De igual manera, a los profesores del máster de Restauración de Ecosistemas, por todas sus enseñanzas. Mil gracias a cada profesor que me ha enseñado, y a los demás compañeros del máster por hacer del mismo una experiencia maravillosa. Y, por último, pero siendo lo más importante, a mi familia y a amigos, porque son lo más grande en mi vida, mi apoyo y mi luz.

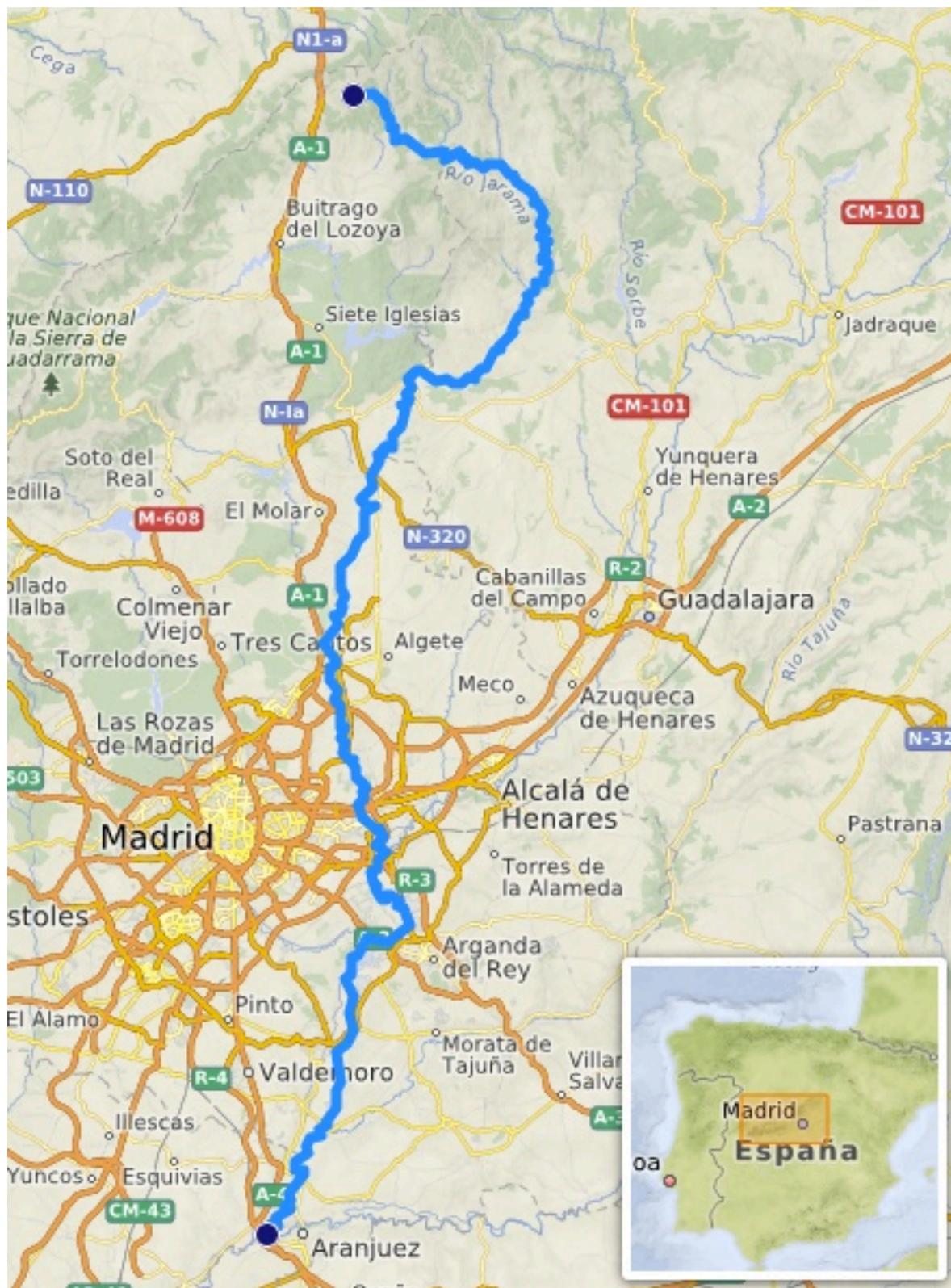
## **Anexo**

Anexo 1. Río Jarama

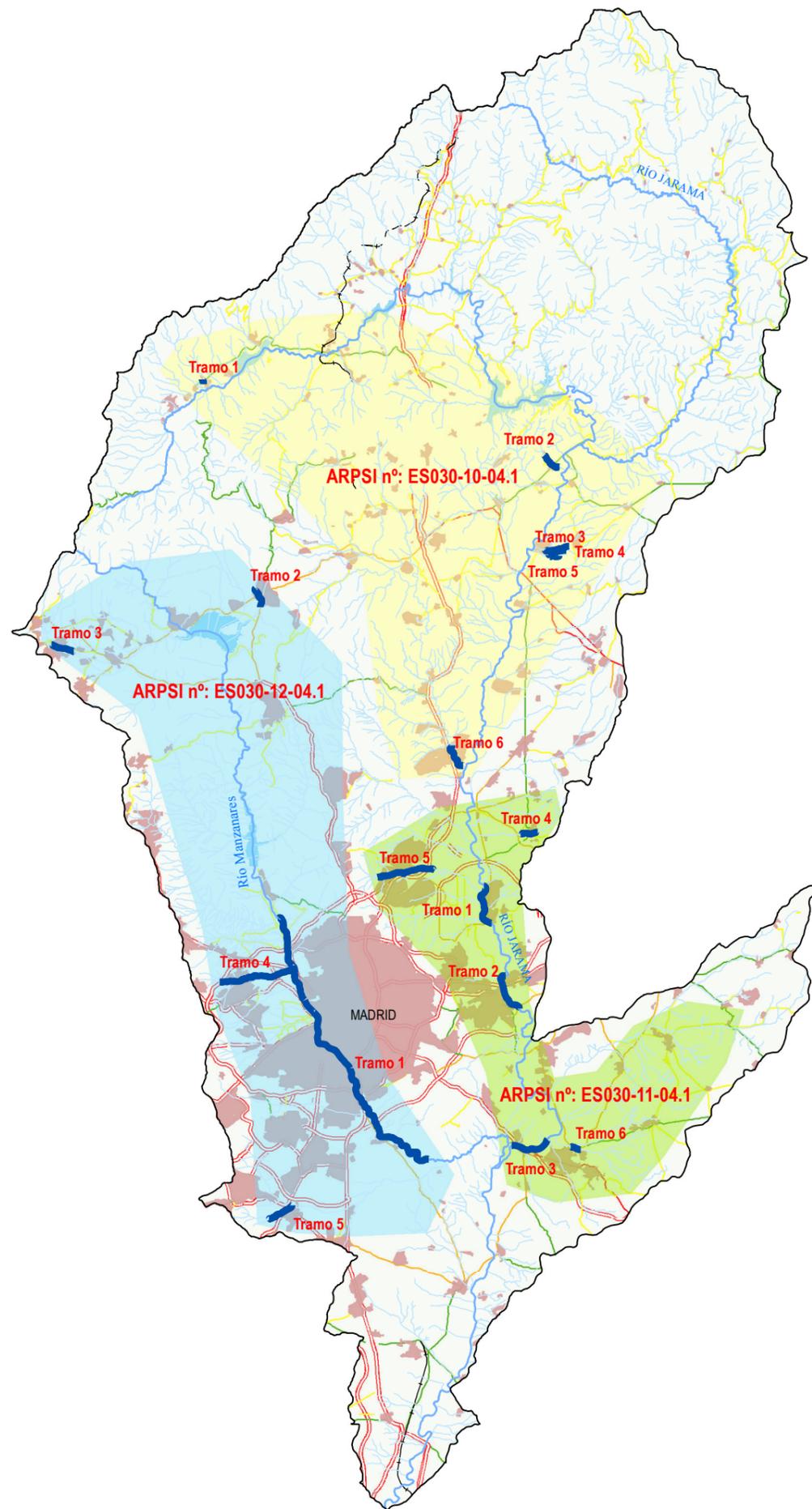
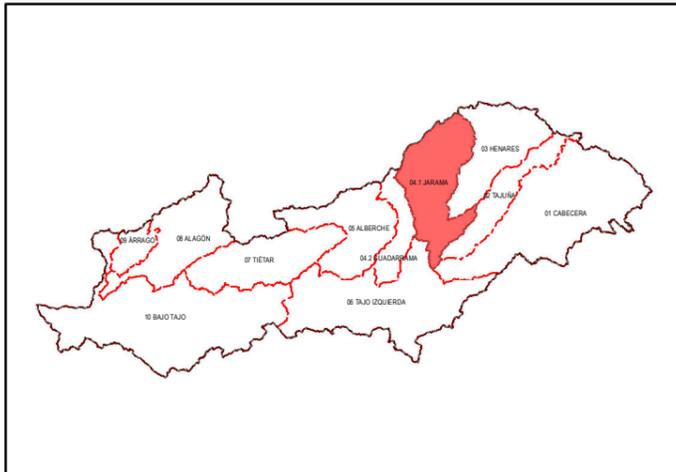
Anexo 2. RELACIÓN DE TRAMOS DE ARPSIs EN LA CUENCA DEL JARAMA

Anexo 3. Estaciones de Aforo

# **Anexo 1**



## **Anexo 2**



RELACIÓN DE TRAMOS DE ARPSIs EN LA CUENCA DEL JARAMA

ARPSI	TRAMO	CUENCA	CAUCE	MUNICIPIO	L (km)
ES030-10-04.1	1	Jarama	Arroyo del Sotillo	Alameda del Valle	0,467
	2	Jarama	Arroyo de Patones	Patones	1,853
	3	Jarama	Arroyo Innominado	Uceda	2,247
	4	Jarama	Arroyo de Valdesalud	Uceda	1,765
	5	Jarama	Arroyo de Valdelacoja	Uceda	0,837
	6	Jarama	Río Guadalix	Algete Colmenar Viejo San Sebastián de Los Reyes	2,542
ES030-11-04.1	1	Jarama	Río Jarama	Alcobendas Madrid	4,129
	2	Jarama	Río Jarama	San Fernando de Henares Madrid Coslada	3,968
	3	Jarama	Río Jarama	Arganda del Rey Rivas-Vaciamadrid	3,684
	4	Jarama	Arroyo del Valle	Cobeña	1,625
	5	Jarama	Arroyo de la Vega	Alcobendas	5,301
	6	Jarama	Arroyo de Vilches	Arganda del Rey	0,974
ES030-12-04.1	1	Jarama	Río Manzanares	Madrid	29,006
	2	Jarama	Arroyo de Chozas	Soto del Real	1,975
	3	Jarama	Río Navacerrada	Becerril de la Sierra Morlatzarzal	2,166
	4	Jarama	Arroyo de Pozuelo	Pozuelo de Alarcón Madrid	7,117
	5	Jarama	Arroyo de Tajapiés	Fuenlabrada	2,569
					<b>L ARPSI 10</b>
					<b>9,711</b>
					<b>L ARPSI 11</b>
					<b>19,681</b>
					<b>L ARPSI 12</b>
					<b>42,833</b>

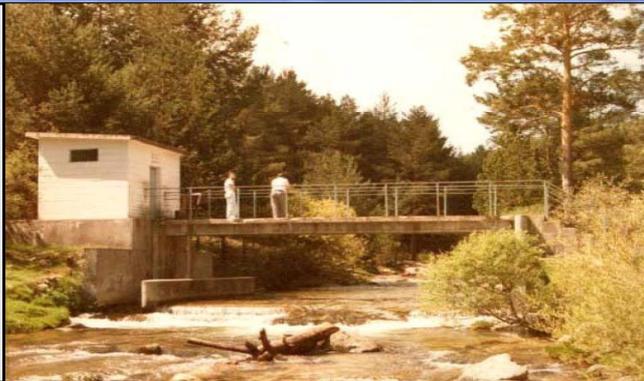
## **Anexo 3**

# C.H. Tajo

# 3002 El Paular

## Identificación

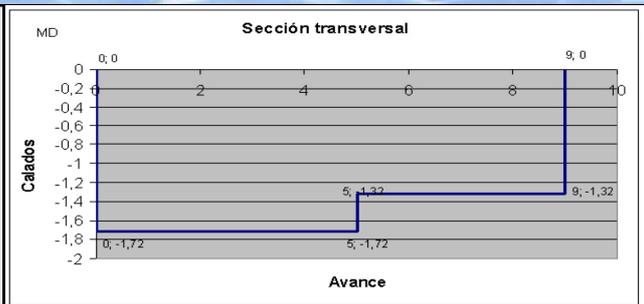
Estado: **Alta** Inicio: **1966** Cota (m): **1.270**  
 Cód. ROEA: **3002** Cód. SAIH: Cód. SAICA:  
 UTM X: **425430** Y: **4522276** Huso: **30** Datum **ED50**  
 UTM X: **425321** Y: **4522069** Huso: **30** Datum **ETRS89**  
 Río: **Lozoya**  
 Cuenca receptora ( Km<sup>2</sup> ): **42**  
 Sistema de explotación: **Macrosistema**  
 T. municipal: **Rascafría**  
 Provincia: **Madrid**  
 Hoja 1:50.000: **Segovia (483)**



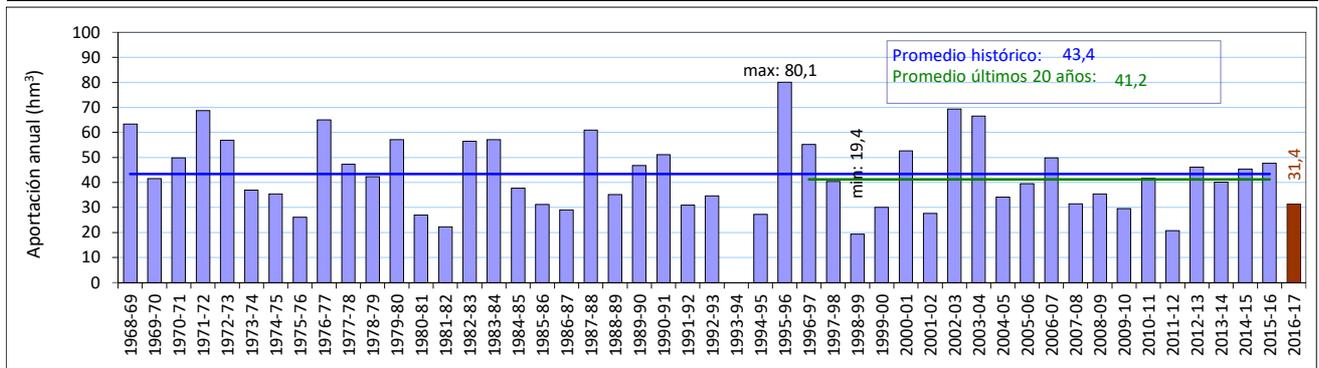
## Tipología

Propietario: -  
 Tipo de estación **Encauzamiento con Canal de Aguas Bajas**  
 Régimen caudales: **Natural**  
 Longitud (m): Ancho (m): **9**  
 Escala: **Sí** (**Exterior**)  
 Caseta: **Sí** (**De Fábrica**)  
 Pasarela: **Sí** Vertedero: **No**

## Sección tipo

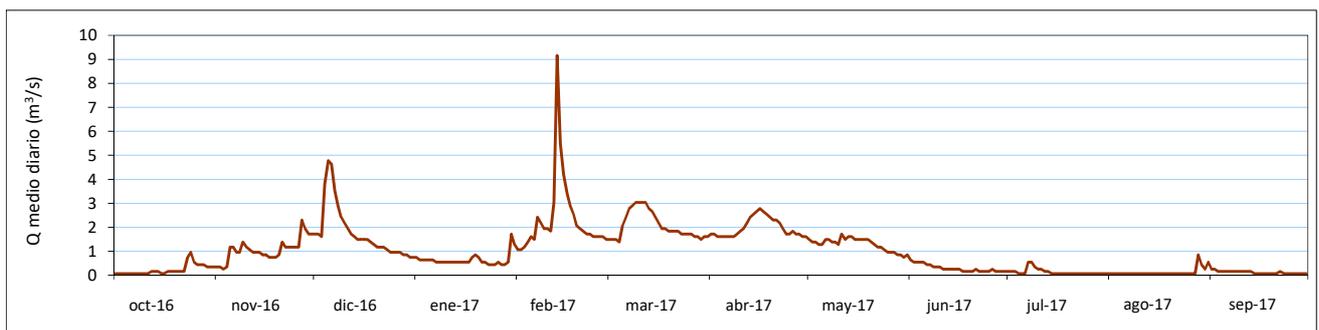


## Estación de Aforo: 3002 Río Lozoya en El Paular



Caudales máximos (m <sup>3</sup> /s)	Qc	fecha Qc	mediana de Qc	Qci	fecha Qci	mediana de Qci
Máximo del periodo histórico	25,9	22/12/1996	8,2	52,8	17/12/1997	12,5
<i>Año 2016-17</i>	<i>9,2</i>	<i>13/02/2017</i>		<i>12,6</i>	<i>13/02/2017</i>	

Aportaciones mensuales (hm <sup>3</sup> )	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep
Mínimo	0,2	0,2	1,0	1,0	0,7	1,0	1,4	1,7	0,7	0,3	0,2	0,2
Máximo	13,9	12,7	17,8	14,2	10,0	13,4	15,6	19,2	13,3	5,5	1,6	2,6
Promedio histórico	2,0	4,4	4,7	4,3	3,8	4,6	6,6	7,1	3,5	1,2	0,6	0,6
<i>Año 2016-17</i>	<i>0,6</i>	<i>2,7</i>	<i>4,7</i>	<i>1,7</i>	<i>5,7</i>	<i>5,5</i>	<i>5,1</i>	<i>3,5</i>	<i>0,8</i>	<i>0,4</i>	<i>0,4</i>	<i>0,3</i>



# C.H. Tajo

# 3054 Pesadilla

## Identificación

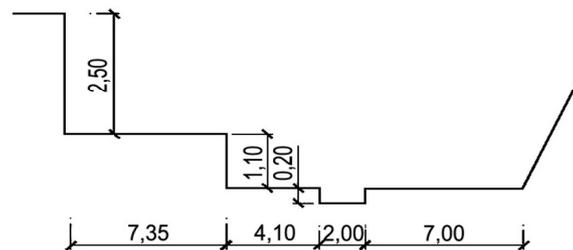
Estado: **Alta** Inicio: **1970** Cota (m): **630**  
 Cód. ROEA: **3054** Cód. SAIH: Cód. SAICA:  
 UTM X: **448420** Y: **4505260** Huso: **30** Datum **ED50**  
 UTM X: **448311** Y: **4505053** Huso: **30** Datum **ETRS89**  
 Río: **Guadalix**  
 Cuenca receptora ( Km<sup>2</sup> ): **238**  
 Sistema de explotación: **Macrosistema**  
 T. municipal: **San Agustin de Guadalix**  
 Provincia: **Madrid**  
 Hoja 1:50.000: **Torrelaguna (509)**



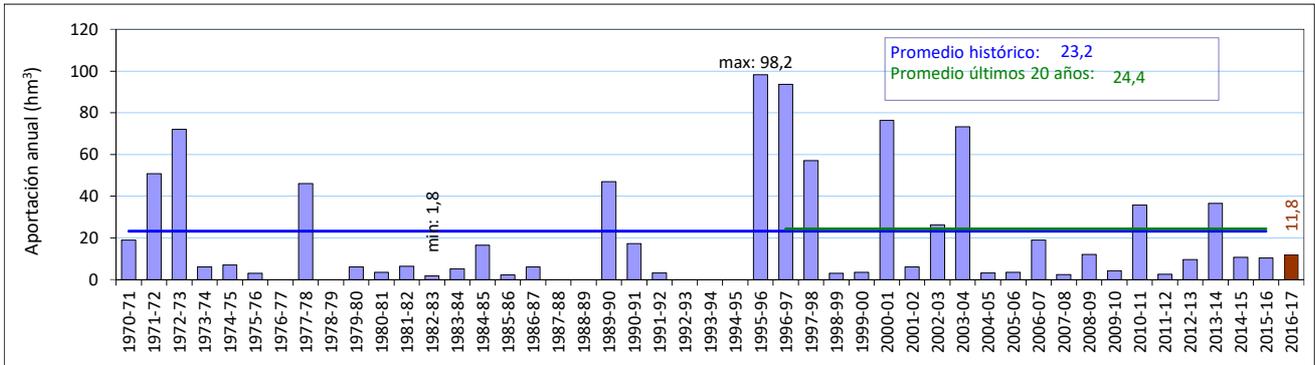
## Tipología

Propietario: -  
 Tipo de estación **Encauzamiento con Canal de Aguas Bajas**  
 Régimen caudales: **Alterado**  
 Longitud (m): Ancho (m): **20,5**  
 Escala: **Sí (Exterior)**  
 Caseta: **Sí (De Fábrica)**  
 Pasarela: **No** Vertedero: **No**

## Sección tipo

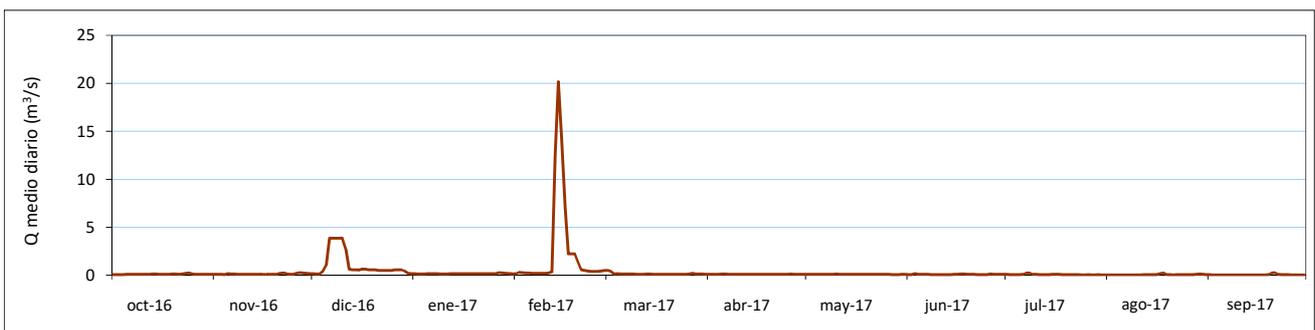


## Estación de Aforo: 3054 Río Guadalix en Pesadilla



Caudales máximos (m³/s)	Qc	fecha Qc	mediana de Qc	Qci	fecha Qci	mediana de Qci
Máximo del periodo histórico	109,6	24/01/1996	7,5	150,2	/02/1977	9,1
<i>Año 2016-17</i>	<i>20,2</i>	<i>14/02/2017</i>		<i>37,0</i>	<i>13/02/2017</i>	

Aportaciones mensuales (hm³)	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep
Mínimo	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Máximo	12,7	17,2	38,3	40,4	37,8	21,7	13,5	8,2	10,0	2,9	2,9	1,3
Promedio histórico	0,7	1,3	3,8	5,9	5,4	2,8	1,8	1,3	0,9	0,4	0,3	0,3
<i>Año 2016-17</i>	<i>0,3</i>	<i>0,3</i>	<i>2,9</i>	<i>0,4</i>	<i>5,9</i>	<i>0,4</i>	<i>0,3</i>	<i>0,3</i>	<i>0,2</i>	<i>0,2</i>	<i>0,2</i>	<i>0,2</i>



# C.H. Tajo

# 3070 Madrid ( P. Sindical )

## Identificación

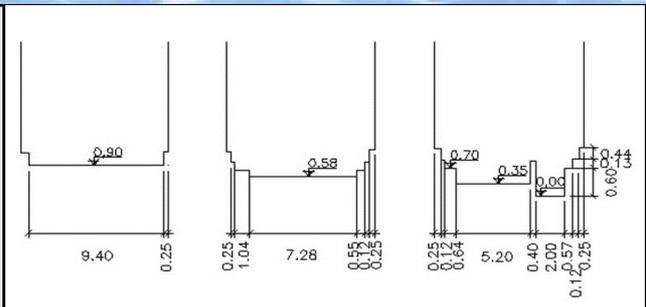
Estado: **Alta** Inicio: **1912** Cota (m): **588**  
 Cód. ROEA: **3070** Cód. SAIH: Cód. SAICA:  
 UTM X: **436715** Y: **4479240** Huso: **30** Datum **ED50**  
 UTM X: **436606** Y: **4479033** Huso: **30** Datum **ETRS89**  
 Río: **Manzanares**  
 Cuenca receptora ( Km<sup>2</sup> ) : **710**  
 Sistema de explotación: **Macrosistema**  
 T. municipal: **Madrid**  
 Provincia: **Madrid**  
 Hoja 1:50.000: **Madrid (559)**



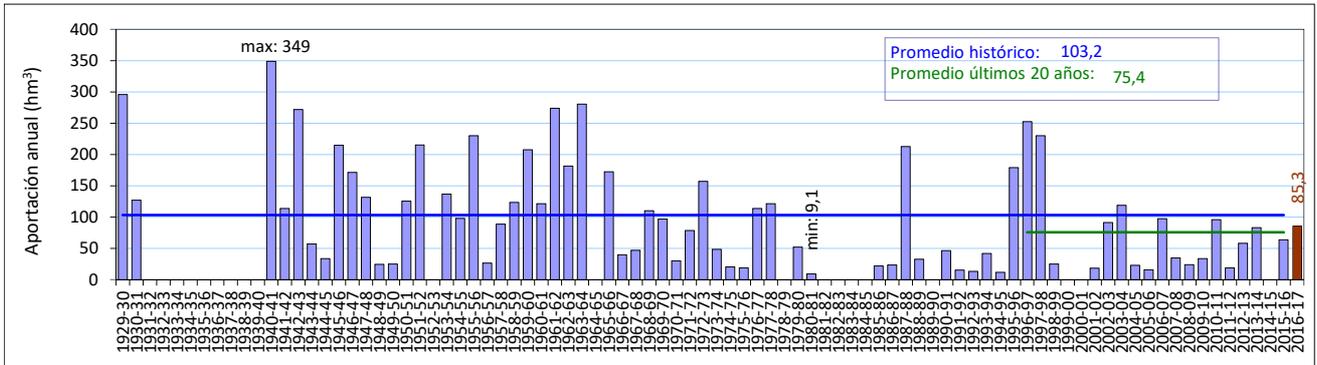
## Tipología

Propietario: -  
 Tipo de estación **Encauzamiento con Canal de Aguas Bajas**  
 Régimen caudales: **Alterado**  
 Longitud (m): Ancho (m):  
 Escala: **Sí (Exterior)**  
 Caseta: **No (Armario)**  
 Pasarela: **No** Vertedero: **No**

## Sección tipo

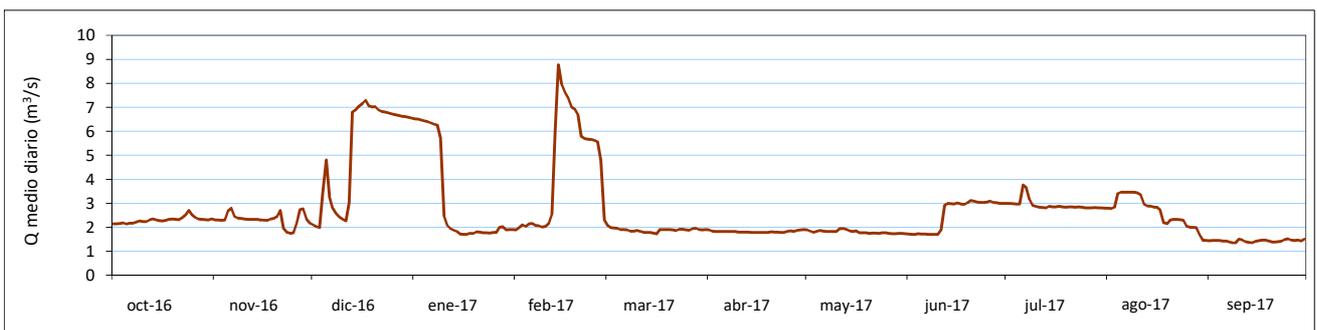


## Estación de Aforo: 3070 Río Manzanares en Madrid (P.Sindical)



Caudales máximos (m <sup>3</sup> /s)	Qc	fecha Qc	mediana de Qc	Qci	fecha Qci	mediana de Qci
Máximo del periodo histórico	346,7	/02/1941	31	350	/01/1936	36
<i>Año 2016-17</i>	<i>8,8</i>	<i>14/02/2017</i>		<i>16,0</i>	<i>06/07/2017</i>	

Aportaciones mensuales (hm <sup>3</sup> )	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep
Mínimo	0,1	0,3	0,2	0,5	0,5	0,4	0,5	0,4	0,3	0,3	0,2	0,0
Máximo	36,9	51,6	85,3	133,1	152,3	80,5	65,2	59,8	44,1	47,1	23,3	27,6
Promedio histórico	4,6	7,3	11,1	14,4	15,7	12,8	11,4	8,3	4,7	4,5	3,9	3,8
<i>Año 2016-17</i>	<i>6,2</i>	<i>6,0</i>	<i>14,1</i>	<i>8,5</i>	<i>10,8</i>	<i>5,1</i>	<i>4,7</i>	<i>4,8</i>	<i>6,6</i>	<i>7,8</i>	<i>7,0</i>	<i>3,7</i>

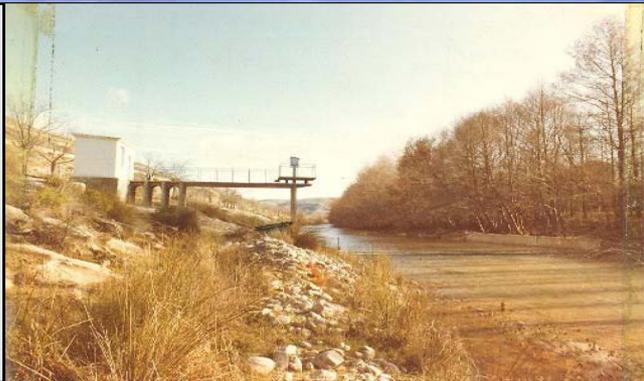


# C.H. Tajo

# 3153 Valdepeñas de la Sierra

## Identificación

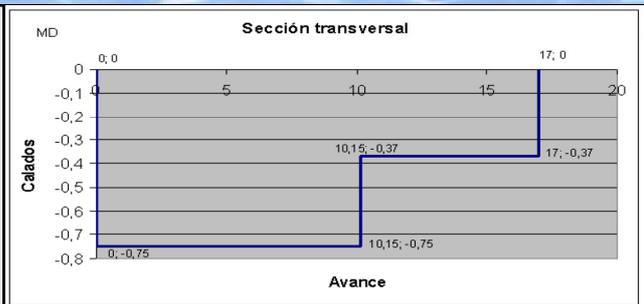
Estado: **Alta** Inicio: **1972** Cota (m): **695**  
 Cód. ROEA: **3153** Cód. SAIH: Cód. SAICA:  
 UTM X: **460720** Y: **4524390** Huso: **30** Datum **ED50**  
 UTM X: **460611** Y: **4524182** Huso: **30** Datum **ETRS89**  
 Río: **Jarama**  
 Cuenca receptora ( Km<sup>2</sup> ): **1.620**  
 Sistema de explotación: **Macrosistema**  
 T. municipal: **Patones**  
 Provincia: **Madrid**  
 Hoja 1:50.000: **Valdepeñas de la Sierra (485)**



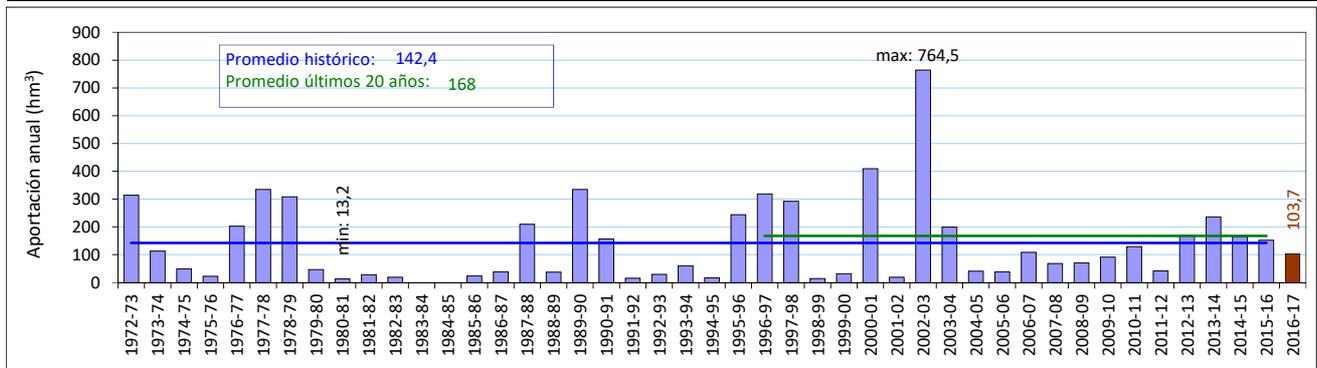
## Tipología

Propietario: -  
 Tipo de estación **Encauzamiento con Canal de Aguas Bajas**  
 Régimen caudales: **Alterado**  
 Longitud (m): Ancho (m): **17**  
 Escala: **Sí** (**Exterior**)  
 Caseta: **Sí** (**De Fábrica**)  
 Pasarela: **No** Vertedero: **No**

## Sección tipo

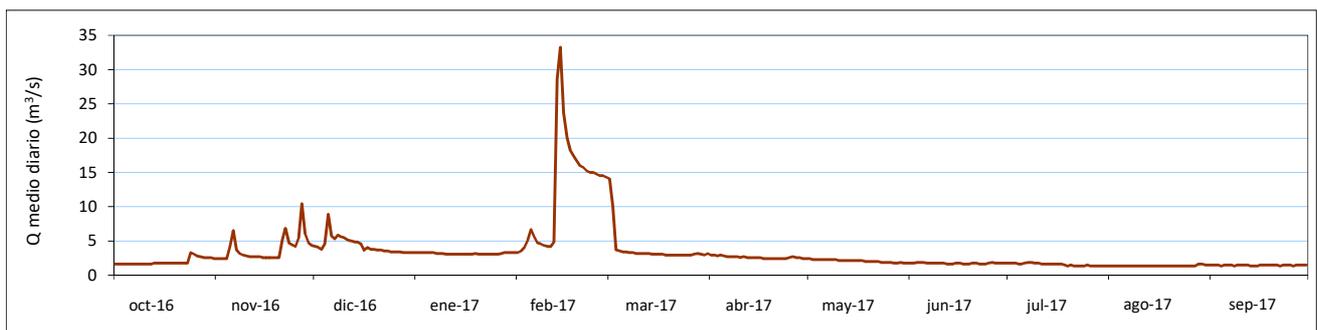


## Estación de Aforo: 3153 Río Jarama en Valdepeñas de la Sierra



Caudales máximos (m <sup>3</sup> /s)	Qc	fecha Qc	mediana de Qc	Qci	fecha Qci	mediana de Qci
Máximo del periodo histórico	328	25/02/1978	27,6	418	24/02/1978	50,1
<i>Año 2016-17</i>	<i>33,3</i>	<i>14/02/2017</i>		<i>47,2</i>	<i>13/02/2017</i>	

Aportaciones mensuales (hm <sup>3</sup> )	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep
Mínimo	0,2	0,6	0,8	0,8	0,8	0,6	0,8	0,4	0,2	0,1	0,0	0,0
Máximo	18,5	119,0	212,2	151,7	167,7	125,0	183,2	67,0	20,9	45,5	8,0	3,7
Promedio histórico	3,4	8,9	21,8	22,9	27,6	18,8	17,1	10,1	4,1	2,4	1,3	1,3
<i>Año 2016-17</i>	<i>5,2</i>	<i>10,0</i>	<i>11,6</i>	<i>8,5</i>	<i>30,1</i>	<i>9,9</i>	<i>6,7</i>	<i>5,6</i>	<i>4,5</i>	<i>4,2</i>	<i>3,7</i>	<i>3,8</i>

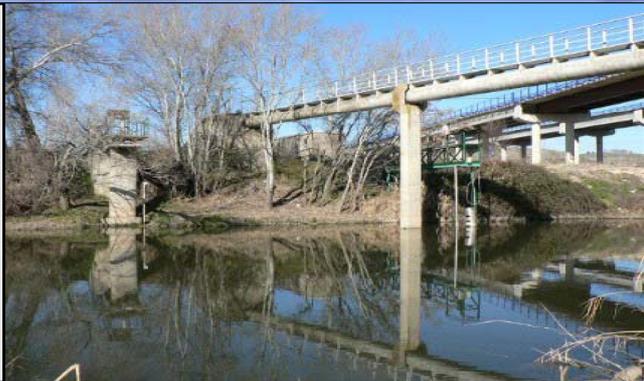


# C.H. Tajo

# 3052 Mejorada del Campo

## Identificación

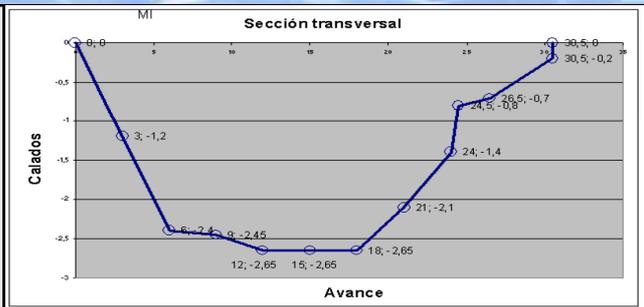
Estado: **Alta** Inicio: **1912** Cota (m): **550**  
 Cód. ROEA: **3052** Cód. SAIH: Cód. SAICA:  
 UTM X: **456875** Y: **4471956** Huso: **30** Datum **ED50**  
 UTM X: **456766** Y: **4471748** Huso: **30** Datum **ETRS89**  
 Río: **Jarama**  
 Cuenca receptora ( Km<sup>2</sup> ) : **7.005**  
 Sistema de explotación: **Macrosistema**  
 T. municipal: **Rivas - Vaciamadrid**  
 Provincia: **Madrid**  
 Hoja 1:50.000: **Alcalá de Henares (560)**



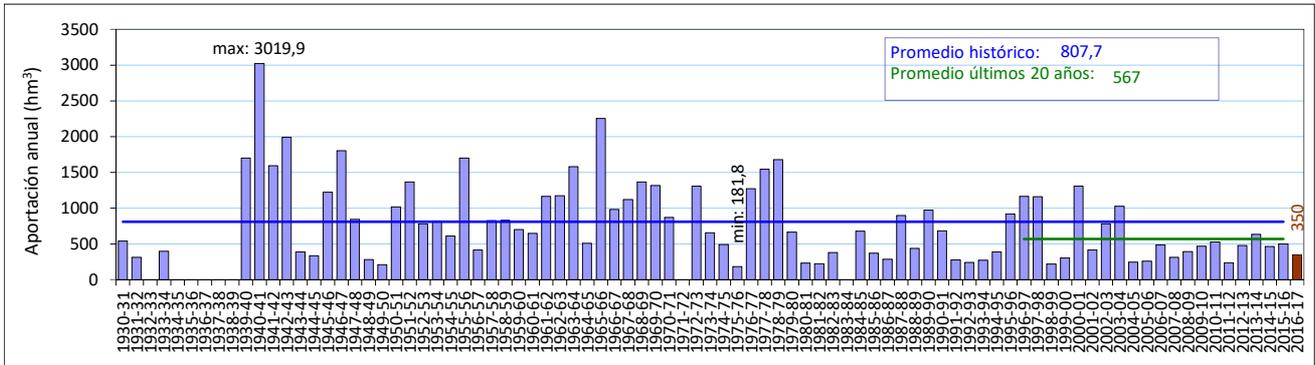
## Tipología

Propietario: **-**  
 Tipo de estación **Cauce Natural**  
 Régimen caudales: **Alterado**  
 Longitud (m): Ancho (m):  
 Escala: **Sí (Exterior)**  
 Caseta: **No (-)**  
 Pasarela: **Sí** Vertedero: **No**

## Sección tipo

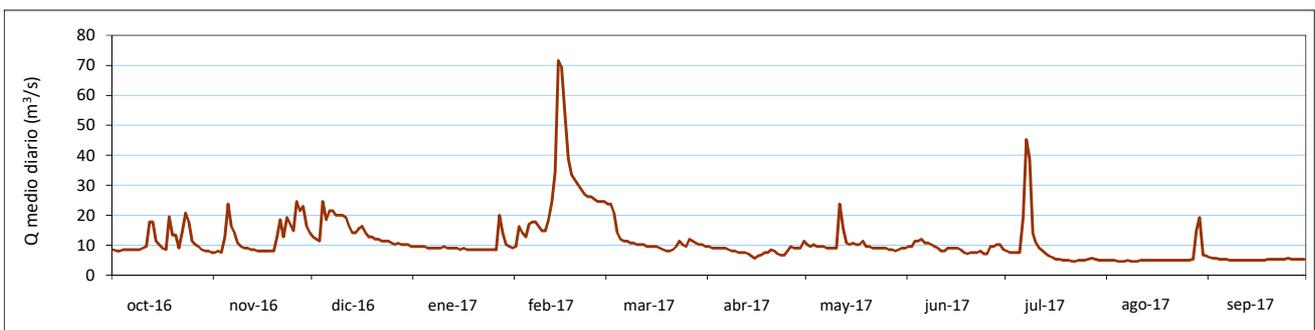


## Estación de Aforo: 3052 Río Jarama en Mejorada del Campo



Caudales máximos (m <sup>3</sup> /s)	Qc	fecha Qc	mediana de Qc	Qci	fecha Qci	mediana de Qci
Máximo del periodo histórico	1063,8	11/01/1970	209,8	1237,5	11/01/1970	235
Año 2016-17	71,6	14/02/2017		151,7	07/07/2017	

Aportaciones mensuales (hm <sup>3</sup> )	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep
Mínimo	1,0	2,8	4,0	5,8	8,8	13,3	13,3	8,4	3,8	1,5	0,8	0,8
Máximo	143,5	371,8	653,2	699,7	591,3	692,0	660,9	407,3	204,4	111,8	95,1	95,5
Promedio histórico	34,4	65,9	86,2	110,0	121,1	127,3	103,0	78,8	44,0	22,9	16,7	21,3
Año 2016-17	29,5	33,6	38,7	25,6	66,1	30,7	21,1	27,2	23,7	24,6	15,6	13,5



# C.H. Tajo

# 3174 Puente Titulcia

## Identificación

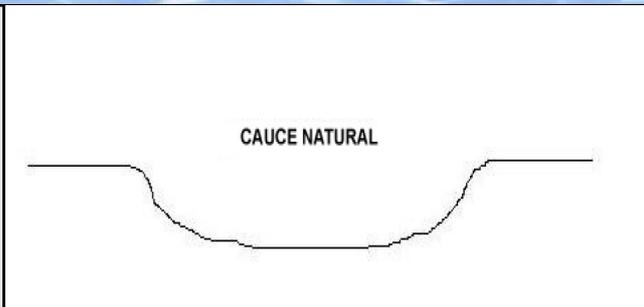
Estado: **Alta** Inicio: **2009** Cota (m): **498**  
 Cód. ROEA: **3174** Cód. SAIH: Cód. SAICA:  
 UTM X: **450631** Y: **4443307** Huso: **30** Datum **ED50**  
 UTM X: **450521** Y: **4443099** Huso: **30** Datum **ETRS89**  
 Río: **Jarama**  
 Cuenca receptora ( Km<sup>2</sup> ) : **8.890**  
 Sistema de explotación: **Macrosistema**  
 T. municipal: **Ciempozuelos**  
 Provincia: **Madrid**  
 Hoja 1:50.000: **Aranjuez (605)**



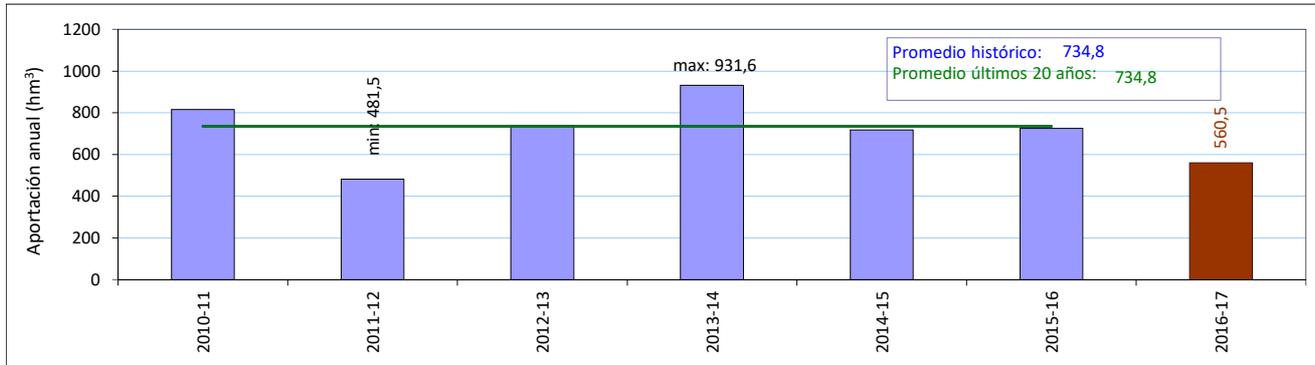
## Tipología

Propietario: -  
 Tipo de estación **Cauce Natural**  
 Régimen caudales: -  
 Longitud (m): Ancho (m):  
 Escala: - (-)  
 Caseta: - (**Armario**)  
 Pasarela: - Vertedero: -

## Sección tipo



## Estación de Aforo: 3174 Río Jarama en Puente Titulcia



Caudales máximos (m³/s)	Qc	fecha Qc	mediana de Qc	Qci	fecha Qci	mediana de Qci
Máximo del periodo histórico	187,4	17/02/2014	128,4	217,4	29/09/2012	173,3
Año 2016-17	111,8	08/07/2017		211,3	08/07/2017	

Aportaciones mensuales (hm³)	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep
Mínimo	54,6	50,4	47,2	41,3	36,9	36,8	36,1	36,6	15,3	14,7	10,4	28,2
Máximo	75,2	72,1	93,7	112,2	252,5	140,9	162,6	154,1	42,3	27,0	25,1	54,7
Promedio histórico	64,3	62,3	66,9	73,8	105,2	98,9	92,3	68,6	29,6	20,5	19,9	43,4
Año 2016-17	49,6	58,4	59,4	45,7	88,0	50,0	25,1	42,6	32,5	49,3	25,8	34,2

