



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos,
Canales y Puertos

Estudio del trasvase de sedimentos depositados en los embalses y restitución del flujo sedimentario fluvial para regenerar las playas valencianas entre el Delta del Ebro y el Puerto de Dénia.

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos

AUTOR/A: Hernandez Ojeda, Efrén

Tutor/a: Medina Folgado, Josep Ramon

Cotutor/a: Gómez Martín, María Esther

CURSO ACADÉMICO: 2021/2022



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ETS INGENIERÍA DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

Estudio del trasvase de sedimentos depositados en los embalses y restitución del flujo sedimentario fluvial para regenerar las playas valencianas entre el Delta del Ebro y el Puerto de Dénia.

Presentado por

Hernández Ojeda, Efrén

Para la obtención del

Master Universitario en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos

Curso: 2021/2022

Fecha: 05 de septiembre de 2022

Tutor: Josep Ramón Medina Folgado

Cotutor: M^a Esther Gómez Martín



Agradecimientos

A mi madre, por su apoyo incondicional y por enseñarme a no tirar nunca la toalla y a confiar en mí.

A mi padre, por su ánimo y cariño; y al resto de mis familiares de los que he estado lejos de casa estos cursos.

A mi prima Iris por toda una vida juntos y sacarme siempre una sonrisa.

A mi abuelo Felipe, para que desde donde esté siempre se sienta orgulloso de mí.

A mis tutores, Josep Medina y Esther Gómez, gracias por los consejos, ayuda e implicación en la realización de este trabajo.

Al Centro de Estudios Hidrográficos, en especial a Antonio Jiménez; y a la Dirección Técnica de la C.H.J., en especial a Cristina Solá, por el aporte de la documentación necesaria sin la cual no hubiera sido posible el desarrollo del trabajo.

A Alejandro Mazarío Rodríguez y a Justo Mora Alonso-Muñoyerro, miembros del Comité Técnico de Sedimentos de SPANCOLD, y a Félix Francés García, profesor del Dpto. de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente de la Universitat Politècnica de València, por colaborar con la recopilación de documentación y artículos técnicos.

Por último, a mis compañeros del máster, en especial a Kilian, José Manuel, Iván, Adrián, María, Camila y Álvaro, sin los cuales no se hubiera entendido la aventura en Valencia y que se han convertido en familia.

Resumen

Millones de metros cúbicos de sedimentos en embalses valencianos reducen su capacidad y dañan las playas, generando una retracción en la línea de costa y una pérdida del litoral en gran medida. Soluciones globales sostenibles para revertir el proceso erosivo de las playas mediterráneas han sido estudiadas bajo el escenario actual y futuro de cambio climático. Tienen una mayor importancia para la regeneración costera la granulometría de sedimentos gruesos, gravas y arenas, que se almacenan en su totalidad en los deltas de cola de los embalses; y que proviene principalmente de la erosión potencial que se desarrolla en las cuencas vertientes de los mismos.

Se plantean estrategias para trasvasar sedimentos en las barreras fluviales (embalses, presas) como solución para restablecer flujos sedimentarios naturales. Las tasas de pérdidas anuales de sedimentos se han elaborado a través de estudios batimétricos y reconocimientos sedimentológicos proporcionados por el CEDEX y la CHJ; el resto de datos de sedimentos en embalses de los que no se tenía esta documentación se han tratado mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Se establecen las características que debe incorporar un plan de gestión de sedimentos dentro de la cuenca hidrográfica del Júcar, así como un ejemplo de la aplicación más factible en el caso concreto del embalse de María Cristina del total de técnicas exploradas dentro del documento.

Palabras clave:

Embalse; sedimentación; aterramiento; transvase; litoral; regeneración de playas; restitución de flujo sedimentario.

Resum

Milions de metres cúbics de sediments en embassaments valencians redueixen la seua capacitat i danyen les platges, generant una retracció en la línia de costa i una pèrdua del litoral en gran mesura. Solucions globals sostenibles per a revertir el procés erosiu de les platges mediterrànies han sigut estudiades sota l'escenari actual i futur de canvi climàtic. Tenen una major importància per a la regeneració costera la granulometria de sediments gruixuts, graves i arenes, que s'emmagatzemen en la seua totalitat als deltes de cua dels embassaments; i que prové principalment de l'erosió potencial que es desenvolupa a les conques vessants d'aquests.

Es plantegen estratègies per transvasar sediments en les barreres fluvials (embassaments, preses) com a solució per a restablir fluxos sedimentaris naturals. Les taxes de pèrdues anuals de sediments s'han elaborat a través d'estudis batimètrics i reconeixements sedimentològics proporcionats pel CEDEX i la CHX; la resta de dades de sediments a embassaments dels quals no es tenia aquesta documentació s'han tractat mitjançant Sistemes d'Informació Geogràfica (SIG).

S'estableixen les característiques que ha d'incorporar un pla de gestió de sediments dins de la conca hidrogràfica del Xúquer, així com un exemple de l'aplicació més factible en el cas concret de l'embassament de María Cristina del total de tècniques explorades dins del document.

Paraules clau:

Embassament; sedimentació; aterrament; transvassament; litoral; regeneració de platges; restitució de flux sedimentari.

Abstract

Millions of cubic meters of sediment in Valencian reservoirs reduce their capacity and damage beaches, causing a retraction of the coastline and a loss of shoreline to a large extent. Global sustainable solutions to reverse the erosion process of Mediterranean beaches have been studied under the current and future scenario of climate change. Of major importance for coastal regeneration are coarse sediments, gravels and sands, all of which are stored in reservoir tailing deltas, and which come mainly from the potential erosion that develops in the reservoir basin areas.

Strategies will be proposed to by-pass sediments in river barriers (reservoirs, dams) are proposed as a solution to restore natural sediment flows. The annual sediment loss rates have been elaborated through bathymetric studies and sedimentological reports provided by the CEDEX and the Jucar River Basin; the rest of the sediment data in reservoirs for which this documentation was not available have been processed using Geographic Information Systems (GIS).

The characteristics that a sediment management plan should incorporate within the Jucar River Basin are established, as well as an example of the most feasible application in the specific case of the María Cristina reservoir of the total number of techniques explored in the document.

Keywords:

Reservoir; sedimentation; siltation; by-pass; coastline; beach nourishment; sediment flow restitution.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1.	Introducción.....	14
2.	Estado de la técnica.	16
2.1.	Problemática de sedimentos en embalse	16
2.1.1.	Problemática en el interior de embalses	17
	Eutrofia.....	21
2.1.2.	Problemática Aguas Abajo del Embalse	22
2.1.3.	Influencia en la morfología del río	23
2.2.	Afecciones a la costa. Erosión de playas.....	24
2.3.	Cambio climático	27
2.4.	Sedimentos acumulados en embalses españoles.	28
2.5.	Gestión de sedimentos en embalses.....	36
2.5.1.	Técnicas de trasvase con guiado de sedimentos.	38
	Bypass o trasvase en torno al embalse	38
	Túnel o canal de circunvalación.....	39
2.5.2.	Técnicas de trasvase de sedimentos a través del embalse.....	41
	Sluicing.....	41
2.5.3.	Técnicas de removilización y/o redistribución de los depósitos de sedimentos.	44
	Flushing o descargas controladas	44
	Excavación o dragado en seco.....	46
	Dragado hidráulico	46
2.6.	Procesos erosivos en la costa valenciana.	47
3.	Cuenca Hidrográfica del Júcar y sedimentos en sus embalses	53
3.1.	Características generales.....	53
3.2.	Embalses y presas de la cuenca.	57
3.3.	Estudios batimétricos y sedimentológicos. Metodología seguida.....	65
3.3.1.	Procedimiento de los informes técnicos batimétricos.	65
3.3.2.	Procedimiento de los informes técnicos sedimentológicos.....	69
	Determinación de densidad del sedimento y distribución en el embalse.....	70
	Ecuación Universal de Pérdida de Suelo. <i>U.S.L.E.</i> y Mapa de Estados Erosivos	72
	Coeficiente de Entrega de Sedimentos.....	75
3.3.3.	Densidad media de los sedimentos dentro de la cuenca.....	79
3.4.	Sedimentos acumulados en embalses CHJ	80
3.4.1.	Tasas de aterramiento.	83
	Eficiencia del atrapamiento en los embalses	83
	Degradaciones Específicas de Cuencas y Pérdidas anuales de capacidad.....	87



3.5.	Sedimentos que no llegan a la costa valenciana	89
4.	Metodología de gestión de sedimentos en la C.H.J.....	92
4.1.	Planificación propuesta.	95
5.	Aplicación al cauce fluvial Rambla de La Viuda – Embalse de María Cristina.	97
6.	Conclusiones.....	105
7.	Referencias	107
ANEXO I:	APORTACIONES MEDIAS ANUALES A EMBALSES	114
ANEXO II:	MAPAS DE ESTADOS EROSIVOS EN CUENCAS VERTIENTES A EMBALSES.....	138
ANEXO III:	ORDEN DE STRAHLER EN CUENCAS VERTIENTES	158

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Situación de aterramiento de embalses por cuenca hidrográfica en 2003 y 2025 (fuente: Cobo, R., 2008).....	30
Tabla 2. Situación de aterramiento de embalses por cuenca hidrográfica en 2050 (fuente: Cobo, R., 2008).....	31
Tabla 3. Composición media, expresada en porcentaje, de sedimentos de los embalses de la C.H. del Júcar estudiados (fuente: Cedex (Estudios Sedimentológicos), 1991-2001 y Sanz et al., 1998)	35
Tabla 4. Diferencia entre Sluicing y Flushing (traducción propia; fuente: Morris, 2020).	42
Tabla 5. Estimación de la capacidad de transporte longitudinal de sedimentos (Alguacil, 2020).....	52
Tabla 6. Superficie de la DHJ por provincia y comunidad autónoma, y porcentaje de participación (fuente: Memoria. Plan Hidrológico de la DHJ. Ciclo 2022-2027)	54
Tabla 7. Superficie de sistemas de explotación de la Cuenca Hidrográfica del Júcar (fuente: Memoria. Plan Hidrológico de la DHJ. Ciclo 2022-2027)	56
Tabla 8. Recurso Total, aportación en la red principal y secundaria, y salidas al mar de la DHJ. Serie reciente 1980/81-2017/18 (hm ³ /año) (fuente:Anejo 2 - Memoria. Plan Hidrológico de la DHJ. Ciclo 2022-2027).....	57
Tabla 9. Datos de las presas y embalses estudiados (elaboración propia según datos del SNCZI y SEPREM)	61
Tabla 10. Informes batimétricos y sedimentológicos obtenidos	65
Tabla 11. Clasificación textura de sedimentos (fuente: Reconocimiento sedimentológico. CEDEX, 2001)	70
Tabla 12. Cuenca Embalse de Bellús: Ejemplo de obtención de relación de bifurcación (Elaboración propia).....	76
Tabla 13. Obtención del Coeficiente de Entrega de Sedimentos (Elaboración propia)	78
Tabla 14. Valor de densidades de sedimentos en embalses (fuente: Reconocimientos sedimentológicos. CEDEX, 1991-2001).	79
Tabla 15. Cálculo del Aporte Medio (Tn/año) de sedimentos a embalses, sin estudio batimétrico (Elaboración propia).....	82
Tabla 16. Eficiencia de atrapamiento en embalses de la D.H.J. (Elaboración propia) .	86
Tabla 17. Degradación específica de las cuencas y pérdida de capacidad anual (Elaboración propia).....	88
Tabla 18. Pérdida de sedimentos en el litoral según sistemas de explotación (Elaboración propia).....	89

Tabla 19. Resultados para el flujo del sedimento en la Cuenca del Ebro (fuente: Artana, P. (2015)).....	90
Tabla 20. Datos Embalse y Presa María Cristina (fuente: SNCZI)	98
Tabla 21. Embalse Alarcón: Aportación media anual. Anuario de Aforos - CEDEX....	114
Tabla 22. Embalse Alcora: Aportación media anual. Anuario de Aforos - CEDEX.....	115
Tabla 23. Embalse Amadorio: Aportación media anual. Anuario de Aforos - CEDEX	116
Tabla 24. Embalse Arenós: Aportación media anual. Anuario de Aforos - CEDEX ...	117
Tabla 25. Embalse Arquillo de San Blas: Aportación media anual. Anuario de Aforos - CEDEX	118
Tabla 26. Embalse Beniarrés: Aportación media anual. Anuario de Aforos - CEDEX	119
Tabla 27. Embalse Buseo: Aportación media anual. Anuario de Aforos - CEDEX.....	120
Tabla 28. Embalse Contreras: Aportación media anual. Anuario de Aforos - CEDEX	121
Tabla 29. Embalse Forata: Aportación media anual. Anuario de Aforos - CEDEX	122
Tabla 30. Embalse Benageber: Aportación media anual. Anuario de Aforos - CEDEX	123
Tabla 31. Embalse Guadalest: Aportación media anual. Anuario de Aforos - CEDEX	124
Tabla 32. Embalse Loriguilla: Aportación media anual. Anuario de Aforos - CEDEX.	125
Tabla 33. Embalse Maria Cristina: Aportación media anual. Anuario de Aforos - CEDEX	126
Tabla 34. Embalse Regajo: Aportación media anual. Anuario de Aforos - CEDEX ...	127
Tabla 35. Embalse Sichar: Aportación media anual. Anuario de Aforos - CEDEX.....	128
Tabla 36. Embalse La Toba: Aportación media anual. Anuario de Aforos - CEDEX..	129
Tabla 37. Embalse Ulldecona: Aportación media anual. Anuario de Aforos - CEDEX	130
Tabla 38. Embalse Almansa: Aportación media anual. Anuario de Aforos - CEDEX.	131
Tabla 39. Embalse Bellús: Aportación media anual. Anuario de Aforos - CEDEX	132
Tabla 40. Embalse Cortes II: Aportación media anual. Anuario de Aforos - CEDEX .	133
Tabla 41. Embalse Escalona: Aportación media anual. Anuario de Aforos - CEDEX	134
Tabla 42. Embalse El Molinar: Aportación media anual. Anuario de Aforos - CEDEX	135
Tabla 43. Embalse El Naranjero: Aportación media anual. Anuario de Aforos - CEDEX	136
Tabla 44. Embalse Tous: Aportación media anual. Anuario de Aforos - CEDEX.....	137

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Entrada y distribución de los sedimentos en el vaso de un embalse (fuente: Cobo, 2008).....	18
Figura 2. Estructura de la columna de agua de embalses y lagos (fuente: Morris & Fan, 1998).	19
Figura 3. Mecanismo general de la eutrofización de embalses (fuente: Guía técnica de seguridad en presas Nº9 - Spancold, 2016).....	22
Figura 4. Evolución de la playa de Benidorm (1960-2005) (fuente: Ministerio de Medio Ambiente, 2016).....	25
Figura 5. Alteración en el Delta del Ebro (fuente: Google).....	26
Figura 6. Capacidades clasificadas y acumuladas de los embalses españoles (fuente: Libro Blanco del Agua en España, 2000).....	30
Figura 7. Distribución de las presas españolas localizadas a máximo 100km de la costa (fuente: Sánchez, 2008).....	33
Figura 8. Mapa de terrenos calizos, silíceos y arcillosos, y situación de los 51 embalses estudiados (fuente: Sanz et al. (1998)).....	34
Figura 9. Clasificación de estrategias para la gestión de sedimentos. (Traducción y elaboración propia a partir de Kondolf et al. (2014) y Morris (2020)).....	37
Figura 10. Construcción de embalse fuera del curso fluvial principal (fuente: Agència Catalana de l'Aigua, 2018).....	39
Figura 11. Técnica de bypass mediante construcción de un túnel aprovechando existencia de meandro, o canal de derivación para caudales de crecida (fuente: Agència Catalana de l'Aigua, 2018).....	40
Figura 12. Representación esquemática de las operaciones de "sluicing" (fuente: Kondolf et al., 2014 a).....	41
Figura 13. Esquema del paso de una corriente de turbidez (o densidad) a través de un embalse (fuente: Agència Catalana de l'Aigua, 2018).....	43
Figura 14. Secuencia del proceso de flushing o descarga controlada (fuente: Morris, 2020).....	45
Figura 15. Flujo natural de sedimentos (fuente: Alguacil, 2020).....	47
Figura 16. Esquema de descomposición del oleaje y del transporte de sedimentos generado (fuente: De la Peña, 2007).....	48
Figura 17. Evidencias morfológicas del transporte sólido longitudinal (fuente: De la Peña, 2007).....	48
Figura 18. Líneas de costa de los años 1956, 1997 y 2018 respectivamente (fuente: Alguacil, (2020)).....	49
Figura 19. Ejemplo de evolución de la costa en el tramo entre el Delta del Ebro y Peñíscola (Alguacil, 2020).....	50
Figura 20. Ejemplo de evolución de la costa en el tramo entre Burriana y Sagunto (Alguacil, 2020).....	50
Figura 21. Ejemplo de evolución de la costa en el tramo entre Valencia y el faro de Cullera (Alguacil, 2020).....	51
Figura 22. Estimación de la capacidad de transporte longitudinal de sedimentos (Alguacil, 2020).....	52
Figura 23. Ámbito territorial de la Demarcación Hidrográfica del Júcar (fuente: Memoria. Plan Hidrológico de la DHJ. Ciclo 2022-2027).....	54
Figura 24. Sistemas de explotación de la Demarcación Hidrográfica del Júcar (fuente: Memoria. Plan Hidrológico de la DHJ. Ciclo 2022-2027).....	55
Figura 25. Puntos finales de la red fluvial principal y secundaria de la DHJ (fuente: Anejo 2 - Memoria. Plan Hidrológico de la DHJ. Ciclo 2022-2027).....	56
Figura 26. Embalses principales de la Demarcación Hidrográfica del Júcar (fuente: Memoria. Plan Hidrológico de la DHJ. Ciclo 2022-2027).....	58
Figura 27. Situación de los embalses dentro de la C.H.J. (fuente: Google Earth).....	59
Figura 28. Temporalidad del régimen hidrológico de las masas de agua superficial de la D.H.J. (fuente: Memoria. Plan Hidrológico de la DHJ. Ciclo 2022-2027).....	60
Figura 29. Embalses estudiados y Ríos Principales de la D.H.J. (Elaboración propia).....	63

Figura 30. Embalses estudiados dentro de sus respectivos sistemas de explotación (Elaboración propia).....	64
Figura 31. Gráfico de Visuales y Puntos de Apoyo del vuelo fotogramétrico del embalse de Forata (fuente: Estudio de capacidad útil - Embalse de Forata. Cedex, 2001).....	67
Figura 32. Ejemplo de ecosonda en embalse (fuente: Google Imágenes)	67
Figura 33. Curva Cota-Superficie del Embalse Benagéber en 1992 (fuente: CEDEX, 1994)	68
Figura 34. Curva Cota- Volumen del Embalse Benagéber en 1992 (fuente: CEDEX, 1994)	69
Figura 35. Posición de las muestras tomadas en el embalse de Buseo (fuente: Reconocimiento sedimentológico. CEDEX, 1991).	71
Figura 36. Distribución superficial de los sedimentos en el embalse de Buseo (fuente: Reconocimiento sedimentológico. CEDEX, 1991)	71
Figura 37. Embalse de Alarcón: Estado erosivo de la cuenca de aporte (Elaboración propia). ...	74
Figura 38. Cuenca Embalse de Bellús: Orden de cauces según Strahler (Elaboración propia)...	76
Figura 39. Relación lineal para obtener pendiente de la recta de R.B. - Embalse de Bellús (Elaboración propia).....	77
Figura 40. Cuencas aportadoras o vertientes de los embalses de la D.H.J. (Elaboración Propia)	81
Figura 41. Curvas eficiencia atrapamiento de sedimentos propuesta por Brune (1953)	84
Figura 42. Curvas eficiencia atrapamiento de sedimentos propuesta por Linsley (fuente: Artana, P. (2015))	84
Figura 43. Pérdida de volumen de sedimento anual en la costa valenciana (fuente: Google Earth)	91
Figura 44. Curvas de volumen de almacenamiento y variación según procesos de gestión de sedimentos (fuente: García, 2008)	94
Figura 45. Vista aérea del Embalse de Isbert (fuente: Google Earth).....	96
Figura 46. Situación del Embalse de María Cristina (fuente: Google Earth).....	97
Figura 47. Presa del Embalse de María Cristina vista general (fuente: iAguas).....	98
Figura 48. Curva Cota-Volumen del Embalse de María Cristina (fuente: C.H.J. – Estudio batimétrico, 2020)	99
Figura 49. Ruta escogida para los camiones en la gestión de sedimento del Embalse de María Cristina (fuente: Google Maps).....	102
Figura 50. Zona de acopio del sedimento grueso del embalse (fuente: Google Earth).....	102
Figura 51. Cordones de sedimento en el punto de aporte de sedimento (fuente: Agència Catalana de l'Aigua, 2021).....	103
Figura 52. Hidrograma de la descarga programada (fuente: Agència Catalana de l'Aigua, 2021)	104
Figura 53. Embalse Alarcón: Aportación media anual.	114
Figura 54. Embalse Alcora: Aportación media anual.	115
Figura 55. Embalse Amadorio: Aportación media anual.	116
Figura 56. Embalse Arenós: Aportación media anual.	117
Figura 57. Embalse Arquillo de San Blas: Aportación media anual.	118
Figura 58. Embalse Beniarrés: Aportación media anual.	119
Figura 59. Embalse Buseo: Aportación media anual.	120
Figura 60. Embalse Contreras: Aportación media anual.....	121
Figura 61. Embalse Forata: Aportación media anual.	122
Figura 62. Embalse Benageber: Aportación media anual.	123
Figura 63. Embalse Guadalest: Aportación media anual	124
Figura 64. Embalse Loriguilla: Aportación media anual.	125
Figura 65. Embalse María Cristina: Aportación media anual	126
Figura 66. Embalse Regajo: Aportación media anual.	127
Figura 67. Embalse Sichar: Aportación media anual.	128
Figura 68. Embalse La Toba: Aportación media anual.	129
Figura 69. Embalse Ulldecona: Aportación media anual.....	130
Figura 70. Embalse Almansa: Aportación media anual.....	131
Figura 71. Embalse Bellús: Aportación media anual.....	132
Figura 72. Embalse Cortes II: Aportación media anual.	133

Figura 73. Embalse Escalona: Aportación media anual.....	134
Figura 74. Embalse El Molinar: Aportación media anual.....	135
Figura 75. Embalse El Naranjero: Aportación media anual.....	136
Figura 76. Embalse Tous: Aportación media anual.....	137
Figura 77. Embalse de La Toba: Estado erosivo de la cuenca de aporte (Elaboración propia). 138	
Figura 78. Embalse de Picazo: Estado erosivo de la cuenca de aporte (Elaboración propia). ..	138
Figura 79. Embalse de Alarcón: Estado erosivo de la cuenca de aporte (Elaboración propia). ..	139
Figura 80. Embalse de El Molinar: Estado erosivo de la cuenca de aporte (Elaboración propia).	139
Figura 81. Embalse de Cortes II: Estado erosivo de la cuenca de aporte (Elaboración propia). 140	
Figura 82. Embalse de El Naranjero: Estado erosivo de la cuenca de aporte (Elaboración propia).	140
Figura 83. Embalse de Tous: Estado erosivo de la cuenca de aporte (Elaboración propia).	141
Figura 84. Embalse de Escalona: Estado erosivo de la cuenca de aporte (Elaboración propia).	141
Figura 85. Embalse de El Batanejo: Estado erosivo de la cuenca de aporte (Elaboración propia).	142
Figura 86. Embalse de El Bujioso: Estado erosivo de la cuenca de aporte (Elaboración propia).	142
Figura 87. Embalse de Contreras: Estado erosivo de la cuenca de aporte (Elaboración propia).	143
Figura 88. Embalse de Forata: Estado erosivo de la cuenca de aporte (Elaboración propia)... 143	
Figura 89. Embalse de Almansa: Estado erosivo de la cuenca de aporte (Elaboración propia). 144	
Figura 90. Embalse de Bellús: Estado erosivo de la cuenca de aporte (Elaboración propia). ... 144	
Figura 91. Embalse de Buseo: Estado erosivo de la cuenca de aporte (Elaboración propia). ... 145	
Figura 92. Embalse de Arquillo de San Blas: Estado erosivo de la cuenca de aporte (Elaboración propia).....	145
Figura 93. Embalse de Benageber: Estado erosivo de la cuenca de aporte (Elaboración propia).	146
Figura 94. Embalse de Loriguilla: Estado erosivo de la cuenca de aporte (Elaboración propia). 146	
Figura 95. Embalse de El Regajo: Estado erosivo de la cuenca de aporte (Elaboración propia).	147
Figura 96. Embalse de Algar: Estado erosivo de la cuenca de aporte (Elaboración propia).	147
Figura 97. Embalse de Valbona: Estado erosivo de la cuenca de aporte (Elaboración propia). 148	
Figura 98. Embalse de Mora de Rubielos: Estado erosivo de la cuenca de aporte (Elaboración propia).....	148
Figura 99. Embalse de Balagueras: Estado erosivo de la cuenca de aporte (Elaboración propia).	149
Figura 100. Embalse de Los Toranes: Estado erosivo de la cuenca de aporte (Elaboración propia).....	149
Figura 101. Embalse de Arenós: Estado erosivo de la cuenca de aporte (Elaboración propia). 150	
Figura 102. Embalse de Cirat: Estado erosivo de la cuenca de aporte (Elaboración propia).... 150	
Figura 103. Embalse de Vallat: Estado erosivo de la cuenca de aporte (Elaboración propia). .. 151	
Figura 104. Embalse de Ribesalbes: Estado erosivo de la cuenca de aporte (Elaboración propia).	151
Figura 105. Embalse de Sichar: Estado erosivo de la cuenca de aporte (Elaboración propia). .. 152	
Figura 106. Embalse de Onda: Estado erosivo de la cuenca de aporte (Elaboración propia). .. 152	
Figura 107. Embalse de Alcora: Estado erosivo de la cuenca de aporte (Elaboración propia).. 153	
Figura 108. Embalse de María Cristina: Estado erosivo de la cuenca de aporte (Elaboración propia).....	153
Figura 109. Embalse de Ulldecona: Estado erosivo de la cuenca de aporte (Elaboración propia).	154
Figura 110. Embalse de Beniarrés: Estado erosivo de la cuenca de aporte (Elaboración propia).	154
Figura 111. Embalse de Isbert: Estado erosivo de la cuenca de aporte (Elaboración propia). .. 155	

Figura 112. Embalse de Guadalest: Estado erosivo de la cuenca de aporte (Elaboración propia).	155
Figura 113. Embalse de Amadorio: Estado erosivo de la cuenca de aporte (Elaboración propia).	156
Figura 114. Embalse de Tibi: Estado erosivo de la cuenca de aporte (Elaboración propia).	156
Figura 115. Embalse de Elche: Estado erosivo de la cuenca de aporte (Elaboración propia).	157
Figura 116. Cuenca Embalse de La Toba: Orden de cauces según Strahler (Elaboración propia)	158
Figura 117. Cuenca Embalse de Picazo: Orden de cauces según Strahler (Elaboración propia)	158
Figura 118. Cuenca Embalse de Alarcón: Orden de cauces según Strahler (Elaboración propia)	159
Figura 119. Cuenca Embalse de El Molinar: Orden de cauces según Strahler (Elaboración propia)	159
Figura 120. Cuenca Embalse de Cortes II: Orden de cauces según Strahler (Elaboración propia)	160
Figura 121. Cuenca Embalse de El Naranjero: Orden de cauces según Strahler (Elaboración propia)	160
Figura 122. Cuenca Embalse de Tous: Orden de cauces según Strahler (Elaboración propia)	161
Figura 123. Cuenca Embalse de Escalona: Orden de cauces según Strahler (Elaboración propia)	161
Figura 124. Cuenca Embalse de El Batanejo: Orden de cauces según Strahler (Elaboración propia)	162
Figura 125. Cuenca Embalse de El Bujioso: Orden de cauces según Strahler (Elaboración propia)	162
Figura 126. Cuenca Embalse de Contreras: Orden de cauces según Strahler (Elaboración propia)	163
Figura 127. Cuenca Embalse de Forata: Orden de cauces según Strahler (Elaboración propia)	163
Figura 128. Cuenca Embalse de Almansa: Orden de cauces según Strahler (Elaboración propia)	164
Figura 129. Cuenca Embalse de Bellús: Orden de cauces según Strahler (Elaboración propia)	164
Figura 130. Cuenca Embalse de Buseo: Orden de cauces según Strahler (Elaboración propia)	165
Figura 131. Cuenca Embalse Arquillo de San Blas: Orden de cauces según Strahler (Elaboración propia)	165
Figura 132. Cuenca Embalse de Loriguilla: Orden de cauces según Strahler (Elaboración propia)	166
Figura 133. Cuenca Embalse de El Regajo: Orden de cauces según Strahler (Elaboración propia)	166
Figura 134. Cuenca Embalse de Algar: Orden de cauces según Strahler (Elaboración propia)	167
Figura 135. Cuenca Embalse de Los Toranes: Orden de cauces según Strahler (Elaboración propia)	167
Figura 136. Cuenca Embalse de Arenós: Orden de cauces según Strahler (Elaboración propia)	168
Figura 137. Cuenca Embalse de Vallat: Orden de cauces según Strahler (Elaboración propia)	168
Figura 138. Cuenca Embalse de Ribesalbes: Orden de cauces según Strahler (Elaboración propia)	169
Figura 139. Cuenca Embalse de Sichar: Orden de cauces según Strahler (Elaboración propia)	169
Figura 140. Cuenca Embalse de Onda: Orden de cauces según Strahler (Elaboración propia)	170
Figura 141. Cuenca Embalse de Alcora: Orden de cauces según Strahler (Elaboración propia)	170
Figura 142. Cuenca Embalse de Ulldecona: Orden de cauces según Strahler (Elaboración propia)	171

Figura 143. Cuenca Embalse de Isbert: Orden de cauces según Strahler (Elaboración propia)	171
Figura 144. Cuenca Embalse de Guadalest: Orden de cauces según Strahler (Elaboración propia).....	172
Figura 145. Cuenca Embalse de Tibi: Orden de cauces según Strahler (Elaboración propia)...	172
Figura 146. Cuenca Embalse de Elche: Orden de cauces según Strahler (Elaboración propia)	173

1. Introducción.

La interacción del ser humano con el medio natural siempre ha generado un impacto en este último. El caso de los embalses es ejemplo de ello, donde se genera un “efecto barrera” en el territorio, pero sobre todo en cursos fluviales. Los embalses son sumamente necesarios, pues cumplen múltiples funciones como el almacenamiento de agua para consumo o riego, la laminación de avenidas, la producción de energía a través de las centrales hidroeléctricas, etc. Sin embargo, es inherente al almacenamiento y transcurso del agua tanto en los embalses, como en azudes o cualquier otro elemento de retención de flujo, la interrupción de la carga sólida formada por material erosionado que llega a los mismo en forma de sedimentos.

La gestión de sedimentos en las cuencas de los ríos y vías fluviales ha sido un tema importante para los gestores del agua a lo largo de la historia, por ejemplo, desde las antiguas civilizaciones, con la gestión de la sedimentación de material en llanuras de inundación para proporcionar nutrientes a sus cultivos, hasta los problemas actuales de sedimentación en los grandes embalses y en el mantenimiento de los sistemas fluviales. La naturaleza cambiante de los sedimentos debido al aumento de la población humana (y los cambios resultantes en el uso de la tierra y el aumento del uso del agua), el número creciente de estructuras artificiales, como presas y diques, así como el creciente reconocimiento de la importancia de los sedimentos en el transporte y el destino de nutrientes y contaminantes en los sistemas fluviales ha hecho que los gestores del agua se enfrenten hoy a muchos y complejos retos técnicos y medioambientales en relación con la gestión de los sedimentos.

De los problemas derivados de la sedimentación en embalses como la pérdida de capacidad y la influencia de la pérdida de aporte de sedimentos en el cauce aguas abajo del cuerpo de presa, entre otros, se une la interrupción del sedimento grueso, gravas y arenas, que tienen como meta la desembocadura de cauces y ríos; y que sin embargo se depositan en los deltas de cola de los embalses por su velocidad de sedimentación. Este tamaño de partícula como es el de arenas ($2 - 0.064$ mm) se hace esencial para la regeneración costera de playas, pues al suprimir este aporte, junto con el sucesivo aumento del nivel del mar y la construcción de barreras costeras a la dinámica litoral, se potencia las zonas de erosión y acreción, generando una retracción del litoral y la modificación de la línea de costa con terribles consecuencias.

En el presente trabajo se estudiarán las diversas consecuencias del aterramiento de los embalses y la supresión del aporte de flujo sedimentario fluvial tanto para el propio río como para los entornos costeros. Se centrará en el estudio del estado erosivo de la Demarcación Hidrográfica del Júcar en cuanto a los sedimentos en embalses y a sus cuencas vertientes; y en las pérdidas anuales de material que no consigue llegar a las costas valencianas. Además de la posible implantación de medidas en la gestión de sedimentos, a través del estudio de diferentes técnicas aplicadas ya en diferentes partes del mundo.

2. Estado de la técnica.

2.1. Problemática de sedimentos en embalse

El agua es un bien necesario para la continuidad de la vida. Históricamente las civilizaciones se han asentado en las riberas de ríos para satisfacer necesidades diarias básicas. No obstante, la escasez de agua derivada del aumento de la población mundial, el cambio climático, sequías, aumento de la temperatura, desertificación, etc. hace que sea necesario el almacenamiento de agua. La construcción de presas y embalses genera una serie de beneficios a la sociedad como la generación de energía eléctrica, disponibilidad para el abastecimiento de agua, control de avenidas y laminación de las mismas, uso de agua para riego, incluso la explotación deportiva y de recreo derivada de la navegabilidad del río y del propio embalse. Alrededor del mundo se encuentran registradas un total de 58.713 presas (ICOLD, 2020), la demanda de agua continúa creciendo y alcanzará tasas del 2-3% anual en las siguientes décadas. En la actualidad, almacenan unos 7.718 km³ de agua (ICOLD, 2020), colaborando estas infraestructuras a la gestión de unos recursos hídricos finitos, repartidos desigualmente, y afectados a una variabilidad estacional cada vez más acrecentada por el cambio climático.

Los principales problemas que presentan la gestión de embalses, tanto a nivel mundial como en la Península Ibérica específicamente, son la alteración de los regímenes de caudales, la eutrofización, la interrupción de transporte de sedimentos y la introducción de especies exóticas, influenciado por el cambio climático (Palau, 2006). La planificación de explotación de recursos hídricos se trata de un reto debido la falta de concreción de los efectos del cambio climático, la evolución de los consumos y los usos del suelo.

Sin embargo, debido a la edad de estas infraestructuras se generan ya algunos daños medioambientales. Uno de ellos es el atrapamiento de sedimentos aguas arriba del cuerpo de presa. La colmatación de sedimentos junto con la eutrofización son los principales problemas de los embalses mundialmente; y sobre todo en áreas del planeta donde la erosionabilidad de suelos es elevada y la irregularidad de escorrentía natural está presente (Palau, 2002). El rendimiento operacional del embalse decrece, como los beneficios derivados de la generación de energía hidroeléctrica, regadío, suministro de agua y el control de avenidas.

De forma tradicional, siempre se ha tratado la gestión de los embalses centrándose en el uso consuntivo (con consumo, el agua usada no se devuelve al medio captado) y el uso no consuntivo (sin consumo, el agua utilizada es devuelta al medio del que se ha

extraído) (*Prats et al., 2014*); sin hacer hincapié en los procesos de su estado ecológico y químico y su influencia en la calidad aguas abajo. Los embalses son sistemas creados para gestionarlos de forma eficaz, pero hay que ir más allá del pensamiento de un volumen de agua retenida por una infraestructura como es una presa. Los embalses de tratan de sistemas naturalizados, que han sido colonizados por microorganismos, animales y plantas. El agua que se encuentra está influenciada por procesos físicos, químicos y biológicos que alteran la calidad de la misma; asimilándose bastante a los que ocurren en lagos naturales. Entra en práctica por tanto la limnología, siendo la parte de la ecología que estudia las masas de agua continentales (lagos, embalses, ríos, arroyos y humedales) y abarca diversas ciencias.

2.1.1. Problemática en el interior de embalses

Los sedimentos depositados en los embalses únicamente no causan la pérdida de capacidad de estos, sino que también provocan consecuencias negativas aguas abajo y aguas arriba. Además, los tramos de río aguas abajo y aguas arriba de la presa están indirectamente afectados.

El sedimento depositado en el embalse causa una elevación del lecho del río, que progresa en sentido aguas arriba del cauce. Esto tendrá similares efectos en el delta que se forma en la cola de los embalses y algunos ayudarán al aumento del nivel freático local, a la reducción en la capacidad de inundación del cauce, a la disminución del espacio de navegación debajo de puentes, en el caso que los haya, la influencia de las desviaciones y extracciones de agua, y la sumersión de la ribera del río (*Bruck, 1985*).

Desde un punto de vista ecológico, la retención de sedimentos genera además una alteración en el transporte de nutrientes y de materia orgánica (*Palau, 2006*). El depósito de sedimentos se relaciona con el tiempo de permanencia o de residencia del agua en el sistema, siendo este el embalse; así como, la velocidad del agua, las avenidas extraordinarias y la utilización de la toma de fondo para la extracción de agua. Cuanto menor tiempo de residencia se dé en el embalse, menor será la cantidad de sedimentos que se depositen en su fondo; pero la variación de velocidad que experimenta el flujo en la entrada al embalse y la misma variación cercana al cuerpo de presa, como se ha mencionado anteriormente, son grandes hándicaps que sortear en la gestión de sedimentos en estas infraestructuras.

La calidad de los sólidos en suspensión también se modifica por la situación de los embalses; disminuyendo la fracción de material grueso, ya que sedimenta, y

aumentando la fracción orgánica, ocasionada por la producción de fitoplacton en el interior del embalse (*Palau, 2006*).

Resulta muy útil distinguir entre sedimentos gruesos y finos, cada uno tiene su rol en el sistema fluvial y sus características para ser atrapado en el embalse. El sedimento grueso, formado por gravas y arenas, podría considerarse como el elemento estructural de la mayoría de los lechos de río, se trata de un material que constituye el fondo del cauce, bancos y a menudo orillas y riberas. Además, muchas características geomórficas que funcionan como hábitats importantes, como elevaciones del lecho, están compuestas por sedimentos gruesos (gravas y cantos rodados) (*Kondolf et al., 2014 a*). Aguas abajo del cuerpo de presa, se reduce el aporte de sedimentos gruesos provocando la incisión del canal y la pérdida de calidad de los hábitats acuáticos y su afección a la biodiversidad del entorno.

Los sedimentos de granulometría fina, como los limos y arcillas, son importantes para la estructura de algunas formaciones fluviales, como las llanuras de inundación y las marismas de estuarios; sin embargo, también desempeñan funciones importantes distintas a las de sedimentos gruesos, como generar turbidez, y su papel en el transporte de nutrientes y adsorción de contaminantes en las partículas de arcilla (*Kondolf et al., 2014 a*).

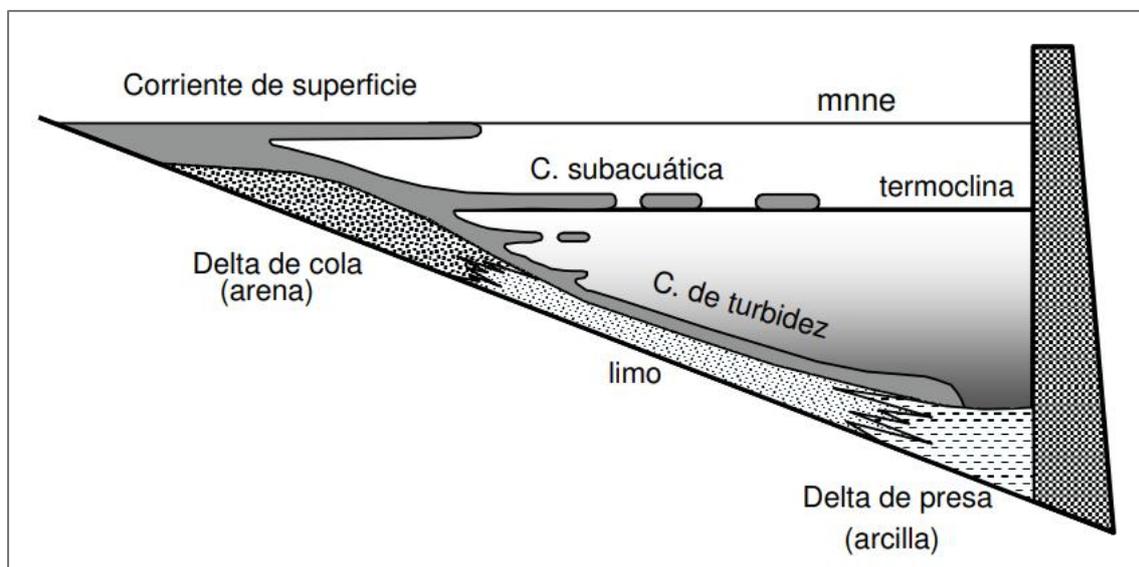


Figura 1. Entrada y distribución de los sedimentos en el vaso de un embalse (fuente: Cobo, 2008)

Desde el punto de vista operacional y medioambiental de los embalses es importante conocer el proceso de temperatura y estratificación que sufren. Las masas de agua como lagos y embalses de más de un par de metros de profundidad tienen una fuerte tendencia a la estratificación debido a cambios en la densidad del fluido a causa de la

diferencia de temperaturas y sólidos suspendidos (*Morris & Fan, 1998*). La estratificación por temperatura es un fenómeno generalizado, resultado del calentamiento de la superficie de agua por el sol y que genera un sistema de tres capas formado por:

- “Epilimnion”, una capa verticalmente mezclada de agua superficial más cálida y bien oxigenada.
- “Metalimnion”, zona de rápido cambio de temperatura y densidad.
- “Hypolimnion”, la zona más fría, oscura y con agotamiento de oxígeno.

La “termoclina” se llega a definir como la zona relativamente estrecha en la que el gradiente de temperatura de al menos 1°C por metro de profundidad, mientras que el “metalimnion” abarca generalmente la termoclina y la columna de agua adyacente caracterizada como de transición entre la superficie y las aguas profundas. En los lagos y embalses más productivos, el agua hipolímica que está atrapada bajo la termoclina se vuelve anaeróbica, es decir, sin presencia de oxígeno debido a la demanda de este elemento por los organismos descomponedores y los sedimentos orgánicos. En la Figura 2 se puede observar las capas descritas anteriormente y su posición en el embalse, coincidiendo sus límites con el cambio de gradiente de temperatura y la variación de la de la demanda de oxígeno que se da en la columna de agua.

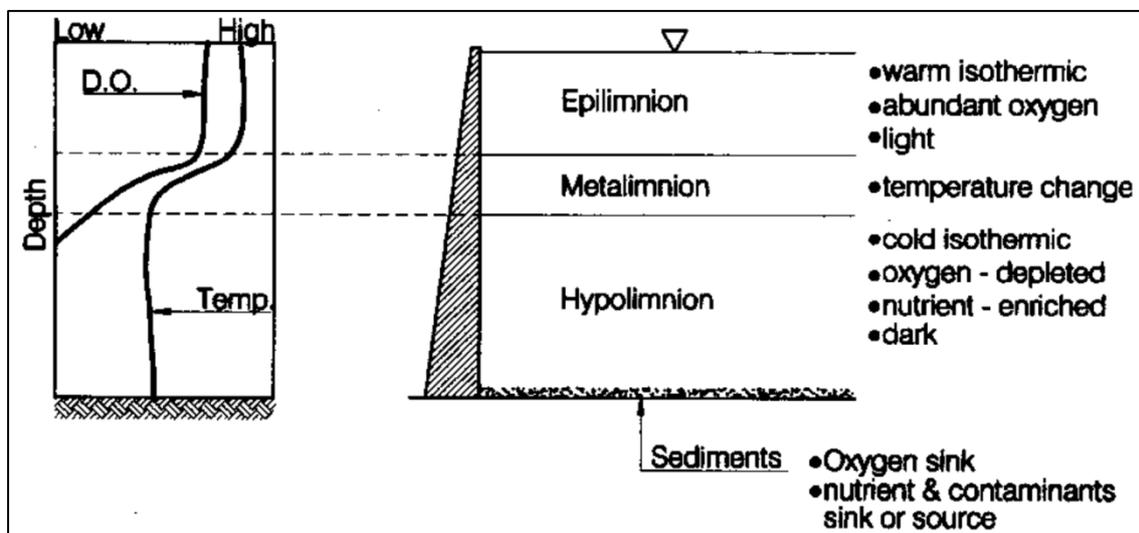


Figura 2. Estructura de la columna de agua de embalses y lagos (fuente: *Morris & Fan, 1998*).

La diferencia de densidad por grado centígrado de cambio de temperatura se eleva en función de la temperatura del agua. Por ejemplo, la variación de densidad causada por un grado a la temperatura de 24°C es tres veces mayor que el cambio de densidad a 9°C (*Morris & Fan, 1998*). De esta forma, los embalses situados en zonas tropicales pueden estar fuertemente estratificados a pesar de que los gradientes de temperatura

son mucho menores que en los embalses de zonas templadas. Las diferencias potenciales de densidad debidas a los sólidos en suspensión son un orden de magnitud mayor que las debidas a las diferencias de temperatura y pueden hacer que el flujo de entrada turbio caliente se sumerja sobre el agua más fría y se desplace a lo largo del embalse como una corriente de densidad turbia. Estas corrientes pueden llegar a transportar una cantidad considerable de sedimentos, en su mayoría finos, hasta zonas cercanas al cuerpo de presa.

La estratificación de los embalses y lagos está dirigida por fuerzas variables estacionales como la energía solar, la temperatura del flujo del agua entrante y la concentración variable de sólidos suspendidos. Si se miden los perfiles de temperatura a lo largo de un año, los lagos y embalses de zonas templadas del planeta mostrará una fuerte estratificación en verano debido al calentamiento por el sol en sus aguas superficiales; sin embargo, las condiciones isotérmicas se dan en invierno, eliminando el gradiente de densidad y permitiendo que toda la columna de agua se mezcle verticalmente, se produce un intercambio (*Morris & Fan, 1998*). Durante este proceso los nutrientes acumulados en aguas profundas vuelven a la superficie, a modo de resuspensión, donde pueden promover el crecimiento de las algas en primavera con el aumento de la temperatura y de las horas de luz; llegando a producir problemas como la eutrofia. Los embalses y lagos que se mezclan dos veces al año, una en otoño y otra en primavera, se denominan “dimícticos”; mientras que si el embalse o lago es más superficial se encuentra frecuente o continuamente mezclado a lo largo del año y no llega a presentar las capas anteriormente descritas en este apartado, llamándose “polimíctico”.

La estratificación estacional térmica en los embalses modifica el régimen térmico de los sistemas fluviales regulados, así como las respuestas de la temperatura de las corrientes al cambio climático. Las descargas frías del hipolimnio, que es la zona donde la mayoría de los embalses se descargan, bien por desagüe de fondo, intermedio, o para mantener el caudal ecológico, pueden reducir la temperatura del río aguas abajo durante las estaciones cálidas. Los recientes estudios a gran escala sobre la temperatura de los ríos han ignorado en gran medida la estratificación térmica dentro de los embalses (*Cheng et al., 2020*). Este cambio de temperatura afecta directamente a la diversidad del cauce aguas abajo, en especies de peces e invertebrados.

Las regulaciones de los embalses, y la estratificación térmica estacional resultante, influyen en las temperaturas del río aguas abajo. Los embalses con tiempos de residencia más largos están estratificados y almacenan en su hipolimnio el agua fría de

las anteriores estaciones (*Cheng et al.*, 2020); esto es importante a la hora de movilizar los sedimentos dentro de un flujo de agua ya que es importante conocer la densidad del agua y el movimiento que tendrán las partículas en dicho flujo. Es importante indicar que, entre embalses con tiempos de residencia similares, la estratificación térmica tiende a ser más notable en los lugares más cálidos donde los embalses están sujetos a flujos de energía superficiales más fuertes.

Eutrofia

La eutrofización es otro proceso negativo en los embalses donde el tiempo de residencia del agua dentro del sistema es elevada. La eutrofia en ecosistemas acuáticos se debe a la elevada cantidad de nutrientes generando por tanto una superpoblación de fitoplancton (*Prats et al.*, 2014). Influye la estratificación térmica de los embalses ya que el superávit de biomasa generada en la zona la que tiene presencia de luz y abundancia de oxígeno sedimenta hacia el fondo donde se sintetiza por organismos con ayuda del oxígeno del agua del hipolimnion anóxico. Si la producción de biomasa en la superficie es elevada, llegaría a consumirse todo el oxígeno de las capas profundas del embalse.

En estas condiciones anóxicas intervienen las reacciones dentro de la columna de agua con elementos como el fósforo, el nitrógeno y metales pesados y en la interfase agua-sedimentos, con posibles consecuencias adversas. Además, las reacciones de reducción y oxidación que se producen pueden ser corrosivas para el hierro y el cemento, en resumen, para las estructuras hidráulicas, y generar malas características organolépticas, o la liberación de metales pesados que se encuentran adsorbidos. Tanto en lagos como en embalses el sedimento es el receptor final de la mayoría de los contaminantes; y una vez acumulados estos en la capa de sedimentos, esta actúa como fuente contaminante, a través de procesos de resuspensión y bioturbación por consumo del oxígeno disuelto y actividad de seres vivos en el sedimento (*Hansen et al.*, 2013). Por tanto, los factores que pueden cambiar el equilibrio de la interfase agua-sedimento y causar la disolución de contaminantes son la descomposición de materia orgánica cambiando las condiciones del potencial de reducción en la interfase, la resuspensión del sedimento por la bioturbación, la acción de los vientos o durante eventos de avenidas importantes. Es importante mencionar que los sedimentos contaminados son en su mayoría siempre de granulometría fina debido a la capacidad de adsorción y de reacción de los limos y las arcillas; frente a sedimentos más estables formado por gruesos.

Además, ciertos contaminantes o metales pesados con baja solubilidad que se aglutinan y fijan en los sedimentos son sensibles a las modificaciones de parámetros

físico-químicos, como por ejemplo la temperatura y el pH, ayudando como se ha comentado anteriormente a la movilidad de estos contaminantes, a su disolución y aumento de concentración en el agua.

La eutrofización en embalses viene promovida por dos causas esenciales como son el aporte de nutrientes desde la cuenca aportadora y la materia orgánica presente en el interior del embalse en su llenado inicial (*Prats et al., 2014*).

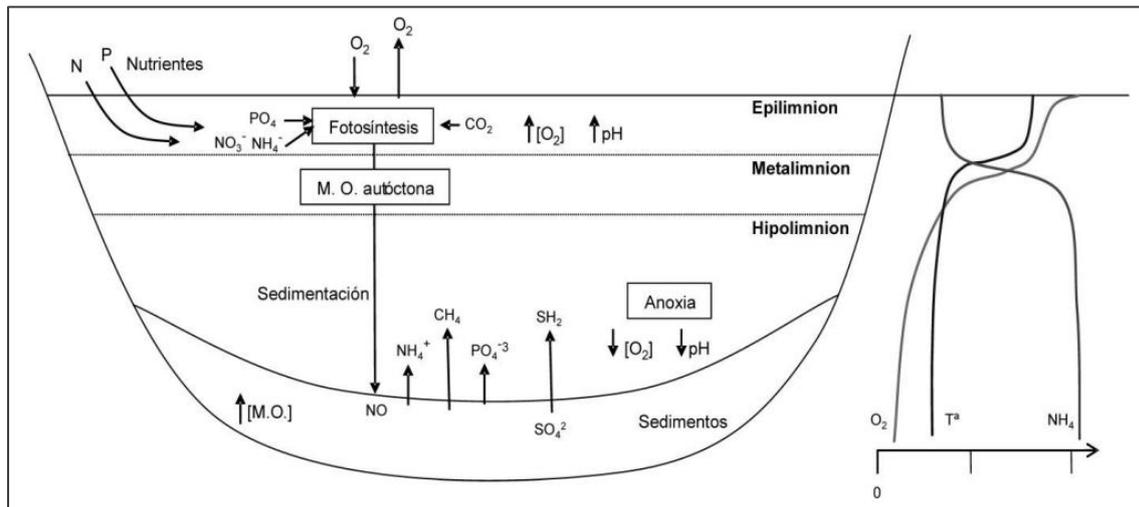


Figura 3. Mecanismo general de la eutrofización de embalses (fuente: Guía técnica de seguridad en presas N°9 - Spangold, 2016)

2.1.2. Problemática Aguas Abajo del Embalse

En cuanto a los tramos aguas abajo de los cuerpos de presa, los efectos negativos son mayores al quedarse atrapados los sedimentos o verse minorada la carga de sedimentos en el caudal total del río. La pérdida de sedimentos aguas abajo de la presa causa la degradación en el canal y cambios en la vida acuática; debido al cambio en las condiciones de la carga del flujo de sedimentos como se ha mencionado.

Los impactos asociados aguas abajo con el atrapamiento de sedimentos por parte de los embalses son muy diferentes de los efectos aguas arriba. Los problemas que se generan acarrear alteraciones en el equilibrio del sistema fluvial y el medioambiente (*Liu et al, 2017*). Se modifica, por ejemplo, la distribución granulométrica natural del río por la retención de la mayoría de la fracción gruesa de las partículas en el embalse.

Generalmente, los embalses originan una disminución en la envergadura de las avenidas aguas abajo de la presa (*Prats et al., 2014*), es decir, modifican el régimen de caudales. Este hecho puede originar un asentamiento más lento de la vegetación de ribera, reducciones en el hábitat para peces de la llanura de inundación, o generación

de hábitats debido a aguas lentas de macrófitos (bioindicadores del estado fisicoquímico y la calidad de las aguas) (*Prats et al.*, 2014). Además, el descenso de caudales puede provocar el asiento de sedimentos finos que colmaten zonas de desove de peces y afectar a especies de macroinvertebrados acuáticos característicos de ríos con lechos de grava.

La reducción del suministro de sedimentos puede generar amenazas medioambientales en la estabilidad a largo plazo de deltas fluviales en un escenario de hundimiento y de subida del nivel del mar (*Syvitski et al.*, 2009). Muchas otras tipologías de humedales también necesitan del aporte continuo de sedimentos para mantener su funcionamiento ecológico y diversidad biológica (*Liu et al.*, 2017). Los entornos de los estuarios suelen depender de la sedimentación de materiales ricos en nutrientes para mantener la cría de peces. Cuando los sedimentos son atrapados aguas arriba estos activos ecológicos puede verse deficientes de sedimentos y nutrientes, incluso llegando a dejar de funcionar como ecosistemas de humedal.

Otro impacto aguas abajo distinto del enfoque medioambiental de la sedimentación en embalses es el daño las infraestructuras. La reducción de la carga de sedimentos aguas abajo al cuerpo de presa puede fomentar, como se ha mencionado, la erosión de los cauces, pero también de las riberas y alrededor de estructuras como pilas de puentes. La erosión excesiva puede socavar y dañar estas estructuras. Ejemplo de ello es el caso del río Rin, en Suiza, donde se han construido entre los años 50 y 70 un gran número de embalses en los Alpes como centrales hidroeléctricas, los cuales tras investigaciones del balance de sedimentos del lecho se ha demostrado que el desarrollo del río y la excavación del lecho han cambiado significativamente la morfología del río y el balance de sedimentos, así como la alteración de la estabilidad de los puentes y de las estructuras de desviación de aguas (*Liu et al.*, 2017).

2.1.3. Influencia en la morfología del río

Las descargas modificadas de agua en los tramos inmediatamente a continuación al cuerpo de presa y con contenido reducido de sedimentos socaban el lecho del río. El transporte de la carga del lecho aumentará en dirección aguas abajo hasta conseguir equilibrar la capacidad del transporte y la carga de sedimentos. Un canal más profundo será favorable para el paso de las crecidas, aunque la degradación del lecho del río tendrá consecuencias negativas (*Bruk*, 1985):

- El aumento de la profundidad del cauce del río puede afectar al nivel freático del valle, ya sea bajándolo si el agua subterránea fluye hacia el río o reduciendo el aporte al agua subterránea si esta se alimenta del río.
- Puede provocar contaminación de aguas subterráneas o incrementar la salinidad del suelo en zonas próximas a estuarios.
- Además, puede ayudar a socavar la estructura y las riberas de los ríos.

Los vertidos liberados por la presa podrían estar saturados de sedimentos si una gran parte son arrastrados aguas abajo de esta. La capacidad erosiva fluvial se ve reducida ocasionando depósitos de sedimentos en el cauce y aumentar el nivel del lecho del río dificultaría el paso de las avenidas, provocando la formación de meandros o de nuevas zonas inundables. La incorporación de modelos matemáticos en los proyectos de esta índole se hace esencial para observar el impacto que se tiene en la morfología de los ríos (*Bruk, 1985*).

La reducción de las avenidas menores y medias a causa del embalse y el aprisionamiento de la mayor parte de los sedimentos impide, por ejemplo, conducir el limo fértil a las tierras del valle del río. Hay que señalar que, además de la fertilidad, el aporte de limos en el valle es útil porque puede contrarrestar los efectos de la erosión eólica potenciada por el cultivo de la tierra, favoreciendo de tal forma la conservación del suelo.

2.2. Afecciones a la costa. Erosión de playas.

La reducción del transporte de sedimentos altera el equilibrio de los mismos en la desembocadura del río, sobre todo en regiones de formación de deltas. La erosión costera generada por las corrientes y la acción del oleaje no se encuentra compensada por el volumen de sedimentos aportados por el río, y que hace retroceder la línea de costa.

Las grandes avenidas pueden llegar a completar de forma brusca la acción de las corrientes en la erosión de la costa, sobre todo si el embalse se encuentra cercano al estuario; por lo que el flujo no saturado durante las crecidas tiene un importante potencial de erosión. La afluencia de los vertidos de las crecidas también puede provocar el desarrollo de corrientes de recirculación en toda la costa que apoyan el transporte litoral de sedimentos.

En el caso de las costas con escasez de sedimentos y propensas a la erosión, el aumento a gran escala del suministro de sedimentos procedentes de sistemas fluviales

puede ser una opción de gestión importante. Se hace necesario por tanto la construcción de obras costeras de protección frente al transporte de sedimentos como diques, rompeolas, espigones, trampas de arenas; sometidos a estudios de dinámica litoral para que equilibren el retroceso de la línea costera.

La retracción de la costa tiene mayores implicaciones para el hábitat humano, porque más del 37% de la población mundial vive entre la línea de costa y 100km hacia el interior; y en torno al 44% hasta los primeros 150km (Syvitski *et al.*, 2005). Los cambios en el aporte de sedimentos influyen en estuarios, arrecifes de coral y comunidades del lecho marino. Además, los flujos de nutrientes, principalmente carbono, están totalmente ligado con el flujo de sedimentos fluviales.



Figura 4. Evolución de la playa de Benidorm (1960-2005) (fuente: Ministerio de Medio Ambiente, 2016)

Las tasas de suministro de sedimentos a las costas y el movimiento de los sedimentos costeros determinarán si los entornos costeros se acrecientan o erosionan, relacionados directamente con los peligros en las zonas costeras (Warrick *et al.*, 2019). Los ríos son una fuente importante de sedimentos para multitud de entornos costeros; sin embargo, los seres humanos hemos aumentado o disminuido estos aportes a través de modificaciones de las cuencas hidrográficas y la ingeniería fluvial. Alrededor de todo el mundo se ha desarrollado la construcción de presas para el abastecimiento de agua, el regadío de cultivos y suministrar energía hidroeléctrica, como se ha desarrollado a lo largo del trabajo, pero que ha tenido como consecuencia involuntaria la reducción de los flujos sedimentarios hacia la costa. Dado que las desembocaduras de los ríos y los

deltas son formas terrestres intrínsecamente dinámicas debido a la variabilidad del suministro de sedimentos fluviales con el tiempo, así como a otros factores hidrológicos y oceanográficos, la erosión de estos sistemas puede ser muy elevada en los lugares en los que los sedimentos fluviales son interceptados por las presas. Tal es así que se han documentado y estudiado principales deltas afectados por la problemática de falta de aportes sedimentarios como en el caso del Nilo, el Yangtze, el Mekong, el Ebro y otros deltas mediterráneos.



Figura 5. Alteración en el Delta del Ebro (fuente: Google)

Las zonas costeras se componen por tres ámbitos, siendo, el terrestre, el marítimo y el intermareal. Las costas son fronteras ecológicas (ecotonos) simbolizando intensos procesos de intercambio de materia y energía. En el documento de *Estrategia de adaptación del cambio climático de la costa española (2016)*, se distinguen por su configuración dos tipos principales de costa: de erosión en zonas acantiladas y de sedimentación de playas, arenales y humedales costeros. Los ecosistemas litorales más presentes en España son los fondos marinos (rocosos o arenosos), los acantilados, las playas arenales y sistemas dunares, y humedales costeros que incluyen rías, marismas y albuferas, marjales, deltas, estuarios, lagunas costeras y salinas. La gran variedad de ecosistemas en el país se ve propiciada por la existencia de diferencias entre la costa mediterránea y la atlántica.

La vertiente mediterránea posee un gran número de playas. Un mar semicerrado como es el Mar Mediterráneo genera con frecuencia procesos de acumulación en la desembocadura de ríos; además, al tener un rango mareal muy bajo y poca entidad (en torno a 30 cm) no existe prácticamente costa baja con grandes zonas de inundación a causa de mareas.

Concretamente, la zona costera de Castellón y Valencia, entre Peñíscola y el Cabo de San Antonio, se encuentra en regresión por la disminución de los sedimentos fluviales y por la barrera que supone las infraestructuras portuarias para la dinámica litoral.

2.3. Cambio climático

Es de vital importancia enfocar el presente trabajo bajo el escenario de cambio climático, una realidad que altera los ecosistemas de manera cada vez más rápida y con consecuencias cada vez más devastadoras para el conjunto del planeta.

En todo el mundo, los deltas de ríos y las costas han tenido un mayor impacto por actividades humanas en las cuencas (*Elliot et al., 2019; Wolanski & Hopper, 2022*). Los embalses reducen las avenidas o caudales pico, pero también los sedimentos. Si la longitud del río es corta en exceso para recuperar su carga de sedimentos, los deltas de río y las zonas costeras no captan suficientes sedimentos; provocando el deterioro y la destrucción de los deltas más populares y la regresión de la línea de costa.

Ecosistemas costeros y de transición han estado, están y estarán afectados directamente por el cambio climático de muchas maneras. Tales cambios lo conforman el aumento de la temperatura y del nivel del mar, además de la reducción, incremento o cambio de probabilidad de precipitaciones cada vez más irregulares; sobre todo en zonas templadas del planeta o propensas a sequías y tormentas graves (*Elliot et al., 2019; Day & Rybczyk, 2019*). Todos los entornos son afectados por el cambio, natural y antropogénico. Para determinar las causas y consecuencias de estos es necesario aumentar la evaluación del riesgo y la gestión de las normativas que se focalizan en el uso y abuso del medio ambiente por parte del ser humano.

En relación con el apartado “2.1. Problemática de sedimentos en embalses” y la estratificación de embalses; es importante resaltar que la regulación de los embalses modifica la respuesta de la temperatura de los ríos al cambio climático, especialmente a través de la estratificación térmica. Las temperaturas estivales de los ríos regulados son más bajas que la de los ríos no regulados, pero son más sensibles al cambio climático. En la década de 2080, los efectos combinados de una mayor temperatura del aire y de unos tiempos de residencia más cortos darán lugar a una mayor estratificación térmica en los embalses (*Cheng et al., 2020*). Los impactos de la estratificación térmica en las temperaturas de los ríos aguas abajo persisten aunque llegan a mitigarse en gran parte debido a la mayor temperatura del aire y a los mayores aportes de energía de la superficie que tendrán lugar en el futuro.

En cuanto a la legislación española, la ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición, establece entre otros muchos aspectos medioambientales y de gestión de diferente naturaleza en su artículo 19 de “Consideración del cambio climático en la planificación y gestión del agua”, aborda los riesgos derivados del cambio climático y su inclusión en la planificación y gestión del agua en los que se considerarán:

- Riesgos derivados de los impactos previsibles sobre los regímenes de caudales hidrológicos, los recursos disponibles de los acuíferos, relacionados con cambios en variables como la temperatura, precipitaciones, acumulación de nieve o cambios en la vegetación de la cuenca.
- Riesgos derivados de los cambios en la frecuencia e intensidad de fenómenos extremos asociados al cambio climático en relación con la ocurrencia de episodios de avenidas y sequías.
- Riesgos asociados al aumento de la temperatura del agua y a sus impactos sobre el régimen hidrológico y los requerimientos de agua por parte de las actividades económicas.
- Los riesgos derivados de los impactos posibles del ascenso del nivel del mar sobre las masas de agua subterránea, las zonas húmedas y los sistemas costeros.

Estos riesgos anteriormente citados se deberían tener en cuenta de cara a la planificación y gestión hidrológica incluyendo en la misma los impactos derivados de la retención de sedimentos en los embalses y las soluciones para su movilización, con el doble objetivo de mantener la capacidad de regulación de los propios embalses y de restaurar el transporte de sedimentos a los sistemas costeros para frenar la regresión de las playas y la subsidencia de los deltas.

2.4. Sedimentos acumulados en embalses españoles.

Hace más de un siglo la problemática de la gestión de las aguas superficiales en la zona mediterránea estaba presente en cuanto a la erosión del suelo y la degradación ambiental, así como la desertificación (Martínez *et al.*, 2015). El régimen hidrológico español presenta una notoria irregularidad. Pasa cíclicamente de la sequía a la inundación, situándose estos fenómenos en los extremos; y han presentado históricamente un problema en el territorio nacional. La construcción de infraestructuras hidráulicas ha tratado de paliar las consecuencias de estos fenómenos y garantizan la disponibilidad del recurso indispensable para la vida y la actividad económica como es el agua. No obstante, la construcción de presas y embalses ha acarreado problemas al suponer una barrera artificial en el flujo natural de un cauce. Los sedimentos que los

ríos vierten al mar son de suma importancia para conservar una línea de costa o más constante posible, que se suma a la dinámica litoral de sedimentos. Esta falta de aporte de sedimentos por retención en los embalses genera como ya se ha comentado un impacto importante en la línea de costa y la erosión generalizada de las playas. Además, la falta de sedimentos también afecta al cauce aguas abajo del cuerpo de presa en el río, generando erosión excesiva y suprimiendo el beneficio que generan los sedimentos para el lecho fluvial y su ecosistema.

El problema de la erosión de la costa y la playa tiene como origen del problema el aterramiento de embalses. Desde que un curso de agua o una avenida conecta con el agua embalsada, se genera una reducción repentina de la velocidad del flujo; perdiendo capacidad de transporte de sedimentos gruesos. Este depósito de sedimentos genera lo que se conoce como “delta de cola” en el embalse, y se ven alterados por las fluctuaciones del agua en el embalse. Más cercano a la presa, el agua pierde velocidad y permanece casi inmóvil, lo que propicia la decantación del material más fino; entre los dos procesos anteriores se sitúan los sedimentos intermedios que se distribuyen dentro del vaso del embalse (Cobo, R., 2008). El aumento del nivel de aterramiento de los embalses españoles contaba en 1990 ya con una reducción media de la capacidad útil aproximadamente del 20% (Martínez et al., 2015; Almorox et al., 1994). El inventario de Presas Españolas de 1991 enuncia que la superficie total de los embalses en España era de 2800 km² que suponían un volumen de embalses de 54,6 km³. Actualmente, según el Libro Blanco del Agua en España (2000) existen un total de 1133 presas en servicio que componen 1040 embalses con una capacidad de almacenamiento que se eleva a 56 km³; lo que posiciona a España como el primer país europeo en el número de estas infraestructuras hidráulicas y el décimo en el mundo (ICOLD, 2022). Es importante mencionar que el 98% de la capacidad total se concentra en 300 embalses con un almacenamiento mayor a 10 hm³, como se puede observar en la Figura 6. Los embalses de menos capacidad, aun siendo más numerosos, no representan una gran fracción del almacenamiento total como se observa, en la Figura 6.

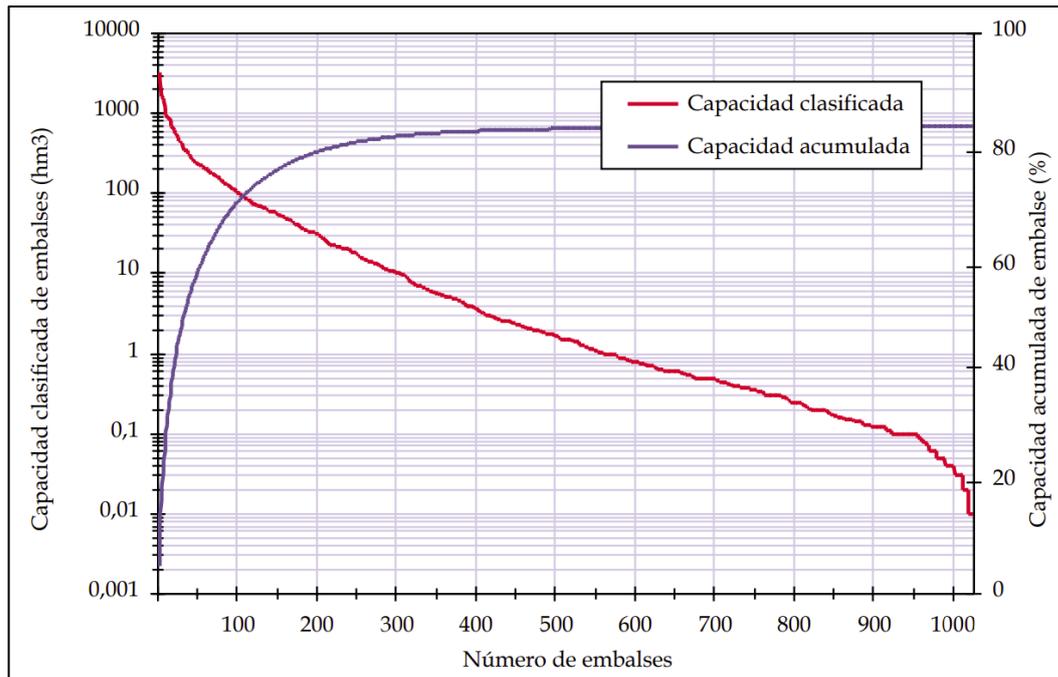


Figura 6. Capacidades clasificadas y acumuladas de los embalses españoles (fuente: Libro Blanco del Agua en España, 2000)

A nivel nacional se ha evaluado el aterramiento de los embalses españoles según estudios batimétricos y sedimentológicos de 121 embalses de diferentes cuencas aportadoras suman 220.200 km², siendo el 45% del área total del país (505.956 km²) (Cobo, R., 2008). El volumen de sedimentos se calcula a raíz de los estudios mencionados y la posterior cubicación de planos de curvas de nivel; permite calcularlo por diferencia del volumen inicial del embalse y el actual. Los resultados se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Situación de aterramiento de embalses por cuenca hidrográfica en 2003 y 2025 (fuente: Cobo, R., 2008)

Cuenca Hidrográfica	Capacidad inicial (hm ³)	Aterramiento en 2003 (hm ³)	Aterramiento en 2025 (hm ³)
1. Norte *	-	-	-
2. Duero	7667	496.09	700.26
3. Tajo	11135	430.88	637.88
4. Guadiana	9619	1228.40	1878.68
5. Guadalquivir	8867	796.65	1137.35
6. Med. Andaluza	1319	74.20	139.13
7. Segura	1223	124.97	148.54
8. Júcar	3349	188.32	293.69
9. Ebro	7702	917.50	1330.75
10. C.I. Cataluña	772	77.90	118.16
Total	51653	4334.91	6384.44

* No se han tenido en cuenta los embalses de la C.H. Norte ya que el número estudiado no tiene suficiente representatividad

Debido al ámbito territorial en el que se enmarca el presente trabajo, son de mayor interés los datos referidos a la cuenca hidrográfica del Júcar principalmente y la cuenca hidrográfica del Ebro. Se determina que para el año 2003 se pierde un aporte de sedimentos hacia la costa de 190 hm³ (C.H. Júcar) y de 920 hm³ (C.H. Ebro) aproximadamente; mientras que la estimación que realiza R. Cobo para el 2025 aumenta en un 56% la falta de aporte de sedimentos en C.H. Júcar y aumenta en un 45% para C.H. Ebro, aproximadamente.

Los datos recogidos en los diferentes embalses pueden dar una visión de lo que ocurrirá durante el siglo XXI en cuando a la erosión de las cuencas del país, la pérdida de capacidad de los embalses y la cantidad de sedimentos que no llegarán a las costas, provocando su excesiva erosión como se ha ido definiendo a lo largo del trabajo. Como condiciones generales se establece que los aportes de sedimentos se mantendrán a lo largo del tiempo, que los embalses estudiados son representativos de las características de la cuenca y que la explotación de los embalses se mantendrá sin cambios significativos. El escenario de cambio climático puede influir por la pérdida de capacidad al existir una disminución de aportes hídricos traduciéndose en un menor aporte de sedimentos; no obstante, esto se vería compensado por la mayor intensidad y frecuencia de los fenómenos (Cobo, R., 2008). En la Tabla 2 se muestra el volumen de aterramiento que presentarán las diferentes cuencas hidrográficas en el año 2050.

Tabla 2. Situación de aterramiento de embalses por cuenca hidrográfica en 2050 (fuente: Cobo, R., 2008)

Cuenca Hidrográfica	Capacidad inicial (hm ³)	Aterramiento en 2050 (hm ³)
1. Norte *		
2. Duero	7667	943.33
3. Tajo	11135	884.30
4. Guadiana	9619	2652.82
5. Guadalquivir	8867	1542.96
6. Med. Andaluza	1319	216.44
7. Segura	1223	194.77
8. Júcar	3349	419.14
9. Ebro	7702	1822.72
10. C.I. Cataluña	772	166.89
Total	51653	8843.37

* No se han tenido en cuenta los embalses de la C.H. Norte ya que el número estudiado no tiene suficiente representatividad

Como se puede observar el nivel de aterramiento en la cuenca del Júcar para el 2050 es de 419,14 hm³, lo que implica una disminución de la capacidad inicial de agua embalsada del 12,5% en la cuenca. Para la C.H. del Ebro el nivel de aterramiento se estima en 1822,72 hm³, ocasionando una merma del 24% aproximadamente en la capacidad de embalse de esta cuenca. Es más que evidente la necesidad de dar una solución a la problemática de la restitución del flujo sedimentario en las cuencas para mitigar en el origen sobre la cuestión de la erosión del litoral y la regeneración de las playas. Se debe atacar el asunto desde diferentes puntos de vista como el medioambiental, económico y social.

De los embalses a lo que el CEDEX ha hecho seguimiento, concretamente por el Centro de Estudios Hidrográficos, sobre el 58% de 109 embalses tenían un volumen de sedimentos menor de su capacidad de almacenaje, un 33% con volúmenes de sedimentos entre el 10% y el 50% de su capacidad; y el 9% tenían un aterramiento por sedimentos que representa más del 50% de su capacidad (Sanchez, 2008). Como resultado de estudios sedimentológicos en todos los embalses a nivel nacional se extrajo una distribución de tamaño de partículas siendo:

- 23% arenas
- 58% limos
- 19% arcillas

En relación con la distribución espacial, el tamaño de grano decrece según nos aproximamos al cuerpo de presa, cuando el nivel de agua del embalse tiene un pequeño cambio y los desagües de fondo no están operativos con frecuencia (Sanchez, 2008). Es posible además encontrar embalses que no se rigen por este proceso por lo que es recomendable hacer perforaciones para conocer la estratigrafía del embalse.

En la Figura 7 se muestran los embalses de los que el Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX poseía datos batimétricos y sedimentológicos, además de tener un volumen mayor de arenas a 0.2 hm³ (para distancias máximas a la costa de 50km) y con un volumen de arenas mayor a 0.5 hm³ (para embalses a una distancia entre 50km y 100km a la costa). Este mapa ofrece una visión general de cuáles son los embalses sobre los que actuar en primer lugar para restitución del flujo sedimentario con el fin de la regeneración de costas y la alimentación natural de las playas, donde se priman los sedimentos gruesos (arenas).

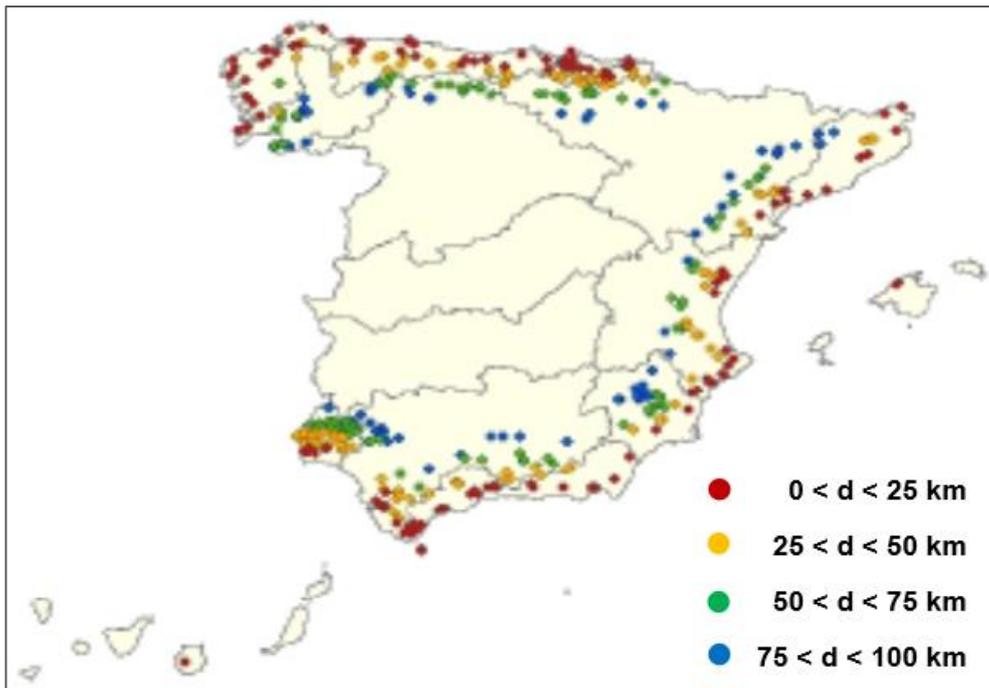


Figura 7. Distribución de las presas españolas localizadas a máximo 100km de la costa (fuente: Sánchez, 2008)

Se puede observar la distribución de los embalses en las distintas vertientes de la península ibérica: Océano Atlántico, Mar Cantábrico y Mar Mediterráneo. Con puntos rojos se sitúan los que se encuentran como máximo a 25 km de la costa, con puntos amarillos los embalses situados entre 25 y 50 km de distancia; y con puntos verdes y azules lo que poseen mayor volumen de arenas almacenados y que se encuentran entre 50 y 75 km y entre 75 y 100 km respectivamente.

Por otra parte, resulta imprescindible caracterizar la composición y textura de los sedimentos acumulados para una eficiente gestión y explotación del embalse, implicando aspectos técnicos y medioambientales (Sanz *et al.*, 1998). Para la planificación de recursos hidráulicos también es vital conocer volumen que ocupan los sedimentos dentro del embalse. Se deberían caracterizar para saber el grado de compactación y su comportamiento geotécnico en caso de la realización de prácticas para su retirada.

Sanz *et al.* (1998) clasifica la naturaleza de la composición de los sedimentos en embalses españoles en todo el territorio nacional, indicando las diferentes combinaciones mineralógicas que presentan en las diferentes cuencas del territorio del país. De esta forma se ayuda a determinar el comportamiento de las interacciones agua-sedimento y el funcionamiento geoquímico de los embalses. Las muestras fueron tomadas en la capa superficial de los sedimentos y se determinan materia volátil (materia orgánica, gases, y compuestos nitrogenados), hierro (Fe), manganeso (Mn),

sodio (Na), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg); además del contenido en carbonato cálcico (CaCO_3) y el fósforo (P) total.

En el estudio anteriormente citado se reconocen y analizan un total de 51 embalses de las distintas confederaciones hidrográficas del país. En el ámbito de este trabajo los embalses relevantes son los de la Confederación Hidrográfica del Júcar y *Sanz et al.* (1998) únicamente muestra datos de 3 embalses de la CHJ, pero de lo que se puede extrapolar una idea del estado de los sedimentos con la ayuda de los datos de otros 4 embalses a partir de los "Reconocimientos Sedimentológicos" realizados por el CEDEX que tienen esta información. En la Figura 8 se puede observar la situación de los diferentes terrenos calizos, silíceos y arcillosos en la Península Ibérica con las divisiones de cada una de las Demarcaciones Hidrográficas; además de la situación de los 51 embalses. Para la C.H.J. se ve que priman los terrenos calizos y arcillosos, de los que nos centraremos en la producción de sus sedimentos.

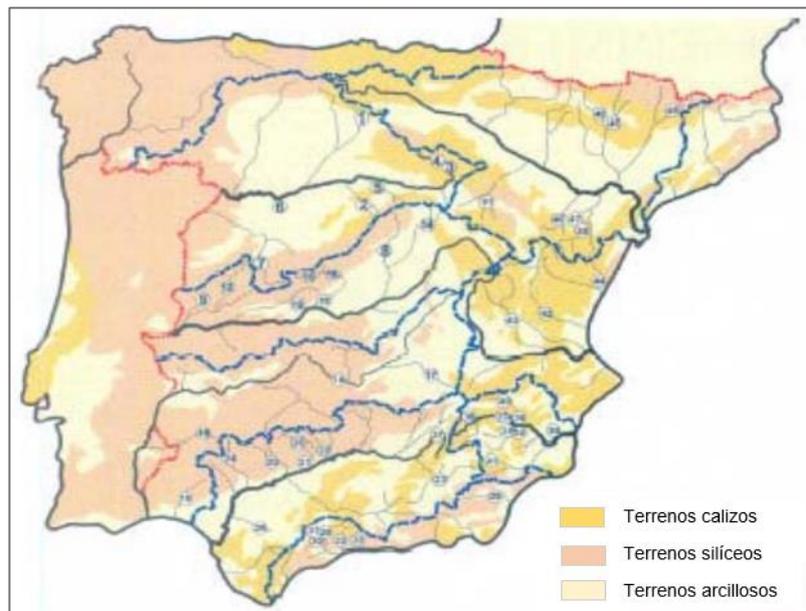


Figura 8. Mapa de terrenos calizos, silíceos y arcillosos, y situación de los 51 embalses estudiados (fuente: *Sanz et al.* (1998))

Se determinó que después de sílice, los carbonatos son los compuestos de mayor presencia en los sedimentos de todos los embalses, excepto en los puramente silíceos. Como se observa en la Figura 8, la C.H. del Júcar tiene casi total contenido en carbonatos; altos valores de carbonato se traducen en contenidos elevados de Ca siendo por tanto de naturaleza cálcica el sedimento. El origen de estos carbonatos está relacionado con las fracciones gruesas de los sedimentos o porque se concentran en la entrada de los embalses (*Sanz et al.*, 1998). Sin embargo, en embalses situados en las cuencas del Júcar y el Segura, podría producirse fenómenos de precipitación de carbonatos cálcicos debido al declive de la alcalinidad en el agua o la variación de

carbonatos en el perfil vertical del sedimento. Situaciones de estratificación térmica en los embalses harán depender la cantidad de calcita que llega al sedimento debido a la posición de la termoclina; aunque en embalses de la zona mediterránea el nivel de los mismos varía con frecuencia por las aportaciones y las demandas de agua. Esto se traduce en que los sedimentos en embalses de tiempo de residencia reducidos sufran mayores transformaciones notables de su composición.

En la Tabla 3 se muestran los embalses incluidos en el estudio siendo los embalses de Benageber, Contreras y María Cristina extraídos de *Sanz et al.* (1998); el resto de los datos fueron extraídos de los estudios sedimentológicos realizados por el CEDEX, y que se recopilaron. Aunque es un número muy pequeño dentro de los posibles que administran la Demarcación Hidrográfica del Júcar, estos pueden representar ampliamente la cuenca ya que se sitúa cada uno en distintos cauces de distintos sistemas de explotación, que se explicarán más adelante en el presente trabajo.

Tabla 3. Composición media, expresada en porcentaje, de sedimentos de los embalses de la C.H. del Júcar estudiados (fuente: Cedex (Estudios Sedimentológicos), 1991-2001 y Sanz et al., 1998)

Embalse	Materia Volátil	Insoluble	CO ₃	Ca	Mg	Fe	Mn	Na	K	P total
Benagéber	4,67	49,18	17,65	14,15	1,42	2,64	0,380	0,06	0,73	0,052
Contreras	5,31	38,18	29,28	15,64	2,14	2,43	0,460	0,10	1,52	0,040
María Cristina	4,68	28,71	31,27	20,88	1,26	2,05	0,029	0,10	0,69	0,100
Arquillo San Blas	6,69	36,53	28,12	16,29	2,42	1,89	0,025	0,07	1,04	0,054
Beniarrés	3,46	32,09	33,20	23,80	1,19	1,22	0,02	0,09	0,39	0,08
Buseo	4,38	53,42	34,08	13,68	0,98	1,63	0,03	0,07	0,33	0,03
Forata	7,62	40,14	23,86	13,57	1,11	2,20	0,03	0,06	0,90	0,08

*Todos los datos son expresados en porcentajes

Se puede observar que estos embalses representativos de la cuenca son principalmente carbonáticos cálcicos por su elevado porcentaje de Ca y muy pequeña presencia de Mg. Es importante reseñar que los embalses de Benageber y Contreras son los de mayor porcentaje de Mn del resto del estudio; pues proceden sus sedimentos de la misma Cordillera Ibérica y de rocas detríticas. En cuanto a la materia volátil en el sedimento de estos embalses se puede decir que los valores son bajos, siendo los de mayor porcentaje de materia volátil los embalses de Arquillo de San Blas y de Forata. El contenido de Na relacionado con la salinidad de los embalses es bastante bajo en general.

2.5. Gestión de sedimentos en embalses

Una evaluación de los rendimientos de sedimentos aguas arriba de las presas según la geomórfica de su localización y un análisis sistemático de la captura de sedimentos por parte de las presas planificadas (teniendo en cuenta los cambios en la eficiencia de su atrapamiento a lo largo del tiempo y para múltiples presas en una subcuenca determinada), daría una idea de las pérdidas de carga de sedimentos que se originan dentro de una cuenca hidrográfica (*Kondolf et al., 2014 a*). Ejemplo de ello es el proyecto llevado a cabo en la cuenca del río Mekong, donde la construcción completa de 140 presas planificadas daría lugar a una reducción del 96% de la carga de sedimentos en el Delta del Mekong, es decir, una vez que se agotara el sedimento erosionable almacenado en el lecho y las orillas del canal, el Delta recibiría solo el 4% de su carga natural de sedimentos (*Kondolf et al., 2014 b*). Con un cambio tan profundo en la carga de sedimentos del río, es probable que se acelere el hundimiento y la pérdida de tierras en el delta del Mekong.

El atrapamiento de sedimentos en presas no es inevitable, o no al menos en todas las presas. Algunas presas pueden ser diseñadas para el paso de sedimentos, incluso a través del cuerpo de presa o alrededor del embalse, usando diferentes técnicas cada una aplicable a las condiciones que se tengan. Sin embargo, el enfoque de la gestión de sedimentos no se utiliza en muchos embalses donde sí tendría cabida. Existe la posibilidad que promotores y operadores de presas desconozcan de las diferentes posibilidades de enfoques para la gestión de sedimentos (*Kondolf et al., 2014 a*).

Un amplio rango de técnicas en la gestión de sedimentos se ha establecido en distintos continentes para preservar la capacidad del embalse y el paso de sedimentos aguas abajo. Principalmente se distingue entre tres categorías de gestión como son:

1. Métodos para encauzar los sedimentos a través o alrededor del embalse.
2. Métodos para eliminar sedimentos acumulados en el embalse para recuperar su capacidad.
3. Métodos para minimizar la cantidad de sedimentos que llegan al embalse desde aguas arriba.

Algunos autores incluyen una cuarta opción como es la de conocer los procesos de sedimentación y adaptar las actuaciones a los mismos.

Los primeros dos métodos mantienen la capacidad de los embalses y dejan fluir los sedimentos aguas abajo, pero la tercera categoría únicamente actúa sobre el problema de capacidad del embalse. Con esta premisa se llega a la conclusión que los métodos

del tercer apartado en ningún caso serán utilizados para la regeneración del litoral con el sedimento procedente del atrapamiento en embalses, caso que se estudia en el presente documento. Pues esta categoría busca disminuir la erosión producida en la cuenca.

En la Figura 9 que continua se muestra un esquema de las diferentes técnicas en cada uno de los métodos que se proponen en la gestión de los sedimentos. Entre las cuales se encuentran técnicas de trasvases de sedimentos fuera del cuerpo de presa o a través del mismo, o técnicas de dragado por vía mecánica o hidráulica, entre otras.

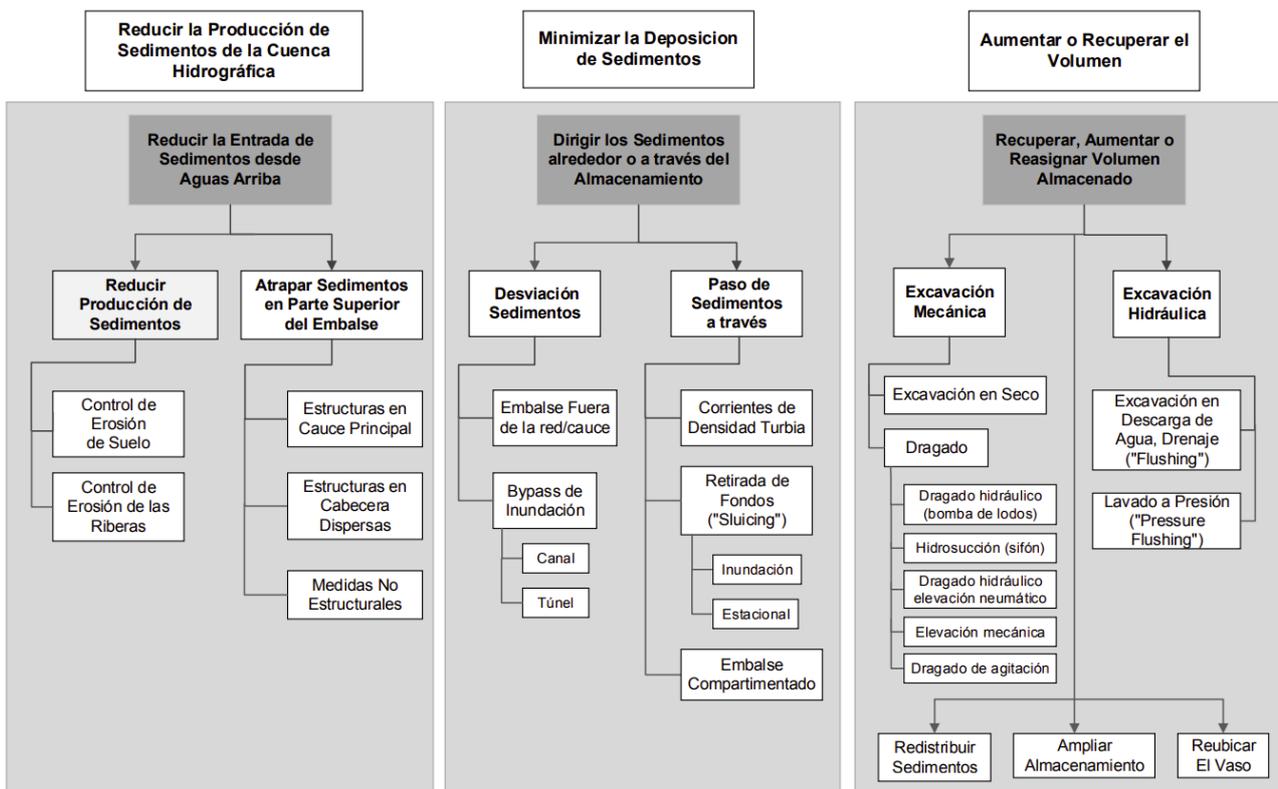


Figura 9. Clasificación de estrategias para la gestión de sedimentos. (Traducción y elaboración propia a partir de Kondolf et al. (2014) y Morris (2020))

En la primera categoría se sitúan las técnicas relacionadas con la reducción de la erosión del suelo; minimizando la erosión dentro de la cuenca actuando sobre la cobertura vegetal y la tala de la masa vegetal, además de actuaciones sobre los cauces o canales fluviales con la construcción de canales que interceptan agua, cauces forrados de vegetación o trampas de sedimentos. Estas medidas no serán descritas pues impiden el flujo y la generación de los sedimentos en los cursos fluviales y en la regeneración costera como objetivo del desarrollo del estudio.

La segunda categoría engloba técnicas que utilizan el caudal sólido y su variabilidad temporal, esto es, gestionar los caudales de avenidas ya que es momento donde se

produce la mayor carga de sedimentos dentro del flujo. Puede ser la transferencia de sedimentos en torno al embalse y a través del propio embalse.

En la tercera categoría se encuentran las técnicas que tienen por objetivo movilizar los sedimentos retenidos en el interior del vaso. Se puede encontrar la movilización hidráulica como las descargas controladas o la descargas en presión; y la eliminación de sedimentos por medio mecánicos a través de dragados hidráulicos o excavación en seco del material.

La cuarta categoría excepcional implica disminuir el impacto de la sedimentación en el embalse, pero no el manejo del mismo. Incluye por ejemplo modificaciones en la estructura como la situación de compuertas o el desmantelamiento de la infraestructura hidráulica una vez se encuentra en desuso (*Agència Catalana de l'Aigua, 2018*).

La estrategia óptima para la gestión de sedimentos en embalses consiste en utilizar la técnica o técnicas conjuntamente adecuadas a las condiciones que se den en cada momento para el embalse.

2.5.1. Técnicas de trasvase con guiado de sedimentos.

Bypass o trasvase en torno al embalse

La derivación de sedimentos desvía parte de las aguas cargadas de sedimentos que llegan alrededor del embalse, de esta forma nunca entran en el mismo. Normalmente las aguas con una alta carga de sedimentos se desvían en una pequeña presa aguas arriba del embalse hacia un túnel o canal de desviación de gran capacidad, volviéndose a unir este flujo al río aguas abajo del embalse. En períodos donde el caudal es bajo, y por tanto el caudal de sedimento dentro del flujo es mínimo, el agua se lleva hacia el embalse exento del cauce natural por el canal de derivación. Cuando se producen avenidas de caudales mayores, la esclusa se abre y se desvía el flujo por el cauce natural. Esta técnica no impide que los sedimentos no entren al embalse durante caudales pequeños, o procedente de cauces menores, necesitando a largo plazo procesos de dragado puntuales en el vaso. Para que el sistema sea eficiente, el canal de derivación tiene que tener una pendiente suficientemente elevada para que el agua llegue al embalse. Se evitaría la entrada del 90-95% de sedimento, y prolongaría la vida del embalse en un factor de más de 10 en comparación con un embalse situado en el cauce principal. Es evidente reseñar que para embalses de laminación esta técnica no sería efectiva, pues esta tipología de embalse disminuye la peligrosidad de caudales pico durante avenidas extraordinarias.

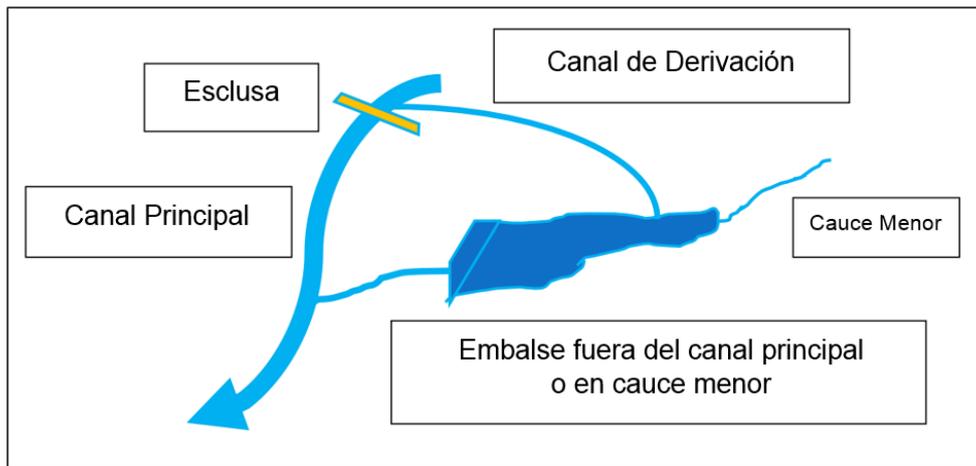


Figura 10. Construcción de embalse fuera del curso fluvial principal (fuente: Agència Catalana de l'Aigua, 2018)

Túnel o canal de circunvalación

Debido a la inviabilidad de la construcción de un embalse exento al cauce principal a causa de la orografía, se contempla la alternativa de la construcción de un túnel o canal donde circulen los caudales de avenidas con alta carga de flujo sedimentario. Alrededor del mundo, los túneles de derivación se han utilizado con poca frecuencia, ascendiendo a 30 el número de túneles construidos en distintos países. Por ejemplo, en Suiza existen más de 10, en Japón 6, en Taiwán 3 al igual que en Italia, y Pakistán y Francia cada uno con un túnel (Morris, 2020). A pesar del bajo número de sistemas instalados en la actualidad, se ha aumentado el interés por los túneles de derivación de sedimentos, ya que pueden instalarse a posteriori en proyectos existentes (Kondolf et al., 2014 a) (Morris, 2020). Estos túneles se diseñan para flujos supercríticos, con velocidades máximas entre el rango de 10-15 m/s; llegando a tener longitudes de 4.3 km.

Sin embargo, las características de emplazamiento son más restrictivas ya que sólo se pueden implementar en embalses que tengan un giro brusco o repentino entre el punto de derivación y de reintroducción del sedimento, aprovechando la existencia de un meandro, por ejemplo; o que sean relativamente corto y con un gradiente importante para transportar el sedimento a través del túnel (Agència Catalana de l'Aigua, 2018).

Esta técnica de trasvase de sedimentos es cara debido al coste del túnel, pero tiene muchas ventajas, sobre todo en el paso de los sedimentos sin llegar a entrar en el embalse, y sin interferir con la operativa del embalse (Kondolf et al., 2014 a). En el caso de la derivación de sedimentos gruesos, es primordial un diseño antiabrasivo en la superficie de la solera del túnel para minimizar los costes de explotación a largo plazo.

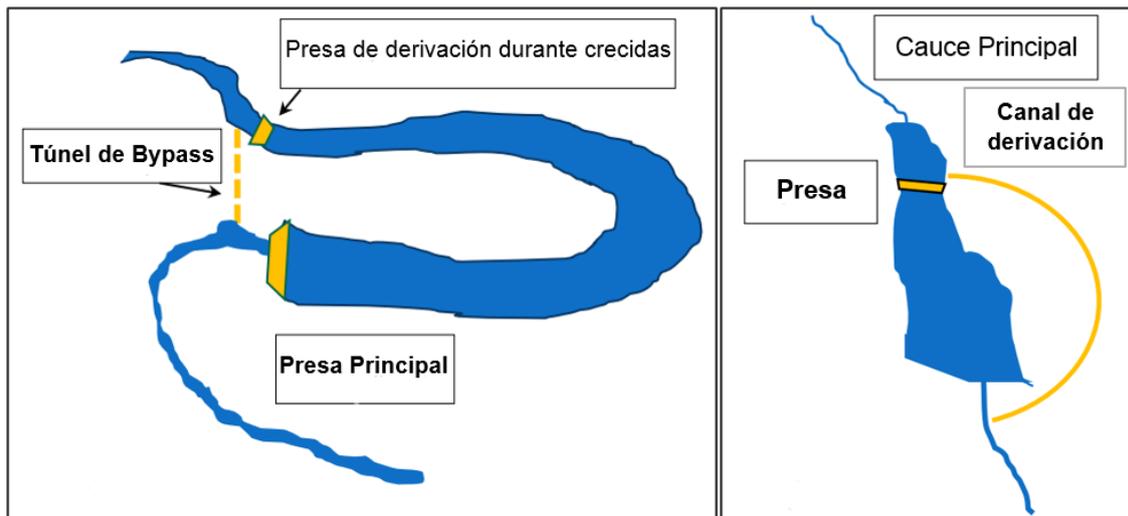


Figura 11. Técnica de bypass mediante construcción de un túnel aprovechando existencia de meandro, o canal de derivación para caudales de crecida (fuente: Agència Catalana de l'Aigua, 2018)

Estas técnicas de guiado de sedimentos mantienen en lo posible las características naturales del transporte de sedimentos del río, mientras que las descargas de los embalses (como es el “flushing”) suele modificar dichas características de una forma drástica. Como norma general, el desvío es la estrategia de gestión de sedimentos más respetuosa medioambientalmente, mientras que el lavado o descarga potencialmente más perjudicial. Algunas técnicas de desvío pueden transportar tanto los sedimentos gruesos como los finos más allá del cuerpo de presa, eliminando de forma importante el impacto sobre el perfil del cauce. Según la morfología del emplazamiento, el desvío puede llevarse a cabo con un coste muy bajo, pero en otros será necesario realizar costosas modificaciones en la presa para proporcionar desagües de gran capacidad a baja altura (Morris & Fan, 1998).

Una de las principales desventajas del guiado o de la ruta de sedimentos es que debe liberarse una cantidad significativa de agua durante las avenidas para transportar los sedimentos. El guiado o desvío de sedimentos es más aplicable en embalses hidrológicamente pequeños en los que el agua descargada por las grandes crecidas que transportan sedimentos supera la capacidad del embalse, lo que permite disponer de agua para la liberación de sedimentos sin infringir los usos beneficiosos (Morris & Fan, 1998). Algunas operaciones del desvío requieren el uso de previsiones hidrológicas en tiempo real, por lo que se requiere una monitorización especial.

Es posible que la canalización de sedimentos no pueda eliminar los sedimentos depositados previamente o hacer pasar la parte más gruesa de la carga entrante más allá de la presa. Por lo tanto, el desvío debe comenzar lo antes posible después de la construcción de la presa para preservar su capacidad, y también pueden ser necesarias medidas de gestión adicionales como son el lavado o dragado.

2.5.2. Técnicas de trasvase de sedimentos a través del embalse.

Sluicing

Esta técnica hace referencia a la práctica de maximizar el paso de sedimentos a través de un embalse reduciendo el nivel de agua durante una avenida. Esto disminuye el tiempo de retención hidráulica, pues se aumenta la velocidad del flujo, lo que colabora en mantener el sedimento en movimiento y reduce la probabilidad de que sedimento y por consiguiente quede atrapado (Morris, 2020). El “sluicing” o lavado se centra en el paso de sedimentos hacia aguas abajo con la misma velocidad que entran al propio embalse. Dependiendo de la hidrología y de condiciones específicas del emplazamiento, la apertura de compuertas puede llevarse a cabo de forma estacional, como en la temporada de lluvias, o basarse en eventos a través de información en tiempo real y modelos hidrológicos.

Las avenidas adecuadas para la evacuación de sedimentos a través de la presa pueden ser las mismas que para la derivación de estos; sin embargo, la diferencia entre ellas reside en que el caudal sólido o la carga de sedimentos entra o no en el vaso del embalse. Los sedimentos más finos son transportados de forma más efectiva que los sedimentos gruesos (Kondolf et al., 2014 a).

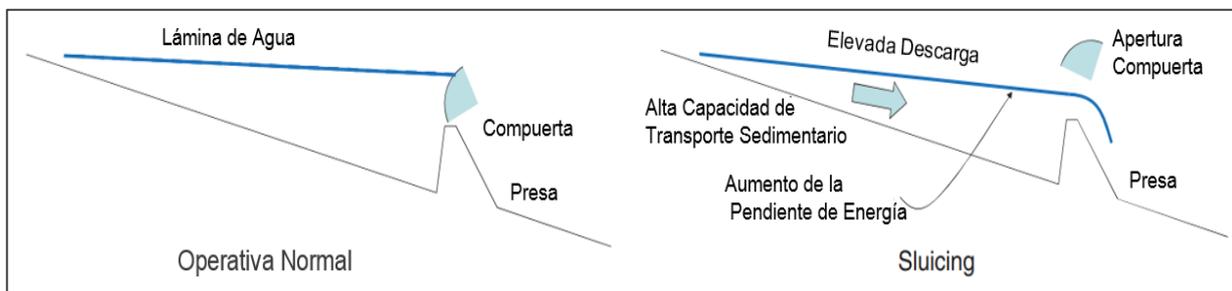


Figura 12. Representación esquemática de las operaciones de "sluicing" (fuente: Kondolf et al., 2014 a)

La evacuación se realiza disminuyendo el nivel del embalse antes de las crecidas cargadas de sedimentos. Esta estrategia necesita de salidas con una capacidad elevada en la presa que permitan descargas de grandes caudales manteniendo niveles bajos de lámina de agua y velocidades de flujo requeridas, con una pendiente que permita el arrastre. No es necesario que los desagües se encuentren en el fondo, como se puede observar en la figura anterior, pues en embalses de pequeña capacidad se pueden utilizar compuertas en la coronación para este fin. La duración del “sluicing” dependerá del tamaño de la cuenca y de la escala temporal que tengan las crecidas.

Hay que tener en cuenta que durante la operación el embalse queda inoperativo en cierto tiempo por lo que no se puede generar energía hidroeléctrica o suministrar agua

(Agència Catalana de l'Aigua, 2018). Será necesario la disponibilidad de agua y de alternativas en la producción energética.

Es frecuente que esta técnica se confunda con el “flushing”, a pesar de que el objetivo de ambas operaciones es distinto. El “sluicing” tiene un fin doble pues evita al máximo la sedimentación en el embalse y elimina parte del sedimento depositado previamente. Además, hace pasar el hidrograma natural y sedimentos asociados a través del embalse con la menor alteración posible, mantiene patrones naturales de flujo y transporte de sedimento aguas abajo de la presa; minimizando así el impacto medioambiental (Morris, 2020). Por otra parte, el “flushing” permite liberar elevadas concentraciones pico de sedimentos (mayores de 100000 mg/l), llegando a necesitar complejas medidas de control y mitigación ambiental. En la Tabla 4 se muestran las principales diferencias entre el “sluicing” y el “flushing”.

Tabla 4. Diferencia entre Sluicing y Flushing (traducción propia; fuente: Morris, 2020).

Parámetro	Sluicing	Flushing
Temporalidad	Siempre coincide con los caudales naturales de las crecidas	Puede no coincidir con las grandes inundaciones naturales, puede tener fechas predeterminadas
Capacidad de salida	Pueden pasar grandes inundaciones con un mínimo de remanso	La descarga y el descenso del nivel pueden estar limitados por la capacidad de desagües de fondo
Descarga de sedimentos	Flujo de salida \approx Flujo entrada	Flujo de salida \ggg Flujo entrada
Tomas de embalse	Puede funcionar durante los periodos, si se diseñan así	No pueden operar (concentraciones demasiado altas, nivel de agua demasiado bajo)
Recuperar capacidad perdida	Principalmente en depósitos de regulación intra-anales	Sí
Redeposición en cauce aguas abajo	Poco significativo debido a la alta descarga (avenida)	Importante, después de la descarga puede ser necesaria la liberación de agua clara
Patrón de erosión típico	Erosión regresiva no característica	Puede producir erosión regresiva
Pico extremo de concentración de sedimentos	Se evitan concentraciones extremas	Se produce un pico de concentración elevado cuando se alcanza la reducción total del nivel

Ventilación de corriente de turbidez

Las corrientes de turbidez, o de densidad, son importantes en el transporte y establecimiento de sedimentos en embalses alrededor del mundo. Se forman por las diferencias de densidad entre el agua que entra en el embalse, con mayor densidad, y el agua embalsada dentro del vaso, con menor densidad; sin que se llegue a producir la mezcla o intercambio de ambas masas. Por causa de esta diferencia, el agua caliente fluye como corriente superficial por encima del agua más fría y densa del embalse, el agua fría se sumerge en la parte superior de la termoclina y se desplaza por encima del

agua más fría del fondo como interflujo, y el agua fría o turbia de alta densidad fluya como corriente de fondo por abajo de la capa superpuesta (Morris & Fan, 1998).

A medida que la corriente se desplaza río abajo, se suele depositar la fracción más gruesa de su carga de sedimentos a lo largo del fondo y, si se deposita una suficiente carga de sedimentos, la corriente de densidad se disipará a lo largo del camino hacia la presa (Morris & Fan, 1998). En el caso de que la corriente llegue a la presa, se acumulará para formar un flujo de lodo suspendido y el agua turbia que llega a la presa puede ser ventilada si se abren los desagües de fondo.

Es muy usual que las corrientes de turbidez transporten sedimentos finos que pueden pasar a través de turbinas de energía hidroeléctricas con abrasión mínima (Morris, 2020). Por el contrario, los sedimentos gruesos de delta de embalse casan enormes daños en todo tipo de equipamiento hidromecánico.

Debido a que muchas presas sitúan sus aliviaderos y compuertas a distintas alturas, también se han incluido sistemas como sifones de turbidez o muros cortina que permitan evacuar el agua turbia del fondo y liberarla a través de estas compuertas (Agència Catalana de l'Aigua, 2018). Es importante reseñar que esta técnica trata únicamente sedimentos finos, que aguas abajo de la presa tienen su cometido medioambiental; pero que, en relación con sedimentos gruesos y arenas, debido a su rápida velocidad de sedimentación, no son extraídos del embalse; persistiendo la problemática en la estructura de cauces de ríos y en las costas.

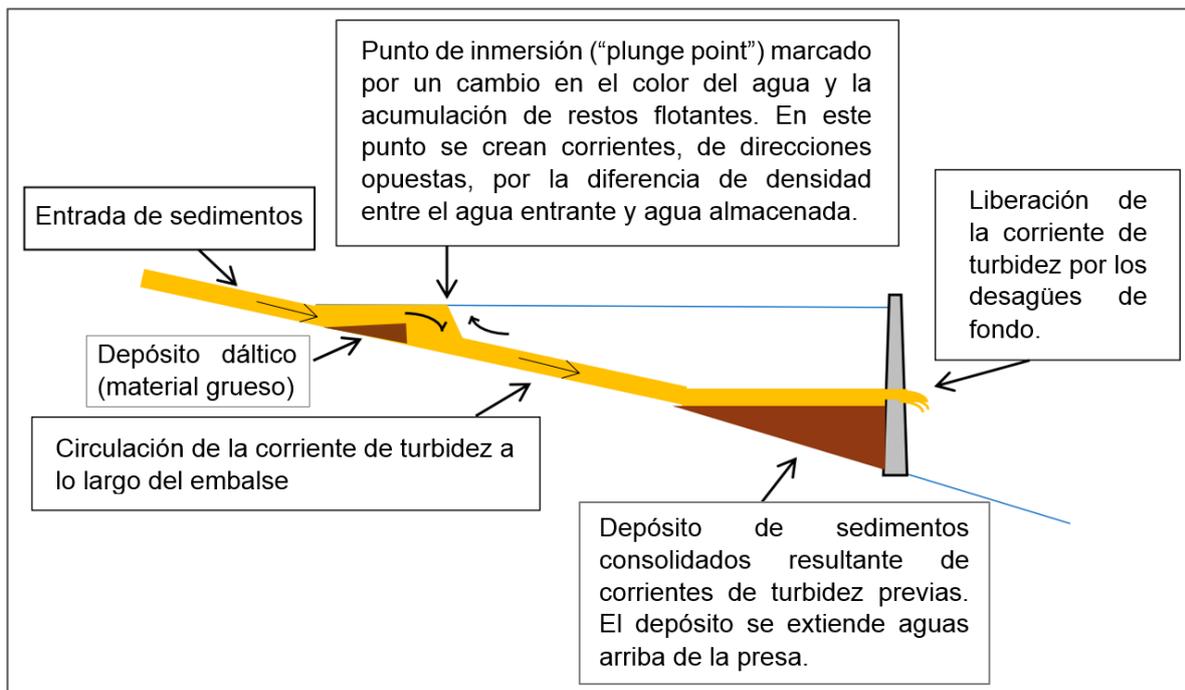


Figura 13. Esquema del paso de una corriente de turbidez (o densidad) a través de un embalse (fuente: Agència Catalana de l'Aigua, 2018)

2.5.3. Técnicas de removilización y/o redistribución de los depósitos de sedimentos.

Flushing o descargas controladas

Como se ha comentado en el apartado anterior, la técnica de “flushing” se refiere a la eliminación de los sedimentos depositados previamente mediante escorrentía hidráulica (Morris, 2020). Requiere la reducción del nivel del embalse y el vaciado del mismo con la apertura de desagüe de fondo para establecer el flujo fluvial en el tramo embalsado, erosionando un canal a través de los depósitos y expulsando el sedimento. El “flushing” utiliza la reducción de la lámina de agua y el vaciado para arrastrar y liberar los sedimentos una vez se hayan depositado, además no necesita que se produzca entrada de flujo de una avenida al embalse en el momento de la operación.

Existen dos tipologías de esta técnica siendo “empty flushing” o descarga en vacío o flujo libre, donde consiste en vaciar el embalse hasta el nivel de salida con el flujo a través del mismo; y “pressure flushing” o descarga en presión que requiere una menor reducción del nivel pero es también menos eficaz. Este segundo método es menos utilizado (Morris & Fan, 1998).

Según White (2001) para una eficiente utilización de esta técnica se necesitan tener en cuenta cuestiones técnicas económicas y medioambientales. Se especifican a continuación:

- La forma del embalse puede impedir la formación de un canal de erosión capaz de eliminar cantidades significativas de sedimentos.
- El descenso del nivel del embalse reduce la capacidad de generación de energía y la liberación de grandes volúmenes de agua para la limpieza puede también reducir el rendimiento anual del embalse.
- Se necesita poder predecir con antelación para que la operación de flushing no se lleve a cabo en el caso de que pueda poner en peligro el futuro suministro de energía, riego o abastecimiento.
- Se conocerán las consecuencias medioambientales de la evacuación de sedimentos en los tramos aguas abajo de la presa, pues el tiempo de residencia de estos pueden haber alterado su composición y elevar el riesgo de contaminación del cauce; así como la carga de sedimentos puede generar un gran impacto en el sistema fluvial y en los ciclos naturales hidrológicos y biológicos.

Las operaciones que se realizan durante una operación de flushing son las siguientes (Agència Catalana de l'Aigua, 2018):

- 1) Vaciado del embalse: el sedimento acumulado en la cola del embalse empieza a ser erosionado y movilizado hacia el cuerpo de presa. Puede estar limitado por la capacidad de las compuertas, la capacidad del cauce aguas abajo o estabilidad de la presa.
- 2) Segunda fase: el agua avanza a gran velocidad erosionando los depósitos de sedimentos; creando a su vez un canal de erosión que lo evacúa. Dependiendo del grado de consolidación que tengan los depósitos, esta operación será más o menos efectiva. Se evitarán descargas controladas en ciertas épocas del año (por desove de peces) o se realizarán descargas de agua limpia para evitar el impacto repentino de las verdaderas aprovechando pequeñas crecidas.
- 3) Cierre y rellenado del embalse: ya movilizadas los sedimentos, se cierran los desagües de fondo para el llenado nuevamente. Este proceso se puede llevar a cabo mediante la simulación de un hidrograma de una crecida natural.

Es importante indicar que de nuevo el sedimento grueso situados en los deltas no llega a movilizarse en su totalidad, y su evacuación de dentro del vaso no es óptima. A continuación, se muestra un proceso esquemático del flushing:

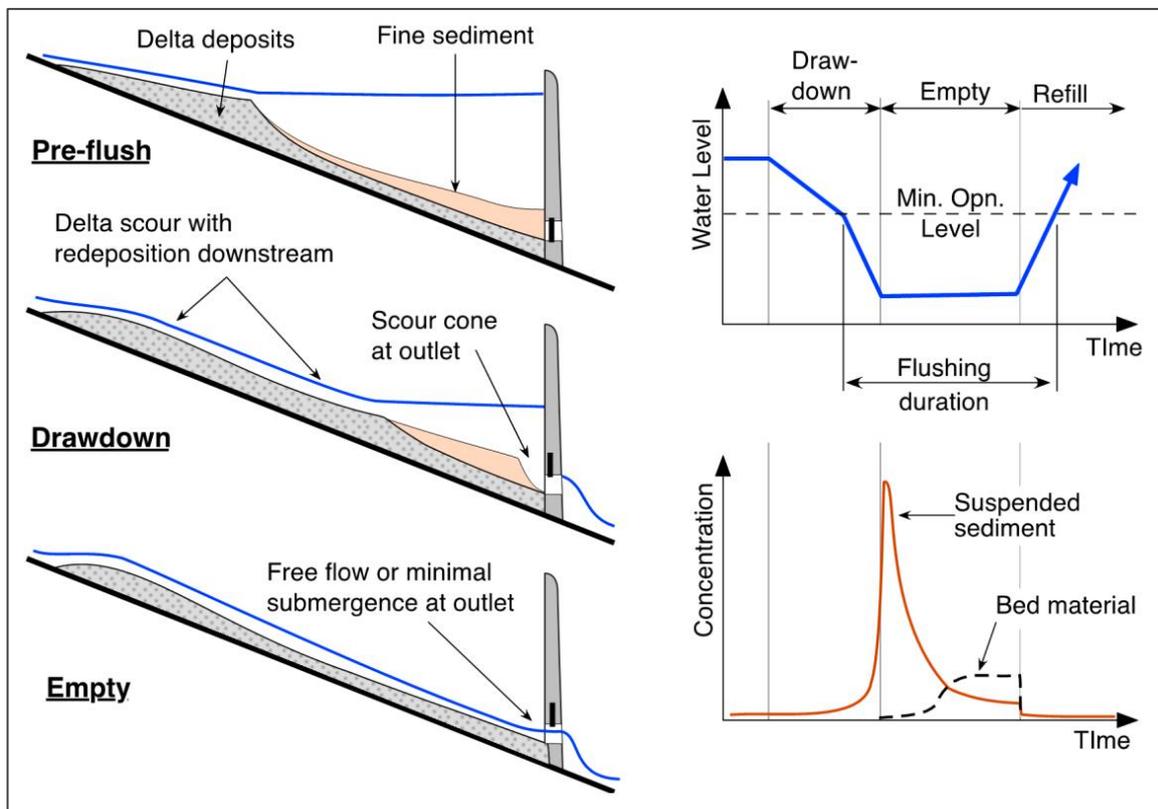


Figura 14. Secuencia del proceso de flushing o descarga controlada (fuente: Morris, 2020)

Excavación o dragado en seco

La excavación en seco requiere disminuir el nivel del embalse lo suficiente para permitir el acceso de los equipos de movimiento de tierras a los depósitos sedimentarios. En los lugares con variación estacional del nivel del agua, la excavación en seco en las zonas de los deltas puede llevarse a cabo durante períodos de bajada natural, o en períodos de sequías. La excavación en seco puede eliminar fácilmente el material grueso de los deltas compuesto por gravas y arenas principalmente; no obstante, la retirada de materiales finos poco consolidados no suele ser eficiente con equipos convencionales de movimiento de tierras como retroexcavadoras, camiones dumpers, etc., a menos que el sedimento se haya deshidratado previamente.

La retirada mecánica se adapta mejor a los embalses que permanecen secos durante parte del año, como los embalses de control de inundaciones (*Kondolf et al., 2014 a*). Si los lugares de eliminación adecuados de los sedimentos están alejados del cuerpo de presa, los impactos asociados al transporte por camión a través de carreteras locales o las que se estimen pueden ser significativos por el tráfico, el ruido, posibles daños en la infraestructura, etc. Además, al igual que en el dragado hidráulico se necesita de espacios o instalaciones, como vertederos, para depositar el material dragado y su posterior transporte; y de un camino de acceso para la maquinaria.

Dragado hidráulico

Este sistema permite eliminar el sedimento almacenado en embalse sin llegar a vaciarlo. Se trata de una práctica eficaz y limpia pero que tiene un elevado coste debido a la maquinaria específica que se requiere, permisos, al propio dragado, etc. A grandes rasgos, existen dos tipos de dragado (*Morris, 2020*):

- El dragado mecánico que retira el sedimento mediante cucharones, como una retroexcavadora en una pontona, una lameja, una draga o una draga de canguiles, colocando el material excavado en una barcaza para su retirada.
- El dragado hidráulico mezcla los sedimentos con agua para su transporte por una tubería, reintroduciendo los sedimentos de nuevo en el río aguas abajo de la presa, o descargándolo en una zona especial para su secado.

La mayoría de los sedimentos de los embalses se eliminan con dragas hidráulicas. Pueden alcanzar elevados coeficientes de producción manejando un amplio tamaño de grano de sedimento, no utilizan un gran volumen de agua ni interfieren en el funcionamiento normal del embalse (*Morris, 2020*). Un tipo especial de este dragado es la draga de sifón o de hidrosucción, que utiliza la diferencia de altura hidráulica entre la

superficie del agua del embalse y un punto de descarga cercano a la base de la presa como fuente de energía.

También se requiere de una gran cantidad de energía para mantener las arenas y las partículas más gruesas en suspensión (tanto dentro del sistema de succión como en la entrada del sistema) con la consecuente abrasión de la tubería (aunque la velocidad de succión, como los costes de bombeo y los daños por abrasión son menores cuando el material es sólo fino y con una granulometría uniforme). Además, hay que tener en cuenta que el sistema de succión debe estar diseñado para transportar la partícula mayor que será dragada, característica que repercutirá en la potencia necesaria de la bomba.

2.6. Procesos erosivos en la costa valenciana.

El aumento del nivel del mar, la erosión en la costa y el número infraestructuras marítimas en la costa de la comunidad valenciana son factores de especial relevancia en el desarrollo del litoral del levante español (*Alguacil, 2020*). Las playas del levante tienen un gran valor medioambiental, social y económico para el territorio más cercano y para el conjunto del país; sin embargo, se están perdiendo en las últimas décadas. Por ello se considera primordial la restitución del flujo sedimentario fluvial que llegue a la costa para evitar problemas de erosión acrecentados por el cambio climático que está teniendo lugar. En la Figura 15 se puede observar el flujo sedimentario natural en el litoral de la Comunidad Valenciana y los aportes desde ríos y barrancos.



Figura 15. Flujo natural de sedimentos (fuente: *Alguacil, 2020*)

En el litoral existen dos tipos principales de transporte de sedimentos: el longitudinal que va en dirección paralela a la costa y el transporte transversal, en dirección perpendicular de la costa. El primero de ellos tiene la peculiaridad de cambiar de dirección según la dirección del oleaje incidente; mientras que el transversal únicamente permanece en sentido perpendicular entre la línea de costa y el mar. Por lo general, los dos movimientos tienen relevancia en zonas cercanas a la orilla; pero el transporte transversal es el único que tiene importancia en aguas profundas (*Shore Protection Manual*, 1984). En cuanto a los sedimentos, estos se pueden movilizar por arrastre por el fondo marino o por suspensión, debido a la elevación de las partículas en flujo su transporte suspendido

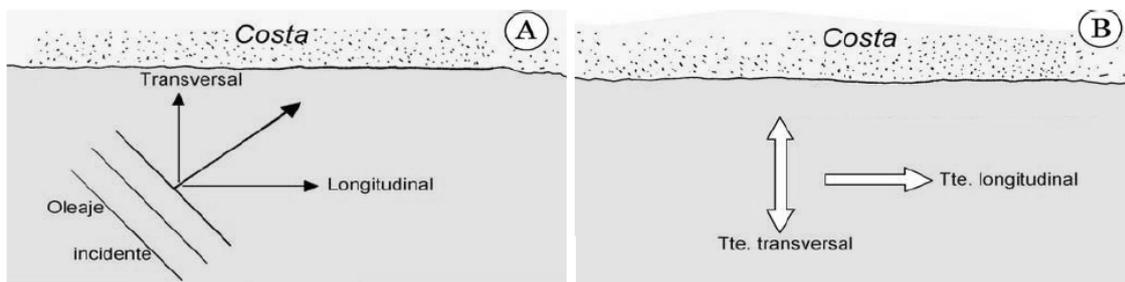


Figura 16. Esquema de descomposición del oleaje y del transporte de sedimentos generado (fuente: De la Peña, 2007)

Alguacil (2020) recoge la evolución de la línea de costa valenciana entre los años 1956 y 2018, y los efectos que producen las barreras en el litoral. En la Figura 17, se muestran las diferentes morfologías y configuraciones que conforman las mismas.

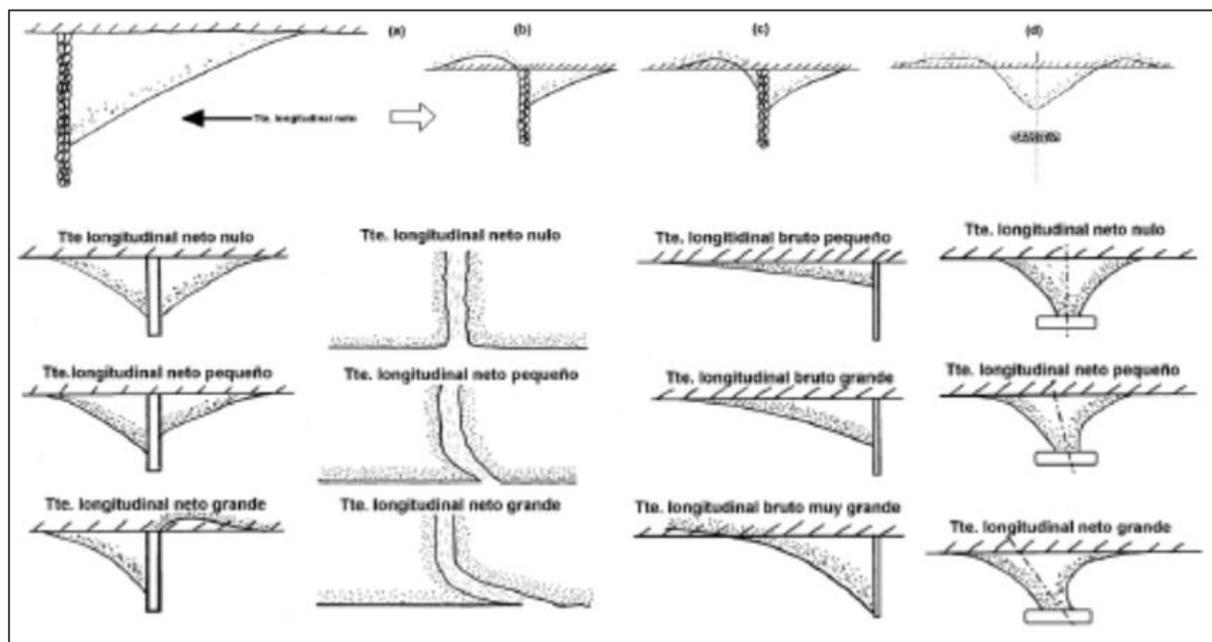


Figura 17. Evidencias morfológicas del transporte sólido longitudinal (fuente: De la Peña, 2007)

La evolución de la línea de costa se ha realizado a partir de ortofotos georreferenciadas del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA, 2020); los años escogidos son 1956, 1997 y 2018. Durante los años 50 se lleva a cabo “Vuelo Americano (serie B)” del que se extraen las ortofotos AMS (B) 1956-1957, siendo el primer levantamiento de precisión de la línea de costa que se ejecuta y que ayuda a medir los efectos del ser humano en las seis décadas anteriores. En el año 1997 se extrae la ortofoto referida al vuelo OLISTAT Oleícola, usándose de comparativo medio al no haberse desarrollado en su totalidad las obras marítimas de protección y abrigo. Por último, para el año 2018 se han utilizados las ortofotos más actuales del PNOA de Máxima Actualidad (*Alguacil, 2020*). Tras analizar la comparativa de las tres líneas de costa superpuestas (Figura 18) se concluye que en determinadas zonas la erosión o acreción de las playas del litoral son muy significantes.



Figura 18. Líneas de costa de los años 1956, 1997 y 2018 respectivamente (fuente: *Alguacil, (2020)*)

La costa existente se ha dividido en diferentes sectores para una mejor comprensión del fenómeno de dinámica litoral y el comportamiento de los sedimentos a lo largo de estas décadas. Algunos de esos tramos se muestran a continuación en las Figuras 19, 20, 21; donde se observa las zonas de acreción y de erosión debidas a la construcción de infraestructuras marítimas durante años. En algunos casos se han generado importantes cambios en la línea de costa, produciéndose una prolongación hacia aguas abierta o un retroceso tierra adentro de decenas, e incluso cientos de metros (*Alguacil, 2020*).

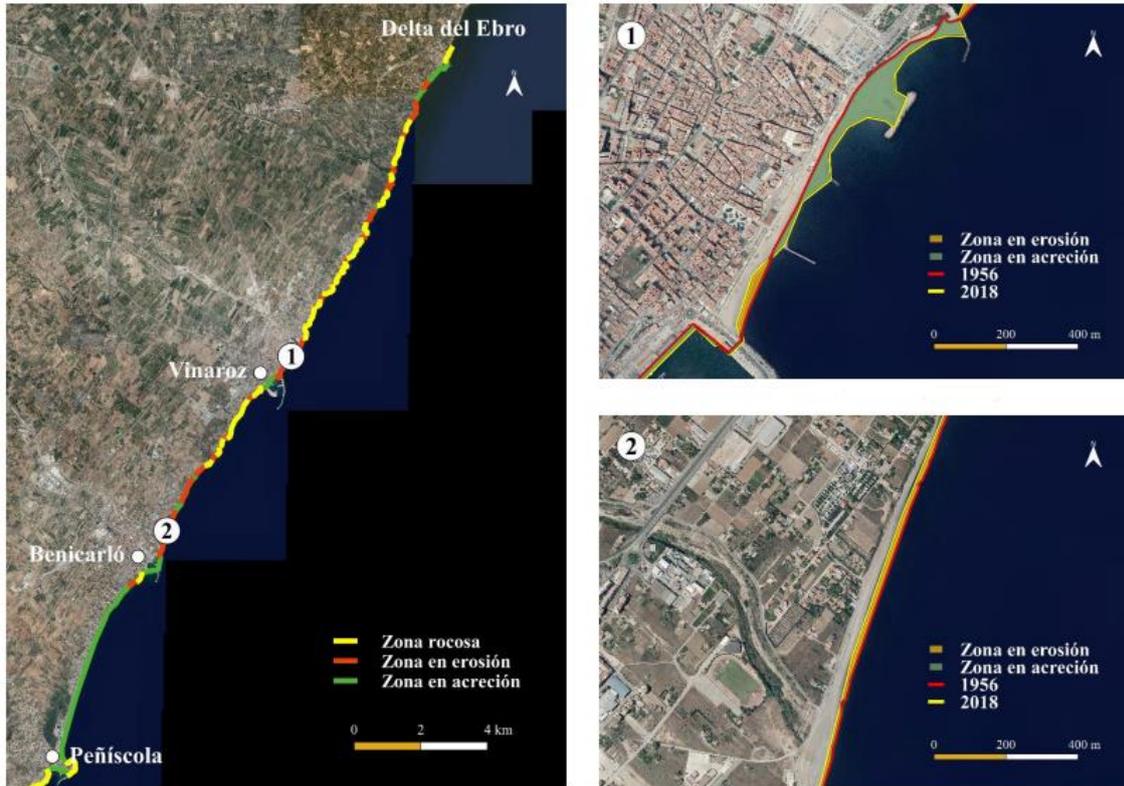


Figura 19. Ejemplo de evolución de la costa en el tramo entre el Delta del Ebro y Peñíscola (Alguacil, 2020)

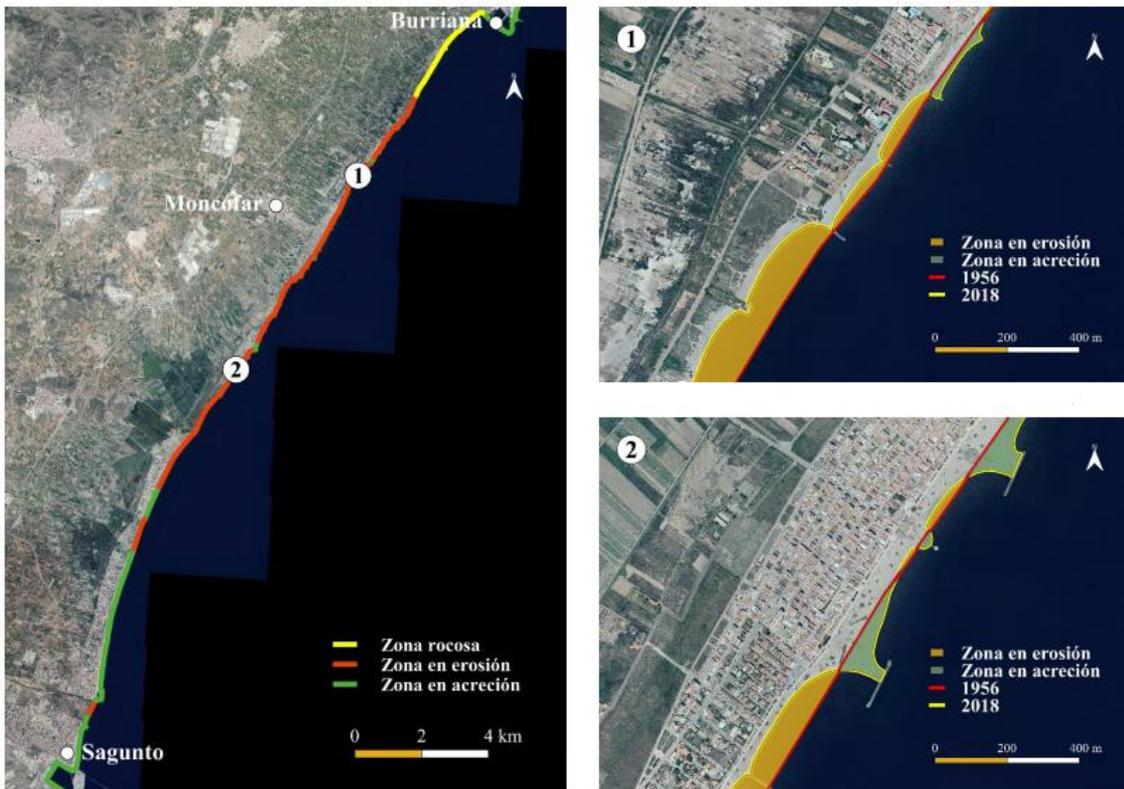


Figura 20. Ejemplo de evolución de la costa en el tramo entre Burriana y Sagunto (Alguacil, 2020)

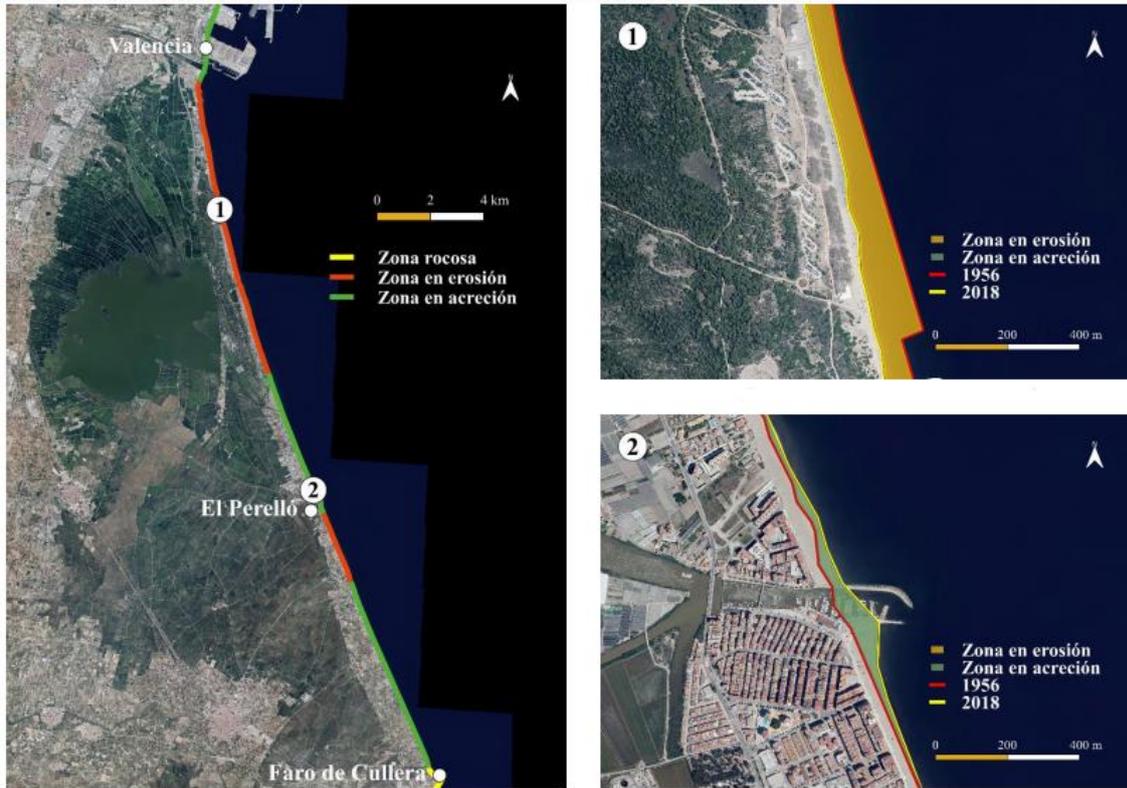


Figura 21. Ejemplo de evolución de la costa en el tramo entre Valencia y el faro de Cullera (Alguacil, 2020)

A través de puntos SIMAR y de la formulación para el transporte longitudinal mediante el “Método del flujo de energía” del *Coastal Engineering Research Center (Shore Protection Manual – 1984)*. Alguacil (2020) estimó el transporte que se produce en diferentes puntos de la costa base de estudio. La red SIMAR se trata de un conjunto de datos formado por series temporales de viento y oleaje originarios de un modelo numérico, siendo por tanto datos simulados y no procedentes de una boya física. Se recogen datos desde 1958 hasta la actualidad.

En la Tabla 5 se recoge a modo de resumen la capacidad de transporte en dos sentidos (norte-sur y sur-norte), y el transporte neto. Además, se muestran los valores de transporte longitudinal máximo y mínimo ya que la formulación que se utilizó puede inducir un error del 50%.

Tabla 5. Estimación de la capacidad de transporte longitudinal de sedimentos (Alguacil, 2020)

	N-S (m ³ /año)	S-N (m ³ /año)	Transporte Neto (m ³ /año)	Transp. Máx* (m ³ /año)	Transp. Mín* (m ³ /año)
Peñíscola SIMAR 2090124	700.000	294.000	406.000	1.050.000	147.000
Arsilaga SIMAR 2088123	476.000	154.000	322.000	714.000	77.000
Burriana SIMAR 2084118	917.000	124.000	793.000	1.375.500	62.000
Puig SIMAR 2081115	261.000	127.000	134.000	391.500	63.500
Malvarrosa SIMAR 2081114	397.000	270.000	127.000	595.500	135.000
El Saler SIMAR 2081112	353.000	275.000	78.000	529.500	137.500
Oliva SIMAR 2083108	267.000	351.000	-83.000	526.500	133.500
Les Deveses SIMAR 2085107	67.000	1.209.000	-1.142.000	1.813.500	33.500

* Fórmula 50% Error

En la Figura 22 se muestran las cantidades del transporte neto descrito en la anterior tabla en hm³/año para cada una de las zonas de la costa desde el Delta del Ebro hasta el Puerto de Dénia.

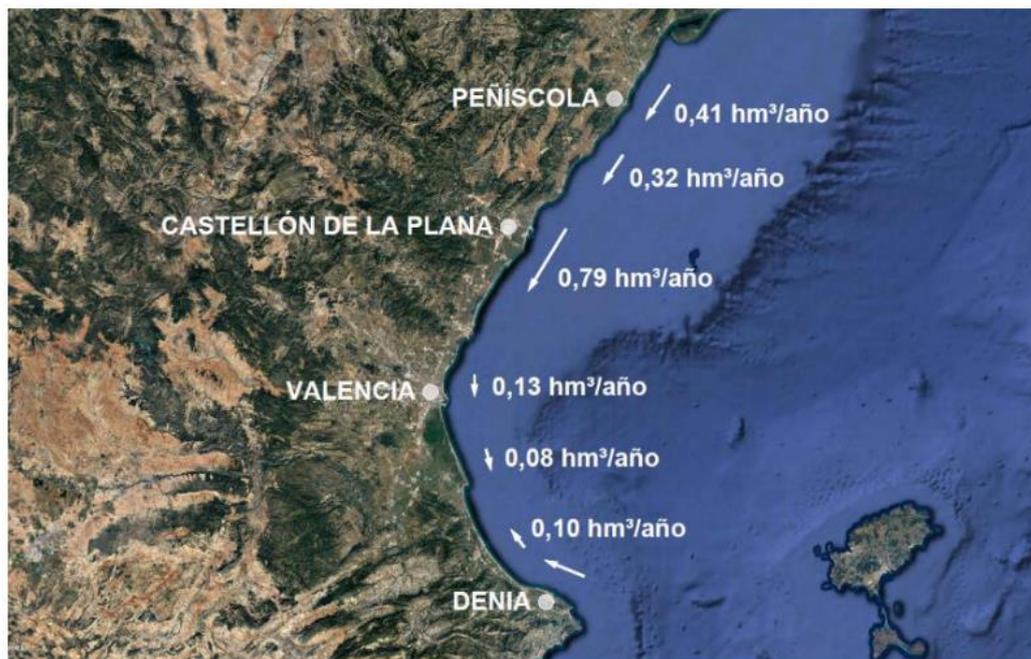


Figura 22. Estimación de la capacidad de transporte longitudinal de sedimentos (Alguacil, 2020)

De los datos consultados se puede concluir que las mayores tasas de transporte se centran en la zona norte de la Comunidad Valenciana y va disminuyendo según se dirige hacia el sur. En la zona de Dénia existe un cambio de dirección en el transporte a Sur-Norte debido a la diferencia de alineación de la costa en cuanto a la batimetría por no ser paralela y tiene varias obras marítimas, que hacen que el transporte de sedimentos se vea modificado.

3. Cuenca Hidrográfica del Júcar y sedimentos en sus embalses

3.1. Características generales

El Real Decreto Legislativo 1/2001, que aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas recoge en su artículo 16 la definición de cuenca hidrográfica como el área de terreno donde su escorrentía superficial discurre totalmente por un conjunto de corrientes, ríos y lagos ocasionalmente hacia el mar por una única desembocadura, estuario o delta. La cuenca hidrográfica se contabiliza como unidad de gestión y es indivisible.

Se establece como demarcación hidrográfica la zona terrestre y marina compuesta por una o varias cuencas hidrográficas aledañas y las aguas subterráneas, de transición y costeras asociadas a estas cuencas.

La Confederación Hidrográfica del Júcar tiene su ámbito de actuación en el extremo central este de la Península Ibérica. Los límites de la Cuenca Hidrográfica del Júcar quedan definidos en el Real Decreto 125/2007 y modificados por el Real Decreto 775/2015, de 28 de agosto, donde se estipula que:

“Comprende el territorio de las cuencas hidrográficas intercomunitarias y, provisionalmente, en tanto se efectúa el correspondiente traspaso de funciones y servicios en materia de recursos y aprovechamientos hidráulicos, el territorio de las cuencas hidrográficas intercomunitarias comprendiendo el margen izquierda de la Gola del Segura en su desembocadura y la desembocadura del río Cela, incluida su cuenca; y además de la cuenca endorreica de Pozohondo y el endorreísmo natural formado por el sistema que constituyen los ríos Quejola, Jadín y Lezuza y la zona de los Llanos, junto con las aguas de transición. Las aguas costeras tienen como límite sur la línea con orientación 100º que pasa por el límite costero entre los términos municipales de Elche y Guardamar del Segura y como límite norte la línea con orientación 122,5º que pasa por el extremo meridional de la playa de Alcanar”.

En cuanto a sus límites administrativos la Demarcación Hidrográfica del Júcar (DHJ) limita con las demarcaciones del Ebro al norte y del Segura al sur, y con las del Tajo, Guadiana y Guadalquivir al oeste. En su vertiente este limita con el Mar Mediterráneo. La superficie total de la cuenca es de la DHJ es de 42.756 km², excluyendo las aguas coteras.

La D.H.J. se encuentra dentro de cinco Comunidades Autónomas que son Aragón, Castilla – La Mancha, Cataluña, Región de Murcia y la Comunitat Valenciana; y de siete provincias (Valencia, Alicante, Castellón, Albacete, Cuenca y Teruel, y pequeñas zonas

de Tarragona y Murcia). En la Tabla 6 se puede observar el área que en cada territorio ocupa la DHJ.

Tabla 6. Superficie de la DHJ por provincia y comunidad autónoma, y porcentaje de participación (fuente: Memoria. Plan Hidrológico de la DHJ. Ciclo 2022-2027)

Provincia	Área en la provincia (km ²)	Área en la C.A. (km ²)	Comunidad Autónoma	Porcentaje en el ámbito del Plan Hidrológico con que participa la C.A.	Porcentaje de superficie de la C.A. en el ámbito del Plan Hidrológico
Valencia/València	10.813,25	21.120,04	Comunitat Valenciana	49,40%	90,43%
Castellón/Castelló	5.785,06				
Alicante/Alacant	4.521,73				
Cuenca	8.701,81	16.110,56	Castilla - La Mancha	37,68%	20,32%
Albacete	7.408,75				
Teruel	5.373,81	5.373,81	Aragón	12,57%	11,27%
Tarragona	87,99	87,99	Cataluña	0,21%	0,28%
Murcia	64,01	64,01	Región de Murcia	0,15%	0,57%
Total: DHJ	42.756,41	42.756,41			



Figura 23. Ámbito territorial de la Demarcación Hidrográfica del Júcar (fuente: Memoria. Plan Hidrológico de la DHJ. Ciclo 2022-2027)

La Demarcación Hidrográfica se divide según varios aspectos, uno de ellos son los sistemas de explotación. El Real Decreto 907/2007 que aprueba el Reglamento de la Planificación Hidrológica especifica en su artículo 19 la función de los sistemas de explotación que dividen el territorio de la demarcación. Cada uno de ellos se compone de masas de agua superficial y subterránea, obras e instalaciones hidráulicas, normas de utilización de agua debido a las demandas y reglas de explotación que establecen los suministros de agua que componen la oferta, siempre teniendo en cuenta los objetivos medioambientales.

En el ámbito de este trabajo es importante conocer los sistemas de explotación al que pertenecen cada embalse que se encuentra dentro de la DHJ. Se han designado en la Demarcación un total de 9 sistemas de explotación como se muestra en la figura 24.

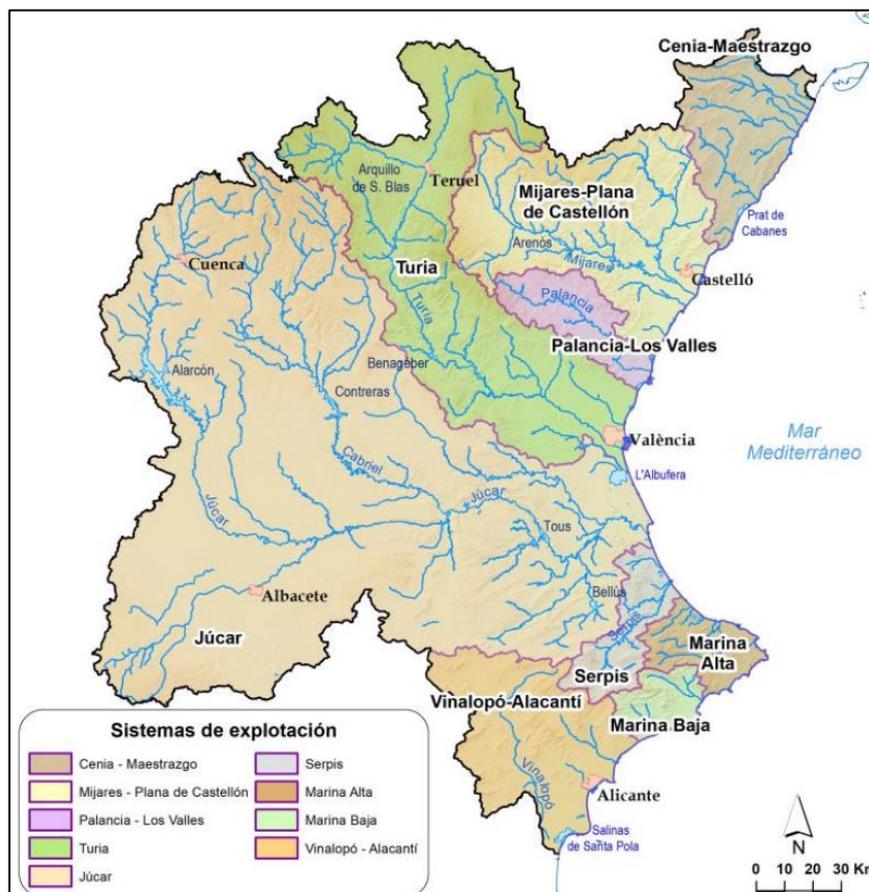


Figura 24. Sistemas de explotación de la Demarcación Hidrográfica del Júcar (fuente: Memoria. Plan Hidrológico de la DHJ. Ciclo 2022-2027)

La superficie de cada sistema de explotación se recoge en la tabla 7:

Tabla 7. Superficie de sistemas de explotación de la Cuenca Hidrográfica del Júcar (fuente: Memoria. Plan Hidrológico de la DHJ. Ciclo 2022-2027)

Sistema de explotación	Área incluyendo aguas costeras (km ²)	Área excluyendo aguas costeras (km ²)
Cenia - Maestrazgo	2.318,84	2.033,00
Mijares - Plana de Castellón	5.068,65	4.818,78
Palancia - Los Valles	1.131,41	1.086,90
Turia	7.532,36	7.231,71
Júcar	22.380,23	22.207,80
Serpis	1.186,02	985,17
Marina Alta	1.172,43	838,62
Marina Baja	750,30	606,65
Vinalopó - Alicante	3.348,26	2.947,77
Total DHJ	44.888,50	42.756,41

El Plan Hidrológico de Cuenca del tercer ciclo de planificación (2022-2027) estipula los análisis de los recursos totales de la Demarcación Hidrográfica del Júcar para la serie reciente (1980/81-2017/18), ya que incorpora el “efecto 80” por causa del cambio climático, en un análisis de los recursos totales. Describe los datos por sistema de explotación, y diferencia la aportación total de la red fluvial principal y en red secundaria.



Figura 25. Puntos finales de la red fluvial principal y secundaria de la DHJ (fuente: Anejo 2 - Memoria. Plan Hidrológico de la DHJ. Ciclo 2022-2027)

En la figura 25 se muestran los puntos finales de la red fluvial de la demarcación que llegan al litoral y de los cuales se tienen las salidas al mar en $\text{hm}^3/\text{año}$ que se dan por sistema de explotación. En la tabla 8 se muestran sus valores.

Tabla 8. Recurso Total, aportación en la red principal y secundaria, y salidas al mar de la DHJ. Serie reciente 1980/81-2017/18 ($\text{hm}^3/\text{año}$) (fuente: Anejo 2 - Memoria. Plan Hidrológico de la DHJ. Ciclo 2022-2027)

Sistema de explotación	Recurso Total (Precipitación - ETR*)	Aportación en la red fluvial Principal	Aportación en la red fluvial Secundaria	Salidas Mar
Cenia - Maestrazgo	231.30	128.10	23.90	159.40
Mijares - Plana de Castellón	417.10	328.00	20.90	28.00
Palancia - Los Valles	89.10	63.20	15.30	8.80
Turia	422.40	401.40	1.90	7.30
Júcar	1409.60	1244.80	126.00	23.90
Serpis	202.20	110.10	24.80	36.70
Marina Alta	230.20	165.20	24.70	28.50
Marina Baja	69.60	63.80	5.50	15.10
Vinalopó - Alicante	93.80	69.00	21.20	15.80
Total DHJ	3165.4	2573.7	264.3	323.6

*ETR = Evapotranspiración real ** Unidades en $\text{hm}^3/\text{año}$

Los recursos totales de los que dispone la DHJ, comprendiendo que se trata de la diferencia entre la precipitación recogida y la evapotranspiración real (ETR) que tiene lugar se encuentra en 3165 $\text{hm}^3/\text{año}$, aproximadamente. Este recurso no es aprovechable en su totalidad; siendo realmente disponible 2570 $\text{hm}^3/\text{año}$, esto es, las que discurren por las redes fluviales principales de la demarcación.

En cuanto a la red secundaria, compuesta por ramblas y barrancos costeros, tiene una aportación de en torno a 260 $\text{hm}^3/\text{año}$ y que desemboca al mar; y debido a la temporalidad del recurso en una escala mensual no se puede sumar a la totalidad disponible. Además, se presentan las salidas al mar desde las masas de agua subterráneas, que no las salidas superficiales. Las salidas desde masas de agua subterráneas ayudan a mantener una buena calidad de las aguas y evita problemas de intrusión marina y los aportes, tanto superficiales como subterráneas a los humedales costeros, necesarios para mantener su buen estado ecológico.

3.2. Embalses y presas de la cuenca.

Debido a la gran variabilidad hidrológica y los períodos de escasez de recursos en la Demarcación Hidrográfica ha dado la situación de la construcción de embalses e

infraestructuras hidráulicas necesarias para satisfacer las demandas de este recurso, en el especial de riego.

La Demarcación Hidrográfica del Júcar recoge en su memoria de Plan Hidrológico de Cuenca 2022-2027 a sus embalses de mayor envergadura que ascienden a un total de 28 embalses, con capacidad de almacenamiento de agua de 3300 hm³ de los cuales los mayores embalses son Alarcón, Contreras y Tous (río Júcar) y Benagéber (río Turia). En la Figura 26 se muestra la situación de los 28 embalses.



Figura 26. Embalses principales de la Demarcación Hidrográfica del Júcar (fuente: Memoria. Plan Hidrológico de la DHJ. Ciclo 2022-2027)

Sin embargo, en el presente trabajo se han tratado un total de 39 embalses que se incluyen dentro del área de administración de la Cuenca Hidrográfica del Júcar, que no se incluyen en la figura anterior pero que sí son estudiados debidos a la retención de sedimentos y a la erosión potencial de sus cuencas de aporte, aunque sean pequeños o incluso se encuentren en estado de baja (no se encuentran en explotación) desde la Confederación Hidrográfica. Todos los embalses generan el “efecto barrera” para los sedimentos ya sea en un río continuo como en un río efímero, con consecuencias en el

trascuro de los mismos y en el litoral, como ya se ha ido desarrollando a lo largo de este texto. En la Figura 27, se muestra una imagen que sitúa los embalses que se han analizado en el presente trabajo en ortofotos a través de Google Earth:



Figura 27. Situación de los embalses dentro de la C.H.J. (fuente: Google Earth)

Un gran número de embalses se sitúan en los principales cursos de agua de la Confederación hidrográfica como son el río Júcar, el río Turia, el río Cabriel, el río Mijares, el río Serpis, entre otros; además de sus afluentes.

La temporalidad del régimen hidráulico a la hora del estudio del aporte de sedimentos a embalses es importante ya que se centra en la erosión y transporte que se produce en sus respectivas cuencas de aporte. En el caso de cauces permanentes, el flujo de agua es continuo, produciendo una generación y transporte de sedimentos durante todo el año, con un crecimiento evidente en períodos de avenidas; en los cauces intermitentes o efímeros el aporte de sedimentos, que han sido erosionados durante periodos sin lluvia, son transportados en situaciones de avenidas que tengan un caudal suficiente

Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (SNCZI) y de la Sociedad Española de Presas y Embalses (SEPREM).

Tabla 9. Datos de las presas y embalses estudiados (elaboración propia según datos del SNCZI y SEPREM)

Embalse	UTM X	UTM Y	Río	Sist. Explotación	Tipología	Año Construcción	Capacidad (Hm ³)	Superficie (Ha)
La Toba	591727	4451652	Júcar	Júcar	gravedad	1935	11	158
Alarcón	576272	4379810	Júcar	Júcar	gravedad planta recta	1955	1117.8	6840
Picazo	578708	4369458	Júcar	Júcar	gravedad	1953	1	1
El Molinar	651948	4341287	Júcar	Júcar	tierras	1951	4.28	69.3
Cortes II	679584	4347873	Júcar	Júcar	gravedad	1989	118	570
Naranjero	685314	4349784	Júcar	Júcar	gravedad	1989	29	125
Tous	702945	4334034	Júcar	Júcar	materiales sueltos	1994	379	1062
Escalona	698934	4333574	Escalona	Júcar	arco gravedad	1995	108.3	884
Batanejo, El	615003	4396936	Guadazaón	Júcar	gravedad	1921	0.10	2
Bujoso, El	616890	4400019	Cabriel	Júcar	gravedad	1912	0.95	11
Contreras	628646	4378169	Cabriel	Júcar	gravedad planta recta	1975	361	3331
Forata	48003	4356737	Magro	Júcar	gravedad planta curva	1969	37	231
Almansa	659969	4304472	Belen Grande	Júcar	boveda-cupula/gravedad	1911	2.90	40
Bellús	718605	4313102	Albaida	Júcar	gravedad planta recta	1994	69	702.9
Buseo	676920	4384893	Sot	Turía	gravedad	1912	8	60
Arquillo de San Blas	652411	4469673	Turía o Guadalaviar	Turía	gravedad	1960	21	143
Benageber	662933	4399132	Turía o Guadalaviar	Turía	gravedad	1955	221	722
Loriguilla	678971	4392707	Turía o Guadalaviar	Turía	gravedad	1697	73	364
Regajo	711606	4418415	Palancia	Palancia-Los Valles	gravedad planta recta	1959	6	82
Algar	724630	4407513	Palancia	Palancia-Los Valles	gravedad. Mixta	2000	6	69
Valbona	685652	4458169	Fuente de Mora	Mijares-Plana Castellón	gravedad y materiales	1960	0.50	15.7
Mora de Rubielos	691831	4461282	Mora	Mijares-Plana Castellón	materiales sueltos	2006	1.00	2
Balagueras	697570	4453810	Palomajares	Mijares-Plana Castellón	gravedad planta recta	1957	0.12	2
Toranes, Los	692527	4446327	Mijares	Mijares-Plana Castellón	gravedad	1954	1.00	8
Arenós	708954	440177	Mijares	Mijares-Plana Castellón	materiales sueltos	1979	137	390.3
Cirat	709922	4439301	Mijares	Mijares-Plana Castellón	gravedad	1962	0.10	2
Vallat	717952	4436722	Mijares	Mijares-Plana Castellón	gravedad	1968	1.00	6
Ribesalbes	728632	4434140	Mijares	Mijares-Plana Castellón	gravedad	1948	0.41	5
Sichar	736288	4432587	Mijares	Mijares-Plana Castellón	gravedad planta mixta	1960	49	317
Onda	728000	4424118	Veo	Mijares-Plana Castellón	gravedad	1954	1.00	19
Alcora	737170	4442331	Lucena	Mijares-Plana Castellón	gravedad planta recta	1958	1.6	26
Maria Cristina	741969	4434751	Rambla de la Viuda	Mijares-Plana Castellón	gravedad planta circular	1920	18	247.2
Uldecona	773325	4507239	Cenia	Cenia-Maestrazgo	gravedad planta recta	1984	11	817
Beniarrés	729552	4299529	Serpis	Serpis	gravedad	1971	27	268
Isbert	751553	4297021	Girona	Marina Alta	arco gravedad	1945	0.60	8
Guadalest	744226	4285046	Guadalest	Marina Baja	gravedad	1967	13	67.5
Amadorio	738409	4268581	Amadorio	Marina Baja	gravedad	1960	16	103
Tibi	712953	4264193	Monegre	Vinalopó-Alicantí	gravedad	1900	4.00	30
Elche	699233	4242344	Vinalopó	Vinalopó-Alicantí	boveda-cupula	1842	0.38	7.1

Como se puede observar el sistema de explotación con mayor número de embalses (14) es el del Júcar, donde en el curso del río Júcar se encuentra un total de 7, y en concreto el embalse de mayor capacidad (1118 Hm³) de toda la cuenca que es el de Alarcón; seguido del embalse de Tous (379 Hm³). Los otros embalses se sitúan en

afluentes de este río, siendo los mayores los encontrados en el río Cabriel como es el embalse de Contreras (361 Hm³).

En el sistema de explotación del Turia tenemos 4 embalses donde el embalse de Benagéber almacena un mayor volumen (221 Hm³). En cuanto al sistema de explotación Mijares-Plana de Castellón, se puede observar que es el segundo con mayor número de embalses (12); sin embargo, está compuesto por vasos de menor capacidad que se encuentran en serie. Es de especial mención el embalse de Siches (137 Hm³) en cuanto a su capacidad. Resulta interesante conocer la eficiencia de atrapamiento de sedimentos de los embalses, sobre todo cuando se encuentran en serie dentro de un mismo cauce, por tanto, se estudiará esto más adelante en el trabajo.

El resto de los embalses se encuentra integrado en varios sistemas de explotación compuestos por 1 o 2 embalses dentro de sus subcuencas.

El tratamiento de los embalses y de sus cuencas se ha realizado a través de la herramienta software QGIS del que se ha partido de archivos *shapefile* descargados del centro de “Descarga de Datos y Cartografía” de la Confederación Hidrográfica del Júcar. Además, se ha descargado un modelo digital del terreno MDT200 de las provincias que conforman la Demarcación Hidrográfica y se ha recortado al área expresamente que ocupa la D.H.J. Estos archivos MDT200 se han descargado desde centro de descargas del Instituto Geográfico Nacional (IGN), concretamente las provincias de Valencia, Alicante, Castellón, Tarragona, Albacete, Cuenca y Teruel.

En la Figura 29 se muestra un mapa realizado en QGIS de los embalses estudiados en el presente trabajo y los cauces principales de la Demarcación Hidrográfica del Júcar. Por otro lado, en la Figura 30 se puede observar los mismos embalses estudiados, pero delimitados dentro de su sistema de explotación correspondiente, como se puede ver en la tabla anterior, agrupados por el mismo color identificativo.

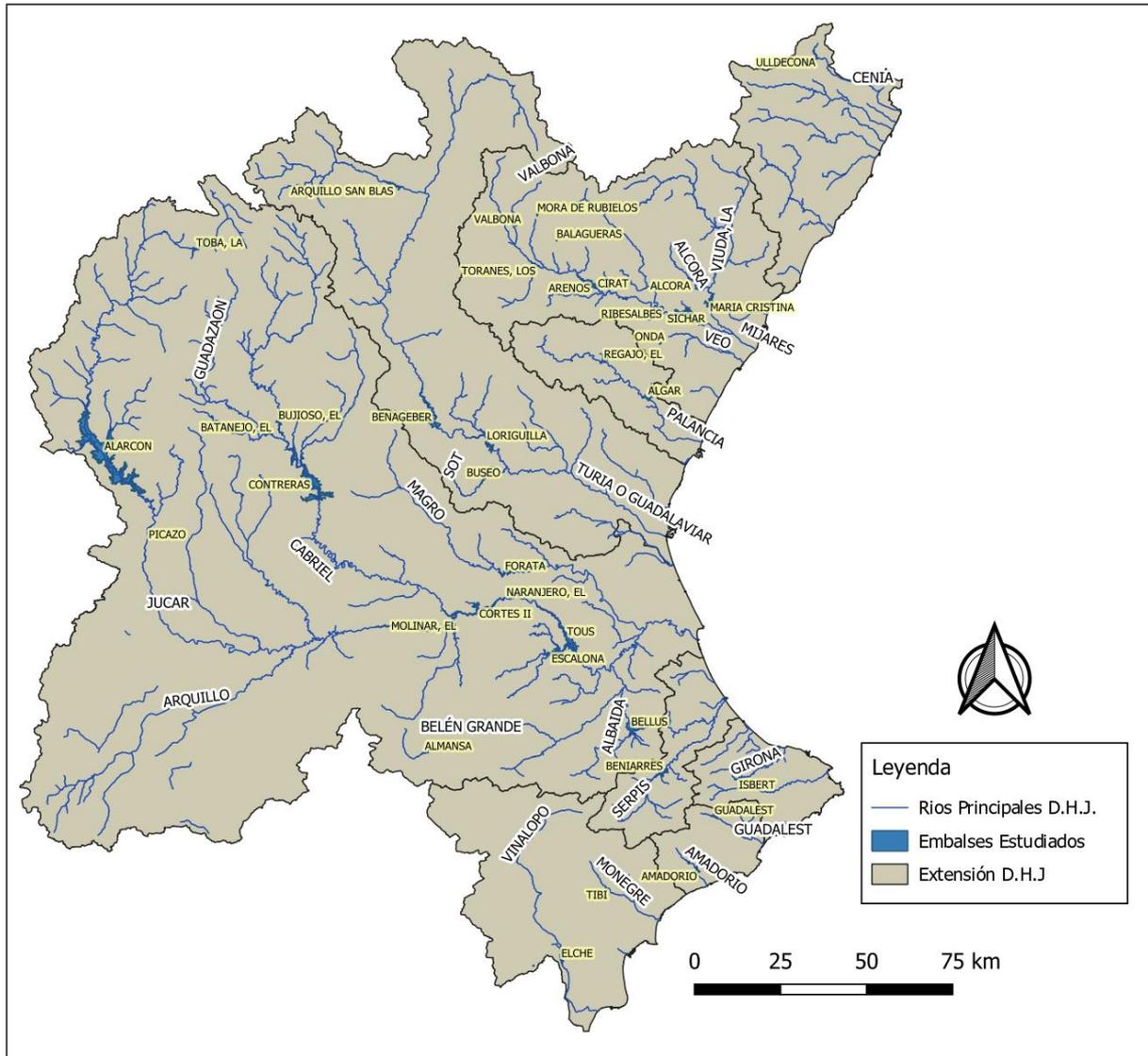


Figura 29. Embalses estudiados y Ríos Principales de la D.H.J. (Elaboración propia).

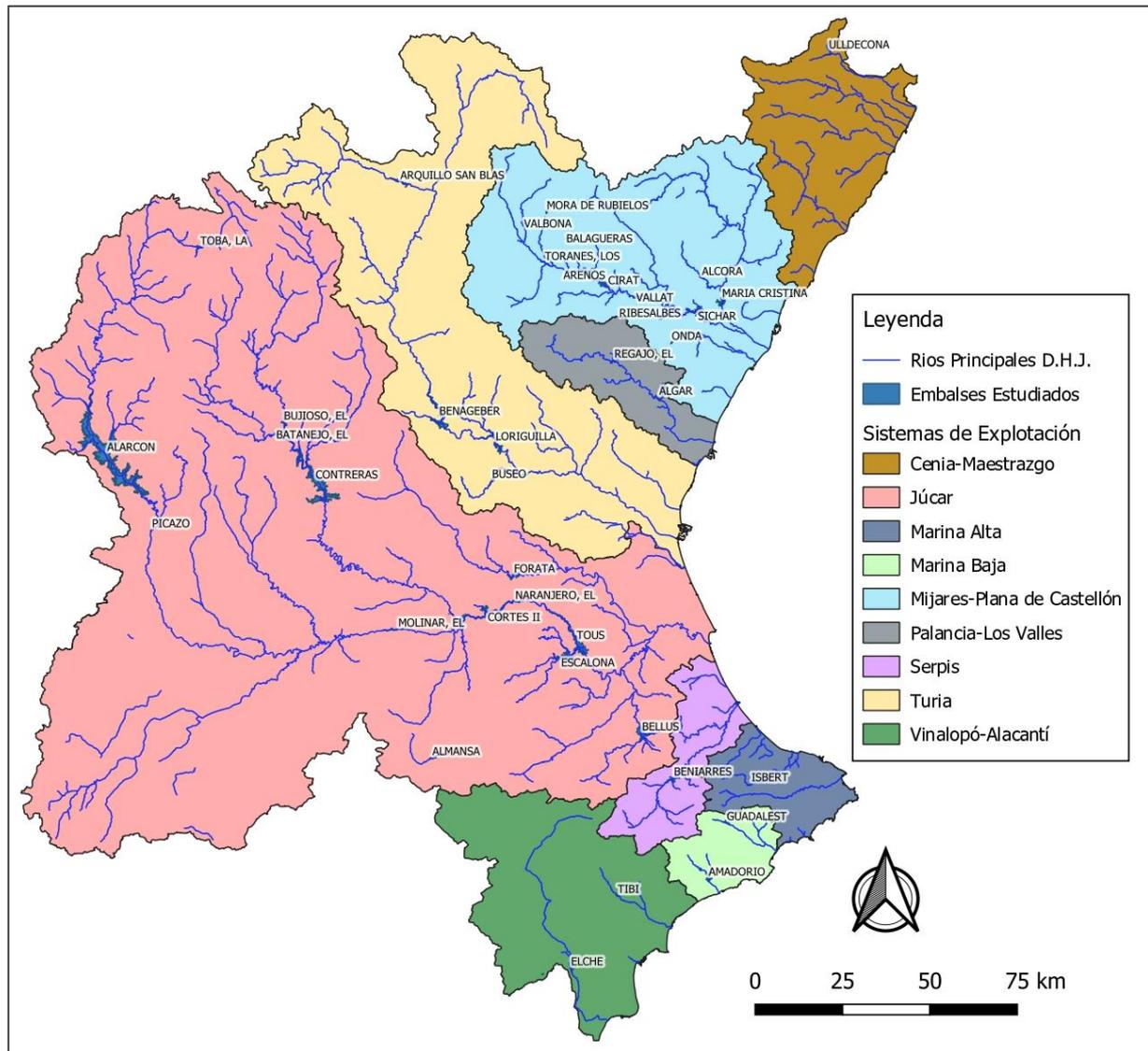


Figura 30. Embalses estudiados dentro de sus respectivos sistemas de explotación (Elaboración propia).

3.3. Estudios batimétricos y sedimentológicos. Metodología seguida.

Para la realización del presente trabajo fueron solicitados al Centro de Estudio Hidrográficos del CEDEX los informes técnicos sobre batimetrías y capacidad útil de embalses así como informes técnicos sobre reconocimientos sedimentológicos de embalses que se habrían realizado en sucesivas campañas para conocer el estado de los vasos durante su vida de explotación.

La misma petición se realizó al área de Dirección Técnica de la Confederación Hidrográfica del Júcar del que se consiguieron estudios batimétricos, de menos embalses, pero más recientes llevados a cabo por este organismo y que permiten hacer una comparación y observar la evolución de la capa de sedimentos en el interior de los embalses.

Los embalses que no se encuentran en estos informes y que también son objetos del estudio han sido tratados a través de QGIS y con una metodología similar a la aplicada en los citados informes que dan una idea de la erosión que se produce en sus cuencas y de la eficacia que poseen en el atrapamiento de los sedimentos generados y depositados.

A continuación, se presenta una lista de los documentos obtenidos junto con la fecha de publicación para cada embalse:

Tabla 10. Informes batimétricos y sedimentológicos obtenidos

Cod.	Embalse	Informes Batimétricos	Informe Sedimentológico
8001	Alarcón	1998	-
8002	Alcora	2017 - C.H.J. 1976	-
8004	Amadorio	1993 1980 1973	1991
8005	Arenós	2020 - C.H.J. 1995	-
8006	Arquillo de San Blas	1990	2001
8014	Benageber	1994	1993
8007	Beniarrés	1993 1980	1991
8008	Buseo	1980	1991
8009	Contreras	1994	1994
8013	Forata	2001 1987	2001
8015	Guadalest	1990 1980	-
8023	La Toba	1980	-
8016	Loriguilla	1996	-
8017	Maria Cristina	2020 - C.H.J. 2001 1992 1976	1993
8019	Regajo	1979	-
8021	Sichar	2018 - C.H.J. 1976	-
8025	Ulldecona	2001	-

3.3.1. Procedimiento de los informes técnicos batimétricos.

Los informes sobre la capacidad útil de embalses se enmarcan en un plan sistemático de reconocimiento fotogramétricos-batimétricos de embalses desarrollados en su

mayoría por el Centro de Estudios y Experimentación del CEDEX. Los embalses de los que se desarrollan los estudios son seleccionados por la Cuenca Hidrográfica y su Organismo competente con el fin de evaluar los embalses que sus cuencas hidrográficas la erosión hacía prever un aporte de sedimentos importante a los mismos.

Los fines de estos trabajos son actualizar las curvas de capacidad de los embalses, medir volúmenes de materiales sedimentados y determinar su densidad (estudios sedimentológicos). Con los datos obtenidos y los correspondientes al volumen inicial del embalse (fecha de su puesta en carga), el tiempo transcurrido hasta la fecha de los reconocimientos fotogramétrico-batimétricos, junto con la superficie de la cuenca aportadora se puede llegar a para esta su degradación específica; es decir, su erosión.

El valor que se obtiene se debe corregir con el incremento debido a los materiales que en suspensión o por operación se escapan del embalse, y que, por lo tanto, no se cuantifican en estos reconocimientos. Se hace esencial pues conocer el grado de atrapamiento o capacidad de retención que ocasiona cada cuerpo de presa.

Cuando se desarrolle la modelización matemática del “Coeficiente de Entrega de Sedimentos a los Embalses (C.E.S.)”, se puede calcular el aterramiento a partir de la erosión de la cuenca aportadora por el método de U.S.L.E (*Universal Soil Loss Equation*) que se desarrollará más adelante. Sin embargo, mediante el conocimiento del aterramiento real de los embalses por parte de las técnicas batimétricas se puede estimar la erosión de las cuencas aportadoras y que son datos más veraces al tratarse de métodos totalmente empíricos.

Estos estudios e informes resultan de gran importancia para ir actualizando el Inventario de Presas y Embalses, y conocer las características de los mismo de forma más concreta en proyectos que se deseen desarrollar.

El primer paso para realizar el estudio batimétrico es obtener las fotografías aéreas del embalse y sus zonas próximas. El vuelo es conveniente realizar en la época del año en que el nivel del agua embalsada sea mínimo, pues así se consigue con menor dificultad una pequeña zona de solape entre la zona restituida y levantada por batimetría. Así no quedará ninguna zona del embalse sin información topográfica.

Se establecen en el terreno al menos 4 puntos de apoyo por fotograma, adecuadamente escogidos (identificados fácilmente en las fotos aéreas) para realizar su radiación a partir de vértices geodésicos; y su posterior apoyo para la elaboración de la poligonación o triangulación unida a la Red Geodésica Nacional. A partir de estaciones totales se hallan las distancias y la altimetría.

La parte del vaso que se encuentra sumergido debe obtenerse con el reconocimiento batimétrico. Es necesario esperar que el nivel de la lámina de agua sea más elevada que a la hora de realizar el vuelo para que no quede ninguna zona del embalse sin información topográfica.

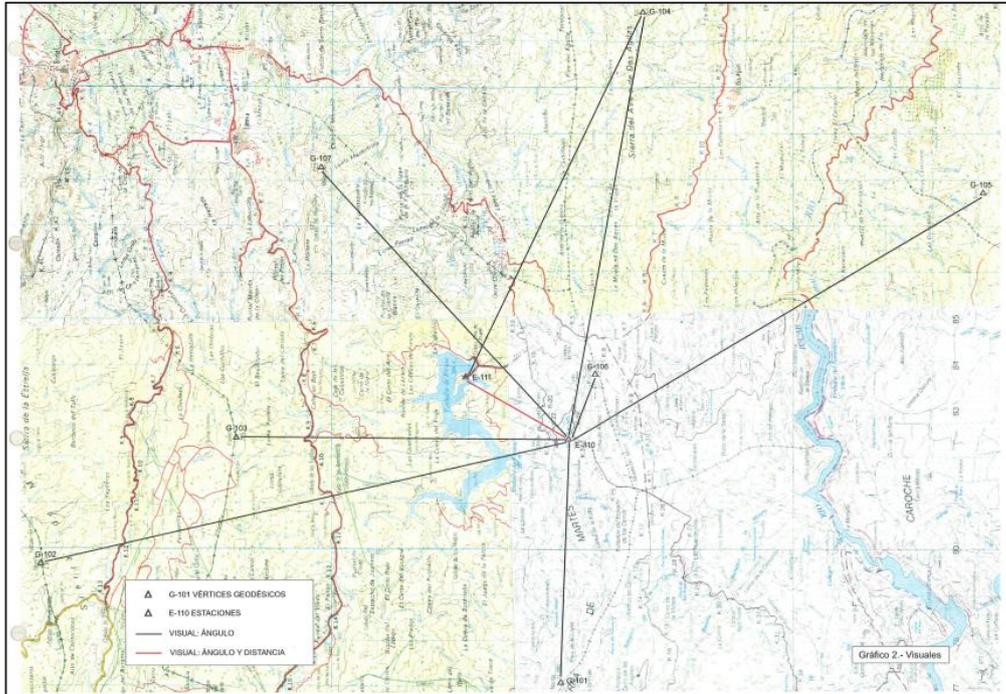


Figura 31. Gráfico de Visuales y Puntos de Apoyo del vuelo fotogramétrico del embalse de Forata (fuente: Estudio de capacidad útil - Embalse de Forata. Cedex, 2001).

El levantamiento batimétrico consiste en la obtención de coordenadas (x, y, z) de cierto número suficiente de puntos del vaso, que en gabinete recibirán su posterior tratamiento de datos, obteniendo las curvas de nivel que definen el terreno bajo la lámina de agua. Se emplean estaciones totales, ecosonda (integrado en una barca), prismas y programas topográficos para establecer el Sistema de Posicionamiento Hidrográfico.

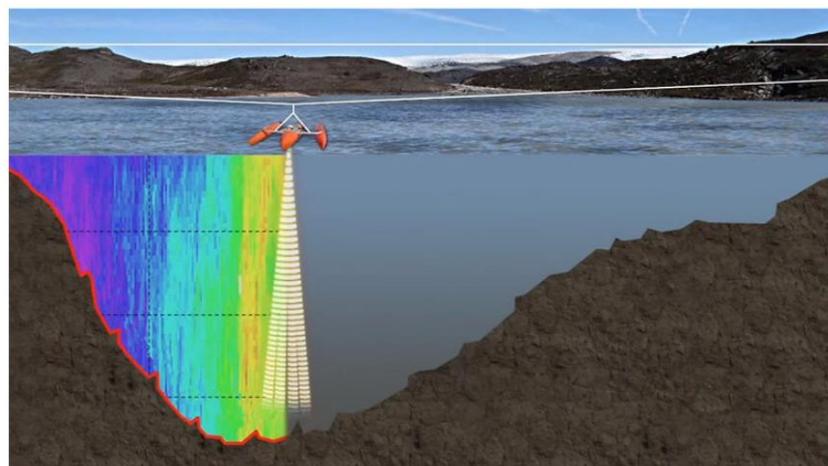


Figura 32. Ejemplo de ecosonda en embalse (fuente: Google Imágenes)

El posterior tratamiento de los datos y la cubicación del embalse se realiza a través de programas informáticos de topografía que se basa en la cubicación a través de trapecios entre curvas de nivel.

Los resultados que se proporcionan de las batimetrías son las mediciones de cotas, superficie y volúmenes acumulados y que permite la representación de:

- Curva Cotas-Superficies.
- Curva Cotas-Volumen.

En las figuras siguientes se muestran las curvas cota-superficie y cota-volumenes del embalse de Benagéber; en ambas conforme aumenta del embalse en metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.) se incrementa la superficie que ocupa el vaso del embalse en hectáreas o el volumen de este en hm^3 . Obtenidos estos datos ya se puede definir el volumen actual de la capacidad que tiene el embalse a fecha de la realización de la batimetría.

El Nivel Máximo Normal (N.M.N.) se define como el máximo nivel que puede alcanzar en un régimen normal de explotación (valor que se justificará en el proyecto y en las Normas de Explotación de cada embalse). Las nuevas batimetrías que se realicen a lo largo de la vida de los embalses darán una nueva capacidad de almacenamiento para este el N.M.N.; en el caso de querer conocer el volumen de sedimentos que se encuentran del vaso bastará con aplicar la diferencia entre el actual volumen y el inicial del que se disponía en el embalse en su puesta en carga.

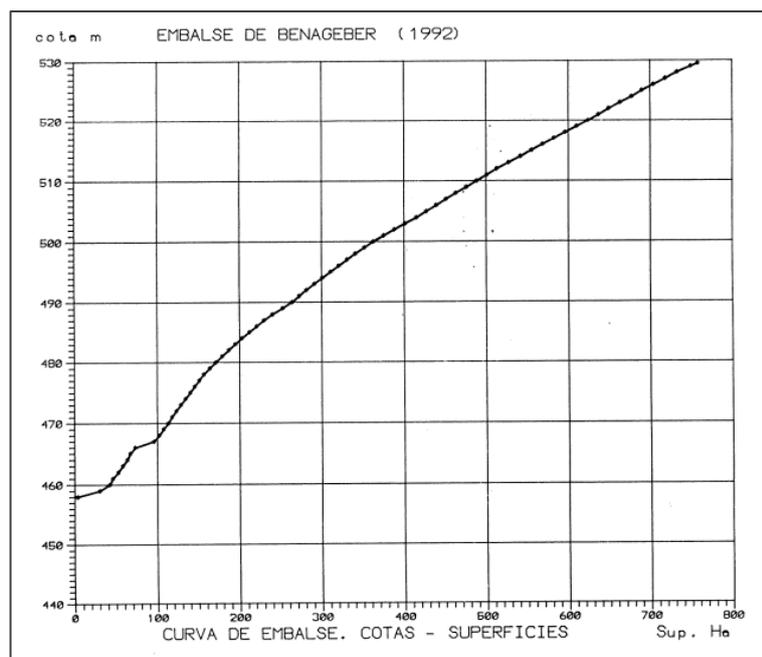


Figura 33. Curva Cota-Superficie del Embalse Benagéber en 1992 (fuente: CEDEX, 1994)

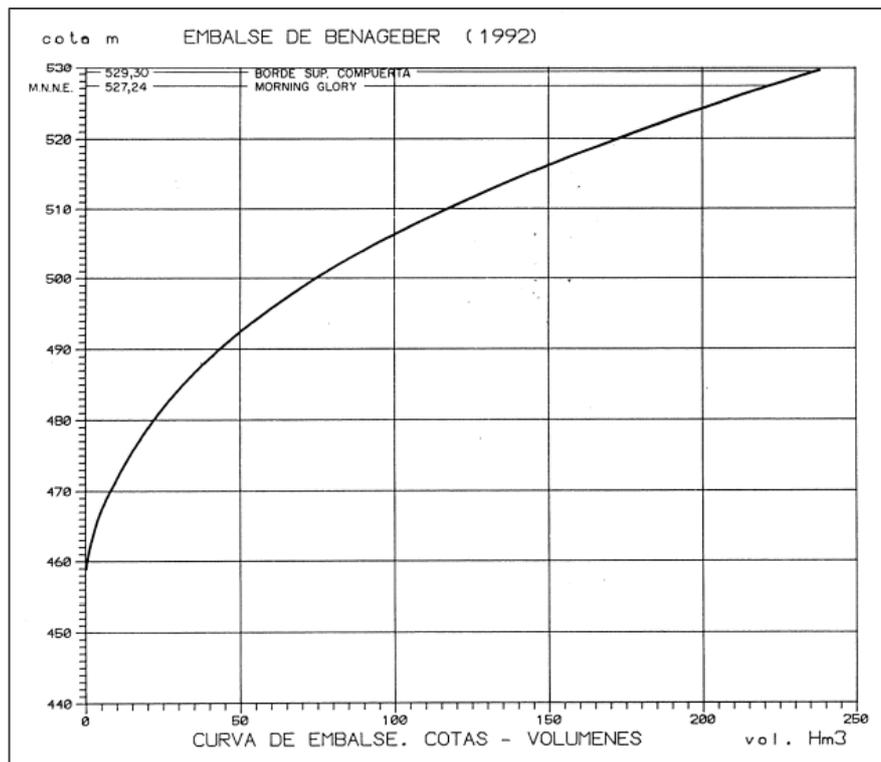


Figura 34. Curva Cota- Volumen del Embalse Benagéber en 1992 (fuente: CEDEX, 1994)

3.3.2. Procedimiento de los informes técnicos sedimentológicos.

Los informes de “Reconocimientos sedimentológicos de embalses” buscan completar la información que se recoge en los estudios batimétricos y caracterizar los sedimentos que se generan en las cuencas aportadoras de cada embalse.

El objetivo principal del estudio sedimentológico es el cálculo de la densidad de los sedimentos, que permita transformar los volúmenes depositados, obtenidos en los estudios batimétricos, en unidades de masa, y partiendo de ello determinar la degradación específica (erosión) de las cuencas vertientes a los embalses estudiados tomando unidades de $Tn/km^2 \cdot año$.

Los análisis geoquímicos de los sedimentos dan la posibilidad de conocer la composición química del sedimento y ayuda a comprender la interrelación agua-sedimento en el embalse como se ha comentado en el apartado “2.1.1. Problemática en el interior de embalses” de este trabajo. Se determina los siguientes componentes: Materia Volátil (M.V.), Insolubles (SiO_2), Carbonato cálcico ($CaCO_3$), e iones Fe^{+3} , Mn^{+2} , Na^+ , K^+ , y nutrientes como fósforo (P).

Además, estos estudios se completan con datos relativos a la cuenca de los embalses como su fisiografía (relieve, red hidrográfica) y su estado erosivo (USLE, Fournier).

Determinación de densidad del sedimento y distribución en el embalse

El análisis de las muestras de los sedimentos depositados en los embalses da la información necesaria para la obtención de la densidad del depósito. Como se ha comentado, a partir del volumen se puede determinar la masa del sedimento en el interior del vaso y el que se proporciona desde la cuenca vertiente.

Los factores básicos que influyen en la densidad del sedimento son:

- La distribución de tamaños de las partículas de sedimento (textura).
- El régimen de explotación del embalse o tipo de embalse.
- El grado de compactación de los sedimentos.

El sedimento se clasificará en función de la distribución de las partículas que lo conforman y presentan una textura arenosa, limosa o arcillosa en función del diámetro de sus partículas:

Tabla 11. Clasificación textura de sedimentos (fuente: Reconocimiento sedimentológico. CEDEX, 2001)

Diámetro Ø (mm)	Textura del sedimento
2 – 0.064	Arenosa
0.064 – 0.004	Limosa
< 0.004	Arcillosa

Los sedimentos estarán compuestos por diferentes fracciones de cada una de ellas, determinando su composición y comportamiento según sea su fracción mayor. Además, en el valor de su densidad también dependerá el grado de compactación que tenga la capa.

Las muestras que se recojan del sedimento en embalses han de estar distribuidas en la superficie y ser suficientes en número como para que la muestra resultante sea representativa del conjunto. La distribución de las muestras dependerá entre otros factores de la composición granulométrica y las condiciones de estratificación térmica del embalse, además de la existencia de corrientes de convección y de aportes laterales.

Como se ha comentado en apartados anteriores, debido a la velocidad de sedimentación de las partículas del caudal sólido que arrastra lleva consigo el flujo entrante al embalse, se encontrarán normalmente sedimentos de granulometría gruesa, gravas y arenas, en la cola y fin del embalse; a la vez que se aproxima al cuerpo de presa, el tamaño de las partículas va disminuyendo.

En la figura 35 se muestra la distribución de las muestras extraídas en el embalse de Buseo y se muestra como ejemplo para el resto de los embalses del que poseen reconocimientos sedimentológicos. Mientras que en la figura 36 se muestra la distribución superficial de los sedimentos en el embalse de Buseo, también como ejemplo del resto de los embalses. Esta distribución es posible realizarla con el tratamiento y la caracterización de las muestras realizadas. La densidad de cada muestra servirá para obtener la densidad media de los sedimentos en el embalse, y la validación de este dato a través del sesgo e incorporando además un intervalo de confianza con ese dato, teniendo además el valor de la densidad media un rango de densidad mínima y máxima de sedimento en cada embalse.

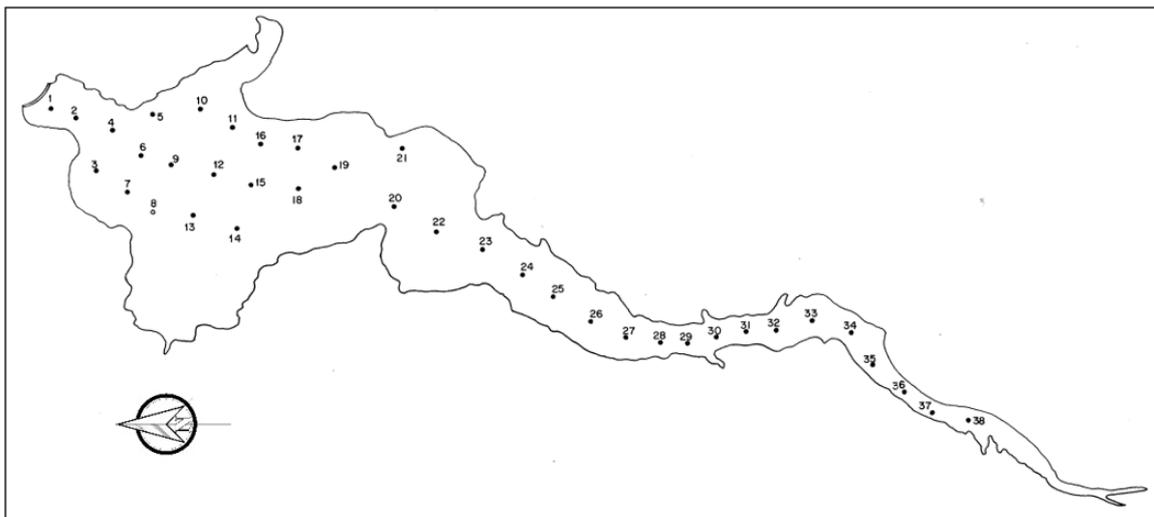


Figura 35. Posición de las muestras tomadas en el embalse de Buseo (fuente: Reconocimiento sedimentológico. CEDEX, 1991).

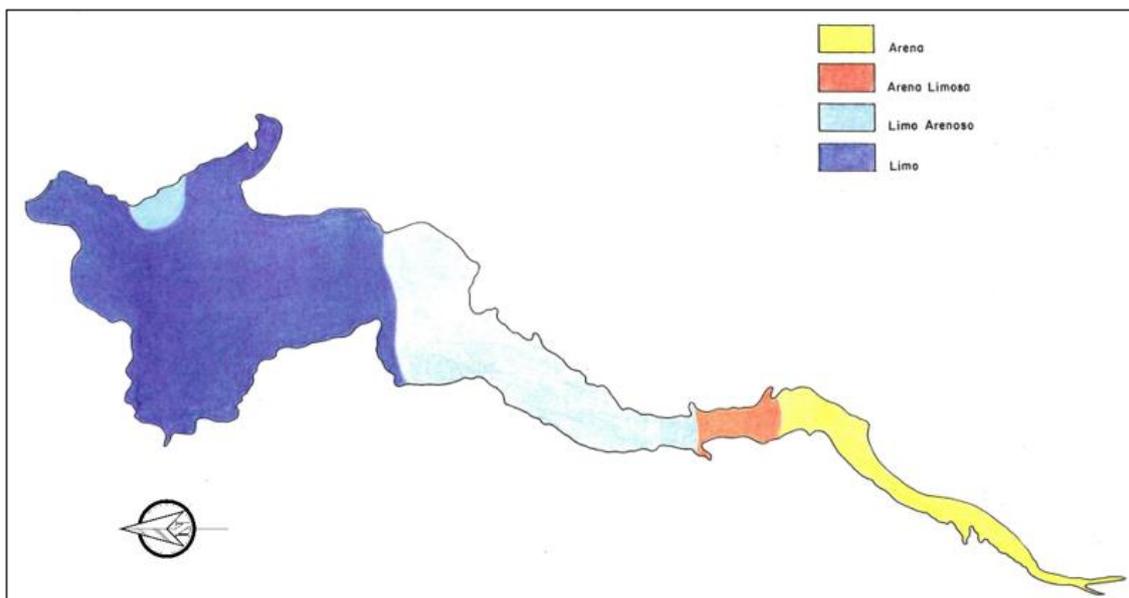


Figura 36. Distribución superficial de los sedimentos en el embalse de Buseo (fuente: Reconocimiento sedimentológico. CEDEX, 1991)

Ecuación Universal de Pérdida de Suelo. U.S.L.E. y Mapa de Estados Erosivos

La U.S.L.E. (*Universal Soil Loss Equation*) es un modelo de estimación de pérdida de suelo con mayor aceptación y de más amplia aplicación (*Almorox et al.*, 1994). La U.S.L.E se trata de un método empírico y su bondad depende de la exactitud de los cinco multiplicandos que componen la ecuación y que permiten reproducir las condiciones del medio. Esta formulación empírica busca interpretar los mecanismos erosivos por causas y efectos. Por otro lado, este modelo no estima el transporte de sedimentos a través de la red fluvial ni la erosión producida en esta.

La ecuación se deduce a partir de los datos obtenidos tras la investigación de la erosión en más de 10000 parcelas en 49 localidades de Estados Unidos (*Almorox et al.*, 1994), ecuación que en su origen fue diseñada para estimar las tasas anuales de erosión en terrenos agrícolas y que fue establecida por Smith y Wischmeier:

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad (1)$$

Siendo:

- A: pérdida de suelo en Tn/ha·año
- R: erosividad de las precipitaciones.
- K: erosionabilidad del suelo.
- L: longitud de la ladera.
- S: pendiente de la ladera.
- C: cultivo y manejo del suelo.
- P: prácticas de conservación.

Los estudios sedimentológicos usan esta formulación para comprar los datos con la Degradación Específica obtenida gracias a los estudios batimétricos. Para ello utiliza el **Mapa de Estados Erosivos**, realizado por el Área de Hidrología y Zonas de Desfavorecidas de la Dirección General de Desarrollo Rural y Política Forestal, y que tiene como objetivo reflejar cartográficamente la dinámica de los procesos de pérdida de suelo por erosión hídrica laminar, utilizando la U.S.L.E. Este estudio se realizó entre los años 1987 y 2001 y su cartografía está disponible en archivo *Shapefile* a través del Ministerio para la Transición Ecológica.

Este mapa da el resultado cualificando la erosión de las distintas cuencas hidrográficas en siete clases de pérdidas de suelo con sus tasas en Tn/ha/año; y se ha utilizado en el

presente trabajo para estimar la pérdida de suelo máxima y mínima de cada cuenca aportadora de los embalses en estudio.

Sin embargo, los estudios sedimentológicos dividen cada cuenca vertiente de embalse a su vez en varias subcuencas con los afluentes principales. En el caso de los embalses que no se tenían dichos estudios se ha decidido obtener las tasas de pérdida de suelo de la cuenca vertiente única.

El **Mapa de Estados Erosivos** clasifica los niveles de erosión de la siguiente forma:

- 1: 0-5 Tn/ha/año
- 2: 5 - 12 Tn/ha/año
- 3: 12 - 25 Tn/ha/año
- 4: 25 - 50 Tn/ha/año
- 5: 50 - 100 Tn/ha/año
- 6: 100 – 200 Tn/ha/año
- 7: > 200 Tn/ha/año

En la Figura 37 se muestra a modo de ejemplo las características del mapa de estado erosivo sobre la cuenca vertiente del Embalse de Alarcón, donde se puede observar las áreas de las que se componen cada nivel de erosión. Este embalse en concreto no dispone de nivel 7 de erosión; por ello no aparecerá en la leyenda del correspondiente mapa. Para ver el resto de los mapas del estado erosivo en las cuencas de aporte véase el **ANEXO II – Mapas de estados erosivos en cuencas vertientes a embalses.**

Para determinar la pérdida de suelo en cada una de las cuencas vertientes de se ha multiplicado cada área de la capa por el máximo y mínimo y realizando el sumatorio para el total de la cuenca; teniendo un rango de valores en Tn/año de pérdida de suelo por cuenca. En el siguiente apartado del trabajo “Capacidad y sedimentos acumulados en la CHJ” se mostrarán los valores obtenidos.

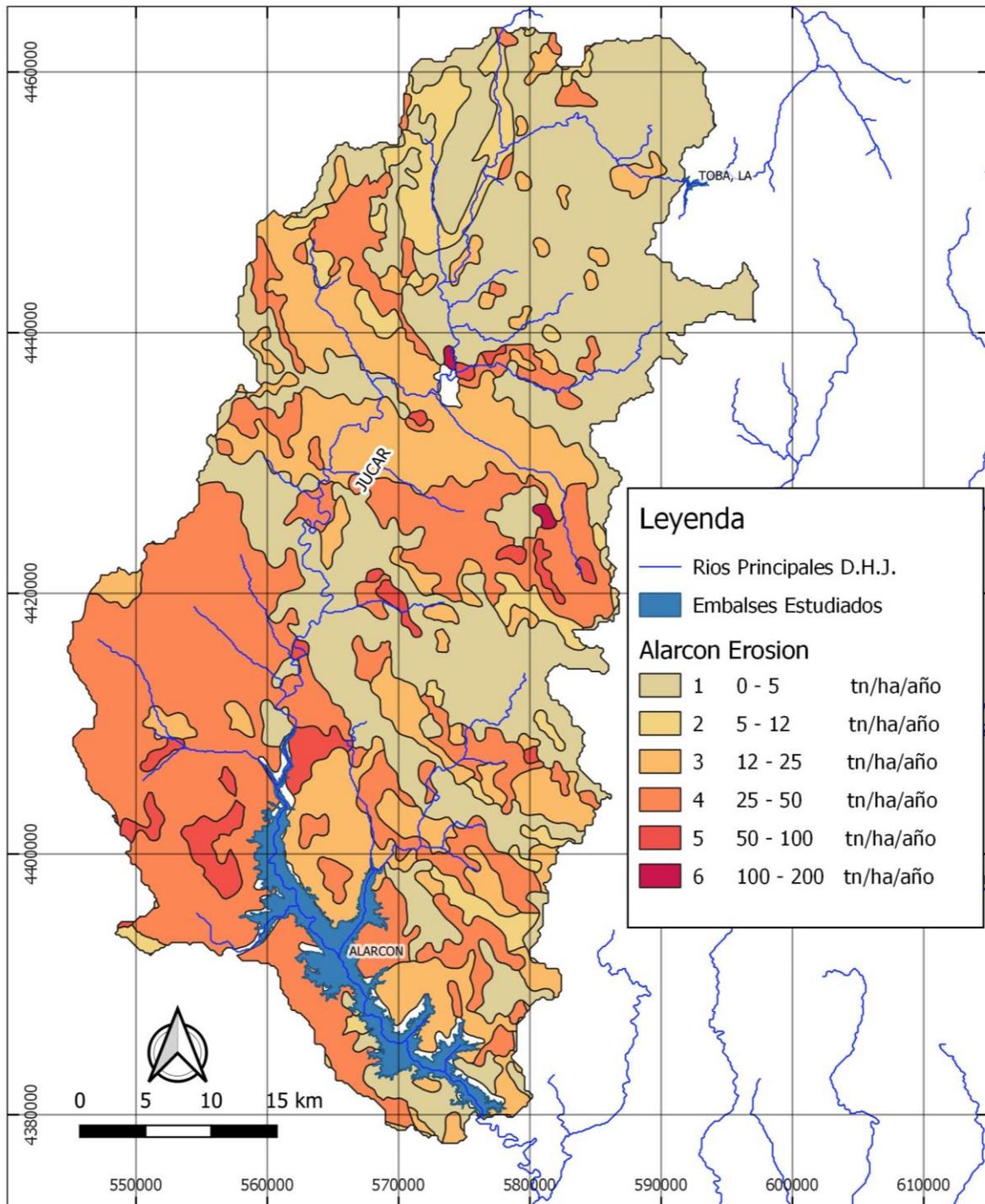


Figura 37. Embalse de Alarcón: Estado erosivo de la cuenca de aporte (Elaboración propia).

Coefficiente de Entrega de Sedimentos

Como se ha dicho anteriormente no todos los sedimentos que se erosionan en una cuenca son transportados por los cursos fluviales. Una gran parte se deposita en laderas, pies de montes, llanuras de inundación, etc. La relación de los materiales que alcanzan el embalse y el total erosionado de la cuenca es el Coeficiente de Entrega de Sedimentos (C.E.S.); este coeficiente depende de las características de la orografía de la cuenca como es la superficie (S), la pendiente del cauce principal (P) y el coeficiente o relación de bifurcación (RB). La expresión ha sido extraída de la metodología utilizada en los estudios sedimentológicos elaborados por el CEDEX:

$$C. E. S = 36 \cdot S^{-0.2} - \frac{2}{\log P} + \lg RB \quad (2)$$

Para la clasificación de los arroyos se ha utilizado el orden propuesto por Strahler (1957), donde a los cursos del río se le asigna un número de orden y este número aumenta cuando dos tramos del mismo orden confluyen, pasando el tramo siguiente a tener un orden superior. Se ha realizado este método en cada cuenca vertiente a los embalses para conocer su relación de bifurcación. Este coeficiente se obtiene aplicando la metodología de Strahler, donde se cuantifican el número de cauces de cada uno de los órdenes (de 1 a 4 como máximo en este caso) y se le aplica logaritmos a esta suma. De los resultados obtenidos se procede dar una relación lineal entre el orden de los cauces y el logaritmo del número de cauces. La pendiente de la recta que se obtiene de esta relación lineal, deshaciendo la potencia es el coeficiente o relación de bifurcación; Strahler establece que la red hídrica de una cuenca sigue dicha relación de linealidad.

La obtención del C.E.S. se ha realizado en embalses de los que no se disponía este dato; ya que los estudios del CEDEX proporcionaban una mayor elaboración al tener en cuenta varias subcuencas para un mismo embalse, siendo estos datos más fiables.

A continuación, se muestra a modo de ejemplo la creación de la red hidrográfica de la cuenca del Embalse de Bellús; como ejemplo de lo realizado en cada cuenca de aporte (Ver **ANEXO III – Orden de Strahler en cuencas vertientes**). Con la herramienta QGIS y el MDT200 de la Demarcación Hidrográfica del Júcar se ha realizado el orden de los cauces según Strahler con el siguiente criterio:

- Cauces de primer orden: Aquellos que carecen de afluentes.
- Cauces de segundo orden: Conjunción de dos o más cauces de primer orden.
- Cauces de tercer orden: Conjunción de dos o más cauces de segundo orden.
- Cauces de cuarto orden: Conjunción de dos o más cauces de tercer orden.

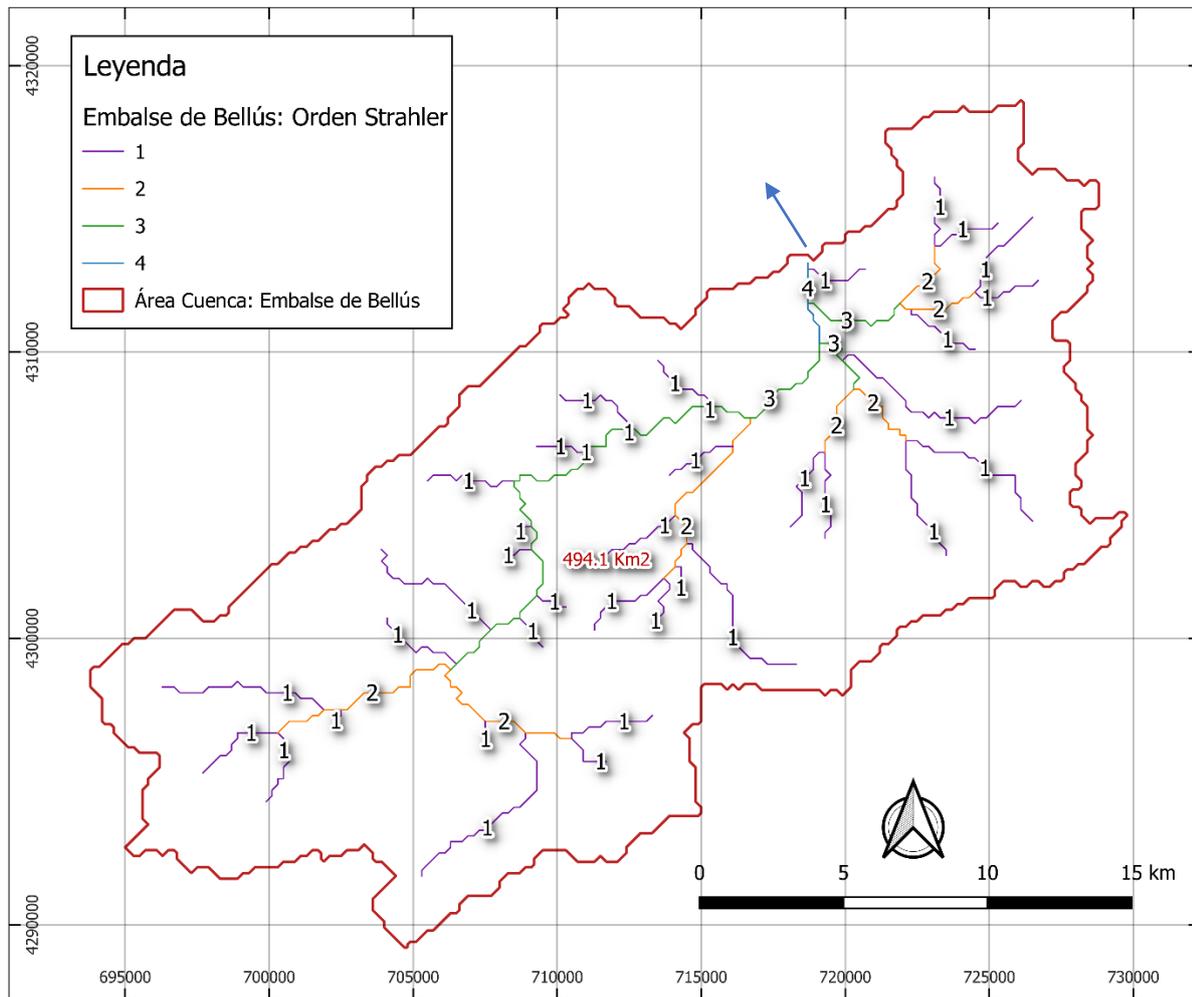


Figura 38. Cuenca Embalse de Bellús: Orden de cauces según Strahler (Elaboración propia)

Una vez realizado el orden de Strahler en la red hidrográfica de la cuenca del embalse de Bellús se procede al conteo de los cauces de cada orden como se ha comentado; en la Tabla 12 y el gráfico siguiente (Figura 39) se pueden ver los datos obtenidos para este embalse.

Tabla 12. Cuenca Embalse de Bellús: Ejemplo de obtención de relación de bifurcación (Elaboración propia)

Orden	Nº Cauces	Log Ns	RB (Strahler)
1	38	1.58	3.24
2	7	0.85	
3	3	0.48	
4	1	0.00	

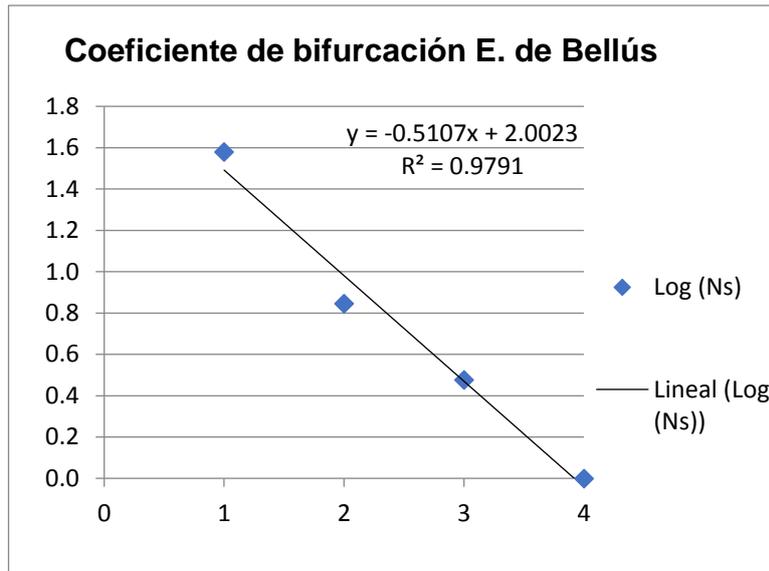


Figura 39. Relación lineal para obtener pendiente de la recta de R.B. - Embalse de Bellús (Elaboración propia)

Para determinar por tanto el C.E.S y obtenido la relación de bifurcación de cada cuenca vertiente de embalse queda por obtener la pendiente media del cauce principal. En cada una de ellas se ha tomado la pendiente media del río principal que atraviesa de forma que se han obtenido las coordenadas (X,Y,Z) de dos puntos: uno en cabecera de cuenca y otro en el vaso del embalse como punto final. Por diferencia de cotas y longitud recorrida por el río entre ambos puntos se determina la pendiente media del cauce en tanto por uno.

Tras analizar los embalses estudiados se ha obtenido que el **coeficiente medio de entrega de sedimentos CES** a embalses en la Cuenca Hidrográfica del Júcar **es del 14,32%**. Se ha realizado el promedio de los CES calculados y que se muestran en la siguiente Tabla 13.

Tabla 13. Obtención del Coeficiente de Entrega de Sedimentos (Elaboración propia)

Cuenca Embalse	Río	Área cuenca (km ²)	Altitud P1	Altitud P2	Long. Cauce P1- P2 (m)	Pendiente media (i)	Relación Bifurcación	CES (%)
			Z (m)	Z (m)				
E. La Toba	Júcar	354.51	1355.2	1155.5	32002.51	0.0062	2.94	12.50
E. Alarcón	Júcar	2472.33	1146.3	785.5	167070.87	0.0022	4.05	8.90
E. Picazo	Júcar	315.84	769.8	699.6	28516.80	0.0025	4.64	12.82
E. El Molinar	Júcar	7053.75	697.4	484.6	160360.99	0.0013	3.22	7.32
E. Cortes II	Júcar	2390.18	446.3	334.5	49404.99	0.0023	3.47	8.89
E. Naranjero	Júcar	56.52	284.1	265.3	9282.08	0.0020	3.87	17.40
E. Tous	Júcar	177.94	225.5	113.1	37271.55	0.0030	3.62	14.12
E. Escalona	Escalona	509.47	186.1	144.6	7055.38	0.0059	2.97	11.72
E. Batanejo	Guadazaón	1010.05	1279.5	773.0	99726.07	0.0051	4.41	10.54
E. Bujoso	Cabriel	1237.14	1418.1	811.3	137655.60	0.0044	4.56	10.17
E. Contreras	Cabriel	1073.7	Se dispone de Reconocimiento Sedimentológico					
E. Forata	Magro	1055.69	Se dispone de Reconocimiento Sedimentológico					
E. Almansa	Belén Grande	253.79	812.3	729.8	18963.51	0.0044	3.87	13.33
E. Bellús	Albaida	494.07	260.2	145.0	16613.74	0.0069	3.24	11.85
E. Buseo	Sot	220.32	Se dispone de Reconocimiento Sedimentológico					
E. Arquillo San Blas	Guadalaviar	812.17	Se dispone de Reconocimiento Sedimentológico					
E. Benageber	Turia	3494.575	Se dispone de Reconocimiento Sedimentológico					
E. Loriguilla	Turia	614.52	450.3	300.2	32870.41	0.0046	3.46	11.36
E. El Regajo	Palancia	453.18	880.9	393.6	38082.65	0.0128	3.10	12.14
E. Algar	Palancia	320.09	384.3	179.4	28504.48	0.0072	4.03	12.89
E. Valbona	Fuente de Mora	15.94				0.0460	4.00	22.79
E. Mora de Rubielos	Mora	20.46				0.0460	4.00	21.78
E. Balagueras	Palomajares	21.90	1693.0	1001.5	14593.44	0.0474	2.65	21.35
E. Los Toranes	Mijares	1038.46	1345.1	825.3	52315.03	0.0099	2.78	10.42
E. Arenós	Mijares	337.17	807.3	569.0	27967.70	0.0085	3.99	12.81
E. Cirat	Mijares	5.68				0.0068	4.00	26.96
E. Vallat	Mijares	387.48	461.9	353.4	15950.53	0.0068	2.95	12.32
E. Ribesalbes	Mijares	559.28	343.4	237.9	19390.37	0.0054	3.31	11.56
E. Sichar	Mijares	116.56	230.0	158.7	19873.13	0.0036	2.95	15.19
E. Onda	Veo	21.86	738.1	313.2	12627.19	0.0337	3.32	21.30
E. Alcora	Alcora	114.29	651.8	307.0	19549.73	0.0176	4.69	15.77
E. Maria Cristina	Rambla de La Viuda	1334	Se dispone de Reconocimiento Sedimentológico					
E. Uldecona	Cenia	83.20	586.1	465.3	6763.21	0.0179	2.85	16.47
E. Beniarrés	Serpis	470	Se dispone de Reconocimiento Sedimentológico					
E. Isbert	Girona	53.99	579.8	246.9	16584.91	0.0201	4.52	18.05
E. Guadalest	Guadalest	60.11	806.0	360.6	9863.27	0.0452	4.58	18.02
E. Amadorio	Amadorio	205	Se dispone de Reconocimiento Sedimentológico					
E. Tibi	Monnegre	265.68	556.4	400.5	12974	0.0120	4.00	13.43
E. Elche	Vinalopó	1634.08	720.8	152.0	80386.88	0.0071	3.61	9.68

3.3.3. Densidad media de los sedimentos dentro de la cuenca.

Para la obtención de la densidad media de los sedimentos en el conjunto de la Cuenca Hidrográfica del Júcar se ha realizado la media de los resultados obtenidos de cada uno de los estudios de reconocimiento sedimentológico de los embalses que se disponían. Esta densidad será representativa para los embalses del que no se dispone este dato de forma específica y se ha estimado en:

$$\text{Densidad media del sedimento} = 1086.27 \text{ kg/m}^3$$

En la tabla que continua se muestran las densidades calculadas en los informes de Reconocimientos Sedimentológicos; además del rango situando la posible densidad máxima y mínima, las fracciones de arenas, limos y arcillas medias de cada embalse y de la muestra media asignada para la cuenca en base a la media de estos valores.

Tabla 14. Valor de densidades de sedimentos en embalses (fuente: Reconocimientos sedimentológicos. CEDEX, 1991-2001).

Embalse	Densidad media de sedimentos (kg/m ³)	Intervalo de densidades (kg/m ³)	Valores Medio de las Muestras			Muestra con Máxima Fracción Arena		
			% Arena 2000-64µm	% Limos 64-4µm	% Arcillas 4-0.25µm	% Arena 2000-64µm	% Limos 64-4µm	% Arcillas 4-0.25µm
Amadorio	1066	-	7.23	77.53	15.25	36.41	55.26	8.33
Arquillo San Blas	1051.87	1043.52 - 1060.22	9.96	57.29	32.75	36.77	48.09	15.14
Benageber	1051.19	1042.56 - 1059.44	4.46	67.79	27.78	89.39	9.89	0.72
Beniarres	1022	1015 - 1029	1.61	79.09	19.3	16.04	70.44	13.52
Buseo	1202	1167 - 1237	29.05	62.17	8.62	98.43	1.37	0.2
Contreras	1065.35	1054.81 - 1075.19	7.53	66.44	26.03	97.65	2.07	0.28
Forata	1147.94	1128.5 - 1167.5	27.07	43.91	29.01	75.19	18.93	5.88
Maria Cristina	1020	1002.34 - 1037.66	8.04	51.85	40.1	61.93	18.7	19.37
Guadalest	1150.09	-	-	-	-	-	-	-
Promedio	1086.27		12	63	25			

Como se puede observar el Embalse de Buseo es el que presenta una mayor densidad en su sedimento (1202 kg/m³); con relación a esto se puede decir además que es el que posee una mayor fracción de arenas tanto en la muestra representante de la media (29.05%), y es el mayor embalse también con la mayor fracción de arenas en una muestra de sedimento (98.43%). El Embalse de Buseo se encuentra en el río Sot, que se trata de un afluente del río Turia.

Por otro lado, el embalse de Contreras presenta la menor fracción de arenas (1.61%) en la muestra que representa la media de las estudiadas en su reconocimiento sedimentológico. También este embalse es el que tiene los sedimentos con menor densidad, 1022 kg/m³.

Resulta interesante mencionar que en todos los casos hay una importante presencia de limos, siendo la fracción mayoritaria en todas las muestras representativas como medias de los embalses.

Por último, indicar que las muestras referidas a la máxima fracción de arenas de cada embalse siempre se han situado en las zonas cercanas a la cola de los mismos. Este hecho verifica lo expuesto a lo largo del apartado “Estado de la Técnica”.

3.4. Sedimentos acumulados en embalses CHJ

Como se ha explicado en el apartado anterior se ha realizado un mapa a través de QGIS con la cuenca aportadora o vertiente de cada uno de los embalses estudiados y que ha sido utilizado para el cálculo de las tasas de pérdida de suelo de cada una de ellas gracias a las herramientas que proporciona el software; así como el cálculo de su relación de bifurcación a través del orden de Strahler, y poder conocer realmente cuál es la tasa de sedimentos que entran en cada embalse. En la figura próxima se muestra el mapa elaborado con las cuencas aportadoras de los embalses de la Demarcación Hidrográfica del Júcar.

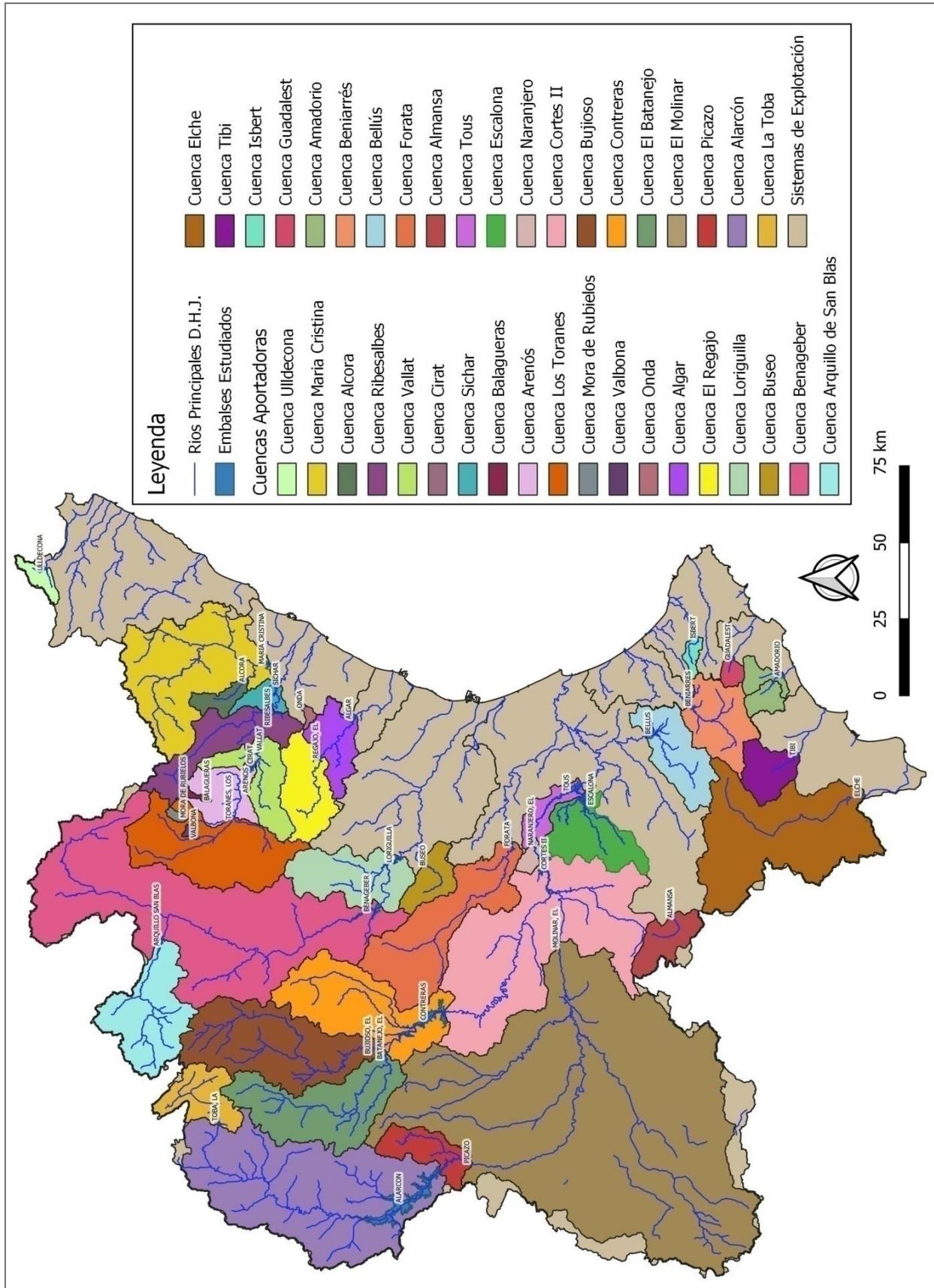


Figura 40. Cuenca aportadoras o vertientes de los embalses de la D.H.J. (Elaboración Propia)

Cada una de las cuencas vertientes está compuesta por sus pequeñas áreas con la correspondiente tasa de erosión, como se ha visto en el apartado anterior con el ejemplo del Embalse de Alarcón, y como se puede ver en el ANEXO II – Mapas de estados erosivos en cuencas vertientes a embalses. Se obtiene por tanto las erosiones máximas y mínimas según el método USLE; a este valor se le debe de aplicar el porcentaje del Coeficiente de Entrega de Sedimentos (CES), disminuyendo la cantidad de tales erosiones en torno al 14% de media. Tras la aplicación de estos coeficientes se tiene el aporte de sedimentos máximo y mínimo que llegan al embalse anualmente.

Este proceso se ha realizado en embalses de los que no se tienen Estudios Batimétricos ya que con los valores de las mediciones y con la ayuda de las densidades de los sedimentos de cada embalse (en el caso de que se tengan los informes sedimentológicos), o de la densidad media estipulada (1086.27 kg/m³ en el caso de los embalses que solo tienen estudios batimétricos); se ha hallado la degradación específica de la cuenca.

Tabla 15. Cálculo del Aporte Medio (Tn/año) de sedimentos a embalses, sin estudio batimétrico (Elaboración propia)

Cuenca Embalse	Río	Área cuenca (km ²)	Erosión Mín. (Tn/año)	Erosión Máx. (Tn/año)	Aporte Mín. (Tn/año)	Aporte Máx. (Tn/año)	Aporte Medio (Tn/año)
E. Alarcón	Júcar	2472.3	2942050.45	6421801.74	261941.25	571755.93	416848.59
E. Picazo	Júcar	315.8	221981.77	533988.66	28458.87	68459.28	48459.07
E. El Molinar	Júcar	7053.8	7960397.85	17155066.45	582838.87	1256047.71	919443.29
E. Cortes II	Júcar	2390.2	3574819.75	7700873.26	317908.30	684837.75	501373.02
E. Naranjero	Júcar	56.5	183310.33	378693.48	31886.90	65873.88	48880.39
E. Tous	Júcar	177.9	220652.03	490084.02	31165.24	69220.25	50192.74
E. Escalona	Escalona	509.5	1080794.54	2330170.08	126642.60	273038.75	199840.68
E. Batanejo	Guadazaón	1010.0	646987.62	1631967.41	68196.88	172020.44	120108.66
E. Bujioso	Cabriel	1237.1	1462625.69	3256850.22	148807.45	331351.75	240079.60
E. Almansa	Belén Grande	253.8	244143.54	542294.09	32547.18	72294.13	52420.65
E. Bellús	Albaida	494.1	999349.29	2062728.88	118416.77	244420.74	181418.76
E. Loriguilla	Turia	614.5	1462625.69	3256850.22	166166.45	370005.28	268085.86
E. Algar	Palancia	320.1	1141790.57	2349016.63	147227.86	302893.28	225060.57
E. Valbona	Fuente de Mora	15.9	33180.35	67541.54	7561.40	15391.91	11476.66
E. Mora de Rubielos	Mora	20.5	50575.04	101194.81	11016.04	22041.82	16528.93
E. Balagueras	Palomajares	21.9	39430.92	80315.47	8418.85	17148.06	12783.45
E. Los Toranes	Mijares	1038.5	1927024.93	4016135.86	200759.63	418405.55	309582.59
E. Cirat	Mijares	5.7	8316.59	18218.94	2242.14	4911.81	3576.98
E. Vallat	Mijares	387.5	847182.38	1778977.90	104396.84	219220.41	161808.62
E. Ribesalbes	Mijares	559.3	1213047.20	2491519.88	140230.13	288023.56	214126.85
E. Onda	Veo	21.9	58156.32	122393.24	12389.11	26073.58	19231.34
E. Ulldecona	Cenia	83.2	105235.60	242256.26	17329.67	39893.55	28611.61
E. Isbert	Girona	54.0	249442.52	502937.87	45014.19	90759.74	67886.97
E. Tibi	Monnegre	265.7	498721.20	1038012.62	66985.86	139420.92	103203.39
E. Elche	Vinalopó	1634.1	3457913.49	7251609.27	334864.17	702245.49	518554.83

3.4.1. Tasas de aterramiento.

Las tasas de aterramiento se obtienen de forma que:

- La degradación específica de la cuenca de los embalses (14) de los que se tiene estudio batimétrico es directo su cálculo ya que se especifica en el informe; o bien, gracias al volumen de sedimentos retenidos y la densidad específica o media de este grupo de embalses es posible hallar un valor más exacto que el estimado a través del método USLE. Este grupo de embalses será el cual se puede estimar la pérdida anual de capacidad, dado que se tiene conocimiento del volumen inicial y volumen final en el tiempo transcurrido desde la puesta en carga hasta la fecha de la batimetría.
- La degradación del resto de embalses (25) se obtiene a través del método USLE utilizado donde según las aportaciones máximas y mínimas anuales se calcula la degradación específica al dividir por el área de sus cuencas aportadoras.

Las unidades de tasa de aterramiento se referirán a la cantidad de sedimento que entra en el embalse y se quedan en su interior. Para ello es necesario conocer la eficiencia del atrapamiento.

Eficiencia del atrapamiento en los embalses

La tasa de retención de un embalse se define como la relación entre la cantidad de sedimentos depositados y los aportes sólidos totales que llegan al mismo. *Brune* (1953) propone una metodología para conocer el porcentaje de sedimentos atrapados en el embalse según un estudio a numerosos embalses de EEUU. Se calculará un ratio a través de la capacidad del embalses (*Capacity*) entre el caudal de entrada anual (*Annual Inflow*). Las curvas de Brune permiten una vez obtenida esta relación C/I hallar el porcentaje de atrapamiento de sedimentos.

Pese a que la relación “C/I” que propone Brune se encuentra en unidades de acres por pie para la capacidad, y en acre por pie y año para el caudal de entrada; se ha decidido mantener las unidades del SI de hectómetros cúbicos (Hm^3) para la capacidad de los embalses y en hectómetros cúbicos por año ($\text{Hm}^3/\text{año}$) para el caudal de entrada anual. Se ha utilizado este método gráfico para determinar este porcentaje. En la Figura 41 se muestran las curvas propuestas por Brune; se ha escogido la curva media debido al desconocimiento de la composición de los sedimentos.

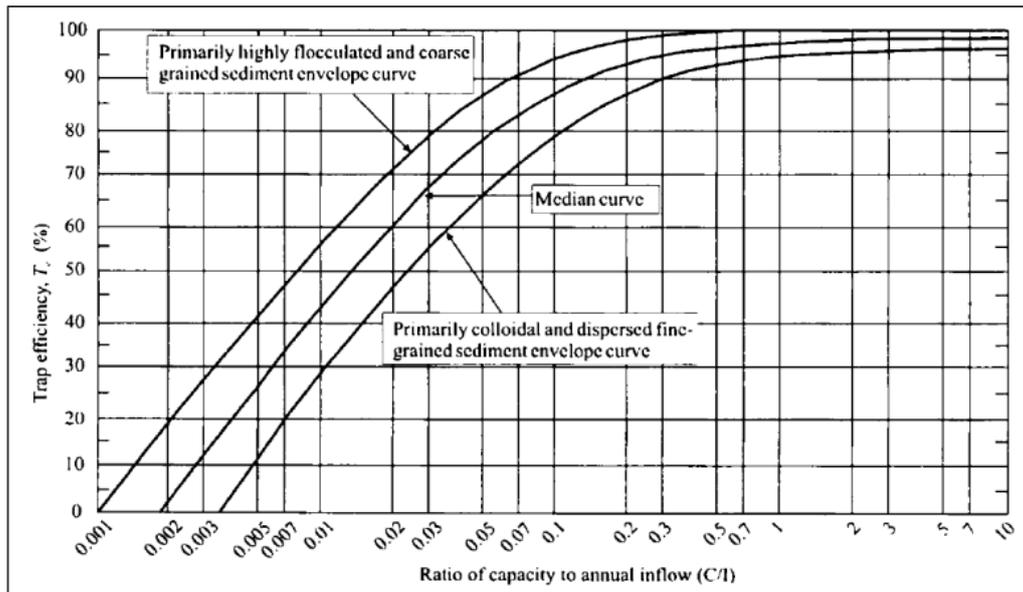


Figura 41. Curvas eficiencia atrapamiento de sedimentos propuesta por Brune (1953)

Por otro lado, Artana, P. (2015) recoge además la metodología desarrollada por Linsley, K. este último propone una nueva interpolación de la curva de Brune a través de sus datos de origen. Esta nueva curva propuesta presenta una menor pendiente en su extremo inferior para relaciones “C/I” demasiado bajas. Este ajuste se usará cuando los embalses tengan una capacidad menor de 10 Hm³. La ecuación en que se aproxima la curva media es la siguiente, donde los parámetros $X = C/I$, $a = 100$ y $n = 1.5$:

$$Y = 100 \cdot \left(1 - \frac{1}{1+a \cdot X}\right)^n \quad (3)$$

En la Figura 42 se muestra esta curva de eficiencia de atrapamiento.

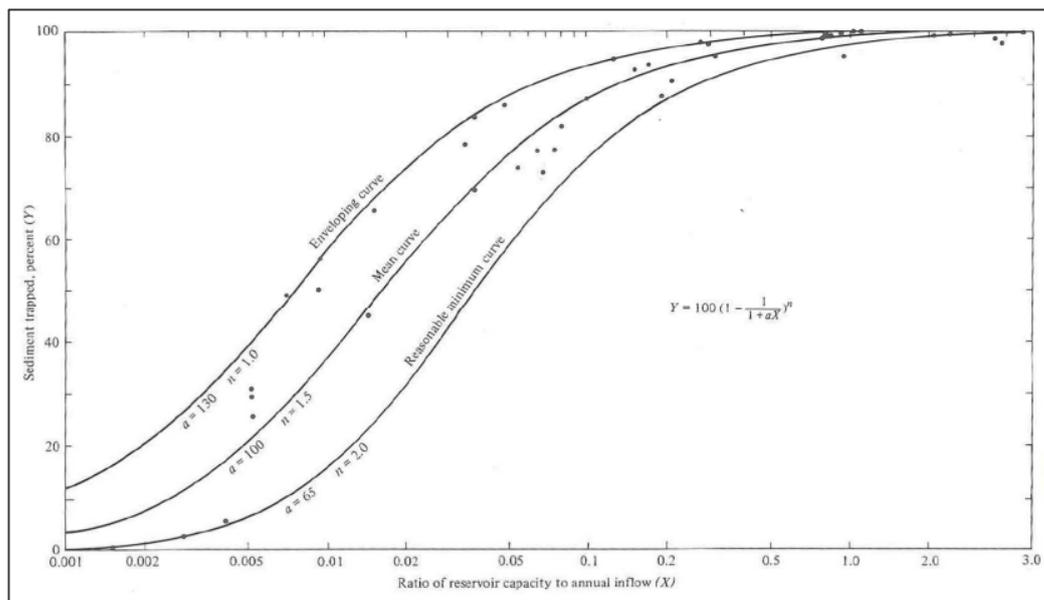


Figura 42. Curvas eficiencia atrapamiento de sedimentos propuesta por Linsley (fuente: Artana, P. (2015))

Para el cálculo de los caudales de entrada medio anual a los embalses se ha extraído los datos del Aforo Anual del CEDEX, se pueden ver los datos en el **ANEXO I – Aportaciones medias anuales a embalses**, de los que se tenían datos; para los embalses que no se tenían datos se extrajo la aportación media anual que proporciona el SEPREM. Además, en los embalses que poseen datos más antiguos al año hidrológico 1980-81, se ha calculado la nueva aportación media anual a partir de ese año en el que se tiene en cuenta el llamado “Efecto 80”, debido al cambio de las escorrentías por el cambio climático. Por lo general, las aportaciones anuales teniendo en cuenta el “efecto 80” es menor que si se tiene en cuenta la serie completa de datos.

En la Tabla 16 se muestra la capacidad de los embalses estudiados, las aportaciones medias anuales, el ratio C/I y se ha usado la curva media de Brune o la curva media de Linsley junto a su eficiencia de atrapamiento de sedimentos.

Observando la Tabla 16, se puede comprobar que los embalses con menor capacidad como el Embalse de Picazo (1 hm^3) y una entrada anual elevada ($428 \text{ hm}^3/\text{año}$) tienen una eficiencia de atrapamiento de embalse bajo (7%). Sin embargo, el Embalse de Loriguilla por ejemplo (73 hm^3 de capacidad y $128.29 \text{ hm}^3/\text{año}$) tiene un atrapamiento del 95% para los sedimentos de entrada. Hay que mencionar que el atrapamiento de sedimentos gruesos se produce casi en su totalidad, como se ha explicado en el presente trabajo. Otro aspecto a considerar es que, aunque el sedimento en suspensión pase en embalses de pequeña capacidad, el atrapamiento siempre se va a producir ya que normalmente aguas abajo aparece un embalse de gran capacidad con un atrapamiento superior al 90% de los sedimentos, debido a encontrarse los embalses en serie.

Tabla 16. Eficiencia de atrapamiento en embalses de la D.H.J. (Elaboración propia)

Embalse	Capacidad (Hm ³)	Aportaciones anuales (hm ³ /año)	Aportaciones anuales "Efecto 80" (hm ³ /año)	C/I	Atrapamiento %	
La Toba	11	108.05	92.94	0.102	Brune	86
Alarcón	1117.8	403.55	372.35	3.002	Brune	98
Picazo	1	428.00	-	0.002	Linsley	8
El Molinar	4.28	237.70	-	0.018	Linsley	52
Cortes II	118	1134.26	-	0.104	Brune	86
Naranjero	29	594.76	-	0.049	Brune	77
Tous	379	561.42	-	0.675	Brune	96
Escalona	108.3	21.48	-	5.043	Brune	98
Batanejo, El	0.10	35.00	-	0.003	Linsley	10
Bujoso, El	0.95	243.00	-	0.004	Linsley	15
Contreras	361	175.61	161.04	2.242	Brune	97
Forata	37	17.11	11.73	2.162	Brune	97
Almansa	2.90	1.26	0.92	2.301	Linsley	99
Bellús	69	23.99	-	2.876	Brune	98
Buseo	8	7.14	8.74	1.120	Linsley	99
Arquillo de San Blas	21	40.93	33.05	0.513	Brune	96
Benageber	221	235.19	172.51	0.940	Brune	97
Loriguilla	73	163.18	128.29	0.447	Brune	95
Regajo	6	29.92	26.02	0.201	Linsley	93
Algar	6	6.50	-	0.923	Linsley	98
Valbona	0.50	2.63	-	0.190	Linsley	93
Mora de Rubielos	1.00	0.80	-	1.250	Linsley	99
Balagueras	0.12	0.94	-	0.128	Linsley	89
Toranes, Los	1.00	63.00	-	0.016	Linsley	48
Arenós	137	139.55	390.32	0.982	Brune	97
Cirat	0.10	165.00	-	0.001	Linsley	2
Vallat	1.00	226.00	-	0.004	Linsley	17
Ribesalbes	0.41	320.00	-	0.001	Linsley	4
Sichar	49	70.53	75.29	0.695	Brune	96
Onda	1.00	2.06	2.24	0.485	Linsley	97
Alcora	1.6	9.66	9.72	0.166	Linsley	92
María Cristina	18	25.60	18.33	0.703	Brune	96
Ulldecona	11	28.95	22.79	0.380	Brune	95
Beniarrés	27	30.52	28.42	0.885	Brune	97
Isbert	0.60	9.41	-	0.064	Linsley	80
Guadalest	13	14.05	15.23	0.926	Brune	97
Amadorio	16	6.88	6.86	2.326	Brune	98
Tibi	4.00	5.11	3.64	0.783	Linsley	98
Elche	0.38	13.34	-	0.028	Linsley	64

Degradaciones Específicas de Cuencas y Pérdidas anuales de capacidad

Como se ha comentado en el comienzo de este apartado se ha obtenido la degradación específica a través del método USLE y de los informes batimétricos y sedimentológicos. En ambos casos se estima la degradación media que se produce.

Esta degradación específica de la cuenca se da en unidades de Tn/ha· año; se podrá estimar el dato total de los sedimentos atrapados anualmente en la Demarcación Hidrográfica del Júcar con la suma de cada aporte de cada cuenca de los embalses estudiados.

Los sedimentos que se quedan atrapados en los embalses dentro de la Confederación se estima que es de:

Total de sedimentos atrapados en CHJ = 6064706.13 Tn/año

Es decir, aproximadamente más de 6 millones de toneladas de sedimentos al año. Suponiendo una densidad media de sedimentos de 1086.27 kg/m³ obtenida a través de los reconocimientos se determina un volumen total de aproximadamente:

Total de sedimentos atrapados en CHJ = 6.59 hm³/año

Desde la actualidad (2022) hasta el año 2050 se acumularán un total de 184.5 hm³ de sedimentos en la cuenca.

Otro dato de interés para el presente trabajo es la cantidad de arenas y sedimentos gruesos que se almacenan en los embalses de la cuenca y que por tanto no llegan al litoral para la regeneración de las playas. Según lo especificado en la muestra de sedimento que se ha tomado como media de la cuenca se estimó que la fracción de arenas en el sedimento es del 12 % por lo que la pérdida de arenas anual será:

Pérdida de arenas anual en la cuenca = 727764.73Tn/año

Suponiendo una densidad de arena del 1.8 Tn/m³ (densidad para arena húmeda de río según *Stemm* (2022)):

Pérdida de arenas anual en la cuenca = 404313.7m³/año

A continuación, se muestra la tabla con los embalses estudiados y la degradación específica de la cuenca y la pérdida anual de capacidad en los embalses del que se dispone datos.

Tabla 17. Degradación específica de las cuencas y pérdida de capacidad anual (Elaboración propia)

Cuenca Embalse	Río	Área cuenca (km ²)	D.E. mín. (Tn/ha-año)	D.E. máx. (Tn/ha-año)	D.E. Cuenca (Tn/ha-año)	Pérdida Capacidad Anual %
E. La Toba	Júcar	354.5			1.55	0.44
E. Alarcón	Júcar	2472.3	1.06	2.31	1.69	
E. Picazo	Júcar	315.8	0.90	2.17	1.53	
E. El Molinar	Júcar	7053.8	0.83	1.78	1.30	
E. Cortes II	Júcar	2390.2	1.33	2.87	2.10	
E. Naranjero	Júcar	56.5	5.64	11.65	8.65	
E. Tous	Júcar	177.9	1.75	3.89	2.82	
E. Escalona	Escalona	509.5	2.49	5.36	3.92	
E. Batanejo	Guadazaón	1010.0	0.68	1.70	1.19	
E. Bujoso	Cabriel	1237.1	1.20	2.68	1.94	
E. Contreras	Cabriel	1073.7			3.20	0.12
E. Forata	Magro	1055.7			0.60	0.14
E. Almansa	Belén Grande	253.8	1.28	2.85	2.07	
E. Bellús	Albaida	494.1	2.40	4.95	3.67	
E. Buseo	Sot	220.3			0.64	0.15
E. Arquillo San Blas	Guadalaviar	812.2			0.59	4.38
E. Benageber	Turia	3494.6			0.53	0.08
E. Loriguilla	Turia	614.5	2.70	6.02	4.36	
E. El Regajo	Palancia	453.2			0.89	0.57
E. Algar	Palancia	320.1	4.60	9.46	7.03	
E. Valbona	Fuente de Mora	15.9	4.74	9.65	7.20	
E. Mora de Rubielos	Mora	20.5	5.38	10.77	8.08	
E. Balagueras	Palomajares	21.9	3.84	7.83	5.84	
E. Los Toranes	Mijares	1038.5	1.93	4.03	2.98	
E. Arenós	Mijares	337.2			1.77	3.99
E. Círat	Mijares	5.7	3.95	8.65	6.30	
E. Vallat	Mijares	387.5	2.69	5.66	4.18	
E. Ribesalbes	Mijares	559.3	2.51	5.15	3.83	
E. Sichar	Mijares	116.6			5.42	0.11
E. Onda	Veo	21.9	5.67	11.92	8.80	
E. Alcora	Alcora	114.3			1.41	0.20
E. Maria Cristina	Rambla de la Viuda	1334.0			0.35	0.19
E. Uldecona	Cenia	83.2	2.08	4.79	3.44	
E. Beniarrés	Serpis	470.0			4.28	1.035
E. Isbert	Girona	54.0	8.34	16.81	12.57	
E. Guadalest	Guadalest	60.1			27.00	0.85
E. Amadorio	Amadorio	205.0			1.31	0.15
E. Tibi	Monnegre	265.7	2.52	5.25	3.88	
E. Elche	Vinalopó	1634.1	2.05	4.30	3.17	

3.5. Sedimentos que no llegan a la costa valenciana

Con los resultados obtenidos en el apartado anterior ha podido obtener la tasa de sedimentos que no alcanzan el litoral. Este dato se encuentra en régimen natural, es decir, en el hipotético caso de que no existieran las barreras físicas que ocasionan los embalses en el territorio.

Si se distribuye esta pérdida anual de sedimentos en los diferentes sistemas de explotación se tienen los siguientes datos:

Tabla 18. Pérdida de sedimentos en el litoral según sistemas de explotación (Elaboración propia)

Sistema de Explotación	Pérdida de Sedimentos (Tn/año)	Pérdida de sedimentos (hm ³ /año)
Júcar	3240622.42	3.52
Turia	515316.92	0.56
Palancia-Los Valles	265393.15	0.29
Mijares-Plana Castellón	934809.61	1.02
Cenia-Maestrazgo	28611.61	0.03
Serpis	201160.00	0.22
Marina Alta	67886.97	0.07
Marina Baja	189147.23	0.21
Vinalopó-Alicantí	621758.22	0.68

Se puede observar que la mayor tasa de pérdida de sedimentos se da en el sistema de explotación del Júcar (3.52 hm³/año) y la menor tasa de pérdida en el sistema de Cenia-Maestrazgo (0.03 hm³/año) teniendo en cuenta únicamente el Embalse de Ulldecona.

En el caso de la entrega de sedimentos en el Delta del Ebro que también alimenta las playas del litoral valenciano se extraen los resultados del trabajo de Artana (2015), y que calcula también por embalses la tasa de pérdida de suelo que se almacena en los mismos; y que, por tanto, no llegan al delta. Esta cantidad se eleva anualmente a 10 628 934 Tn/año, es decir más de 10 millones de toneladas anuales. En la Tabla 19 se muestra sus resultados:

Tabla 19. Resultados para el flujo del sedimento en la Cuenca del Ebro (fuente: Artana, P. (2015))

	Embalse	Flujo de sedimento (t/Ha · año)	Área cuenca (Ha)	Total para la cuenca (t/año)
Margen izquierda	Alloz	21,50	13.500	290.217
	Arguis	5,01	4.130	20.700
	Barasona	1,04	122.400	127.518
	Guiamets	0,00	7.200	0
	Mediano	2,76	124.500	343.715
	Oliana	0,03	264.800	8.339
	Santa María de Belsué	6,63	19.000	125.913
	Sotonera	11,74	30.000	352.140
	Tremp	6,20	169.700	1.052.142
	Yesa	3,95	205.400	810.612
Valle central	Ebro	14,64	27.400	401.169
	Mequinenza*	1,10	5.744.400	6.318.840
	Ribarroja*	0,18	2.337.900	416.146
Margen derecha	Cueva Foradada	1,70	68.300	116.086
	Gallipuéñ	1,01	18.200	18.309
	La Tranquera	0,03	131.200	4.092
	Las Torcas	2,50	45.600	114.137
	Moneva	0,18	56.000	10.192
	Pena	12,00	6.400	76.797
	Santolea	0,18	122.100	21.868
TOTAL=				10.628.934

Si suponemos una densidad media del sedimento de 1086.27 Kg/m³ como se había estipulado anteriormente se define que el volumen de sedimentos anual que no llega a la desembocadura del Ebro en su delta anualmente es:

$$10\ 628\ 934\ \text{Tn/año} \cdot 1.086\ \text{Tn/m}^3 = 11.55\ \text{hm}^3/\text{año}$$

Teniendo en cuenta esta pérdida anual de 11.55 hm³ de sedimentos en la Cuenca Hidrográfica del Ebro y la pérdida anual de volumen de sedimentos por sistema de explotación de la Demarcación Hidrográfica del Júcar se realiza la siguiente infografía (Figura 43).

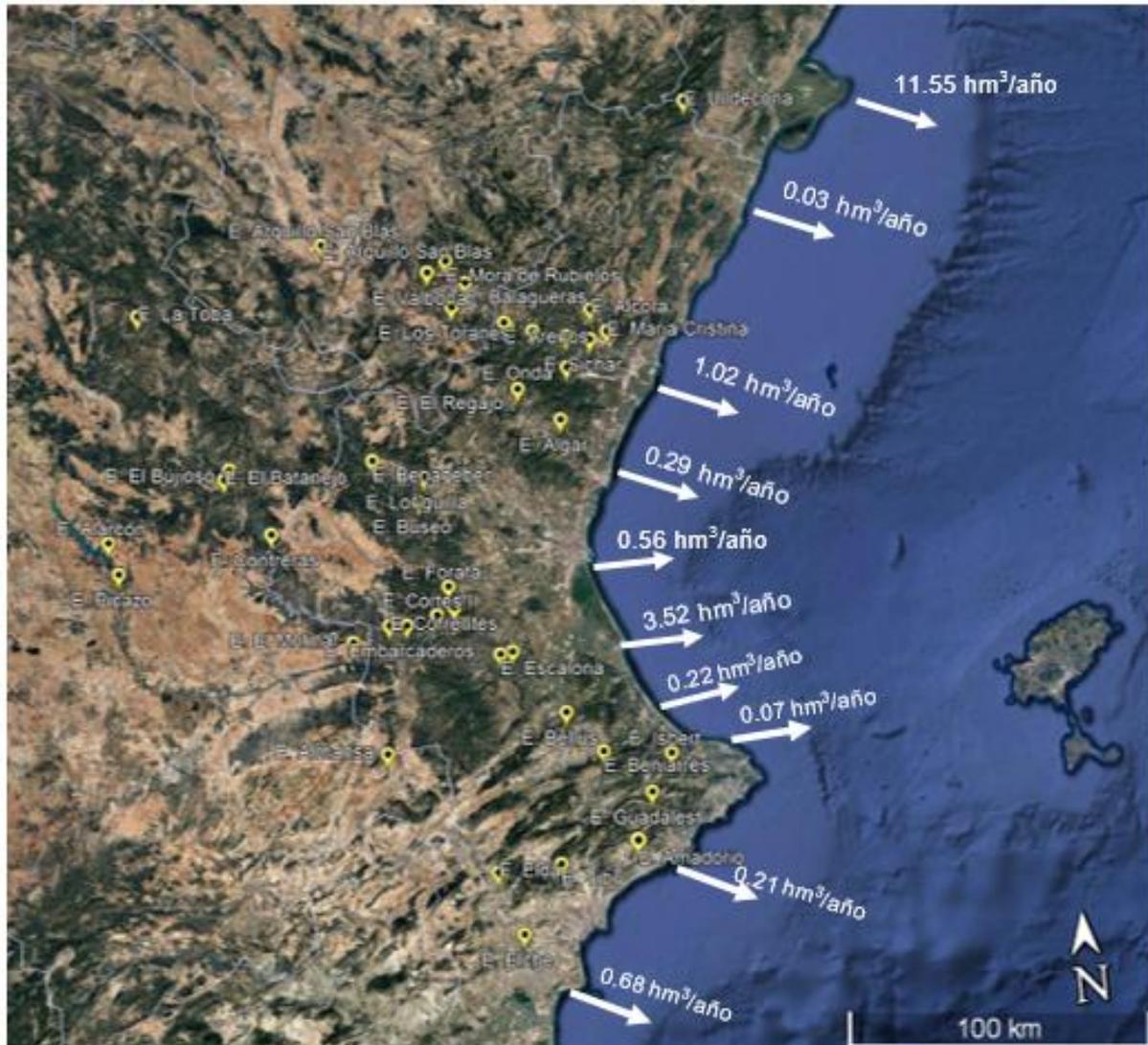


Figura 43. Pérdida de volumen de sedimento anual en la costa valenciana (fuente: Google Earth)

4. Metodología de gestión de sedimentos en la C.H.J.

Resulta imposible dar pasos específicos en el método de la gestión de sedimentos, ya que la toma de decisión sobre qué medida o medidas tomar para una correcta gestión depende de sumamente muchas variables como el espacio y el tiempo; evaluados individualmente y con sus interacciones. Sin embargo, sí se pueden dar pautas que se deben contemplar en todos los casos (*Cobo, 2008*):

- En el caso de que la cuenca se encuentre muy degradada, se deberán tener en cuenta actuaciones en ella para evitar la excesiva erosión y que estos sedimentos lleguen al embalse. Sin embargo, estos métodos como se desarrolló en el “Estado de la técnica” no resolverían los problemas del estado del río aguas abajo del embalse ni los problemas de regresión de la costa por falta de aporte de material.
- Si las actuaciones se centran en el interior del embalse, y se decide actuar sobre embalse vacío; se deberá estipular de forma detallada el tiempo del que se tiene hasta volverlo a embalsar. El gran condicionante es la continuidad del suministro de agua. Si se realiza un proyecto de desembalse, se debe tener en cuenta a los usuarios directos e indirectos y tener un calendario donde se puede presentar o no la incompatibilidad de la medida (*Palau, 1998*). En el caso de suministro de agua a poblaciones, el proyecto debe estipular una alternativa en el abastecimiento mientras dure la actuación; y en el caso de uso de suministro de agua para riego, la medida se puede llevar a cabo en el final de la campaña de riegos, siempre que se garantice el suministro en el inicio de la siguiente.
- En el caso de que las actuaciones se produzcan en embalse lleno, a parte de los costos y el rendimiento del dragado, independientemente de método escogido, es necesario tener en cuenta la aportación anual de agua y la demanda. Este dato permite conocer de cuánto volumen se dispone para movilizar los sedimentos y extraerlos.
- Es de vital importancia conocer la distribución de las aportaciones a lo largo del año hidrológico; para establecer un correcto cronograma de trabajo. Esto tiene especial relevancia en cuencas degradadas, con irregulares y pequeñas aportaciones, comunes de cuencas semiáridas como es el caso de estas cuencas vertientes al Mar Mediterráneo.

Según García (2008), los pasos para desarrollar un plan para la gestión sostenible del sedimento en embalses son los siguientes:

- 1) Determinar la magnitud del problema de sedimentación en el embalse a través de la recopilación de información como puede ser: la inspección *in situ* del embalse, la cantidad y composición de los sedimentos, sus tasas de entradas, su carga de contaminantes, un inventario de infraestructuras aguas arriba y abajo de la presa, realización de estudio hidrológico detallado, etc.
- 2) Definir preliminarmente las opciones de gestión de sedimento.
- 3) Identificar actores sociales interesados o también afectados y las restricciones existentes por la legislación, los planes hidrológicos, etc.
- 4) Evaluación del uso de varias opciones en la gestión, o su uso simultáneo; además de la viabilidad económica.
- 5) Desarrollar e implementar el plan de gestión de sedimento.
- 6) Controlar y revisar el plan una vez se haya llevado a cabo.

Desde el punto de vista económico, hay que tener en cuenta que el análisis económico clásico no contempla los coste o beneficios que se derivan de mantener el embalse operativo de forma sostenible permanentemente (García, 2008). Es necesario contemplar el embalse como un recurso sostenible tanto desde el punto de vista técnico como económico.

Una metodología sostenible en la gestión de sedimentos en embalses es el uso del método RESCON (*Reservoir Conservation*), validado por el Banco Mundial. Procede en tres etapas:

- Determinar qué métodos de gestión de embalses son técnicamente viables.
- Determinar qué alternativas son deseables sobre la base de un análisis económico.
- Incorporar factores ambientales y sociales para seleccionar el mejor plan de acción en la gestión de sedimentos.

Esta metodología puede aplicarse a presas y embalses en proyecto o ya existentes para realizar una evaluación primera de alternativas sostenibles en la gestión de sedimentos y compararla a su vez con la alternativa de no hacer nada hasta llegar a la vida útil del embalse por su aterramiento; aplicando procesos de desmantelamiento al final de su vida física.

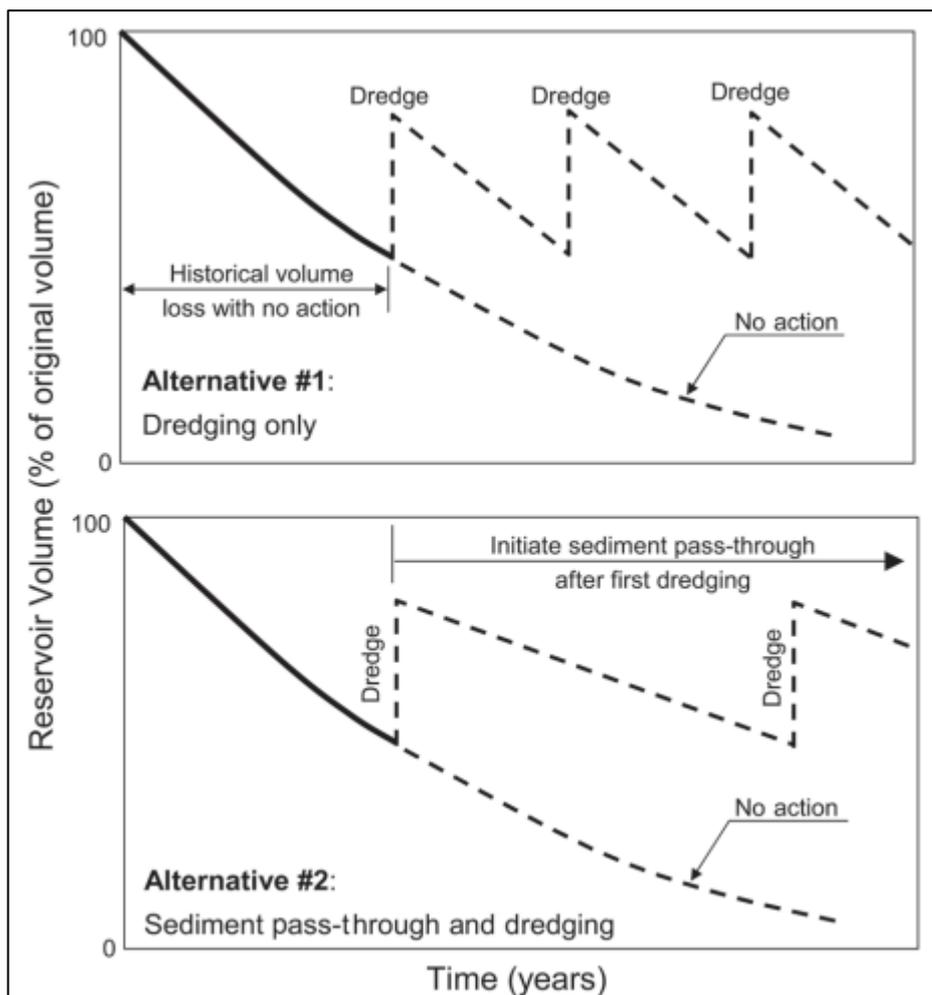


Figura 44. Curvas de volumen de almacenamiento y variación según procesos de gestión de sedimentos (fuente: García, 2008)

Como se puede observar en la figura anterior una gestión de sedimentos sostenible es esencial para el mantenimiento de la capacidad del embalse. En el primer caso la frecuencia de los dragados es mayor si se contempla solamente esta metodología; sin embargo, si se implementa medidas del paso de sedimentos a través de descargas puntuales la frecuencia de dragados disminuye; y por tanto el coste del mantenimiento de la vida útil del embalse.

Desde el punto de vista de la regeneración costera, el atrapamiento de los sedimentos en los embalses y de su gestión es un proceso que se debe comprender a largo plazo. Liberar los sedimentos a través de descargas controladas es un método eficaz tanto para el río como para la costa por la restitución de su morfología; sin embargo, es necesaria una buena operación de los desagües de fondo de las presas y que tengan capacidad suficiente para desembalsar caudales elevados.

Estos caudales generadores se definen como la crecida ordinaria y natural de un río que condiciona la morfología del cauce, ayuda a la estructuración de los hábitats fluviales, y organiza la distribución del bosque de ribera. El caudal se suelta como mínimo una vez al año, siempre y cuando las reservas de los embalses sean suficientes para garantizar las demandas. La duración de estas maniobras dura 24 horas, contando desde el inicio de la crecida.

En Cataluña ya se está implementando este método en las cuencas del Llobregat y del río Ter; teniendo en cuenta que se realizan en embalses con capacidad superior a 5 hm³ o una tasa de regulación (capacidad embalse/aportación anual) superior a 0.5. Además, para la restitución del flujo de arenas y limos en el lecho del río se colocan montañas de sedimentos (en pilas de 10 Tn cada una) de esta granulometría, en zonas inundables paralelas al cauce del río, para que las crecidas controladas (con variación de caudales progresiva de 4 – 8 – 12 m³/s) se repartan y se movilicen. También se ha monitorizado viendo efectivamente el desplazamiento de los mismos en el curso del río y su desembocadura (*Pallarès, 2015*).

Es importante conocer que el vaciado total de los embalses es muy común y está extendido. En países como Francia, Suiza y Japón existen embalses donde se realizan vaciados totales anualmente; aunque hay que reconocer que la pluviometría de estas zonas es mayor que en España. Existe legislación en Francia que determina controles cada 10 años de los elementos de seguridad de grandes presas (mayores a 20 m o con capacidad superior a 25 hm³), a través del vaciado total de embalse (*Fernández et al., s.f.*). El mantenimiento de desagües de fondo y la necesidad de desembalse por el “Reglamento técnico sobre seguridad de presas y embalses” hace que sea un buen momento para la retirada de sedimentos.

4.1. Planificación propuesta.

Tras el análisis de las diferentes consideraciones que se deben tener en cuenta para la implementación de una gestión de sedimentos en una cuenca hidrográfica, se proponen los siguientes pasos, siempre teniendo como objetivo la llegada de aporte de material sedimentario (en su mayoría arenas y material grueso) al litoral:

- En primer lugar, se propone dismantelar las infraestructuras hidráulicas que se encuentran en estado de baja desde la C.H.J. y que ya no tiene función. Estos embalses que ya no son de utilidad y no se encuentran en explotación, continúan almacenando sedimentos con cada escorrentía que llega; de forma que su aterramiento es continuo. Embalses como el de Isbert (río Girona) se

encuentran en esta situación, teniendo una tasa de atrapamiento del 80% de sedimentos. Estos embalses A continuación, se muestra imágenes del Embalse de Isbert:

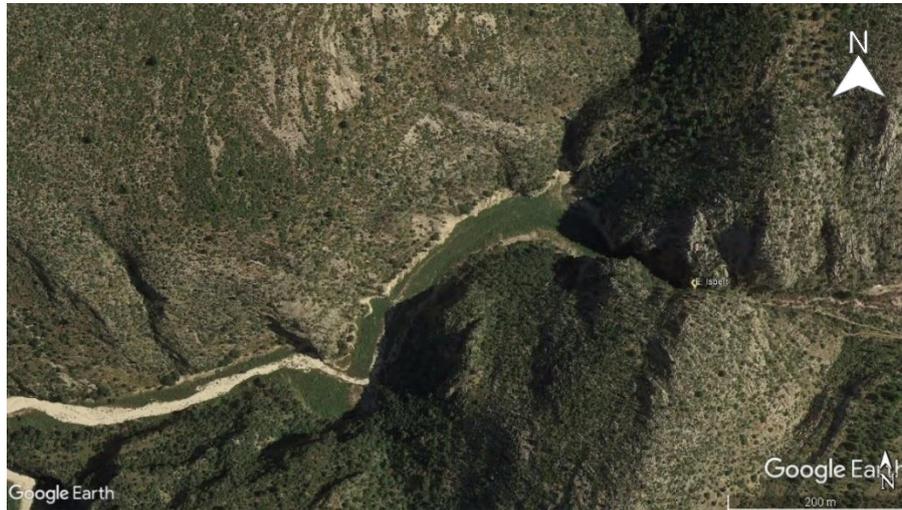


Figura 45. Vista aérea del Embalse de Isbert (fuente: Google Earth)

- Se debería ejecutar medidas de gestión de sedimentos en primer lugar en embalses que no presenten otros embalses aguas abajo, es decir, en presas de final de serie de embalses; y que el caudal sedimentario se libere directamente de forma que alcance la desembocadura del río en el menor tiempo posible. También en cauces donde solo exista una de estas infraestructuras (por ejemplo, el embalse de Guadalest). El caso de embalses en serie, se trataría de gestionar los sedimentos de María Cristina, Sichar, Algar, Loriguilla, etc.
- La gestión del resto de embalses ha de ser progresiva, y coherente con la disposición de los embalses según el curso del río. Los embalses con mayor tasa de aterramiento y de erosión en su respectiva cuenca tendrán prioridad.

Es importante mencionar que en el Plan Hidrológico de Cuenca 2022-2027 recoge en su anejo 5 sobre el caudal ecológico que el anterior PHC del período 2016-2021 estableció unos caudales generadores para diferentes tramos de río, de los cuales también se encuentran como es obvio los embalses. Estos caudales generadores no se llegaron a implantar de forma efectiva; y en el nuevo plan se insta a llevarlos a cabo para mejorar las condiciones y disponibilidad del hábitat, y favorecer procesos hidrológicos naturales (repercusión en las especies, condiciones físico-químicas del agua y sedimento, estado de lecho del río, etc).

Resulta esencial considerar la visión de gestión de sedimentos sostenible si en un futuro se decide la construcción de nuevos embalses dentro de la cuenca.

5. Aplicación al cauce fluvial Rambla de La Viuda – Embalse de María Cristina.

Se decide mostrar un ejemplo aplicativo de la gestión de sedimentos para el Embalse de María Cristina ya que se dispone de un informe de reconocimiento sedimentológico y de estudios batimétricos actualizados.

El Embalse de María Cristina se sitúa en los municipios de Borriol, Castellón de la Plana, l'Alcora y Sant Joan de Moró, dentro de la provincia de Castellón (Comunitat Valenciana). Se sitúa en el cauce de Rambla de La Viuda, siendo además un afluente del río Mijares. Este cauce está categorizado como río efímero según la temporalidad del régimen hidrológico.

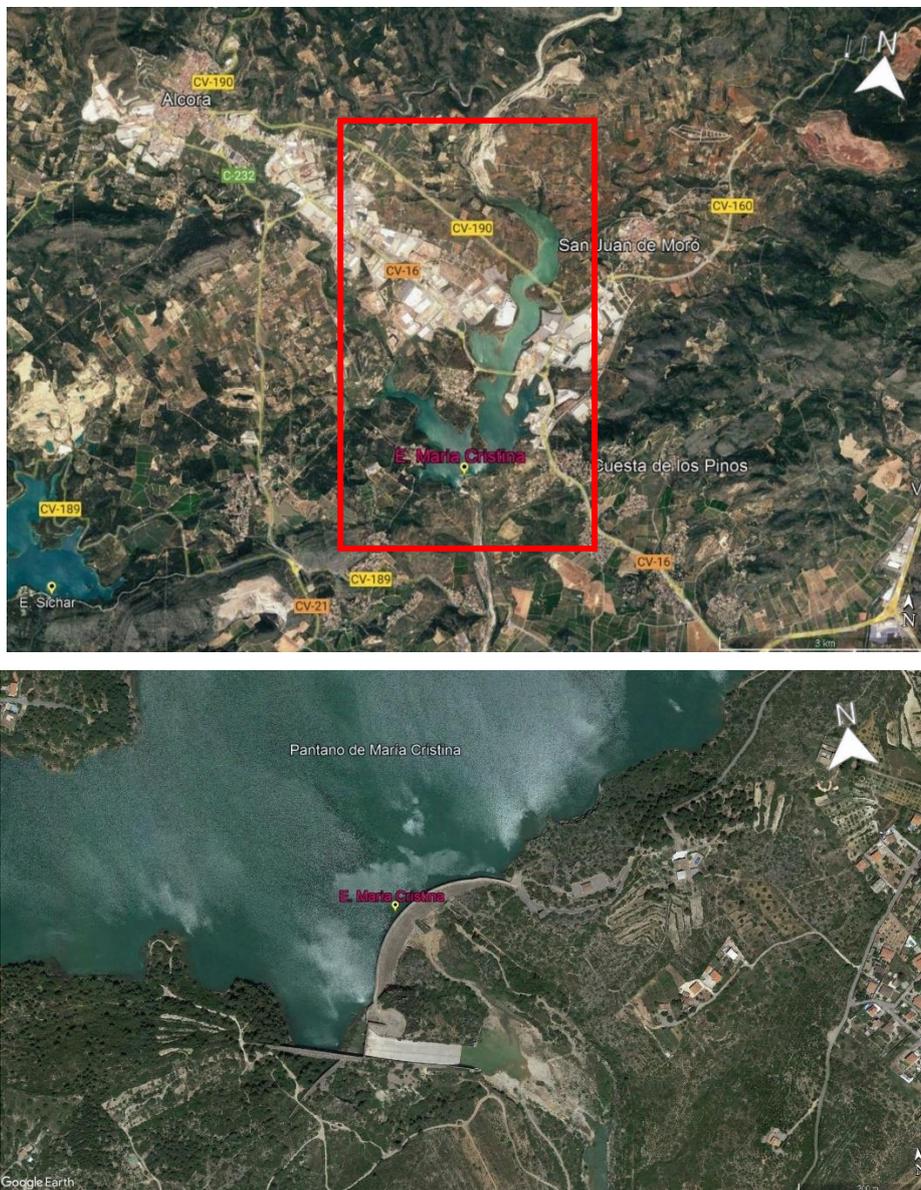


Figura 46. Situación del Embalse de María Cristina (fuente: Google Earth)

Como se ha visto en el presente trabajo, su cuenca vertiente tiene una extensión de 1334 km² y su presa es de tipología de en gravedad de planta circular. Su año de construcción y de puesta en carga fue en 1920, por la participación de la comunidad de regantes; en la actualidad es de titularidad estatal y su uso es de regadío y de regulación frente a avenidas.

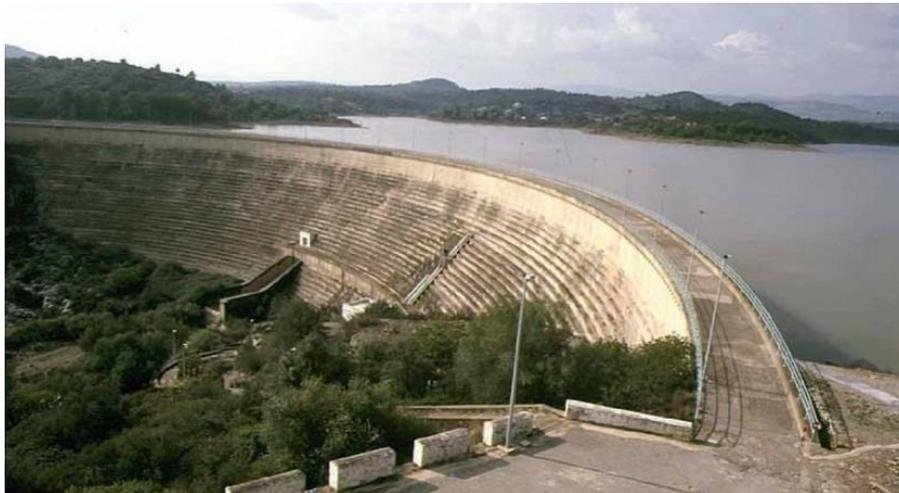


Figura 47. Presa del Embalse de María Cristina vista general (fuente: iAgua)

Según el Inventario de Presas y Embalses del SNCZI, las características de esta presa son las siguientes:

Tabla 20. Datos Embalse y Presa María Cristina (fuente: SNCZI)

Embalse María Cristina	
Volumen total (hm ³)	18
Volumen útil (hm ³)	12
Superficie (ha)	247.2
Sup. Cuenca (km ²)	1334
Datos: Ficha Presa	
Cota N.M.N (m)	134.3
Cota Coronación (m)	138.22
Altura (m)	56.5
Long. Coronación (m)	318
Cota Cimentación (m)	81.72
Cota del Cauce en Presa (m)	
Aliviaderos	
Capacidad (m ³ /s)	Num.
Labio Fijo, no regulable.	1
Desagües de fondo	
Capacidad (m ³ /s)	Num.
65	1

El caudal de aportación media anual de entrada en este embalse es de 25.60 hm³/año; aunque si se tiene en cuenta el “efecto 80” este caudal medio es de 18.33 hm³/año.

Se ha decidido utilizar como metodología de gestión de sedimentos en este embalse el desarrollo expuesto en las pruebas piloto de los embalses de la Baells (*Agència Catalana de l'Aigua, 2021*). Pues el embalse de María Cristina tiene una capacidad superior a 5 hm³ y una tasa de regulación (capacidad de almacenamiento/aportación anual) de 0.7 superior al 0.5 que se estipula.

En estas pruebas piloto se inyectaron sedimentos de arenas y limos aguas abajo de la presa de la Baells. La metodología que se escoge se llevará a cabo mediante material grueso, principalmente arenas, de la zona de cola del Embalse de María Cristina. El material arenoso se extraerá mediante maquinaria convencional de movimiento de tierras (excavadora y camiones) en la zona de cola; y se transportará por carretera hasta un punto aguas abajo del cuerpo de presa de María Cristina. Este sedimento se espera que llegue al litoral para su regeneración; y además para que mejore el estado del río.

Tras el acopio de sedimentos gruesos se llevará a cabo descargas controladas o “flushing” que generen el arrastre del sedimento fino dentro del embalse. Las crecidas, que provoquen esta acción, llevarán consigo el material grueso depositado.

El embalse de María Cristina tenía una capacidad inicial de 20 hm³ en el momento de su puesta en carga. A través del estudio batimétrico realizado por la Dirección Técnica de la Confederación Hidrográfica del Júcar en el año 2020 sobre este embalse se define una nueva capacidad del mismo en 18.9 hm³, en el N.M.N. La Figura 48 muestra la curva cota-volumen expuesta en este reciente informe:

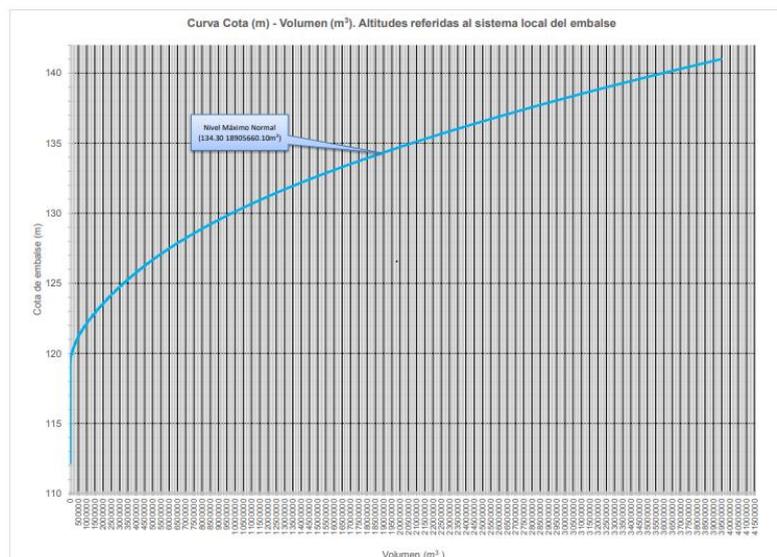


Figura 48. Curva Cota-Volumen del Embalse de María Cristina (fuente: C.H.J. – Estudio batimétrico, 2020)

Con estos datos se puede conocer el volumen de sedimentos retenidos en el embalse:

$$R = 20 \cdot 10^6 \text{ m}^3 - 18905660.1 \text{ m}^3 = 1094339.9 \text{ m}^3$$

A través del reconocimiento sedimentológico (CEDEX, 1993) de María Cristina se define, como se ha especificado, una densidad media del sedimento de 1.02 Tn/m^3 ; por lo que se estos sedimentos tendrán un peso de:

$$\text{Peso Sedimentos} = 1094339.9 \text{ m}^3 \cdot 1.02 \text{ Tn/m}^3 = 1116226.7 \text{ Tn}$$

Aunque en el presente trabajo se ha establecido que fracción media de arenas dentro de los sedimentos es del 12%, se dispone del dato específico para este embalse de 8.04% de fracción arenas en la muestra media del sedimento; por lo que, se utiliza este valor:

$$\text{Cantidad de arenas} = 1116226.7 \text{ Tn} \cdot 8.04 \% = 89744.63 \text{ Tn}$$

Se toma el valor 89744.63 Tn de arenas que se necesitan movilizar para eliminar el sedimento grueso del embalse por falta de rigor en la distribución de la granulometría del sedimento dentro del vaso. Para conocer el volumen total de arenas se toma como valor de la densidad 1.8 Tn/m^3 para arena húmeda de río (Stemm, 2022); por tanto, el volumen total de arenas que se tiene que extraer del Embalse de María Cristina es:

$$\text{Volumen de arenas a movilizar} = 89744.63 \text{ Tn} / 1.8 \text{ Tn/m}^3 = 49858.13 \text{ m}^3$$

Este volumen de sedimentos se tratará como volumen en banco, sobre el que se realizará su excavación. Sin embargo, para el transporte del sedimento se debe tener el volumen suelto del material pues se debe aplicar un factor de esponjamiento del $F_w = 0.89$ para arena húmeda (Yepes, 2019):

$$\text{Volumen (en banco) arenas} = 49858.13 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen (suelto) arenas} = 49858.13 \text{ m}^3 / 0.89 = 56020.37 \text{ m}^3$$

Para dar una idea del coste total de la movilización de este sedimento se ha utilizado dos unidades de obra extraídas del generador de precios (CYPE):

- M^3 de excavación a cielo abierto por medios mecánicos (retroexcavadora de orugas): 3.71 €
- M^3 de transporte de tierras con camión (distancia máxima de 15 km): 4.05 €

Teniendo en cuenta los volúmenes anteriores se aproxima un coste de:

$$\text{Coste excavación} = 49858.13 \text{ m}^3_b \cdot 3.71 \text{ €/m}^3 = 184973.65 \text{ €}$$

$$\text{Coste transporte} = 56020.37 \text{ m}^3_s \cdot 4.05 \text{ €/m}^3 = 226882.48 \text{ €}$$

Si tenemos en cuenta un 3% de costes indirectos el total de la movilización de sedimentos gruesos (arenas) en el embalse asciende a 424,211.81 €.

Como se ha comentado anteriormente, el sedimento se extraerá de la cola del embalse y se dispondrá en un punto aguas abajo del mismo en un lugar de vertido. Hay que mencionar que, aunque se haya calculado sobre el total de sedimentos gruesos, la actuación no puede ejecutarse de una única vez ya que se provocaría el aterramiento del cauce con la gran cantidad de material depositado.

Se propone la siguiente ruta para los camiones que transporten el sedimento desde la cola del Embalse de María Cristina y circulen por la CV – 1610, CV-160, CV-16, CV-189, hasta el punto de vertido que se ha estipulado cercano a la urbanización de Pedrissetes. En la figura 49 se puede comprobar que la ruta escogida tiene una distancia de 13.3 km. En el final del trayecto (figura 50) existe un viaducto sobre el cauce existe un acceso al margen izquierdo de la ribera, donde se acopiarán los sedimentos a la espera de la crecida mediante “flushing”.

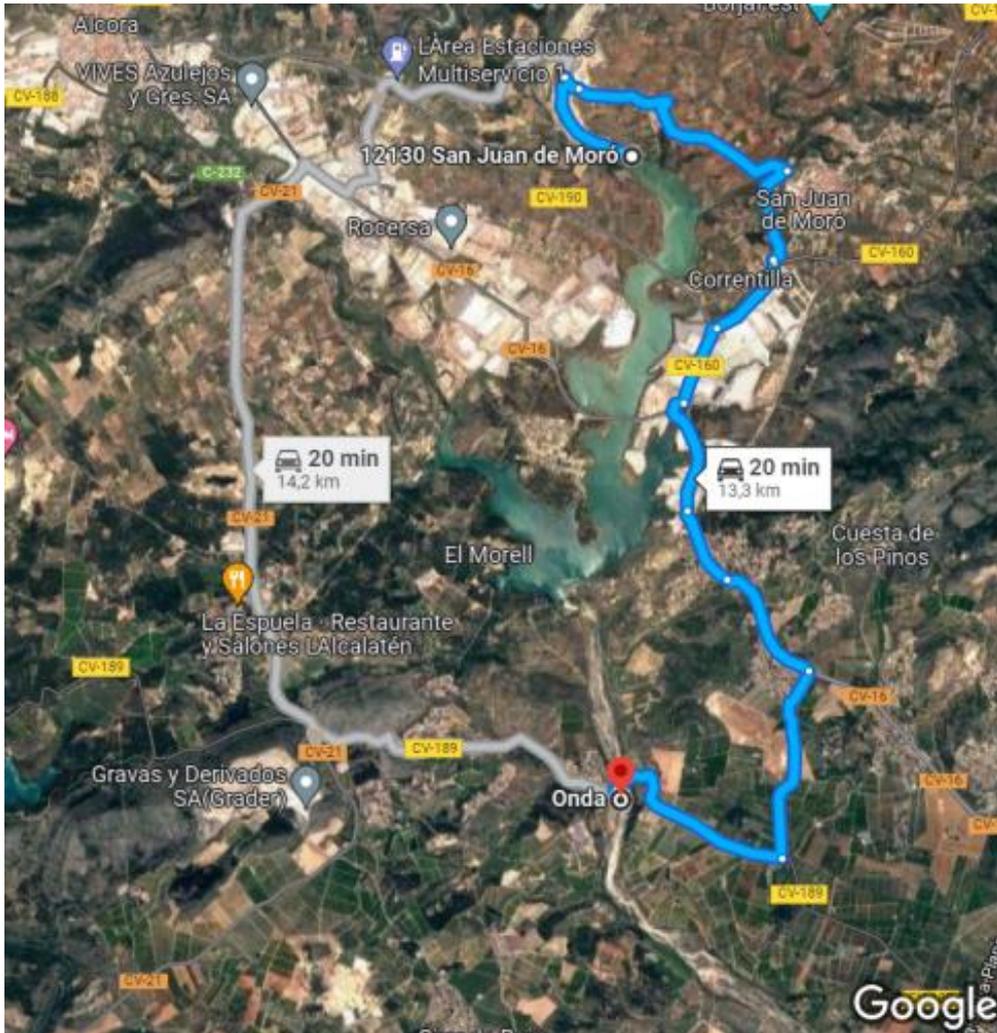


Figura 49. Ruta escogida para los camiones en la gestión de sedimento del Embalse de María Cristina (fuente: Google Maps)



Figura 50. Zona de acopio del sedimento grueso del embalse (fuente: Google Earth)

El acopio de los sedimentos gruesos se dispondrá en montículos de aproximadamente 10 Tn y en un número suficiente para no generar el aterramiento del cauce, como se ha comentado. Los montículos se ubicarán en la ribera a modo de hilera como se puede ver en la siguiente imagen.



Figura 51. Cordones de sedimento en el punto de aporte de sedimento (fuente: Agència Catalana de l'Aigua, 2021).

La existencia de un desagüe de fondo en el cuerpo de la presa de María Cristina hace que se pueda llevar a cabo el método “flushing” o de descargas controladas. Esta actividad estará limitada por la capacidad de tal desagüe, siendo de 65 m³/s.

Con la técnica de “flushing” se busca liberar del embalse sedimentos cercanos al cuerpo de presa y, por tanto, sedimentos finos. Además, no es necesario que se den avenidas naturales pues las descargas pueden tener fechas predeterminadas. Esto último es muy interesante, ya que al tratarse de un embalse para riego principalmente, esta medida tendría lugar al final del periodo de riegos; siempre y cuando el nivel de agua embalsada sea suficiente.

El hidrograma que se expone en las pruebas piloto en el Embalse de la Baells (Agència Catalana de l'Aigua, 2021) puede ser un modelo a utilizar en este proceso de flushing, ya que el caudal generador máximo que se alcanza es de 60 m³/s, una tasa que puede admitir el desagüe de fondo ubicado en María Cristina (máxima capacidad de 65 m³/s).

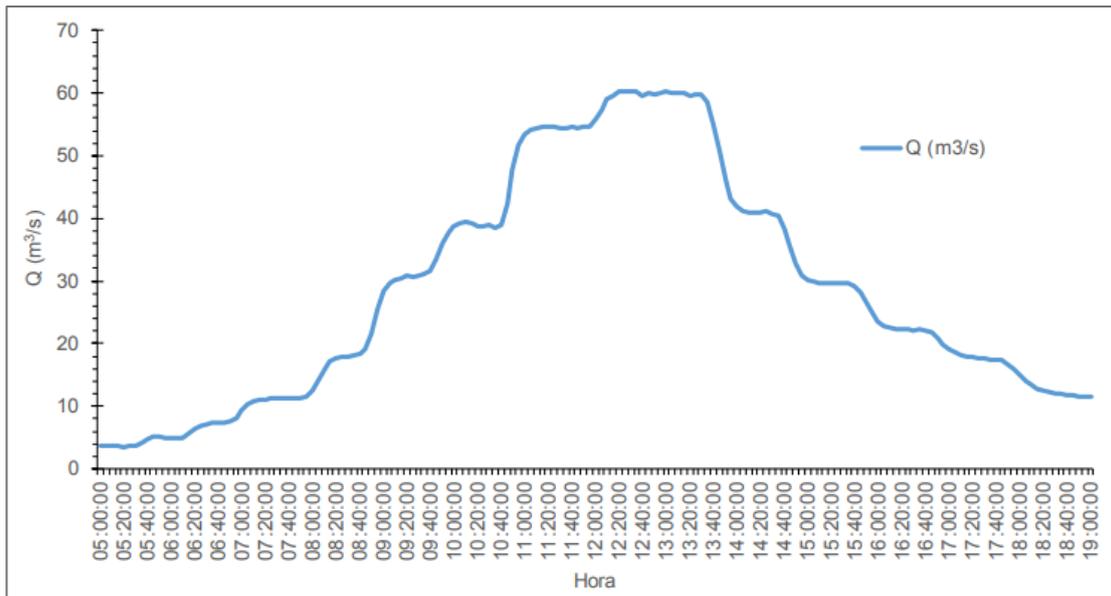


Figura 52. Hidrograma de la descarga programada (fuente: Agència Catalana de l'Aigua, 2021)

La crecida tiene una duración de 14 horas con un caudal máximo de aproximadamente $60 \text{ m}^3/\text{s}$ mantenido durante 1 hora. El volumen total de agua liberada fue de $1,44 \text{ hm}^3$, un desembalse admisible por el embalse de María Cristina.

No hay que olvidar que la duración del caudal máximo de crecida o descarga puede variar. Es esencial que la carga de caudal sólido sobre el caudal total de salida desde el desagüe de fondo sea adecuada para no aterrizar el cauce.

Siempre se realizarán estudios del estado de los sedimentos y lodos almacenados en el interior de la presa, en este ejemplo, de María Cristina; para que ocasione el menor impacto posible sobre el cauce y su ecosistema se vea mejorado tiempo después.

La recuperación de flujo sedimentario en cualquier cauce mejora su estado morfológico y biológico a largo plazo. Además, con la liberación de sedimentos gruesos como son las arenas se da una solución sobre la erosión del litoral.

En general, la inyección de sedimentos durante el uso de caudal generador (u otras crecidas) se podría ubicar en un punto único, aunque si se busca incorporar una mayor cantidad de sedimentos sería aconsejable hacerlo en varios puntos a lo largo del eje del río. Por otra parte, se tomará en consideración, para las inyecciones de sedimentos aguas abajo de la presa, la proximidad y el volumen (disponibilidad) de orígenes de sedimentos provenientes de otras zonas, como cauces secundarios, ya que en algunos casos estas aportaciones disminuyen las deficiencias sedimentológicas de ejes fluviales de mayor envergadura.

6. Conclusiones

El problema de la sedimentación en embalses y de su progresivo aterramiento es un tema que se podría categorizar de global; ya que la interrupción del flujo sedimentario fluvial se da en la mayoría de las infraestructuras hidráulicas, como son los embalses, alrededor de todo el mundo. Estas infraestructuras fundamentales para el progreso y el desarrollo de la población, pues cumplen funciones de suma importancia, también generan impactos en el territorio.

El “efecto barrera” que se genera por el cuerpo de presa de un embalse sobre el flujo de sedimentos provoca problemas de distinta índole aguas abajo del embalse y en el interior del mismo. Los problemas que se generan en el interior del embalse son principalmente la disminución de la capacidad del vaso y del rendimiento operacional del propio embalse, además de su afección a desagües de fondo en el caso de embalses con una alta tasa de aterramiento y una nula actividad en la gestión de sedimentos. Problemas como la eutrofia y reacciones en la interacción agua-sedimentos en embalses con un elevado tiempo de residencia agrava la estabilidad de los sedimentos, y por ello su gestión con la probabilidad de encontrarse contaminados; situación que empeora y hace peligrar su retirada dentro del embalse a la vez que el catastrófico impacto que provocaría su liberación en el cauce aguas abajo del cuerpo de presa.

La falta de aporte de sedimentos aguas abajo del cuerpo de presa tiene distintas consecuencias según la granulometría del mismo. La falta de sedimentos gruesos se traduce en una disminución del elemento estructural del lecho del río, una pérdida de calidad del hábitat acuático; y como pérdida de aporte de material que regenere el litoral en las desembocaduras de ríos, deltas y estuarios, reduciendo la erosión progresiva de la costa. Por otro lado, los sedimentos finos cumplen múltiples funciones que tampoco se ven alcanzadas por la interrupción de su flujo como se ha comentado; algunos de ellos son el transporte de nutrientes y la adsorción de contaminantes, junto con la formación de elementos fluviales como llanuras de inundación o marismas de estuarios.

En un país como España, siendo el que cuenta con más número de presas en Europa (1064 presas según ICOLD (2020)), se hace necesaria la implementación de una guía a nivel nacional sobre la gestión de sedimentos en presas, a través del “Comité de Sedimentos en Embalses” de la SPANCOLD, como una norma técnica. A lo largo del presente trabajo se ha hallado las tasas de aterramiento anuales que experimentan los embalses situados dentro de la Demarcación Hidrográfica del Júcar. Sin embargo, no es

un problema aislado a esta demarcación, sino que se extrapola al resto del territorio nacional; con consecuencias últimas sobre el aporte de material a las costas.

Se trata de un problema a largo plazo, y que se ve acrecentado por el escenario de cambio climático por una pérdida mayor de suelo al aumentar su erosión, por el cambio del régimen de lluvias y de las escorrentías que se provocan y los periodos de sequía, así como el aumento del nivel del mar y la erosión de las playas. Se debe atacar este problema en origen para mitigar sus consecuencias.

A través de los estudios batimétricos y reconocimientos sedimentológicos aportados por el CEDEX y la C.H.J; junto con las estimaciones elaboradas sobre las cuencas vertientes a cada embalse de la Demarcación Hidrográfica del Júcar con sistemas de información geográfica (SIG) se ha conseguido estimar la tasa anual de pérdida de sedimentos en más de 6 millones de toneladas anuales. Con la densidad media de los sedimentos encontrados en embalses (1086.27 kg/m^3), la pérdida anual de sedimentos en volumen es aproximadamente de $6.59 \text{ Hm}^3/\text{año}$. Desde la actualidad (2022) hasta el año 2050 se acumularán un total de 184.5 hm^3 de sedimentos en la Cuenca Hidrográfica del Júcar. La cantidad de sedimentos gruesos, en su mayoría arenas, que se retienen son 727764.73 Tn/año , es decir, más de 700 mil toneladas anuales. Adicionalmente desde la Cuenca Hidrográfica del Ebro se estima la pérdida de sedimentos en la desembocadura del Delta del Ebro en $11.55 \text{ hm}^3/\text{año}$.

La gestión de sedimentos no puede seguir una regla general, sino que debe adaptarse a la situación de cada embalse y sus características para aplicar la metodología más sostenible posible. Sin embargo, en cuanto al restablecimiento de los sedimentos gruesos estas metodologías no son del todo efectivas por lo que se hace necesario la extracción de los sedimentos desde los deltas de cola de los embalses hasta aguas abajo del cuerpo de presa; o desembalses técnicos, como se viene realizando en países como Francia o Suiza, para labores de mantenimiento del embalse y la presa cada cierto tiempo. Las actuaciones se deben priorizar primando el desmantelamiento de presas que se encuentran fuera del estado de explotación y que siguen captando una cantidad importante de sedimentos; y seguidamente actuar sobre embalses de fin de tramo fluvial o en cauces donde solo se encuentra un único embalse para disminuir el tiempo de la llegada de sedimentos a la costa.

Para finalizar es inequívoco la comprensión de las consecuencias del aterramiento de los embalses y se hace necesario tener en cuenta este hándicap para futuros proyectos de construcción y de mejora en los ya existentes.

7. Referencias

Agència Catalana de l'Aigua (2018). *Informe: Gestió del sediments. Tècniques per a la gestió dels sediments als embassaments.*<https://aca.gencat.cat/es/laigua/proteccio-i-conservacio/cabals-de-manteniment/cabals-generadors-i-sediments/> [Consultado: 5 de mayo de 2022]

Agència Catalana de l'Aigua (2021). *Mejora en la gestión del caudal generador. Pruebas piloto aguas abajo de los embalses de la Baells y se Susqueda-Pasteral*
<https://aca.gencat.cat/es/laigua/proteccio-i-conservacio/cabals-de-manteniment/cabals-generadors-i-sediments/>[Consultado: 5 de mayo de 2022]

Alguacil Jiménez, A.(2020). *Estudio de la restitución del flujo sedimentario fluvial y litoral de la costa valenciana entre el Delta del Ebro y el Puerto de Denia.* [Trabajo de Fin de Máster, ETSICCP, Universitat Politècnica de València]
<http://hdl.handle.net/10251/158768>

Almorox, J., De Antonio, R., Saa, A., Díaz, M.C., y Gascó, J.M.(1994). *Métodos de estimación de la erosión hídrica.* Editorial Agrícola Española, S.A.

Artana López, P. (2015) *Análisis sedimentológico de la sostenibilidad de las playas del óvalo valenciano y del Delta del Ebro.* [Recurso electrónico-CD-ROM] [Proyecto Fin Carrera, ETSICCP, Universitat Politècnica de València]

Banco de Datos de la Naturaleza. MITECO (6 de junio de 2022).*Mapa de Estados Erosivos.*https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/informacion-disponible/mapas_estados_erosivos.aspx

Brune, G.M. (1953). Trap efficiency of reservoirs. *Transactions, American Geophysical Union*, 34 (3), 407-418. <https://doi.org/10.1029/TR034i003p00407>

Bruk, S.(1985) *Methods of computing sedimentation in lakes and reservoirs.A contribution to the International Hydrological Programme, IHP.*UNESCO, París.<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000112133> [Consultado: 10 de mayo de 2022].

Centro de Estudios Hidrográficos. CEDEX (1976-2001).*Reconocimientos batimétricos de embalses / Estudio de capacidad útil de embalses.*

Centro de Estudios Hidrográficos. CEDEX (1991-2001).*Reconocimientos sedimentológicos de embalses.*

- Cheng, Y., Voisin, N., Yearsley, J.R. & Nijssen, B. (2020). Reservoirs modify river thermal regime sensitivity to climate change: A case study in the southeastern United States. *Water Resources Research*, 56 (6) <https://doi.org/10.1029/2019WR025784>
- Cobo, R.(2008). Los sedimentos de los embalses españoles. *Ingeniería Del Agua*, 15(4), 231–241. <https://doi.org/10.4995/ia.2008.2937>
- Confederación Hidrográfica del Júcar. MITECO (2017-2020). *Estudios Batimétricos de embalses (Alcora, Arenós, María Cristina, Sichar)*.
- Confederación Hidrográfica del Júcar. MITECO (2022). *Descripción general de la Demarcación*. Descarga de Datos y Cartografía <http://aps.chj.es/down/html/descargas.html>[Consultado: 26 de abril de 2022]
- Confederación Hidrográfica del Júcar. MITECO (2022). *Memoria. Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar. Ciclo de planificación hidrológica 2022-2027*. <https://www.chj.es/es-es/medioambiente/planificacionhidrolologica/Paginas/PHC-2021-2027 Documentos-iniciales.aspx> [Consultado: 15 de junio de 2022]
- Day, J., & Rybczyk, J.(2019).Chapter 36: Global change impacts on the future of coastal systems: perverse interactions among climate change, ecosystem, degradation, energy scarcity, and population. En E. Wolanski et al. (Ed.), *Coast and Estuaries: The Future* (621-639). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814003-1.00036-8>
- De la Peña, J.M. (2007). *Guía técnica de estudios litorales: Manual de Costas*. Editorial Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.
- Elliott, M., Day, J., Ramachandran, R., & Wolanski, E.(2019). Chapter 1: A synthesis: What is the future for coast, estuaries, delts and other transitional habitats in 2050 and beyond? En E. Wolanski et al. (Ed.), *Coast and Estuaries: The Future* (1-28). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814003-1.00001-0>
- Fernández, P., Avendaño, C., Cobo, R. (s.f.) *Gestión comparada de sedimentos en embalses*. <https://xdoc.mx/documents/gestion-comparada-de-sedimentos-en-embalses-5e7fb35b05584>
- García, M.H. (2008). *Sedimentation Engineering: Processes, measurements, modeling and practice*. Ed. American Society of Civil Engineers [ASCE].

- Hansen, A. M., Mahé, F. y Corzo-Juárez, C. E. (2013) Metodología para determinar la liberación de metales del sedimento al agua en lagos y embalses. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 29(3), 179–190. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992013000300004&lng=es&nrm=iso&tlng=es [Consultado: 9 de junio de 2022]
- ICOLD (2020). *General Synthesis*. International Commission on Large Dams. https://www.icold-cigb.org/article/GB/world_register/general_synthesis/general-synthesis [Consultado: 6 de junio de 2022]
- Instituto Geográfico Nacional [IGN] (2022). *Modelo digital de elevaciones. Modelo digital del terreno – MDT200*. Centro de Descargas. <http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp> [Consultado: 26 de abril de 2022].
- Kondolf, G.M., Gao, Y., Annandale, G., Morris, G., Jiang, E., Zhang, J., Cao, Y., Carling, P., Fu, K., Guo, Q., Hotchkiss, R., Peteuil, C., Sum, T., Wang, H., Wang, Z., Wei, Z., Wu, B., Wu, C., & Yang, C.T.(2014 a). Sustainable sediment management in reservoirs and regulated rivers: Experiences from five continents. *Earth's Future*, 2, 256-280, <https://doi.org/10.1002/2013EF000184>
- Kondolf, G.M., Rubin, Z., & Minear, J.(2014 b) Dams on the Mekong: Cumulative sediment starvation. *Water Resources Research*, 50 (6), 5158-5169. <https://doi.org/10.1002/2013WR014651>
- Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética. *Boletín Oficial del Estado*, 121, 62009-62052,21 de mayo de 2021. <https://www.boe.es/eli/es/l/2021/05/20/7> [Consultado: 15 de junio de 2022]
- Liu, C., Walling, D., Spreafico, M., Ramasamy, J., Thulstrup, H., & Mishra, A. (2017). Sediment problems and strategies for their management: experience from several large river basins. *UNESCO – United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization*. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000258795>[Consultado: 12 de abril de 2022]
- Martínez, A., Conesa, C., García, R., y Pérez, P.(2015). Estimación de aportes sedimentarios a embalses de pequeñas cuencas mediterráneas GeoWEPP. Ensayo en la cuenca vertiente del río Mula al embalse de la Cierva (cuenca del río Segura). *Limnetica*, 34(1), 41-56. <https://doi.org/10.23818/limn.34.04>

Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y el Mar. (2016) *Estrategia de adaptación al cambio climático de la costa española*.

<https://www.miteco.gob.es/en/costas/temas/proteccion-costa/estrategia-adaptacion-cambio-climatico/estrategia-adaptacion-cambio-climatico.aspx>

[Consultado: 03 de julio de 2022].

Ministerio de Medio Ambiente. Secretaría de Estado de Aguas y Costas. Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de Aguas (2000). *Libro blanco del agua en España*.

http://www.cedex.es/CEDEX/LANG_CASTELLANO/ORGANISMO/CENTYLAB/CEH/Documentos_Descargas/LB_LibroBlancoAgua.htm

[Consultado: 17 de junio de 2022].

Morris, G. L. (2020) Classification of management alternatives to combat reservoir sedimentation. *Water*, 12 (3), 861 <https://doi.org/10.3390/w12030861>

Morris, G. L., & Fan, J. (1998). *Reservoir Sedimentation Handbook*, McGraw-Hill Book Co., New York.

Palau Ybars, A. (1998). El vaciado de embalses: consideraciones ecológicas y gestión medioambiental. *Ecología*, 12, 79-92.

Palau Ybars, A. (2002). La sedimentación en embalses. Medidas preventivas y correctoras. *Actas del I Congreso de Ingeniería Civil, Territorial y Medio Ambiente*, 847-856.

Palau Ybars, A. (2006). Integrated environmental management of current reservoirs and regulated rivers. *Limnetica*, 25 (1-2), 287-302.

<https://www.doi.org/10.23818/limn.25.20>

Pallarès Giral, A. (2015) *Efectes de l'alliberament de cabal generador a preses de Catalunya*. [Treball Final de Grau, ETSECCP, Universitat Politècnica de Catalunya] <http://hdl.handle.net/2117/83798>

Prats, J., Morales-Baquero, R., Dolz, J. y Armengol, J. (2014). Aportaciones de la limnología a la gestión de embalses. *Ingeniería del Agua*, 18 (1), 83-97.

<https://doi.org/10.4995/ia.2014.3145>

Real Decreto 125/2007, de 2 de febrero, por el que se fija el ámbito territorial de las demarcaciones hidrográficas. *Boletín Oficial del Estado*, 30, 3 de febrero de

2007. <https://www.boe.es/eli/es/rd/2007/02/02/125/con>[Consultado: 10 de junio de 2022]

Real Decreto 775/2015, de 28 de agosto, por el que se modifican el Real Decreto 650/1987, de 8 de mayo, por el que se definen los ámbitos territoriales de los Organismos de cuenca y de los planes hidrológicos, y el Real Decreto 125/2007, de 2 de febrero, por el que se fija el ámbito territorial de las demarcaciones hidrográficas. *Boletín Oficial del Estado*, 207,77062-77063, 29 de agosto de 2015. <https://www.boe.es/eli/es/rd/2015/08/28/775> [Consultado: 10 de junio de 2022]

Real Decreto 907/2007, de 6 de julio, por el que se aprueba Reglamento de la Planificación Hidrológica. *Boletín Oficial del Estado*, 162, 7 de julio de 2007. <https://www.boe.es/eli/es/rd/2007/07/06/907/con> [Consultado: 12 de junio de 2022]

Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas. *Boletín Oficial del Estado*, 176, 26791-26817, 24 de julio de 2001. <https://www.boe.es/eli/es/rdlg/2001/07/20/1/con> [Consultado: 10 de junio de 2022]

Sanchez, V. (2008) Sedimentation of the Spanish reservoirs as sand source for beach nourishment. En R. Lehfeltdt & H. Schüttrumpf (Eds.), *Poster Proceedings 31st International Conference on Coastal Engineering*, 481-489), Hamburg, Germany. https://izw.baw.de/publikationen/kfki-dokumente/0/900_ICCE_poster_proceedings_2008.pdf [Consultado: 27 de mayo de 2022].

Sanz, M.E., Cobo, R., Gómez J.L., y Avendaño, C. (1998) Composición de los sedimentos acumulados en embalses españoles. *Ingeniería del Agua*, 5 (4), 21-28 <https://doi.org/10.4995/ia.1998.2768>

SPANCOLD – Comité Nacional de Grandes Presas (2016). *Guías Técnicas de Seguridad en Presas Nº9: Medio Ambiente de Presas y Embalses*. Editorial Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

Stemm (4 de Agosto 2022). *Densidades de materiales: Arena de río húmeda*. <https://www.stemm.com/index.php/es/densidades-de-materiales>

Syvitski, J.P.M., Kettner, A.J., Overeem, I., Hutton, E.W., Hannon, M.T., Brakenridge, G.R., Day, J., Vörösmarty, C., Saito, Y., Giosan, L. & Nicholls, R.J. (2009)

Sinking deltas due to human activities. *Nature Geoscience*, 2, 681-686
<https://doi.org/10.1038/ngeo629>

Syvitski, J.P.M., Vörösmarty, C.J., Kettner, A.J., & Green, P. (2005). Impact of humans on the flux of terrestrial sediment to the global coastal ocean. *Science*, 308 (5720), 376-380. <https://doi.org/10.1126/science.1109454>

Tigrek, S., & Aras, T. (2011). *Reservoir Sediment Management*. En Taylor & Francis Group (Ed.) <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bibliotecaupves-ebooks/detail.action?docID=840370> [Consultado: 1 de junio de 2022]

United States Army Corp of Engineers (1984). *Shore Protection Manual*.

Walling, D.E. (2006). Human impact on land-ocean sediment transfer by the world's rivers. *Geomorphology*, 79(3-4), 192-216
<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.06.019>

Warring, J.A, Stevens, A.W., Miller, I.M., Harrison, S.R., Ritchie, A.C. & Gelfenbaum, G. (2019) World's largest dam removal reverses coastal erosion. *Scientific reports*, 9, 13968. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-50387-7>

Wolanski, E., & Hopper, C. (2022). Dams and climate change accelerate channel avulsion and coastal erosion and threaten Ramsar-listed wetlands in the largest Great Barrier Reef watershed. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 22, 197-212.
<https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2022.01.001>



ANEXOS

ANEXO I: APORTACIONES MEDIAS ANUALES A EMBALSES

Tabla 21. Embalse Alarcón: Aportación media anual. Anuario de Aforos - CEDEX

Año Hidrológico	Aportación hm ³ /año	Caudal m ³ /s	Año Hidrológico	Aportación hm ³ /año	Caudal m ³ /s
30/09/1945	163.96	5.20	30/09/1982	551.56	17.49
30/09/1946	586.90	18.61	30/09/1983	227.93	7.23
30/09/1947	816.17	25.88	30/09/1984	489.31	15.47
30/09/1948	528.08	16.70	30/09/1985	758.00	24.04
30/09/1949	187.66	5.95	30/09/1986	688.66	21.84
30/09/1950	202.51	6.42	30/09/1987	606.94	19.25
30/09/1951	640.06	20.30	30/09/1988	781.80	24.72
30/09/1952	470.17	14.87	30/09/1989	558.57	17.71
30/09/1953	205.30	6.51	30/09/1990	424.75	13.47
30/09/1954	205.44	6.51	30/09/1991	558.57	17.71
30/09/1955	349.23	11.07	30/09/1992	405.68	12.83
30/09/1956	567.17	17.94	30/09/1993	305.82	9.70
30/09/1957	226.42	7.18	30/09/1994	394.17	12.50
30/09/1958	274.27	8.70	30/09/1995	223.19	7.08
30/09/1960	853.83	27.00	30/09/1996	401.25	12.69
30/09/1961	489.29	15.52	30/09/1997	560.00	17.76
30/09/1962	539.56	17.11	30/09/1998	399.90	12.68
30/09/1963	713.58	22.63	30/09/2000	232.31	7.35
30/09/1964	615.30	19.46	30/09/2001	474.93	15.06
30/09/1965	309.51	9.81	30/09/2002	108.68	3.45
30/09/1966	829.32	26.30	30/09/2003	385.24	12.22
30/09/1967	305.79	9.70	30/09/2004	303.55	9.60
30/09/1968	287.56	9.09	30/09/2005	73.32	2.32
30/09/1969	624.52	19.80	30/09/2006	80.12	2.54
30/09/1970	441.82	14.01	30/09/2007	176.46	5.60
30/09/1971	485.79	15.40	30/09/2008	116.48	3.68
30/09/1972	399.62	12.64	30/09/2009	213.72	6.78
30/09/1973	391.39	12.41	30/09/2010	456.36	14.47
30/09/1974	341.84	10.84	30/09/2011	195.86	6.21
30/09/1975	225.20	7.14	30/09/2013	307.97	9.77
30/09/1976	115.26	3.64	30/09/2014	192.96	6.12
30/09/1977	576.79	18.29	30/09/2015	438.55	13.91
30/09/1978	533.16	16.91	30/09/2016	151.18	4.78
30/09/1979	671.81	21.30	30/09/2018	252.72	8.01
30/09/1980	431.51	13.65	30/09/2019	134.91	4.28
30/09/1981	414.69	13.15	Promedio	403.55	
			"Efecto 80"	372.35	

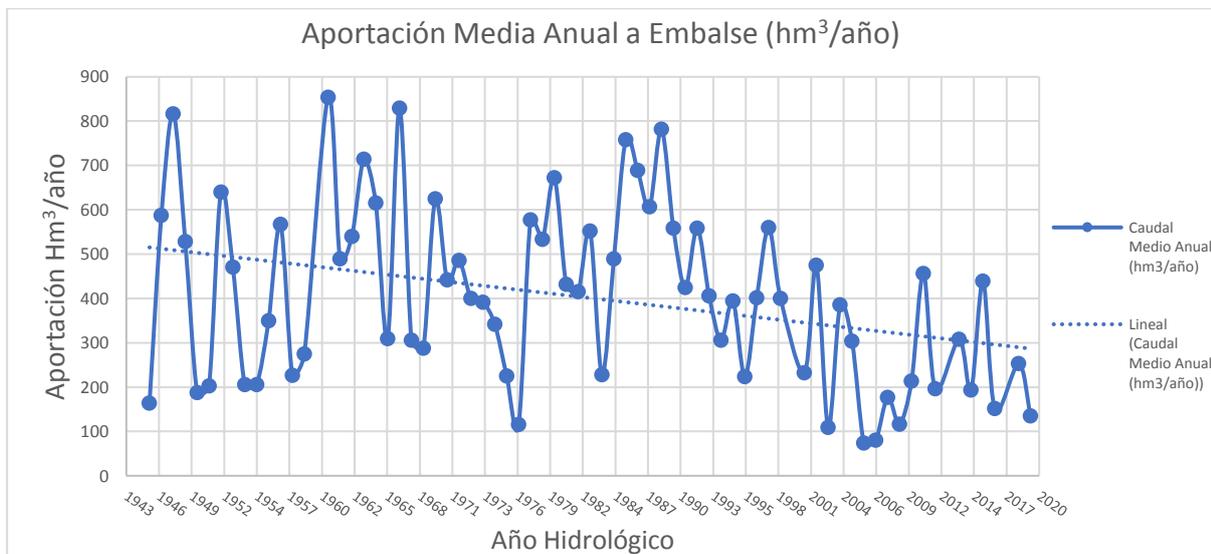


Figura 53. Embalse Alarcón: Aportación media anual.

Tabla 22. Embalse Alcora: Aportación media anual. Anuario de Aforos - CEDEX

Año Hidrológico	Aportación hm ³ /año	Caudal m ³ /s	Año Hidrológico	Aportación hm ³ /año	Caudal m ³ /s
30/09/1960	12.52	0.4	30/09/1989	36.43	1.16
30/09/1961	3.85	0.12	30/09/1990	60.52	1.92
30/09/1962	9.48	0.3	30/09/1991	47.83	1.52
30/09/1963	5.73	0.18	30/09/1992	10.42	0.33
30/09/1964	1.91	0.06	30/09/1993	29.6	0.94
30/09/1965	4.29	0.14	30/09/1994	2	0.06
30/09/1966	5.72	0.18	30/09/1995	1.99	0.06
30/09/1967	1.99	0.06	30/09/1996	6.89	0.22
30/09/1968	2.69	0.09	30/09/1997	4.45	0.14
30/09/1969	2.33	0.07	30/09/1998	2.09	0.07
30/09/1970	52.16	1.65	30/09/1999	0.67	0.02
30/09/1971	3.83	0.12	30/09/2000	0.7	0.02
30/09/1972	22.19	0.7	30/09/2001	12.26	0.39
30/09/1973	10.69	0.34	30/09/2002	7.15	0.23
30/09/1974	4.25	0.13	30/09/2003	3.76	0.12
30/09/1975	1.9	0.06	30/09/2004	4.52	0.14
30/09/1976	4.97	0.16	30/09/2005	0.05	0
30/09/1977	19.27	0.61	30/09/2006	9.02	0.29
30/09/1978	11.02	0.35	30/09/2007	5.8	0.18
30/09/1979	1.49	0.05	30/09/2008	10.22	0.32
30/09/1980	2.75	0.09	30/09/2009	7.87	0.25
30/09/1981	4.2	0.13	30/09/2010	3.75	0.12
30/09/1982	10.81	0.34	30/09/2011	3.21	0.1
30/09/1983	4.54	0.14	30/09/2012	3.29	0.1
30/09/1984	13.36	0.42	30/09/2013	11.18	0.35
30/09/1985	2.88	0.09	30/09/2014	0.44	0.01
30/09/1986	0.51	0.02	30/09/2015	10.44	0.33
30/09/1987	8.18	0.26	30/09/2016	5.17	0.16
30/09/1988	29.73	0.94	30/09/2018	0.41	0.01
			30/09/2019	8.4	0.27
			Promedio	9.66	
			"Efecto 80"	9.72	

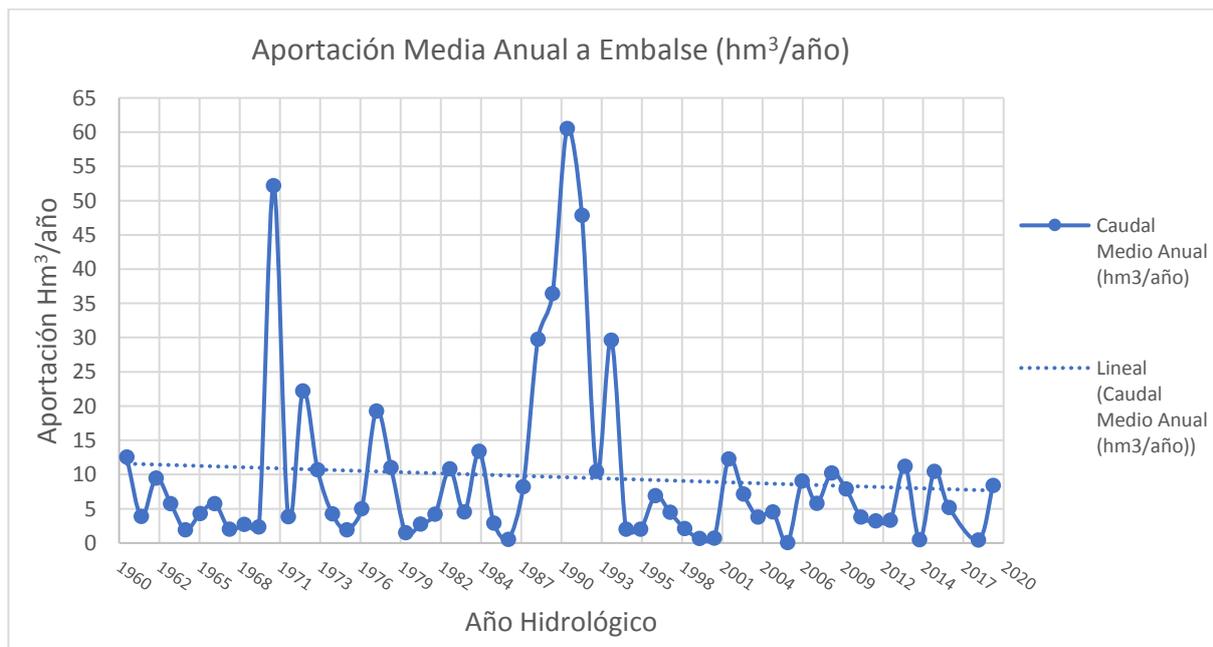


Figura 54. Embalse Alcora: Aportación media anual.

Tabla 23. Embalse Amadorio: Aportación media anual. Anuario de Aforos - CEDEX

Año Hidrológico	Aportación hm ³ /año	Caudal m ³ /s	Año Hidrológico	Aportación hm ³ /año	Caudal m ³ /s
30/09/1960	5.82	0.18	30/09/1990	11.1	0.35
30/09/1961	1.14	0.04	30/09/1991	5.28	0.17
30/09/1962	2.21	0.07	30/09/1992	5.77	0.18
30/09/1963	14.5	0.46	30/09/1993	8.06	0.26
30/09/1964	2.57	0.08	30/09/1994	3.6	0.11
30/09/1965	6.33	0.2	30/09/1995	0.16	0.01
30/09/1966	2.31	0.07	30/09/1996	1.21	0.04
30/09/1967	5.01	0.16	30/09/1998	6.88	0.22
30/09/1968	0.82	0.03	30/09/1999	1.11	0.04
30/09/1969	1.23	0.04	30/09/2000	1.28	0.04
30/09/1970	2.23	0.07	30/09/2001	2.29	0.07
30/09/1971	2.38	0.08	30/09/2002	6.7	0.21
30/09/1972	25.34	0.8	30/09/2003	5.37	0.17
30/09/1973	24.74	0.78	30/09/2004	8.92	0.28
30/09/1974	27.91	0.89	30/09/2005	7.55	0.24
30/09/1975	2.05	0.06	30/09/2006	6.54	0.21
30/09/1976	0.56	0.02	30/09/2007	9.45	0.3
30/09/1977	3.65	0.12	30/09/2008	15.3	0.48
30/09/1978	0.41	0.01	30/09/2009	10.61	0.34
30/09/1979	1.15	0.04	30/09/2010	10.91	0.35
30/09/1980	4.95	0.16	30/09/2011	7.4	0.23
30/09/1981	4.08	0.13	30/09/2012	8.78	0.28
30/09/1982	1.99	0.06	30/09/2013	10.62	0.34
30/09/1983	1.01	0.03	30/09/2014	2.43	0.08
30/09/1984	0.06	0	30/09/2015	2.11	0.07
30/09/1985	1.39	0.04	30/09/2016	4.61	0.15
30/09/1986	1.95	0.06	30/09/2017	56.25	1.78
30/09/1987	9.89	0.31	30/09/2018	3.75	0.12
30/09/1988	8.38	0.27	30/09/2019	12.83	0.41
30/09/1989	2.84	0.09	Promedio	6.88	
			"Efecto 80"	6.86	

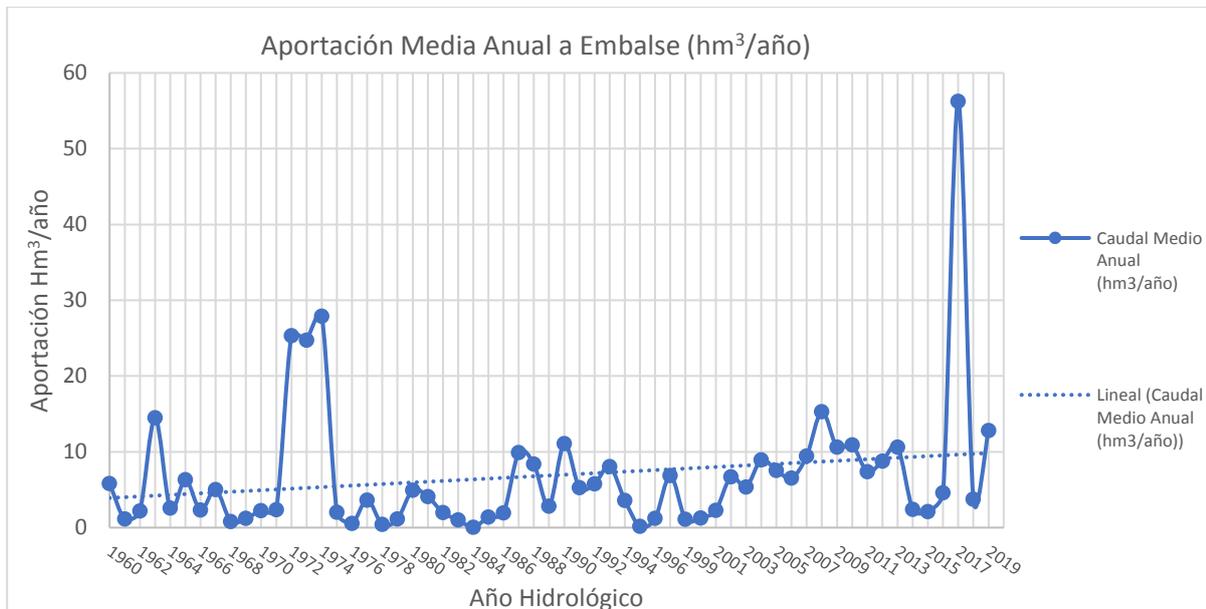


Figura 55. Embalse Amadorio: Aportación media anual.

Tabla 24. Embalse Arenós: Aportación media anual. Anuario de Aforos - CEDEX

Año Hidrológico	Aportación hm ³ /año	Caudal m ³ /s
30/09/1984	80.36	2.54
30/09/1985	96.08	3.05
30/09/1986	77.64	2.46
30/09/1987	114.84	3.64
30/09/1988	257.92	8.16
30/09/1989	237.91	7.54
30/09/1990	287.41	9.11
30/09/1991	202.17	6.41
30/09/1992	155.36	4.91
30/09/1993	138.24	4.38
30/09/1994	109.32	3.47
30/09/1995	96.4	3.06
30/09/1996	102.01	3.23
30/09/1997	149.48	4.74
30/09/1998	127.89	4.06
30/09/1999	106.48	3.38
30/09/2000	85.72	2.71
30/09/2001	128.56	4.08
30/09/2002	112.19	3.56
30/09/2003	180.51	5.72
30/09/2004	189.91	6.01
30/09/2005	116.12	3.68
30/09/2006	116.47	3.69
30/09/2007	130.69	4.14
30/09/2008	140.19	4.43
30/09/2009	157	4.98
30/09/2010	171.69	5.44
30/09/2011	126.6	4.01
30/09/2012	88.59	2.8
30/09/2013	142.45	4.52
30/09/2014	92.74	2.94
30/09/2015	159.59	5.06
30/09/2016	113.86	3.6
30/09/2017	139.9	4.44
30/09/2018	112.11	3.55
30/09/2019	179.54	5.69
Promedio	139.55	

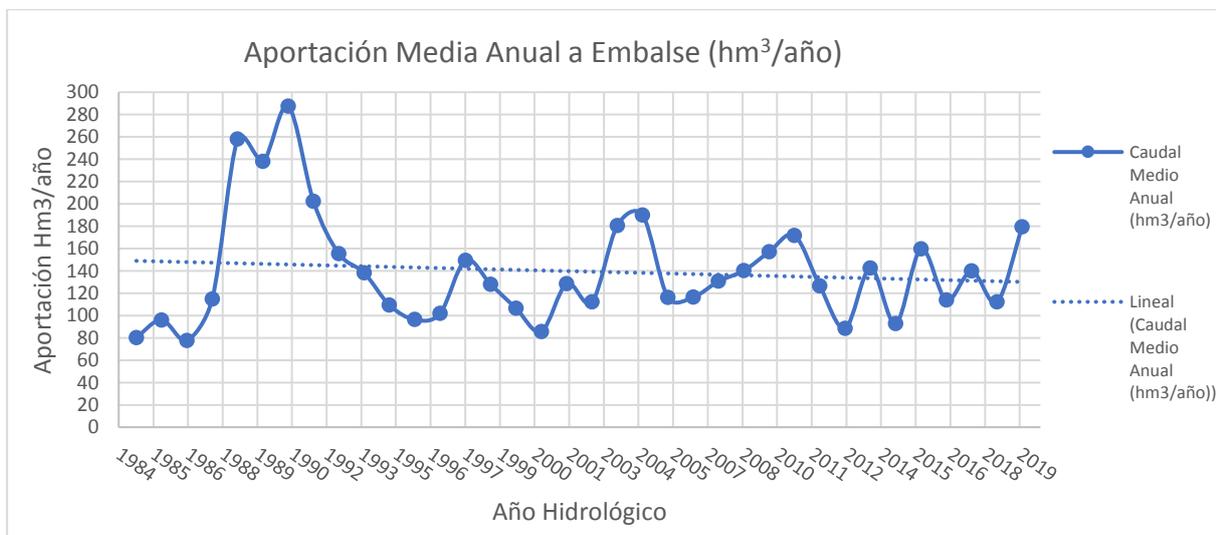


Figura 56. Embalse Arenós: Aportación media anual.

Tabla 25. Embalse Arquillo de San Blas: Aportación media anual. Anuario de Aforos - CEDEX

Año Hidrológico	Aportación hm ³ /año	Caudal m ³ /s	Año Hidrológico	Aportación hm ³ /año	Caudal m ³ /s
30/09/1969	110.53	3.5	30/09/1998	50	1.59
30/09/1970	56.64	1.8	30/09/1999	6.7	0.21
30/09/1971	89.84	2.85	30/09/2000	10.87	0.34
30/09/1972	70.89	2.24	30/09/2001	43	1.36
30/09/1973	55.82	1.77	30/09/2002	9.86	0.31
30/09/1974	60.56	1.92	30/09/2003	57.63	1.83
30/09/1975	30.85	0.98	30/09/2004	60.45	1.91
30/09/1976	33.97	1.07	30/09/2005	8.91	0.28
30/09/1977	92.18	2.92	30/09/2006	8.93	0.28
30/09/1978	99.62	3.16	30/09/2007	17.25	0.55
30/09/1979	128.72	4.08	30/09/2008	15.94	0.5
30/09/1980	64.18	2.03	30/09/2009	36.43	1.16
30/09/1981	12.16	0.39	30/09/2010	87.41	2.77
30/09/1982	11.85	0.38	30/09/2011	37.52	1.19
30/09/1983	8.63	0.27	30/09/2012	2.5	0.08
30/09/1984	27.9	0.88	30/09/2013	30.68	0.97
30/09/1985	37.86	1.2	30/09/2014	14.05	0.45
30/09/1986	18.01	0.57	30/09/2015	23.43	0.74
30/09/1987	11.45	0.36	30/09/2016	10.59	0.33
30/09/1988	74.09	2.34	30/09/2017	32.92	1.04
30/09/1989	42.07	1.33	30/09/2018	28.19	0.89
30/09/1990	38.78	1.23	30/09/2019	39.43	1.25
30/09/1991	79.49	2.52	Promedio	40.93	
30/09/1992	6.35	0.2	"Efecto 80"	33.05	
30/09/1996	28.68	0.91			

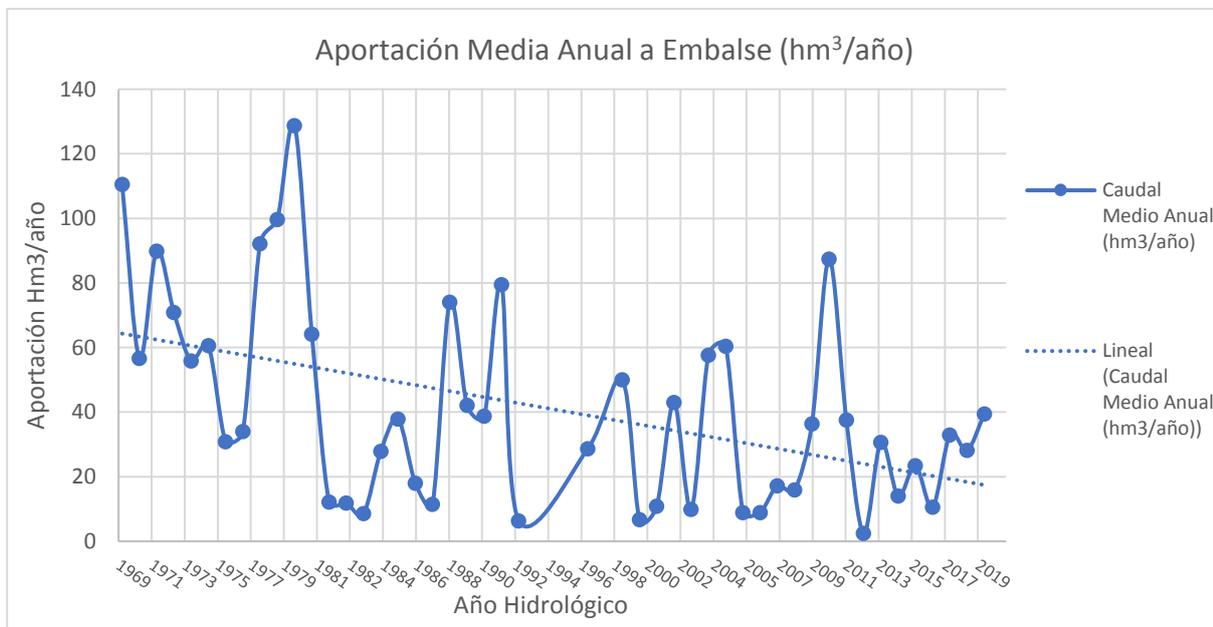


Figura 57. Embalse Arquillo de San Blas: Aportación media anual.

Tabla 26. Embalse Beniarrés: Aportación media anual. Anuario de Aforos - CEDEX

Año Hidrológico	Aportación hm ³ /año	Caudal m ³ /s	Año Hidrológico	Aportación hm ³ /año	Caudal m ³ /s
30/09/1960	63.16	2	30/09/1989	37.02	1.17
30/09/1961	23.34	0.74	30/09/1990	73.85	2.34
30/09/1962	21.11	0.67	30/09/1991	79.16	2.51
30/09/1963	17.92	0.57	30/09/1992	39.35	1.24
30/09/1964	22.28	0.7	30/09/1993	74.88	2.37
30/09/1965	60.47	1.92	30/09/1994	15.14	0.48
30/09/1966	18.33	0.58	30/09/1995	13.8	0.44
30/09/1967	30.78	0.98	30/09/1996	9.51	0.3
30/09/1968	12.14	0.38	30/09/1998	13.71	0.43
30/09/1969	10.73	0.34	30/09/1999	8.93	0.28
30/09/1970	24.04	0.76	30/09/2000	8.81	0.28
30/09/1971	19.32	0.61	30/09/2001	12.51	0.4
30/09/1972	72.45	2.29	30/09/2002	16.34	0.52
30/09/1973	117.93	3.74	30/09/2003	14.8	0.47
30/09/1974	76.04	2.41	30/09/2004	20.78	0.66
30/09/1975	19.69	0.62	30/09/2005	56.41	1.79
30/09/1976	14.18	0.45	30/09/2006	10.91	0.35
30/09/1977	29.64	0.94	30/09/2007	16.15	0.51
30/09/1978	5.84	0.19	30/09/2008	48.64	1.54
30/09/1979	11.97	0.38	30/09/2009	40.43	1.28
30/09/1980	24.63	0.78	30/09/2010	42.97	1.36
30/09/1981	14.52	0.46	30/09/2011	14.04	0.45
30/09/1982	13.21	0.42	30/09/2012	43.38	1.37
30/09/1983	22.98	0.73	30/09/2013	50.76	1.61
30/09/1984	11.19	0.35	30/09/2014	9.64	0.31
30/09/1985	14.39	0.46	30/09/2015	12.88	0.41
30/09/1986	18.34	0.58	30/09/2016	8.92	0.28
30/09/1988	30.24	0.96	30/09/2018	100.32	3.18
			30/09/2019	24.5	0.78
			Promedio	30.52	
			"Efecto 80"	28.42	

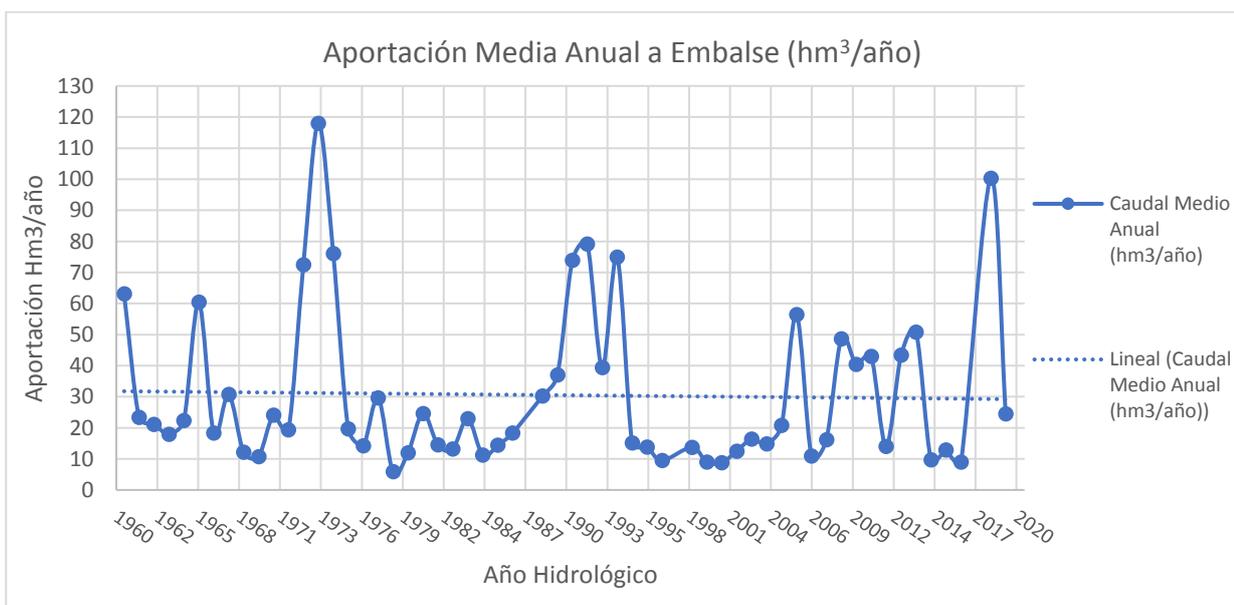


Figura 58. Embalse Beniarrés: Aportación media anual.

Tabla 27. Embalse Buseo: Aportación media anual. Anuario de Aforos - CEDEX

Año Hidrológico	Aportación hm ³ /año	Caudal m ³ /s	Año Hidrológico	Aportación hm ³ /año	Caudal m ³ /s
30/09/1945	0.57	0.02	30/09/1975	0.53	0.02
30/09/1946	6.96	0.22	30/09/1976	4.01	0.13
30/09/1947	4.48	0.14	30/09/1977	6.23	0.2
30/09/1948	5.27	0.17	30/09/1978	6.95	0.22
30/09/1949	10.6	0.34	30/09/1979	0.53	0.02
30/09/1950	1.63	0.05	30/09/1980	3.73	0.12
30/09/1951	8.73	0.28	30/09/1981	1.68	0.05
30/09/1952	0	0	30/09/1982	0.36	0.01
30/09/1953	1.13	0.04	30/09/1983	5.9	0.19
30/09/1954	0.51	0.02	30/09/1984	0.96	0.03
30/09/1955	0.59	0.02	30/09/1985	2.8	0.09
30/09/1956	1.82	0.06	30/09/1987	0.95	0.03
30/09/1957	3.2	0.1	30/09/1988	29.04	0.92
30/09/1960	19.5	0.62	30/09/1989	9.98	0.32
30/09/1961	4.38	0.14	30/09/1990	62.08	1.97
30/09/1962	5.14	0.16	30/09/1991	38.93	1.23
30/09/1963	8.95	0.28	30/09/1995	1.79	0.06
30/09/1964	3.34	0.11	30/09/1996	0.8	0.03
30/09/1965	5.77	0.18	30/09/1997	3.86	0.12
30/09/1966	7.38	0.23	30/09/2001	0.7	0.02
30/09/1967	2.88	0.09	30/09/2002	1.24	0.04
30/09/1968	11.69	0.37	30/09/2004	3.11	0.1
30/09/1969	0.64	0.02	30/09/2007	0.63	0.02
30/09/1970	3.18	0.1	30/09/2008	0.73	0.02
30/09/1971	4.99	0.16	30/09/2009	0.96	0.03
30/09/1972	23.56	0.75	30/09/2010	2.41	0.08
30/09/1973	16.14	0.51	30/09/2013	0.56	0.02
30/09/1974	7.94	0.25	30/09/2015	0.51	0.02
			30/09/2017	44.17	1.4
			Promedio	7.142	
			"Efecto 80"	8.736	

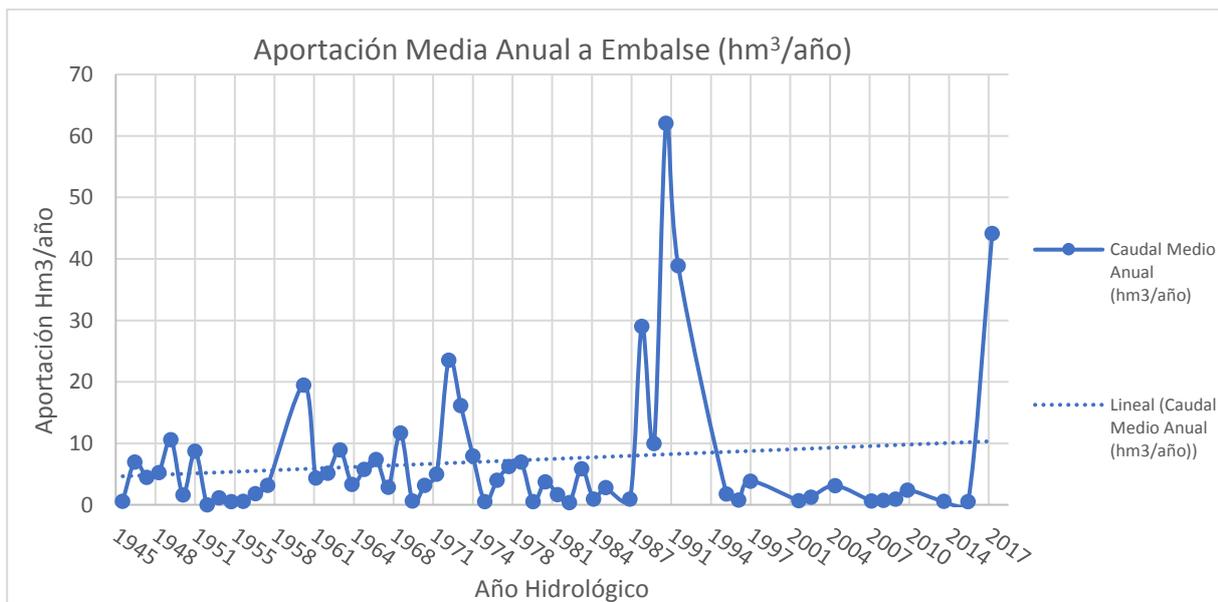


Figura 59. Embalse Buseo: Aportación media anual.

Tabla 28. Embalse Contreras: Aportación media anual. Anuario de Aforos - CEDEX

Año Hidrológico	Aportación hm ³ /año	Caudal m ³ /s	Año Hidrológico	Aportación hm ³ /año	Caudal m ³ /s
30/09/1974	336.9	10.68	30/09/1998	346.38	10.98
30/09/1975	163.31	5.18	30/09/1999	75.04	2.38
30/09/1976	127.39	4.03	30/09/2000	80.84	2.56
30/09/1977	445.45	14.13	30/09/2001	250.24	7.94
30/09/1978	387.88	12.3	30/09/2002	99.11	3.14
30/09/1979	488.07	15.48	30/09/2003	293.02	9.29
30/09/1980	212.71	6.73	30/09/2004	237.16	7.5
30/09/1981	94.98	3.01	30/09/2005	75.23	2.39
30/09/1982	84.61	2.68	30/09/2006	62.59	1.98
30/09/1983	79.94	2.53	30/09/2007	95.75	3.04
30/09/1984	162.49	5.14	30/09/2008	103.43	3.27
30/09/1985	264.68	8.39	30/09/2009	138.32	4.39
30/09/1986	179.81	5.7	30/09/2010	454.51	14.41
30/09/1987	165.47	5.25	30/09/2011	202.56	6.42
30/09/1988	434.71	13.75	30/09/2012	20.76	0.66
30/09/1989	187.81	5.96	30/09/2013	158.89	5.04
30/09/1990	202.47	6.42	30/09/2014	81.18	2.57
30/09/1991	213.73	6.78	30/09/2015	75.93	2.41
30/09/1992	78.32	2.48	30/09/2016	81.45	2.58
30/09/1993	45.08	1.43	30/09/2017	50.77	1.61
30/09/1994	43.91	1.39	30/09/2018	153.57	4.87
30/09/1995	51.89	1.65	30/09/2019	127.63	4.05
30/09/1996	186.59	5.9	Promedio	175.612	
			"Efecto 80"	161.041	

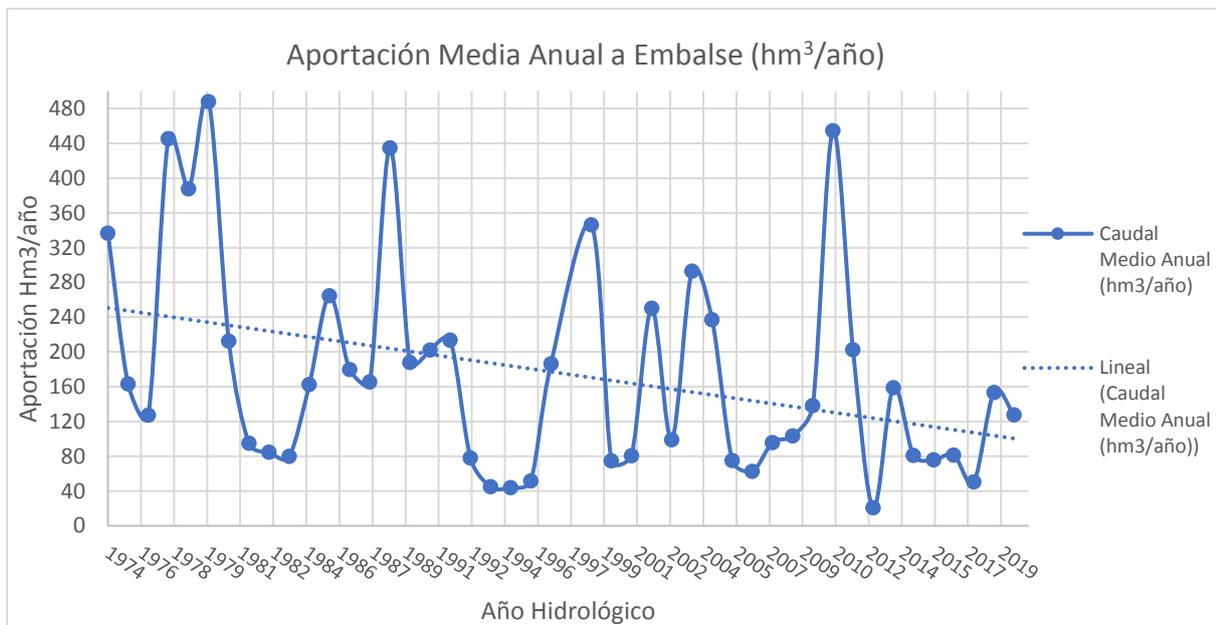


Figura 60. Embalse Contreras: Aportación media anual

Tabla 29. Embalse Forata: Aportación media anual. Anuario de Aforos - CEDEX

Año Hidrológico	Aportación hm ³ /año	Caudal m ³ /s	Año Hidrológico	Aportación hm ³ /año	Caudal m ³ /s
30/09/1970	20.37	0.65	30/09/1995	7.73	0.25
30/09/1971	20.78	0.66	30/09/1996	4.21	0.13
30/09/1972	82.49	2.61	30/09/1997	13.16	0.42
30/09/1973	59.45	1.89	30/09/1998	5.45	0.17
30/09/1974	38.09	1.21	30/09/1999	5.73	0.18
30/09/1975	27.03	0.86	30/09/2000	4.19	0.13
30/09/1976	37.13	1.17	30/09/2001	7.13	0.23
30/09/1977	43.32	1.37	30/09/2002	8.72	0.28
30/09/1978	40.58	1.29	30/09/2003	5.61	0.18
30/09/1979	44.9	1.42	30/09/2004	8.15	0.26
30/09/1980	27.28	0.86	30/09/2005	3.08	0.1
30/09/1981	21.49	0.68	30/09/2006	4.11	0.13
30/09/1982	14.04	0.45	30/09/2007	5.78	0.18
30/09/1983	29.41	0.93	30/09/2008	6.03	0.19
30/09/1984	5.43	0.17	30/09/2009	10.2	0.32
30/09/1985	11.07	0.35	30/09/2010	10.87	0.34
30/09/1986	4.53	0.14	30/09/2011	4.77	0.15
30/09/1987	5.94	0.19	30/09/2012	3.18	0.1
30/09/1989	18.84	0.6	30/09/2013	6.45	0.2
30/09/1990	51.88	1.65	30/09/2014	2.85	0.09
30/09/1991	33.38	1.06	30/09/2015	6.04	0.19
30/09/1992	17.66	0.56	30/09/2016	5.12	0.16
30/09/1993	13.01	0.41	30/09/2017	21.32	0.68
30/09/1994	5.47	0.17	30/09/2018	1.19	0.04
			30/09/2019	3.96	0.13
			Promedio	17.114	
			"Efecto 80"	11.734	

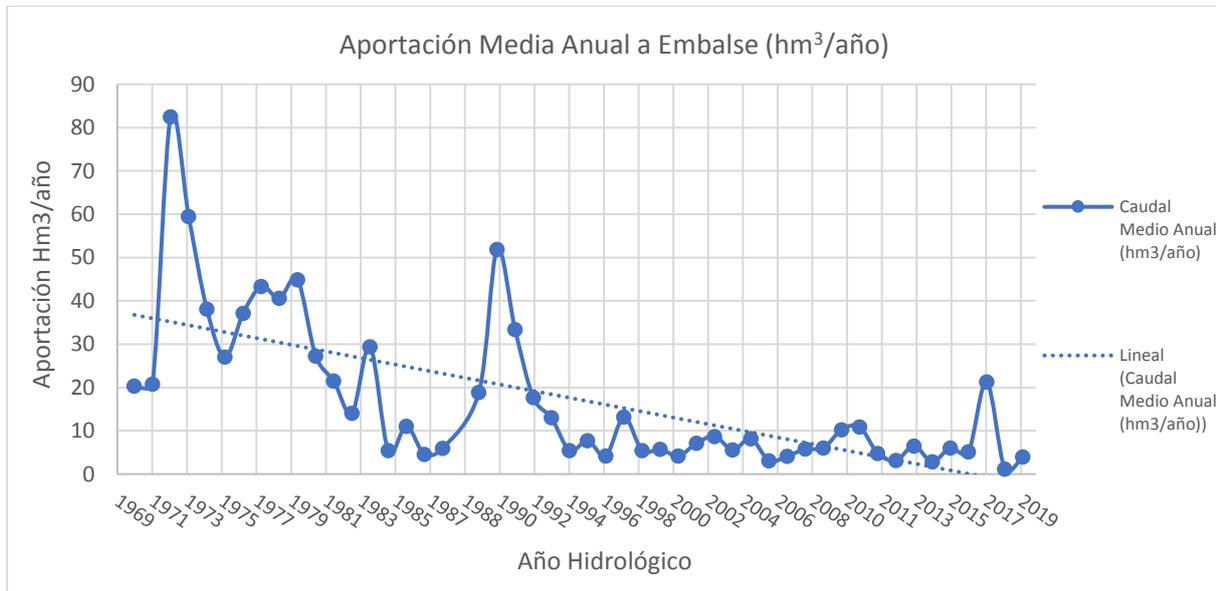


Figura 61. Embalse Forata: Aportación media anual.

Tabla 30. Embalse Benageber: Aportación media anual. Anuario de Aforos - CEDEX

Año Hidrológico	Aportación hm ³ /año	Caudal m ³ /s	Año Hidrológico	Aportación hm ³ /año	Caudal m ³ /s
30/09/1945	198.7	6.3	30/09/1983	124.32	3.94
30/09/1946	402.64	12.77	30/09/1984	122.15	3.86
30/09/1947	387.33	12.28	30/09/1985	149.86	4.75
30/09/1948	363.44	11.49	30/09/1986	115.8	3.67
30/09/1949	199.04	6.31	30/09/1987	153.94	4.88
30/09/1950	188.73	5.98	30/09/1988	328.59	10.39
30/09/1951	408.64	12.96	30/09/1989	272.04	8.63
30/09/1952	408.23	12.91	30/09/1990	283.2	8.98
30/09/1953	193.16	6.13	30/09/1991	274.69	8.71
30/09/1954	205.7	6.52	30/09/1992	127.13	4.02
30/09/1955	188.19	5.97	30/09/1993	106.47	3.38
30/09/1956	266.06	8.41	30/09/1994	81.17	2.57
30/09/1957	209.94	6.66	30/09/1995	95.11	3.02
30/09/1958	310.15	9.83	30/09/1996	129.42	4.09
30/09/1960	542.92	17.17	30/09/1998	252.8	8.02
30/09/1961	323.3	10.25	30/09/1999	155.42	4.93
30/09/1962	362.06	11.48	30/09/2000	126.17	3.99
30/09/1963	388.12	12.31	30/09/2001	178.94	5.67
30/09/1964	360.94	11.41	30/09/2002	148.6	4.71
30/09/1965	307.64	9.76	30/09/2003	270.13	8.57
30/09/1966	486.97	15.44	30/09/2004	251.48	7.95
30/09/1967	308.73	9.79	30/09/2005	133.82	4.24
30/09/1968	286.37	9.06	30/09/2006	122.6	3.89
30/09/1969	442.33	14.03	30/09/2007	126.39	4.01
30/09/1970	313.48	9.94	30/09/2008	141.97	4.49
30/09/1971	330.79	10.49	30/09/2009	200.75	6.37
30/09/1972	344.23	10.89	30/09/2010	326.47	10.35
30/09/1973	259.66	8.23	30/09/2011	197.81	6.27
30/09/1974	275.82	8.75	30/09/2012	118.83	3.76
30/09/1975	228.29	7.24	30/09/2013	180.68	5.73
30/09/1976	203.58	6.44	30/09/2014	130.94	4.15
30/09/1977	305.94	9.7	30/09/2015	169.65	5.38
30/09/1978	267.3	8.48	30/09/2016	123.17	3.89
30/09/1979	268.32	8.51	30/09/2017	140.22	4.45
30/09/1980	201.33	6.37	30/09/2018	145.45	4.61
30/09/1981	111.48	3.53	30/09/2019	220.96	7.01
30/09/1982	92.12	2.92	Promedio	235.19	
			"Efecto 80"	172.51	

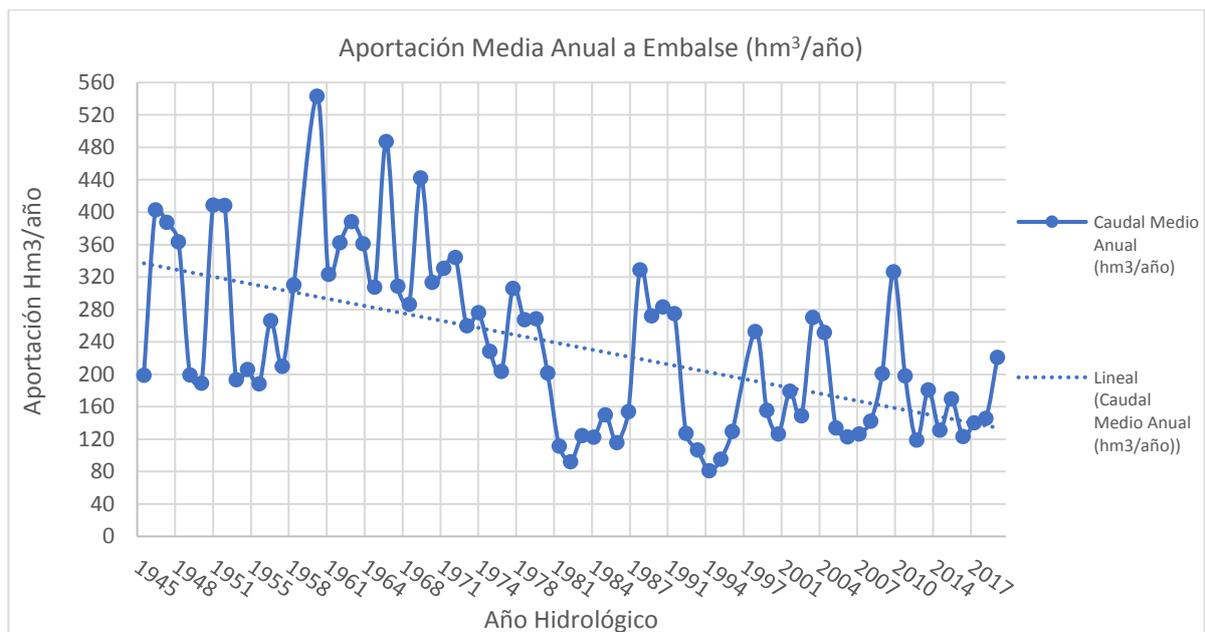


Figura 62. Embalse Benageber: Aportación media anual.

Tabla 31. Embalse Guadalest: Aportación media anual. Anuario de Aforos - CEDEX

Año Hidrológico	Aportación hm ³ /año	Caudal m ³ /s	Año Hidrológico	Aportación hm ³ /año	Caudal m ³ /s
30/09/1969	0.42	0.01	30/09/1995	19.64	0.62
30/09/1970	3.68	0.12	30/09/1996	17.25	0.55
30/09/1971	4.24	0.13	30/09/1998	21.04	0.67
30/09/1972	19.8	0.63	30/09/1999	12.92	0.41
30/09/1973	24.69	0.78	30/09/2000	10.22	0.32
30/09/1974	21.59	0.68	30/09/2001	10.09	0.32
30/09/1975	3.29	0.1	30/09/2002	20.57	0.65
30/09/1976	7.12	0.23	30/09/2003	19.46	0.62
30/09/1977	7.86	0.25	30/09/2004	17.37	0.55
30/09/1978	0.24	0.01	30/09/2005	17.61	0.56
30/09/1979	5.56	0.18	30/09/2006	16.9	0.54
30/09/1980	15.19	0.48	30/09/2007	14.94	0.47
30/09/1981	6.52	0.21	30/09/2008	14.57	0.46
30/09/1982	13.17	0.42	30/09/2009	0.89	0.03
30/09/1983	17.19	0.54	30/09/2010	0.47	0.01
30/09/1984	16.77	0.53	30/09/2011	1.15	0.04
30/09/1985	15.72	0.5	30/09/2012	1.35	0.04
30/09/1986	24.28	0.77	30/09/2013	8.61	0.27
30/09/1987	24.73	0.78	30/09/2014	6.51	0.21
30/09/1988	19.38	0.61	30/09/2015	7.49	0.24
30/09/1989	71.19	2.26	30/09/2016	3.94	0.12
30/09/1990	25.77	0.82	30/09/2017	11.32	0.36
30/09/1991	23.68	0.75	30/09/2018	2.41	0.08
30/09/1992	25.09	0.79	30/09/2019	10.91	0.35
30/09/1993	17.81	0.56	Promedio	14.05	
30/09/1994	19.7	0.62	"Efecto 80"	15.23	

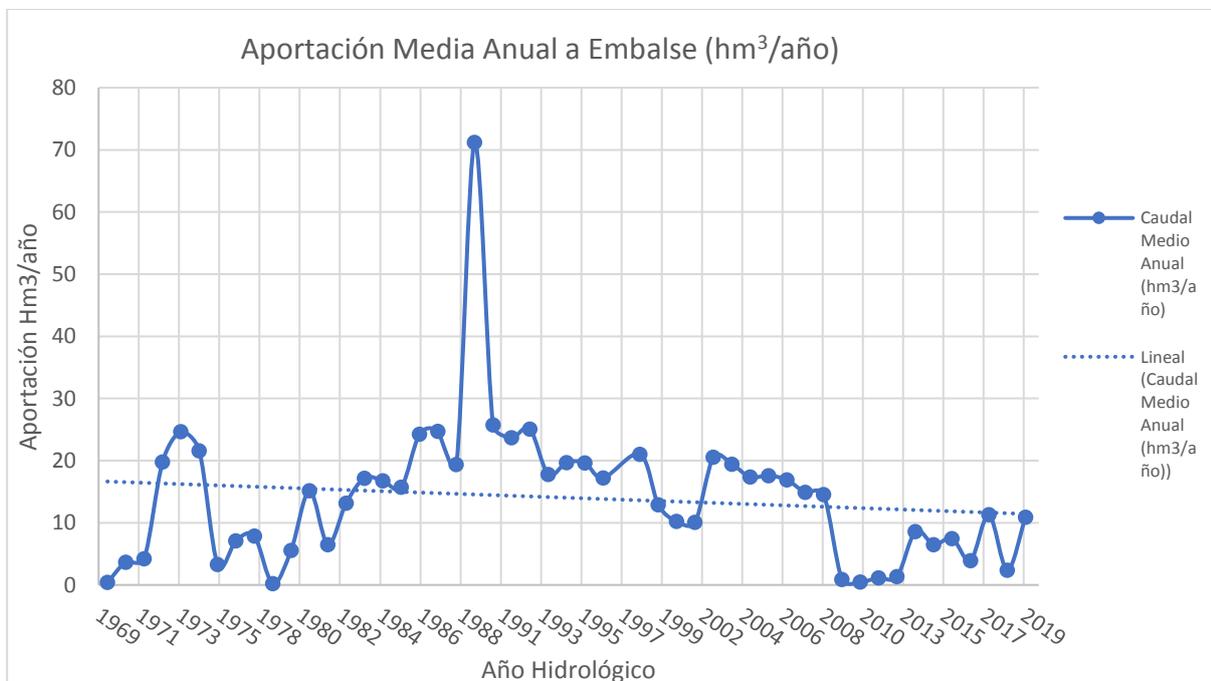


Figura 63. Embalse Guadalest: Aportación media anual

Tabla 32. Embalse Loriguilla: Aportación media anual. Anuario de Aforos - CEDEX

Año Hidrológico	Aportación hm ³ /año	Caudal m ³ /s	Año Hidrológico	Aportación hm ³ /año	Caudal m ³ /s
30/09/1970	529.89	16.8	30/09/1996	57.14	1.81
30/09/1971	349.99	11.1	30/09/1997	125.06	3.97
30/09/1972	293.9	9.29	30/09/1998	174.7	5.54
30/09/1973	317.24	10.06	30/09/1999	132.46	4.2
30/09/1974	343.69	10.9	30/09/2000	115.69	3.66
30/09/1975	259.66	8.23	30/09/2001	99.6	3.16
30/09/1976	200.67	6.35	30/09/2002	51	1.62
30/09/1977	273.35	8.67	30/09/2003	134.57	4.27
30/09/1978	330.92	10.49	30/09/2004	145.6	4.6
30/09/1979	213.41	6.77	30/09/2005	156.97	4.98
30/09/1980	175.39	5.55	30/09/2006	148.69	4.71
30/09/1981	134.54	4.27	30/09/2007	80.76	2.56
30/09/1982	88.21	2.8	30/09/2008	80.04	2.53
30/09/1983	117.51	3.73	30/09/2009	86.3	2.74
30/09/1984	90.93	2.88	30/09/2010	234.22	7.43
30/09/1985	95.34	3.02	30/09/2011	177.91	5.64
30/09/1986	90.23	2.86	30/09/2012	119.42	3.78
30/09/1987	115.87	3.67	30/09/2013	97.01	3.08
30/09/1988	132.89	4.2	30/09/2014	112.15	3.56
30/09/1989	288.38	9.14	30/09/2015	97.32	3.09
30/09/1990	305.65	9.69	30/09/2016	107.2	3.39
30/09/1991	224.08	7.11	30/09/2017	56.9	1.8
30/09/1992	147.84	4.68	30/09/2018	92.43	2.93
30/09/1993	139.61	4.43	30/09/2019	88.83	2.82
30/09/1994	68.19	2.16	Promedio	14.05	
30/09/1995	59.71	1.89	"Efecto 80"	15.23	

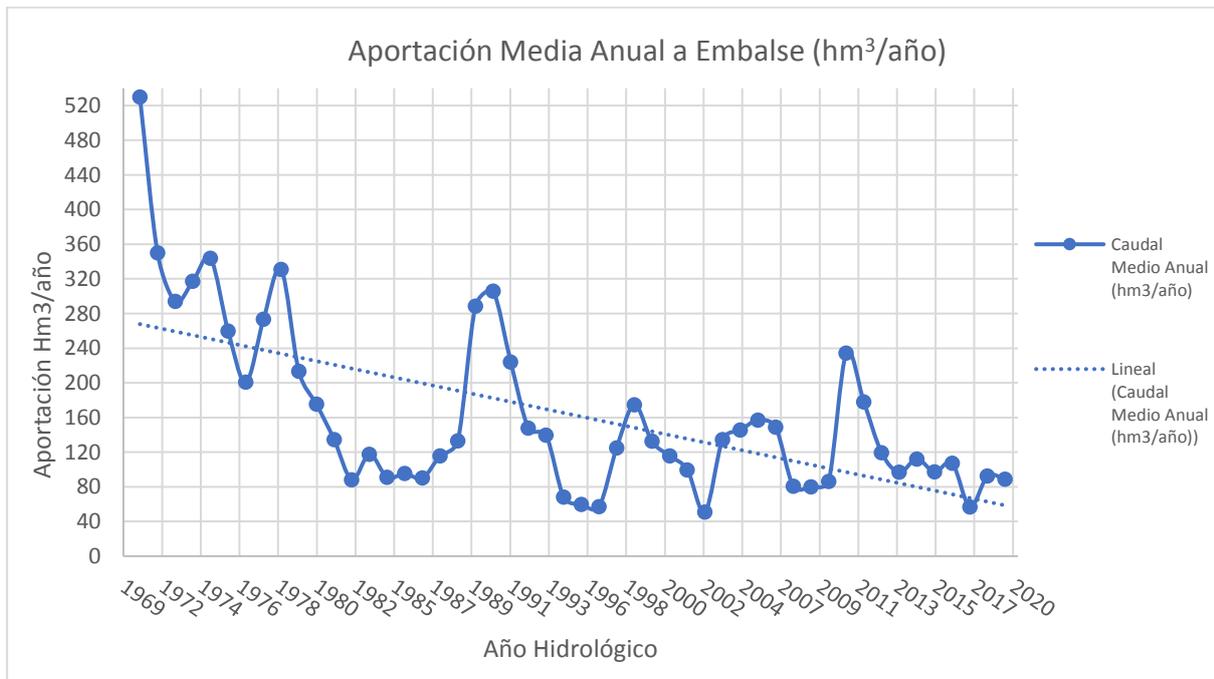


Figura 64. Embalse Loriguilla: Aportación media anual.

Tabla 33. Embalse Maria Cristina: Aportación media anual. Anuario de Aforos - CEDEX

Año Hidrológico	Aportación hm ³ /año	Caudal m ³ /s	Año Hidrológico	Aportación hm ³ /año	Caudal m ³ /s
30/09/1945	6.2	0.2	30/09/1978	4.03	0.13
30/09/1946	103.41	3.28	30/09/1979	1.35	0.04
30/09/1947	7.12	0.23	30/09/1980	0.34	0.01
30/09/1948	11.43	0.36	30/09/1981	3.24	0.1
30/09/1949	248.34	7.87	30/09/1982	6.82	0.22
30/09/1950	15.74	0.5	30/09/1983	8.13	0.26
30/09/1951	40.57	1.29	30/09/1984	15.99	0.51
30/09/1952	61.55	1.95	30/09/1985	2.23	0.07
30/09/1953	1.36	0.04	30/09/1986	0.17	0.01
30/09/1954	20.27	0.64	30/09/1987	4.87	0.15
30/09/1955	4.27	0.14	30/09/1988	14.19	0.45
30/09/1956	22.85	0.72	30/09/1989	34.16	1.08
30/09/1957	16.47	0.52	30/09/1990	216.58	6.87
30/09/1958	27.67	0.88	30/09/1991	59.27	1.88
30/09/1959	37.89	1.2	30/09/1993	7.93	0.25
30/09/1961	7.27	0.23	30/09/1995	1.85	0.06
30/09/1962	12.61	0.4	30/09/1996	3.47	0.11
30/09/1963	163.3	5.18	30/09/2000	0.07	0
30/09/1964	1.7	0.05	30/09/2001	70.83	2.25
30/09/1965	18.59	0.59	30/09/2002	5.78	0.18
30/09/1966	26.91	0.85	30/09/2003	4.08	0.13
30/09/1967	7.33	0.23	30/09/2004	5.99	0.19
30/09/1968	22.93	0.73	30/09/2006	2.06	0.07
30/09/1969	7.19	0.23	30/09/2007	1.91	0.06
30/09/1970	65.39	2.07	30/09/2008	1.66	0.05
30/09/1971	4.45	0.14	30/09/2009	3.21	0.1
30/09/1972	55.67	1.76	30/09/2012	1.54	0.05
30/09/1973	11.18	0.35	30/09/2013	4.55	0.14
30/09/1974	5.1	0.16	30/09/2015	58.25	1.85
30/09/1975	2.44	0.08	30/09/2017	3.4	0.11
30/09/1976	3.19	0.1	30/09/2019	5.92	0.19
30/09/1977	18.31	0.58	Promedio	25.596	
			"Efecto 80"	18.328	

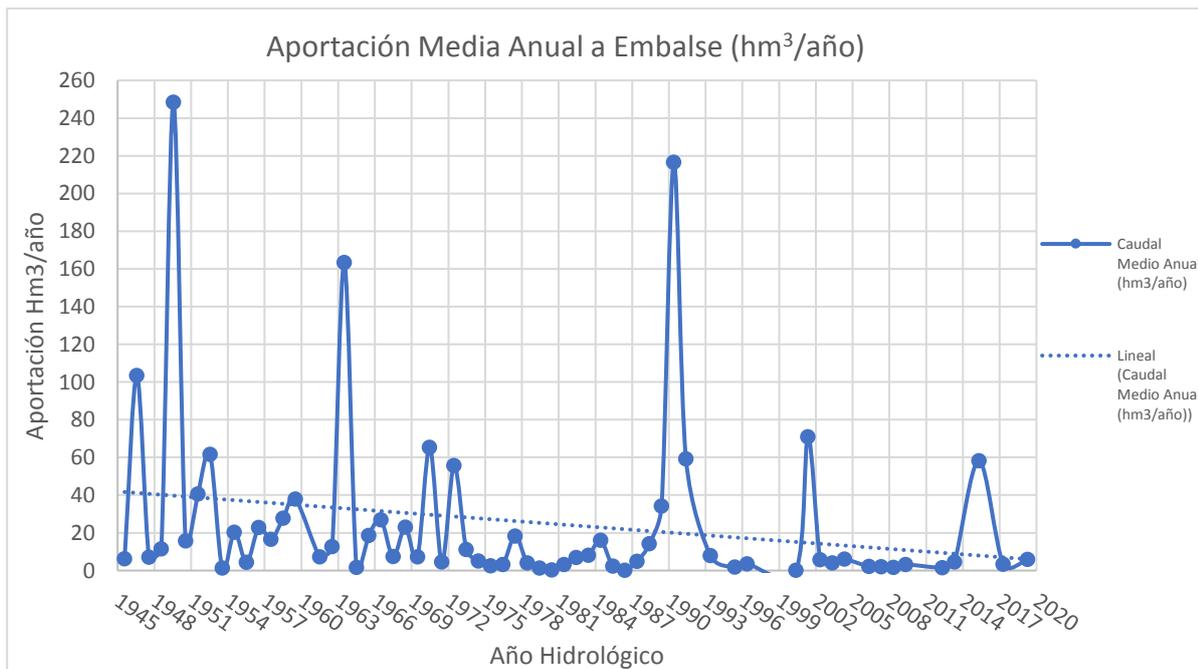


Figura 65. Embalse Maria Cristina: Aportación media anual

Tabla 34. Embalse Regajo: Aportación media anual. Anuario de Aforos - CEDEX

Año Hidrológico	Aportación hm ³ /año	Caudal m ³ /s	Año Hidrológico	Aportación hm ³ /año	Caudal m ³ /s
30/09/1961	68.64	2.18	30/09/1992	33.03	1.04
30/09/1962	28.38	0.9	30/09/1993	23.46	0.74
30/09/1963	59.59	1.89	30/09/1994	9.47	0.3
30/09/1964	23.32	0.74	30/09/1995	6.41	0.2
30/09/1965	29.85	0.95	30/09/1996	5.48	0.17
30/09/1966	32.12	1.02	30/09/1997	16.58	0.53
30/09/1967	11.76	0.37	30/09/1998	13.95	0.44
30/09/1968	37.16	1.17	30/09/1999	5.41	0.17
30/09/1969	37.69	1.2	30/09/2000	2.74	0.09
30/09/1970	53.38	1.69	30/09/2001	25.39	0.81
30/09/1971	26.16	0.83	30/09/2002	18.07	0.57
30/09/1972	101.44	3.21	30/09/2003	28.96	0.92
30/09/1973	56.25	1.78	30/09/2004	45.29	1.43
30/09/1974	27.7	0.88	30/09/2005	19.95	0.63
30/09/1975	13.11	0.42	30/09/2006	14.71	0.47
30/09/1976	15.86	0.5	30/09/2007	12.95	0.41
30/09/1977	43.24	1.37	30/09/2008	27.18	0.86
30/09/1978	32.73	1.04	30/09/2009	35.13	1.11
30/09/1979	8.06	0.26	30/09/2010	27.23	0.86
30/09/1980	8.15	0.26	30/09/2011	19.31	0.61
30/09/1981	8.91	0.28	30/09/2012	8.82	0.28
30/09/1982	8.14	0.26	30/09/2013	18.48	0.59
30/09/1983	11.3	0.36	30/09/2014	10.9	0.35
30/09/1984	10	0.32	30/09/2015	19.96	0.63
30/09/1985	7.79	0.25	30/09/2016	15.67	0.5
30/09/1986	3.8	0.12	30/09/2017	29.87	0.95
30/09/1987	12.94	0.41	30/09/2018	13.02	0.41
30/09/1988	62.37	1.97	30/09/2019	22.54	0.71
30/09/1989	76.82	2.44	Promedio	29.919	
30/09/1990	221.66	7.03	"Efecto 80"	26.020	
30/09/1991	96.93	3.07			

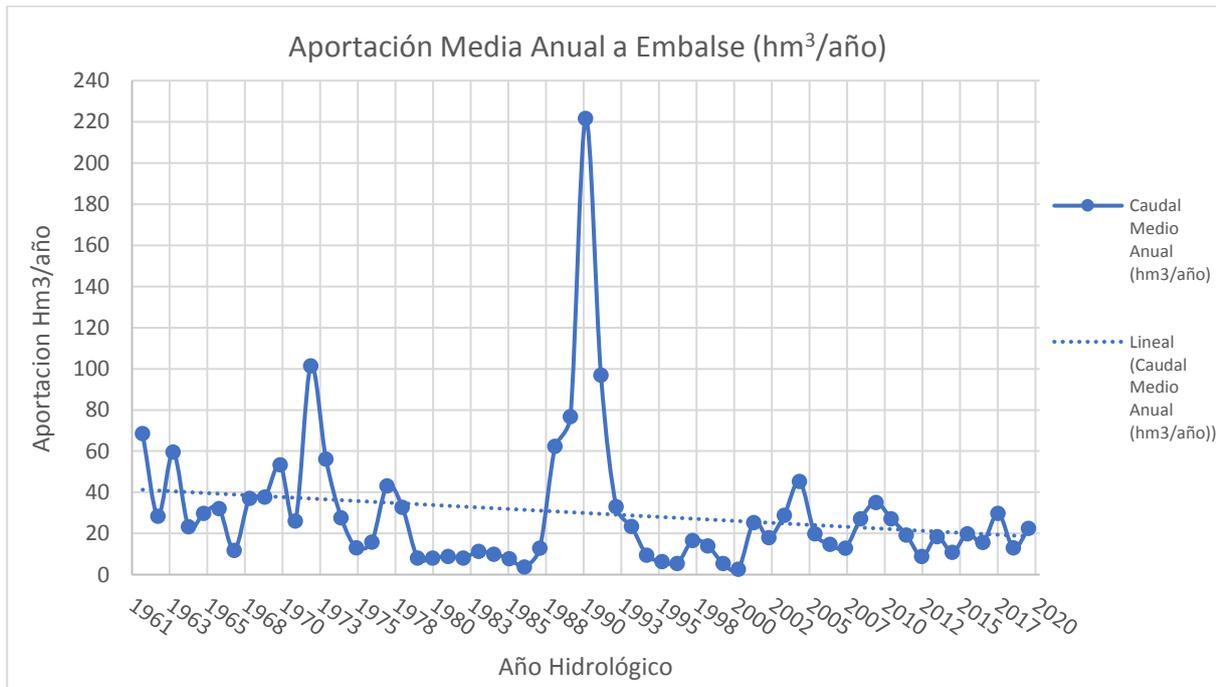


Figura 66. Embalse Regajo: Aportación media anual.

Tabla 35. Embalse Schar: Aportación media anual. Anuario de Aforos - CEDEX

Año Hidrológico	Aportación hm ³ /año	Caudal m ³ /s	Año Hidrológico	Aportación hm ³ /año	Caudal m ³ /s
30/09/1961	98.57	3.13	30/09/1991	92.78	2.94
30/09/1962	47.6	1.51	30/09/1992	34.93	1.1
30/09/1963	82.95	2.63	30/09/1993	170.76	5.41
30/09/1964	24.55	0.78	30/09/1994	36.28	1.15
30/09/1965	49.22	1.56	30/09/1995	16.79	0.53
30/09/1966	57.67	1.83	30/09/1996	32.9	1.04
30/09/1967	9.52	0.3	30/09/1997	65.28	2.07
30/09/1968	105.3	3.33	30/09/1998	54.16	1.72
30/09/1969	68.95	2.19	30/09/1999	26.46	0.84
30/09/1970	64.47	2.04	30/09/2000	38.05	1.2
30/09/1971	65.16	2.07	30/09/2001	98.69	3.13
30/09/1972	131.3	4.15	30/09/2002	61.4	1.95
30/09/1973	50.07	1.59	30/09/2003	134.79	4.27
30/09/1974	44.67	1.42	30/09/2004	112.22	3.55
30/09/1975	26.74	0.85	30/09/2005	48.53	1.54
30/09/1976	44.58	1.41	30/09/2006	66.96	2.12
30/09/1977	84.45	2.68	30/09/2007	87.72	2.78
30/09/1978	18.64	0.59	30/09/2008	66.45	2.1
30/09/1979	7.41	0.23	30/09/2009	58.23	1.85
30/09/1980	27.85	0.88	30/09/2010	71.98	2.28
30/09/1981	33.38	1.06	30/09/2011	79.09	2.51
30/09/1982	25.19	0.8	30/09/2012	75.17	2.38
30/09/1983	23.16	0.73	30/09/2013	90.72	2.88
30/09/1984	37.38	1.18	30/09/2014	69.12	2.19
30/09/1985	14.8	0.47	30/09/2015	125.89	3.99
30/09/1986	4.73	0.15	30/09/2016	130.49	4.13
30/09/1987	37.15	1.18	30/09/2017	121.25	3.84
30/09/1988	123.53	3.91	30/09/2018	125.41	3.98
30/09/1989	104.36	3.31	30/09/2019	181.48	5.75
30/09/1990	273.89	8.68	Promedio	70.529	
			"Efecto 80"	75.288	

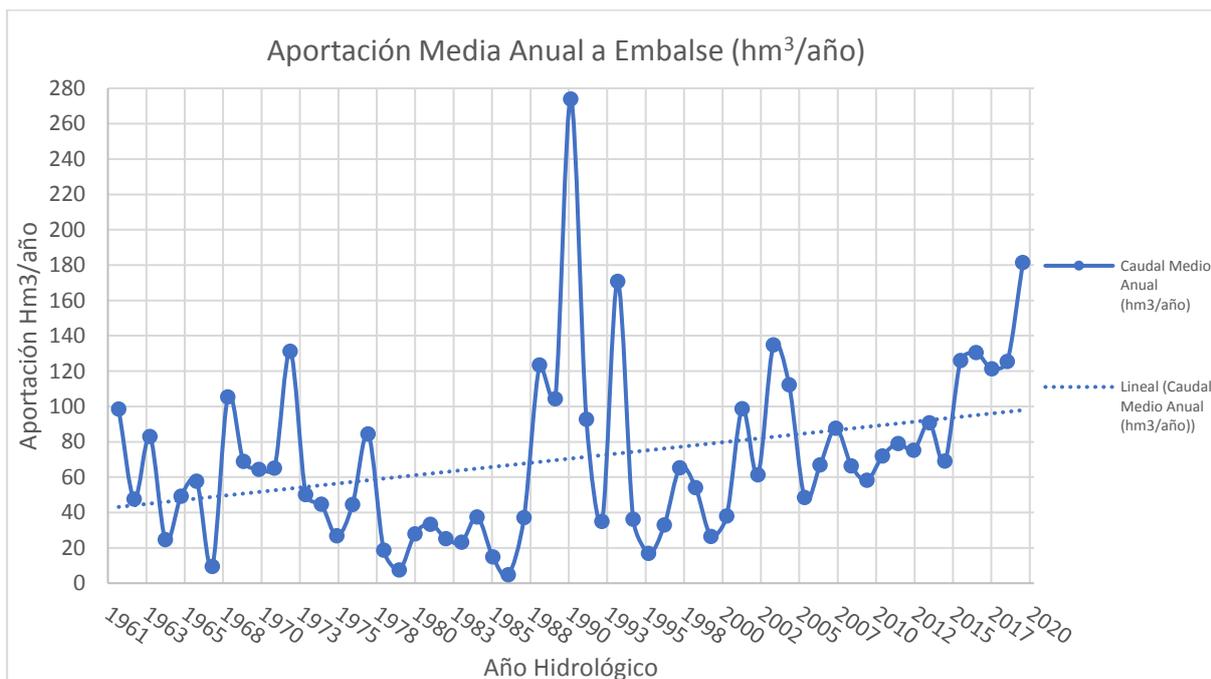


Figura 67. Embalse Schar: Aportación media anual.

Tabla 36. Embalse La Toba: Aportación media anual. Anuario de Aforos - CEDEX

Año Hidrológico	Aportación hm ³ /año	Caudal m ³ /s	Año Hidrológico	Aportación hm ³ /año	Caudal m ³ /s
30/09/1946	143.48	4.55	30/09/1984	134.59	4.26
30/09/1947	222.22	7.05	30/09/1985	119.58	3.79
30/09/1948	155.38	4.91	30/09/1986	108.93	3.45
30/09/1949	29.83	0.95	30/09/1987	66.32	2.1
30/09/1950	40.38	1.28	30/09/1988	110.84	3.51
30/09/1951	100.19	3.18	30/09/1989	60.51	1.92
30/09/1952	141.48	4.47	30/09/1990	60.8	1.93
30/09/1953	60.85	1.93	30/09/1991	102.45	3.25
30/09/1954	63.86	2.02	30/09/1992	42.35	1.34
30/09/1955	123.3	3.91	30/09/1993	30.42	0.96
30/09/1956	160.55	5.08	30/09/1994	42.38	1.34
30/09/1957	55.04	1.75	30/09/1995	34.88	1.11
30/09/1958	80.9	2.57	30/09/1996	140.38	4.44
30/09/1960	260.37	8.23	30/09/1997	151.78	4.81
30/09/1961	148	4.69	30/09/1998	120.99	3.84
30/09/1962	150.36	4.77	30/09/1999	18.54	0.59
30/09/1963	203.54	6.45	30/09/2001	207.14	6.57
30/09/1964	196.11	6.2	30/09/2002	42.98	1.36
30/09/1965	93.43	2.96	30/09/2003	168.29	5.34
30/09/1966	296.17	9.39	30/09/2004	124.61	3.94
30/09/1967	108.44	3.44	30/09/2005	24.18	0.77
30/09/1968	78.78	2.49	30/09/2006	38.67	1.23
30/09/1969	206.2	6.54	30/09/2007	87.35	2.77
30/09/1970	130.96	4.15	30/09/2008	55.81	1.76
30/09/1971	142	4.5	30/09/2009	124.45	3.95
30/09/1972	110.39	3.49	30/09/2010	200.99	6.37
30/09/1973	74.76	2.37	30/09/2011	103.69	3.29
30/09/1974	94.34	2.99	30/09/2012	20.2	0.64
30/09/1975	52.15	1.65	30/09/2013	153.21	4.86
30/09/1976	30.49	0.96	30/09/2014	103.18	3.27
30/09/1977	195.57	6.2	30/09/2015	72.19	2.29
30/09/1978	175.12	5.55	30/09/2016	108.14	3.42
30/09/1979	236.91	7.51	30/09/2017	30.83	0.98
30/09/1980	121.46	3.84	30/09/2018	132.74	4.21
30/09/1981	29.75	0.94	30/09/2019	86.79	2.75
30/09/1982	68.9	2.18	Promedio	108.05	
30/09/1983	29.31	0.93	"Efecto 80"	92.94	

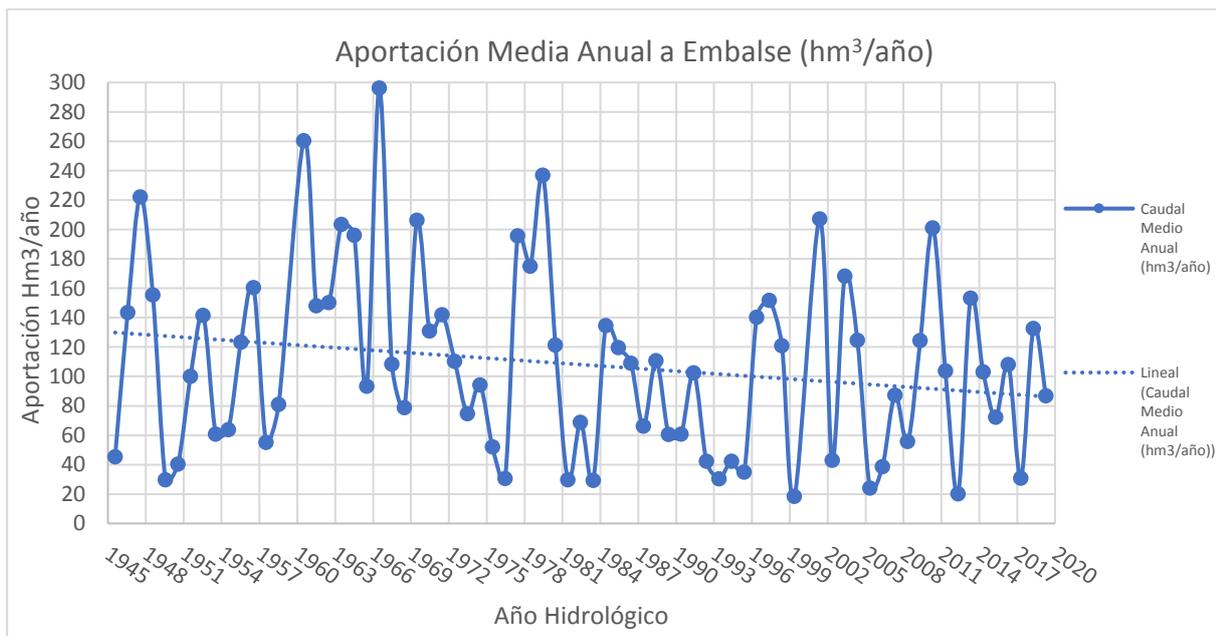


Figura 68. Embalse La Toba: Aportación media anual.

Tabla 37. Embalse Ulldecona: Aportación media anual. Anuario de Aforos - CEDEX

Año Hidrológico	Aportación hm ³ /año	Caudal m ³ /s	Año Hidrológico	Aportación hm ³ /año	Caudal m ³ /s
30/09/1961	21.77	0.69	30/09/1988	66.03	2.09
30/09/1962	12.71	0.4	30/09/1989	50.45	1.6
30/09/1963	26.3	0.83	30/09/1990	62.6	1.99
30/09/1964	6.59	0.21	30/09/1991	98.38	3.12
30/09/1965	23.77	0.75	30/09/1992	65.96	2.09
30/09/1966	26.16	0.83	30/09/1993	28.45	0.9
30/09/1967	8.94	0.28	30/09/1995	7.32	0.23
30/09/1968	29.36	0.93	30/09/1996	20.07	0.63
30/09/1969	49.55	1.57	30/09/1997	8.1	0.26
30/09/1970	96.48	3.06	30/09/2000	0.87	0.03
30/09/1971	35.54	1.13	30/09/2001	26.48	0.84
30/09/1972	109.27	3.46	30/09/2002	16.43	0.52
30/09/1973	79.82	2.53	30/09/2003	17.92	0.57
30/09/1974	33.52	1.06	30/09/2004	44.1	1.39
30/09/1975	21.66	0.69	30/09/2006	14.17	0.45
30/09/1976	27.2	0.86	30/09/2007	6.79	0.22
30/09/1977	82.58	2.62	30/09/2008	19.71	0.62
30/09/1978	38.97	1.24	30/09/2009	5.69	0.18
30/09/1979	6.48	0.21	30/09/2011	5.63	0.18
30/09/1980	8.67	0.27	30/09/2013	15.71	0.5
30/09/1981	7.77	0.25	30/09/2015	37.27	1.18
30/09/1982	22.51	0.71	30/09/2016	6.62	0.21
30/09/1983	12.11	0.38	30/09/2017	8.92	0.28
30/09/1984	19.41	0.61	30/09/2018	0.58	0.02
30/09/1985	8.64	0.27	30/09/2019	35.26	1.12
30/09/1986	3.23	0.1	Promedio	28.95	
30/09/1987	16.66	0.53	"Efecto 80"	22.79	

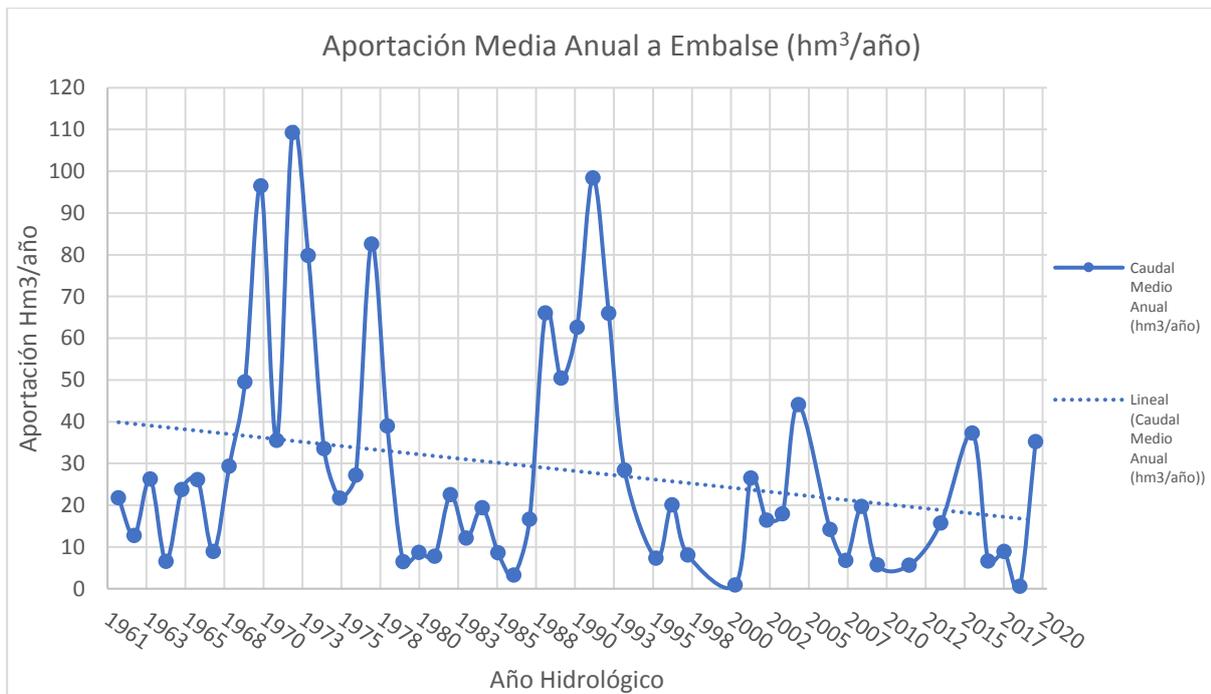


Figura 69. Embalse Ulldecona: Aportación media anual.

Tabla 38. Embalse Almansa: Aportación media anual. Anuario de Aforos - CEDEX

Año Hidrológico	Aportación hm ³ /año	Caudal m ³ /s	Año Hidrológico	Aportación hm ³ /año	Caudal m ³ /s
30/09/1950	1.9	0.06	30/09/1980	0.2	0.01
30/09/1951	1.52	0.05	30/09/1981	1.01	0.03
30/09/1952	2.3	0.07	30/09/1982	0.03	0
30/09/1953	1.65	0.05	30/09/1983	0.62	0.02
30/09/1954	1.1	0.03	30/09/1984	2.06	0.07
30/09/1955	1.8	0.06	30/09/1985	4.64	0.15
30/09/1956	1.19	0.04	30/09/1986	1.05	0.03
30/09/1957	0.9	0.03	30/09/1988	1.22	0.04
30/09/1958	1.01	0.03	30/09/1989	1.97	0.06
30/09/1960	9.09	0.29	30/09/1990	0.91	0.03
30/09/1961	4.43	0.14	30/09/1991	4.79	0.15
30/09/1962	1.64	0.05	30/09/1992	1.92	0.06
30/09/1963	2.94	0.09	30/09/1993	0.49	0.02
30/09/1964	1.62	0.05	30/09/1994	0.65	0.02
30/09/1965	0.81	0.03	30/09/1996	1.76	0.06
30/09/1966	0.63	0.02	30/09/1997	0.71	0.02
30/09/1967	1.61	0.05	30/09/1998	0.14	0
30/09/1968	1.1	0.03	30/09/2000	0.07	0
30/09/1969	0.12	0	30/09/2001	0.38	0.01
30/09/1970	0.74	0.02	30/09/2002	0.36	0.01
30/09/1971	0.77	0.02	30/09/2003	0.88	0.03
30/09/1972	1.06	0.03	30/09/2006	0	0
30/09/1973	0	0	30/09/2009	0	0
30/09/1974	0.77	0.02	30/09/2010	0	0
30/09/1975	1.79	0.06	30/09/2011	0	0
30/09/1976	0.96	0.03	30/09/2012	0	0
30/09/1977	0.21	0.01	30/09/2013	0	0
30/09/1978	1.72	0.05	30/09/2018	0.11	0
30/09/1979	1.27	0.04	30/09/2019	0.47	0.01
			Promedio	1.26	
			"Efecto 80"	0.92	

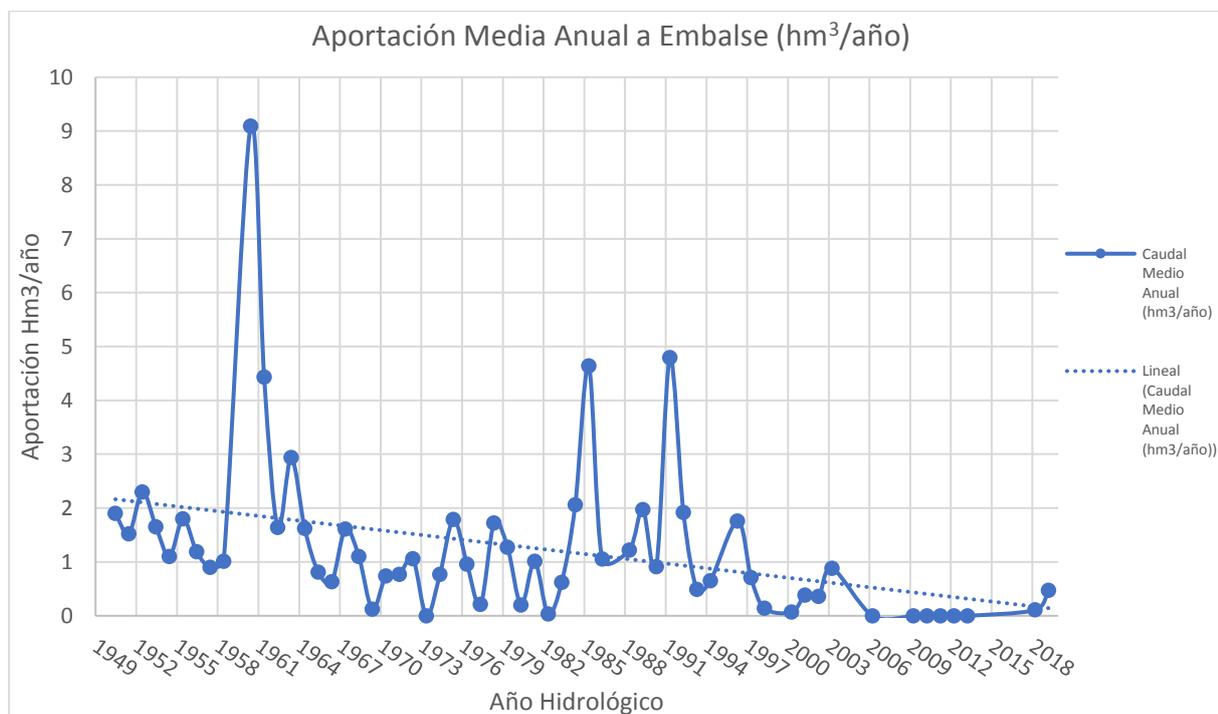


Figura 70. Embalse Almansa: Aportación media anual.

Tabla 39. Embalse Bellús: Aportación media anual. Anuario de Aforos - CEDEX

Año Hidrológico	Aportación hm ³ /año	Caudal m ³ /s
30/09/1999	4.95	0.16
30/09/2000	1.87	0.06
30/09/2001	3.87	0.12
30/09/2002	11.57	0.37
30/09/2003	5.83	0.18
30/09/2004	23.52	0.74
30/09/2005	31.56	1
30/09/2006	11.54	0.37
30/09/2007	11.56	0.37
30/09/2008	53.89	1.7
30/09/2009	98.24	3.12
30/09/2010	49.33	1.56
30/09/2011	5.06	0.16
30/09/2012	24.1	0.76
30/09/2013	52.71	1.67
30/09/2014	0.77	0.02
30/09/2015	7.88	0.25
30/09/2016	2.24	0.07
30/09/2017	73.23	2.32
30/09/2018	6.08	0.19
Promedio	23.99	

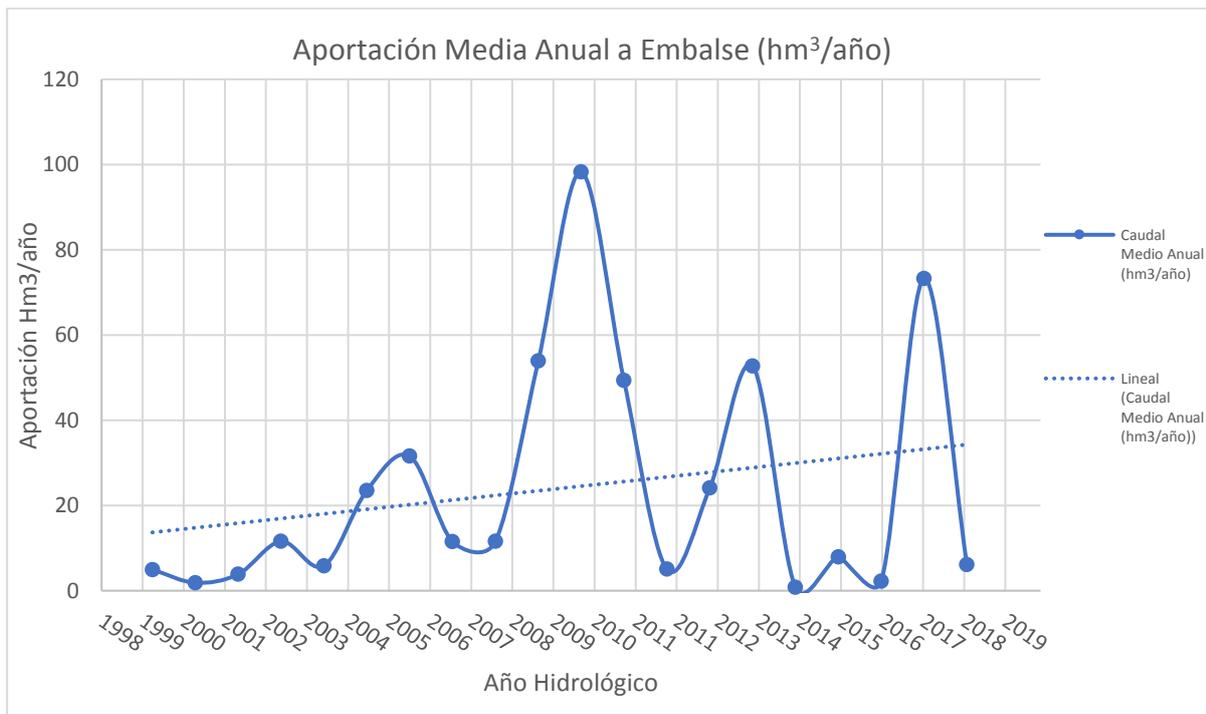


Figura 71. Embalse Bellús: Aportación media anual.

Tabla 40. Embalse Cortes II: Aportación media anual. Anuario de Aforos - CEDEX

Año Hidrológico	Aportación hm ³ /año	Caudal m ³ /s
30/09/1991	804.91	25.52
30/09/1992	1144.51	36.19
30/09/1993	1164.82	36.94
30/09/1995	785.73	24.92
30/09/1996	829.7	26.31
30/09/1997	827.34	26.16
30/09/1998	1025.13	32.51
30/09/1999	1321.75	41.91
30/09/2000	1120.21	35.52
30/09/2001	1044.85	33.04
30/09/2002	1147.97	36.4
30/09/2003	1440.57	45.68
30/09/2004	1305.07	41.38
30/09/2005	1161.33	36.72
30/09/2006	1334.18	42.31
30/09/2007	960.61	30.46
30/09/2008	919.37	29.15
30/09/2009	789.83	24.98
30/09/2010	946.28	30.01
30/09/2011	1226.21	38.88
30/09/2012	1133.66	35.95
30/09/2013	1105.38	34.96
30/09/2014	1407.41	44.63
30/09/2015	1617.8	51.3
30/09/2016	1424.06	45.16
30/09/2017	1263.54	40.07
30/09/2018	1367.63	43.37
30/09/2019	1139.4	36.13
Promedio	1134.26	

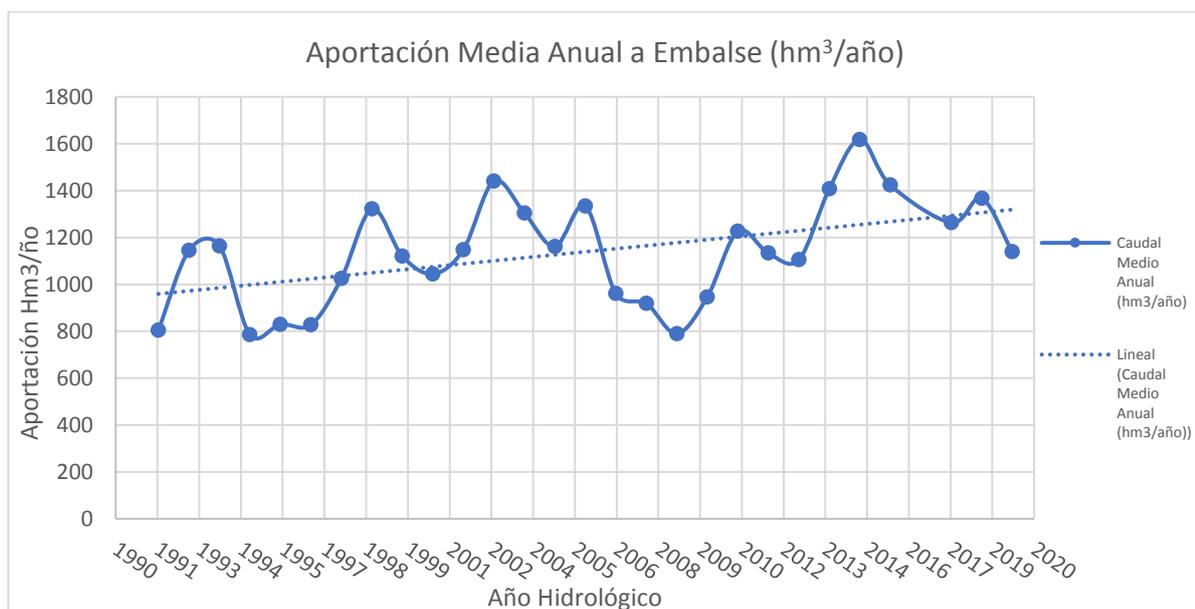


Figura 72. Embalse Cortes II: Aportación media anual.

Tabla 41. Embalse Escalona: Aportación media anual. Anuario de Aforos - CEDEX

Año Hidrológico	Aportación hm ³ /año	Caudal m ³ /s
30/09/1999	3.41	0.11
30/09/2000	2.14	0.07
30/09/2001	1.33	0.04
30/09/2002	19.18	0.61
30/09/2003	15.87	0.5
30/09/2004	21.22	0.67
30/09/2005	11.18	0.35
30/09/2006	4.57	0.14
30/09/2007	5.03	0.16
30/09/2008	18	0.57
30/09/2009	55.79	1.77
30/09/2010	51.91	1.65
30/09/2011	35.85	1.14
30/09/2012	20.31	0.64
30/09/2013	42.24	1.34
30/09/2014	18.66	0.59
30/09/2015	15.14	0.48
30/09/2016	6.85	0.22
30/09/2017	58.91	1.87
30/09/2018	21.92	0.69
Promedio	21.48	

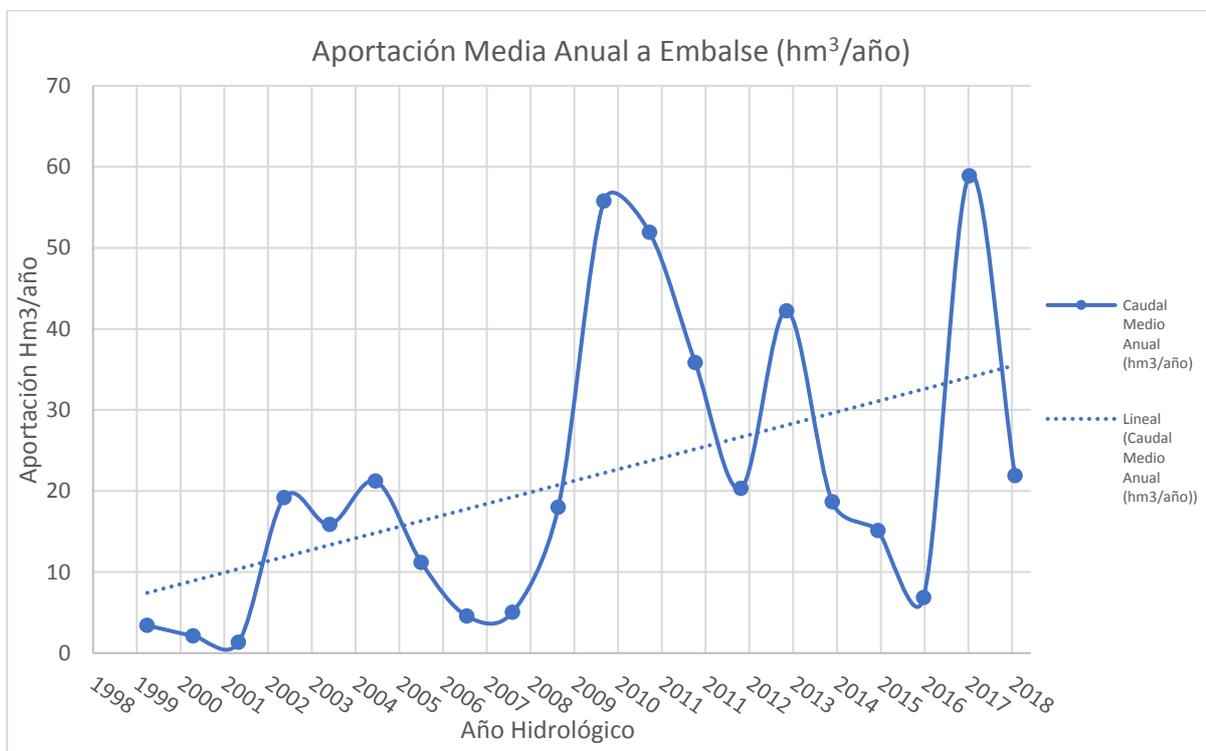


Figura 73. Embalse Escalona: Aportación media anual.

Tabla 42. Embalse El Molinar: Aportación media anual. Anuario de Aforos - CEDEX

Año Hidrológico	Aportación hm ³ /año	Caudal m ³ /s
30/09/1991	283.43	8.99
30/09/1992	424.58	13.43
30/09/1993	337.61	10.71
30/09/1994	244.98	7.77
30/09/1995	158.94	5.04
30/09/1996	221.09	6.99
30/09/1997	189.67	6.01
30/09/1999	531.51	16.85
30/09/2000	354.7	11.22
30/09/2001	328.01	10.4
30/09/2002	178.34	5.66
30/09/2003	268.93	8.53
30/09/2004	187.97	5.94
30/09/2005	261.32	8.29
30/09/2006	154.74	4.91
30/09/2007	156.78	4.97
30/09/2008	111.79	3.54
30/09/2009	119.02	3.77
30/09/2010	132.22	4.19
30/09/2011	161.17	5.11
30/09/2012	161.93	5.12
30/09/2013	185.62	5.89
30/09/2014	278.17	8.82
30/09/2015	322.45	10.22
30/09/2016	331.66	10.49
30/09/2017	135.5	4.3
30/09/2018	226.08	7.17
30/09/2019	207.4	6.58
Promedio	237.70	

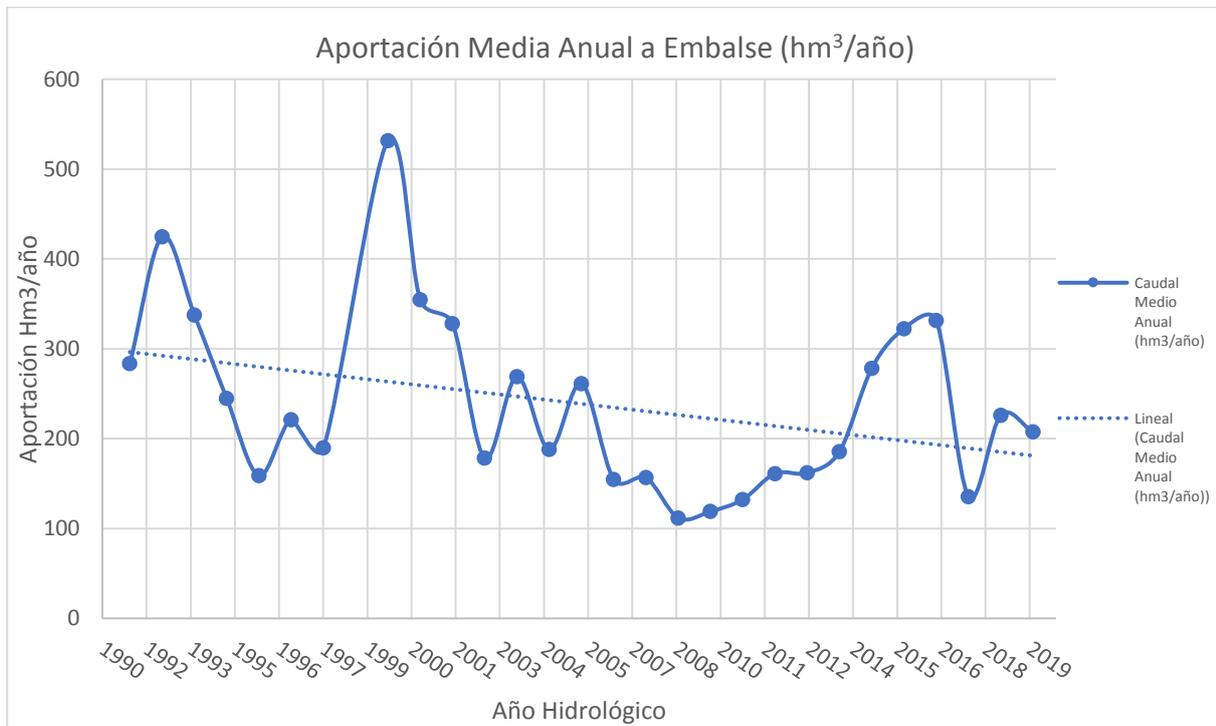


Figura 74. Embalse El Molinar: Aportación media anual.

Tabla 43. Embalse El Naranjero: Aportación media anual. Anuario de Aforos - CEDEX

Año Hidrológico	Aportación hm ³ /año	Caudal m ³ /s
30/09/1991	840.08	26.64
30/09/1992	759.84	24.03
30/09/1993	1053.41	33.4
30/09/1994	547.51	17.36
30/09/1995	337.11	10.69
30/09/1996	525.79	16.63
30/09/1997	744.3	23.6
30/09/1998	895.35	28.39
30/09/1999	712.46	22.59
30/09/2000	622.63	19.69
30/09/2001	648.1	20.55
30/09/2002	463.16	14.69
30/09/2003	617.88	19.59
30/09/2004	566.83	17.92
30/09/2005	601.31	19.07
30/09/2006	375.15	11.9
30/09/2007	362.1	11.48
30/09/2008	299.57	9.47
30/09/2009	388.59	12.32
30/09/2010	532.75	16.89
30/09/2011	608.49	19.29
30/09/2012	519.77	16.44
30/09/2013	498.8	15.82
30/09/2014	710.73	22.54
30/09/2015	660.53	20.95
30/09/2016	688.95	21.79
30/09/2018	572.09	18.14
30/09/2019	500.05	15.86
Promedio	594.76	

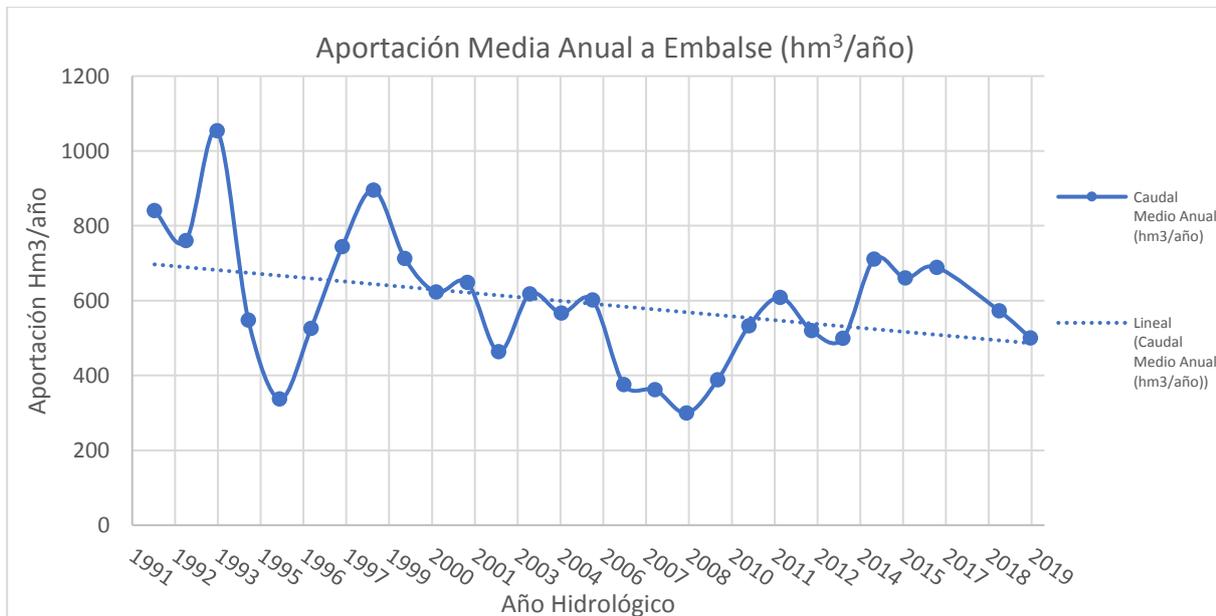


Figura 75. Embalse El Naranjero: Aportación media anual.

Tabla 44. Embalse Tous: Aportación media anual. Anuario de Aforos - CEDEX

Año Hidrológico	Aportación hm ³ /año	Caudal m ³ /s
30/09/1995	452.49	14.35
30/09/1996	531.19	16.8
30/09/1997	689.15	21.85
30/09/1998	866.02	27.46
30/09/1999	712.29	22.59
30/09/2000	613.75	19.41
30/09/2001	629.96	19.98
30/09/2002	482.78	15.31
30/09/2003	626.55	19.87
30/09/2004	600.08	18.98
30/09/2005	599.28	19
30/09/2006	347.52	11.02
30/09/2007	362.25	11.49
30/09/2008	310.5	9.82
30/09/2009	464.36	14.72
30/09/2010	553.49	17.55
30/09/2011	584.84	18.55
30/09/2012	517.79	16.37
30/09/2013	526.24	16.69
30/09/2014	700.74	22.22
30/09/2015	652.42	20.69
30/09/2016	639	20.21
30/09/2017	490.64	15.56
30/09/2018	565.74	17.94
30/09/2019	516.51	16.38
Promedio	561.42	

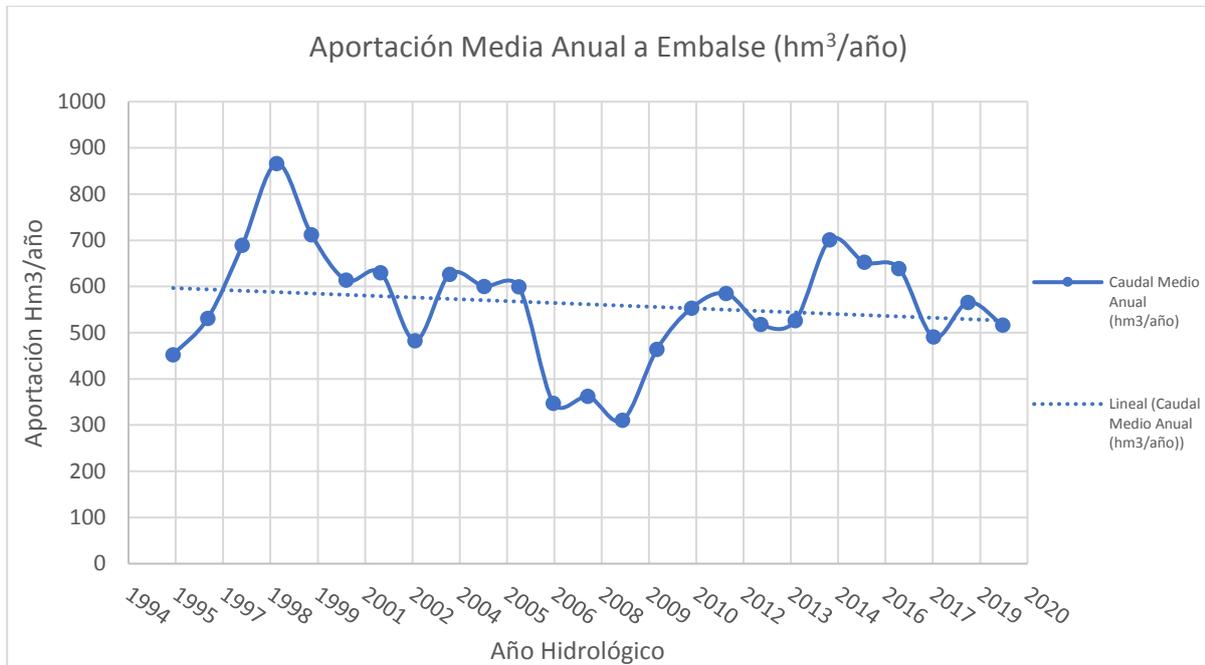


Figura 76. Embalse Tous: Aportación media anual

ANEXO II: MAPAS DE ESTADOS EROSIVOS EN CUENCAS VERTIENTES

A EMBALSES.

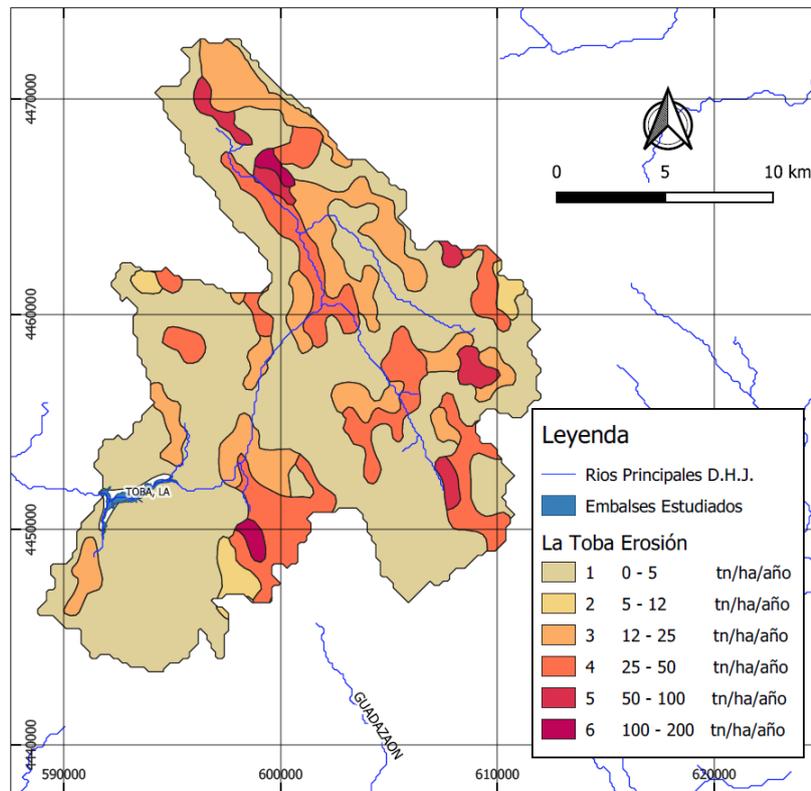


Figura 77. Embalse de La Toba: Estado erosivo de la cuenca de aporte (Elaboración propia).

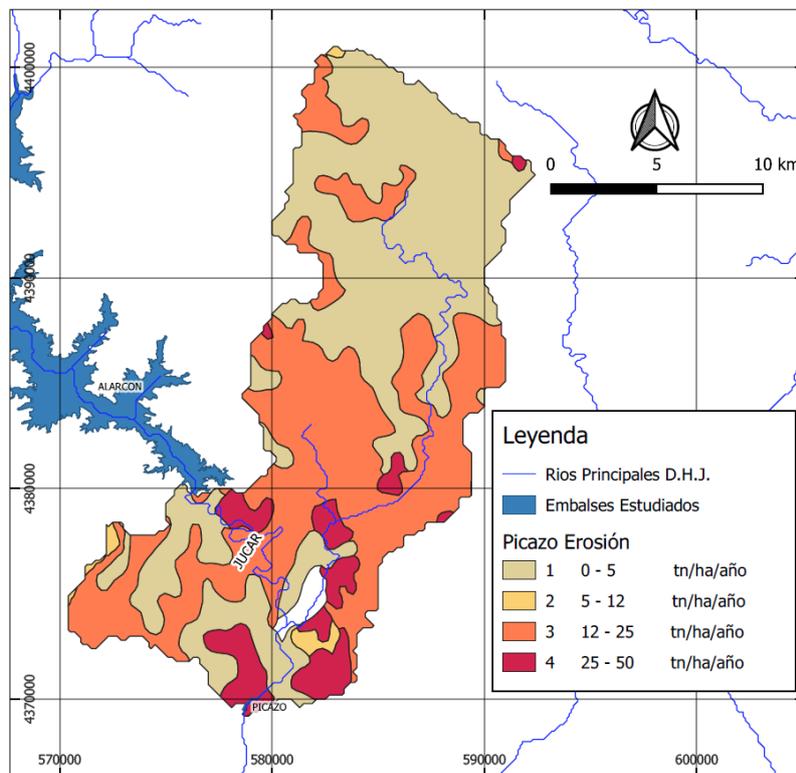


Figura 78. Embalse de Picazo: Estado erosivo de la cuenca de aporte (Elaboración propia).

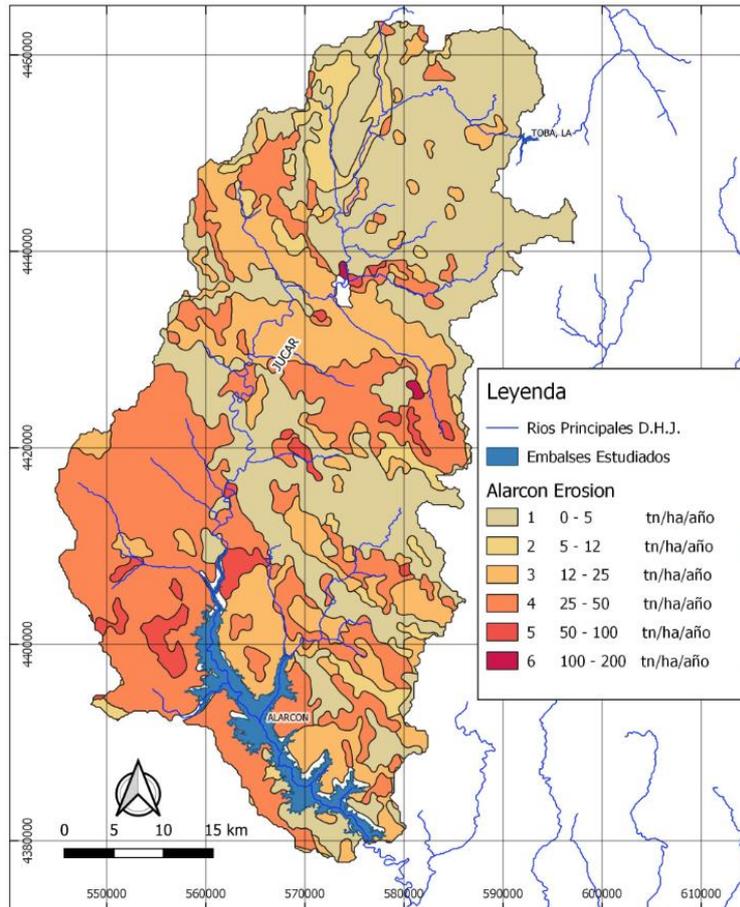


Figura 79. Embalse de Alarcón: Estado erosivo de la cuenca de aporte (Elaboración propia).

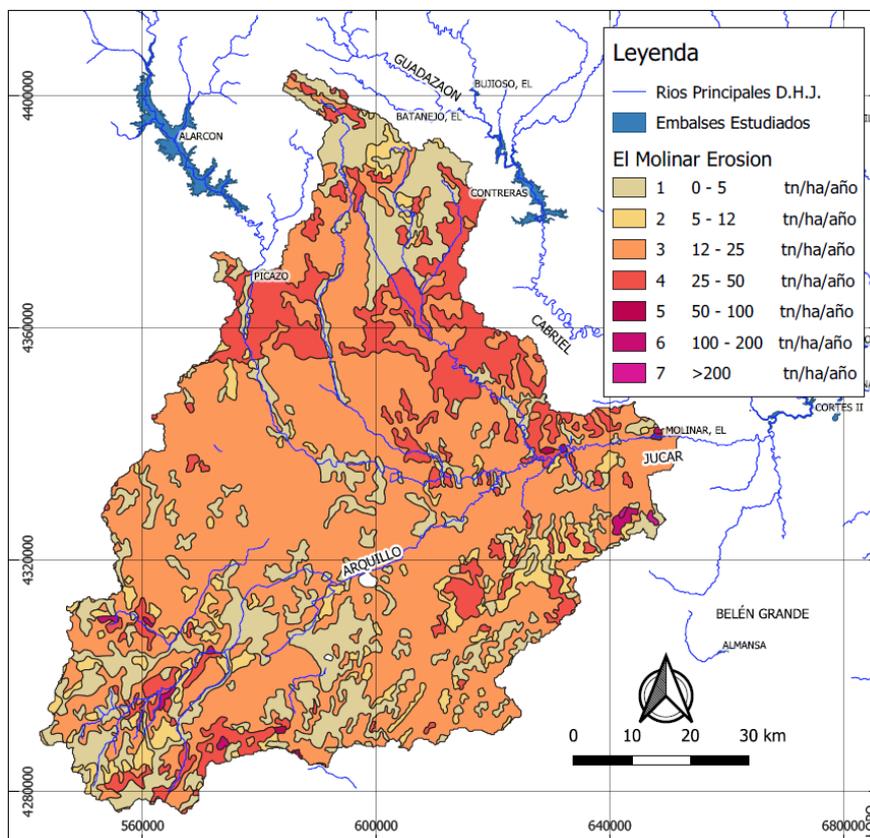


Figura 80. Embalse de El Molinar: Estado erosivo de la cuenca de aporte (Elaboración propia).

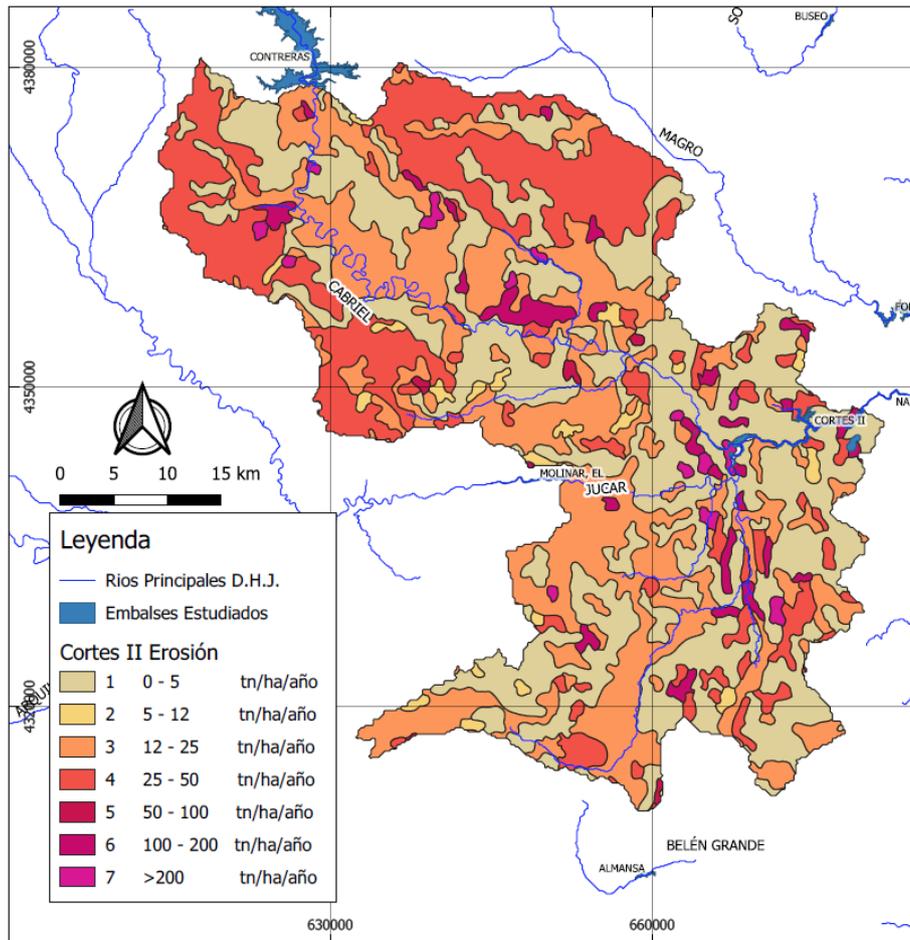


Figura 81. Embalse de Cortes II: Estado erosivo de la cuenca de aporte (Elaboración propia).

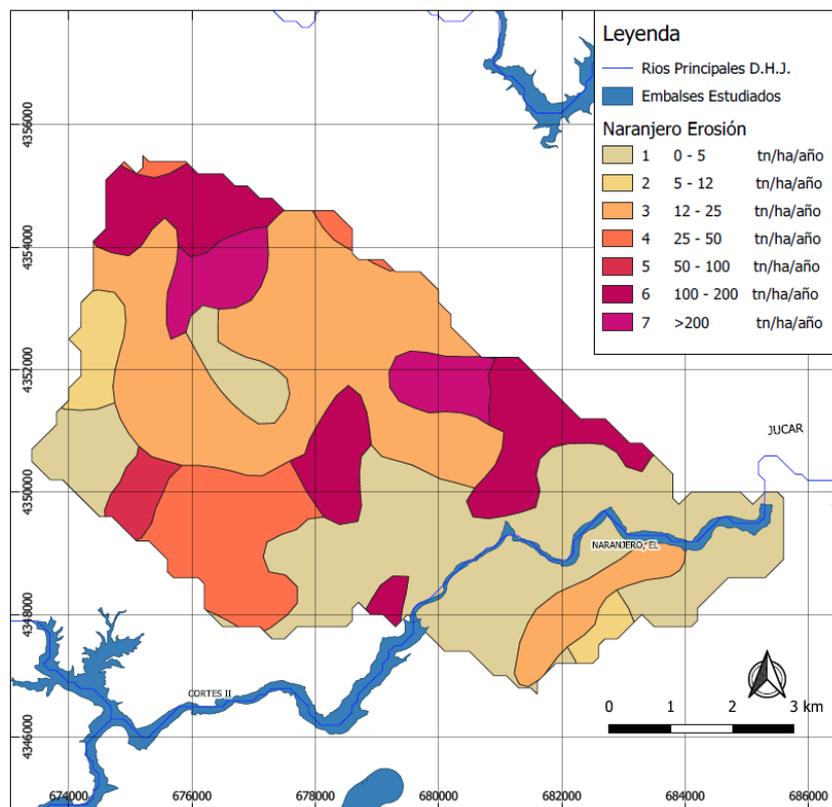


Figura 82. Embalse de El Naranjero: Estado erosivo de la cuenca de aporte (Elaboración propia).

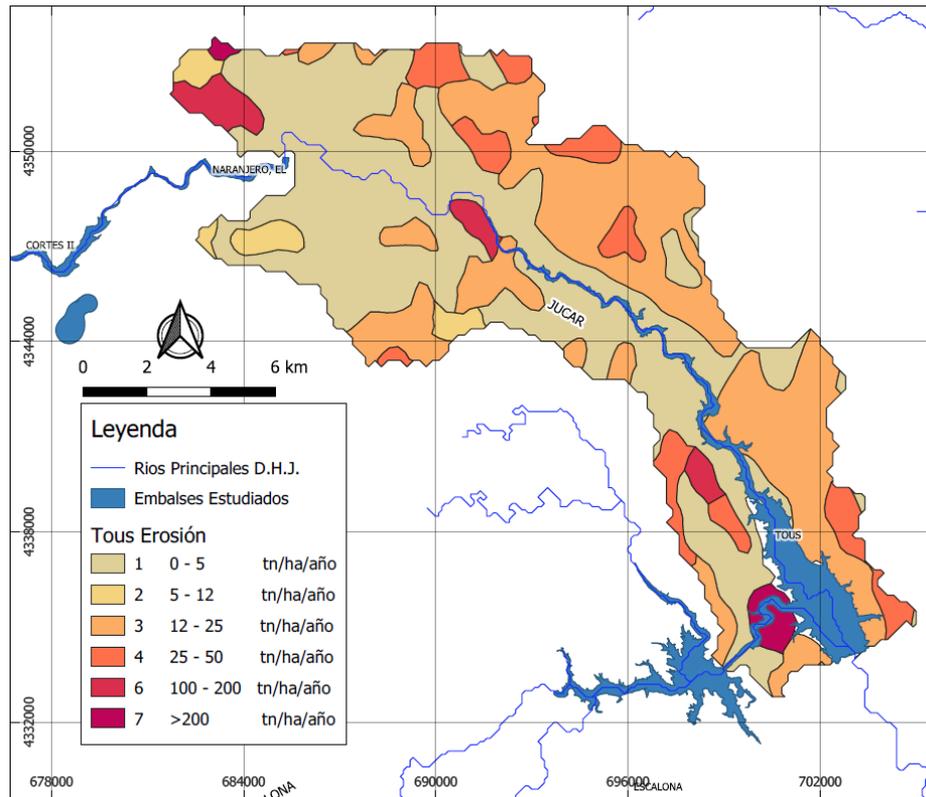


Figura 83. Embalse de Tous: Estado erosivo de la cuenca de aporte (Elaboración propia).

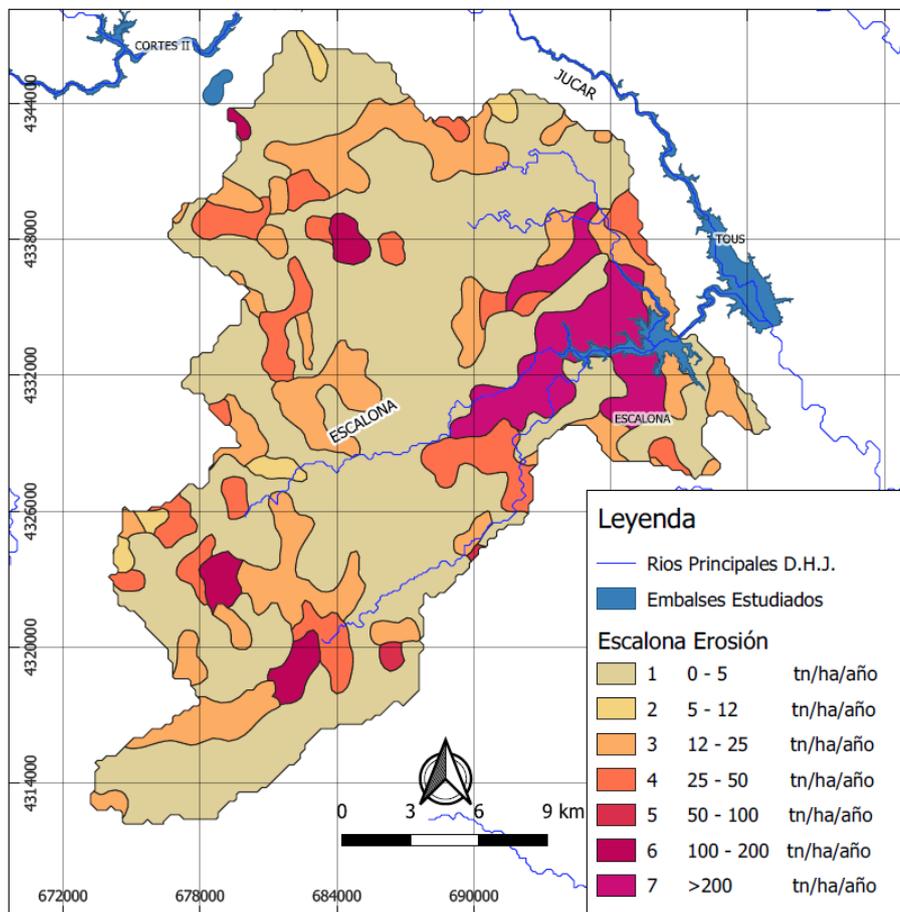


Figura 84. Embalse de Escalona: Estado erosivo de la cuenca de aporte (Elaboración propia).

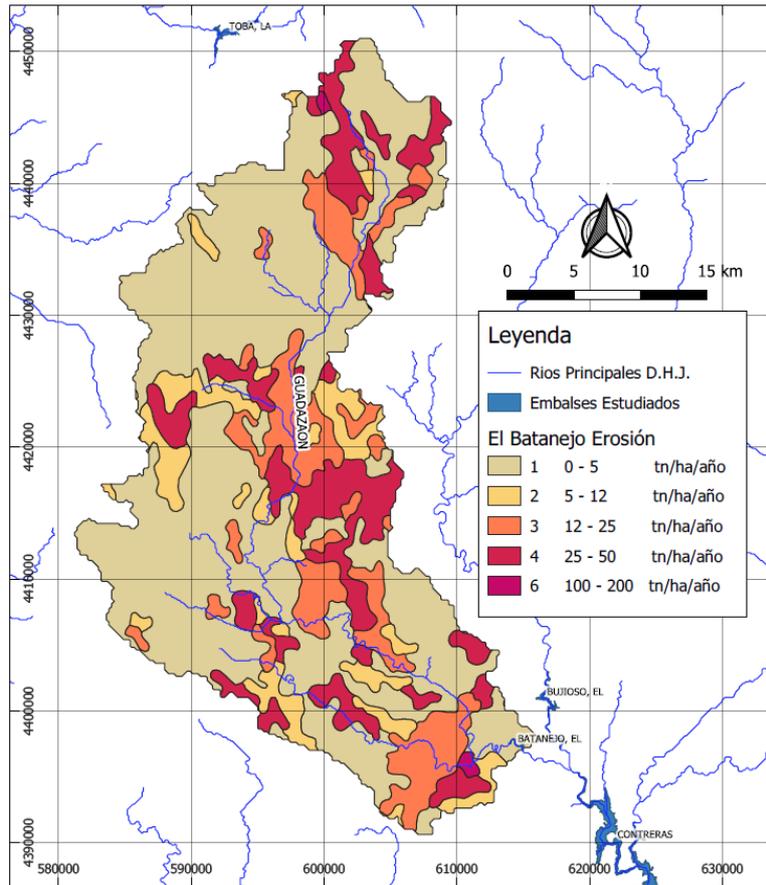


Figura 85. Embalse de El Batanejo: Estado erosivo de la cuenca de aporte (Elaboración propia).

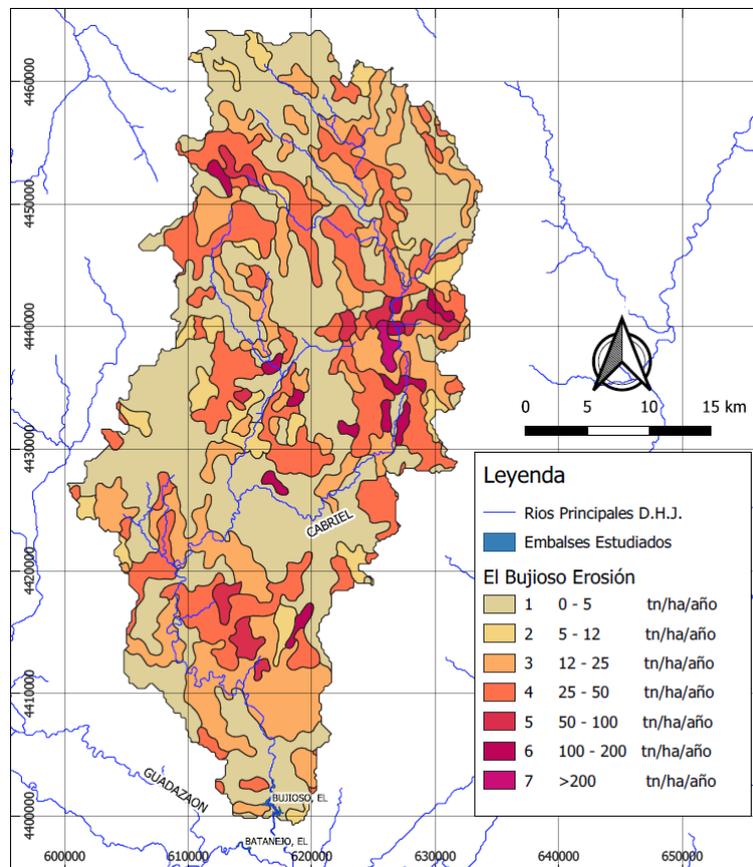


Figura 86. Embalse de El Bujioso: Estado erosivo de la cuenca de aporte (Elaboración propia).

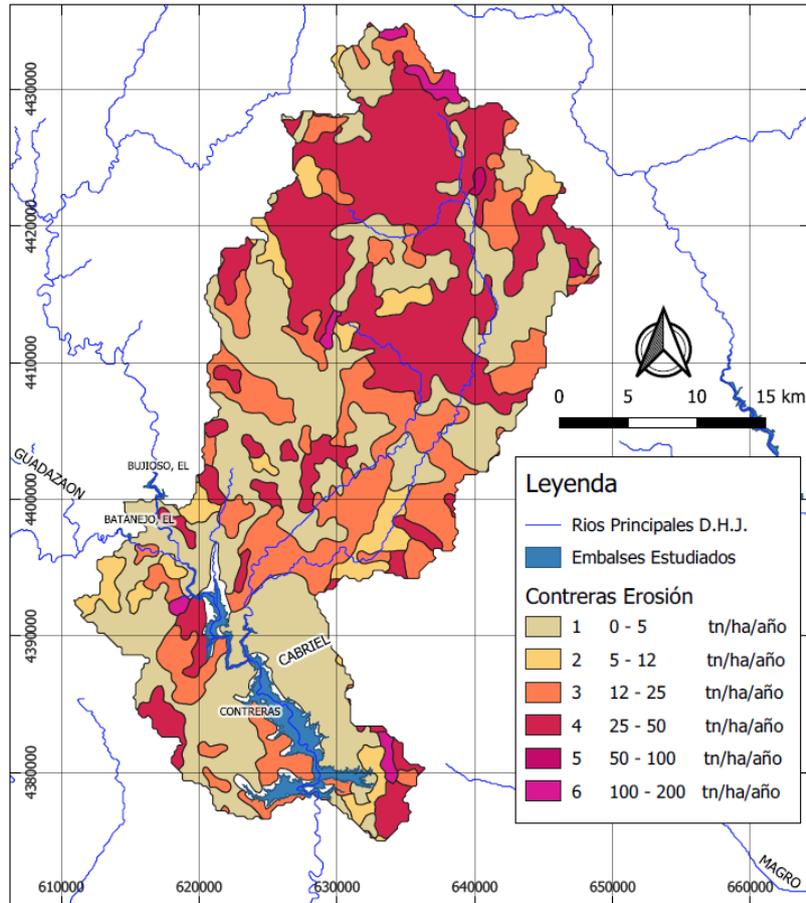


Figura 87. Embalse de Contreras: Estado erosivo de la cuenca de aporte (Elaboración propia).

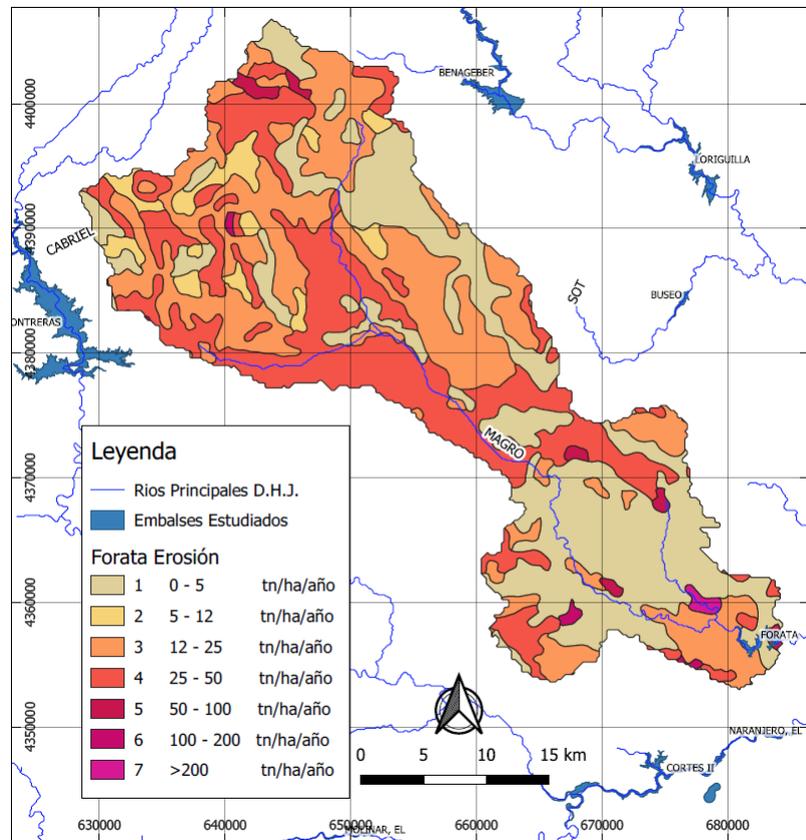


Figura 88. Embalse de Forata: Estado erosivo de la cuenca de aporte (Elaboración propia).

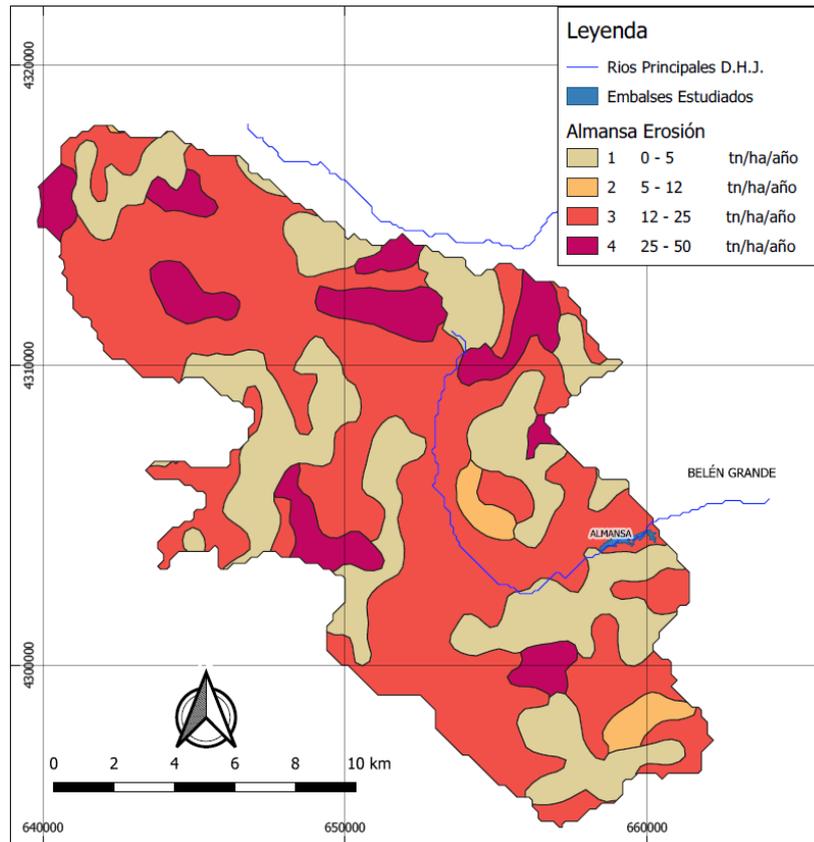


Figura 89. Embalse de Almansa: Estado erosivo de la cuenca de aporte (Elaboración propia).

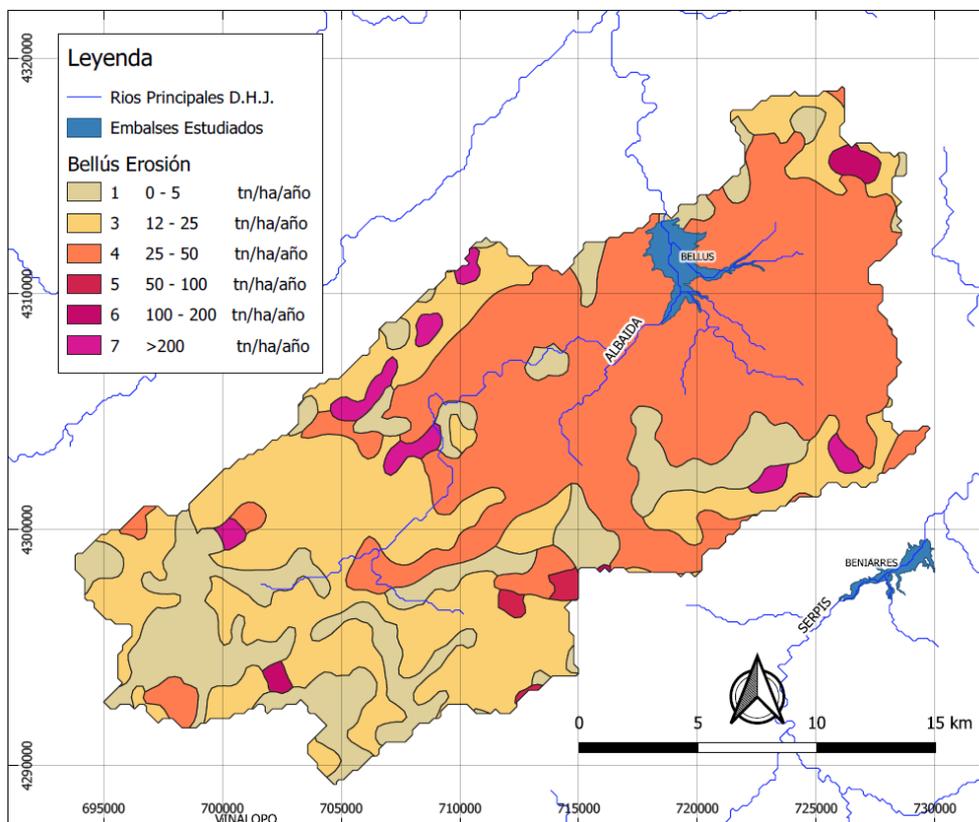


Figura 90. Embalse de Bellús: Estado erosivo de la cuenca de aporte (Elaboración propia).

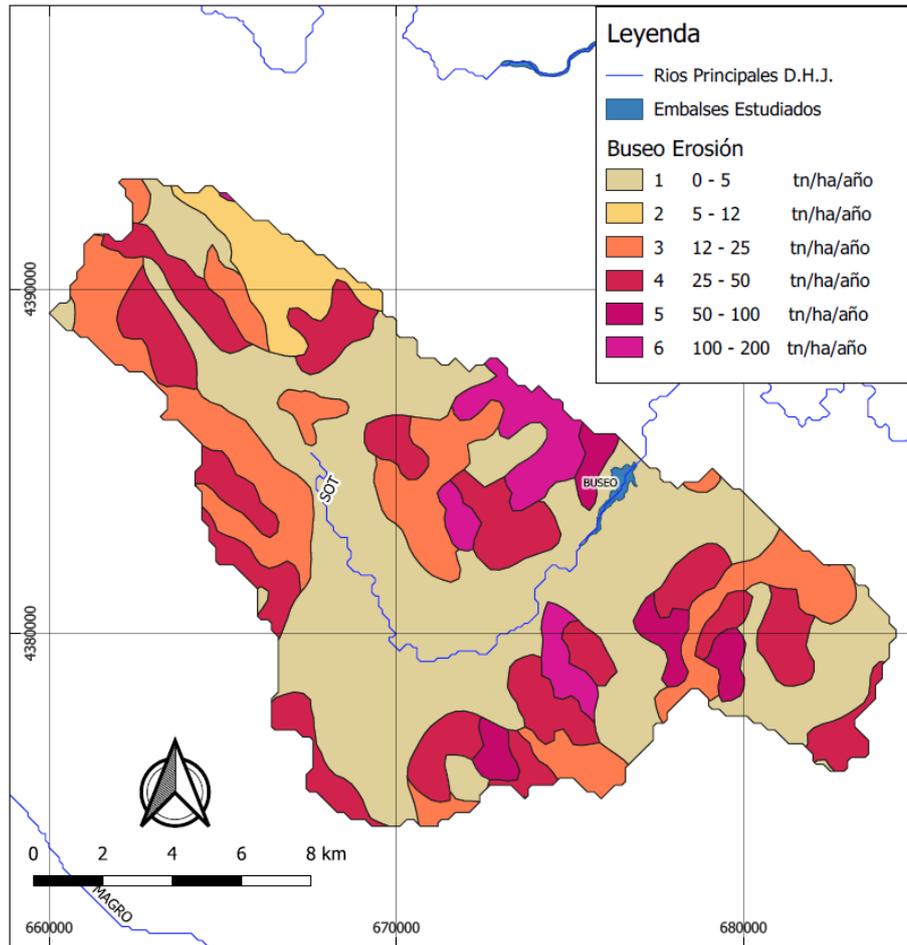


Figura 91. Embalse de Buseo: Estado erosivo de la cuenca de aporte (Elaboración propia).

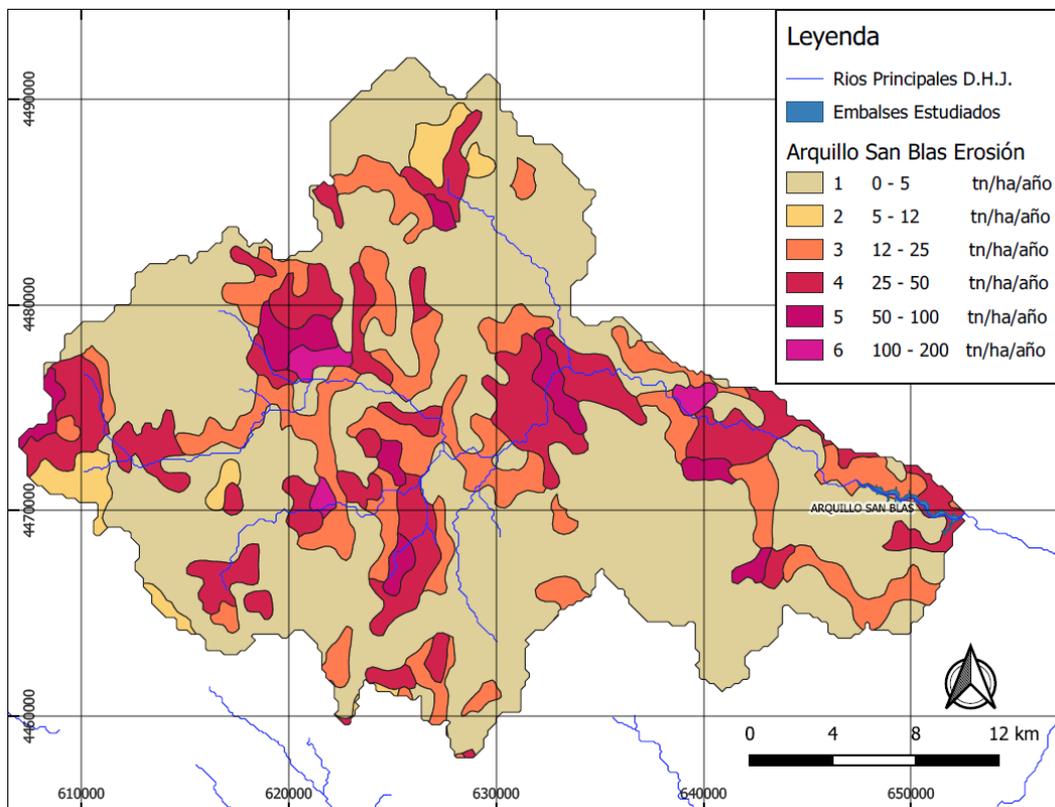


Figura 92. Embalse de Arquillo de San Blas: Estado erosivo de la cuenca de aporte (Elaboración propia).

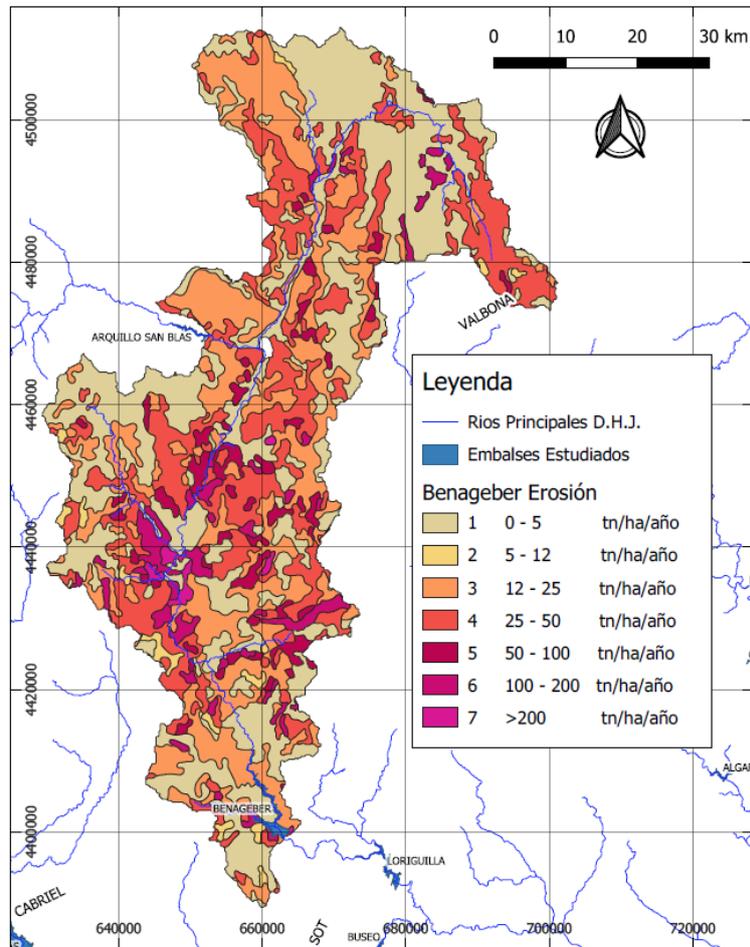


Figura 93. Embalse de Benageber: Estado erosivo de la cuenca de aporte (Elaboración propia).

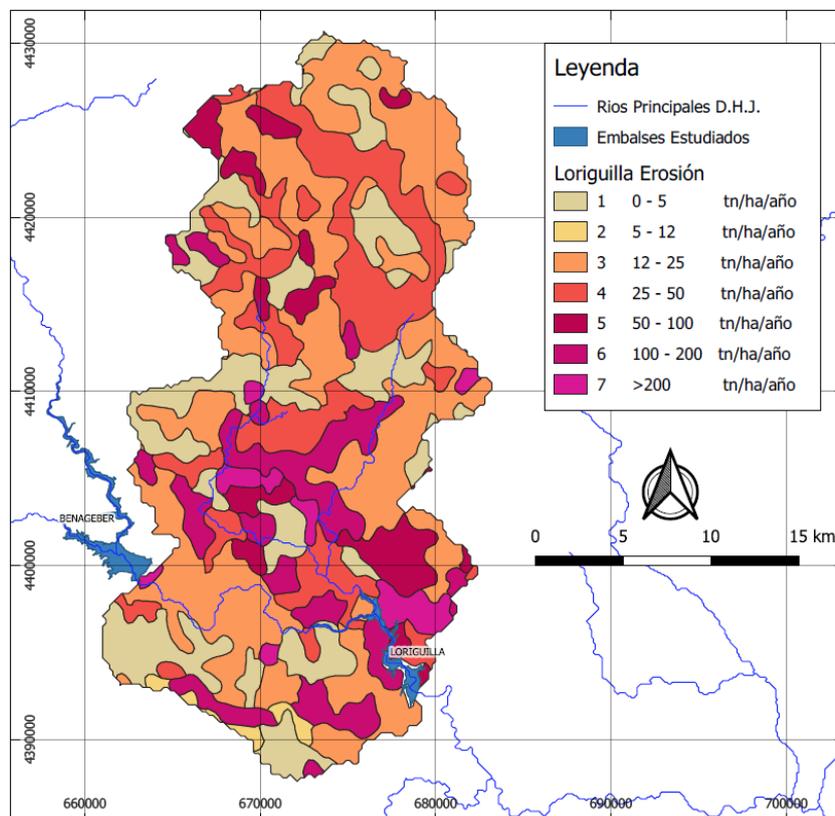


Figura 94. Embalse de Loriguilla: Estado erosivo de la cuenca de aporte (Elaboración propia).

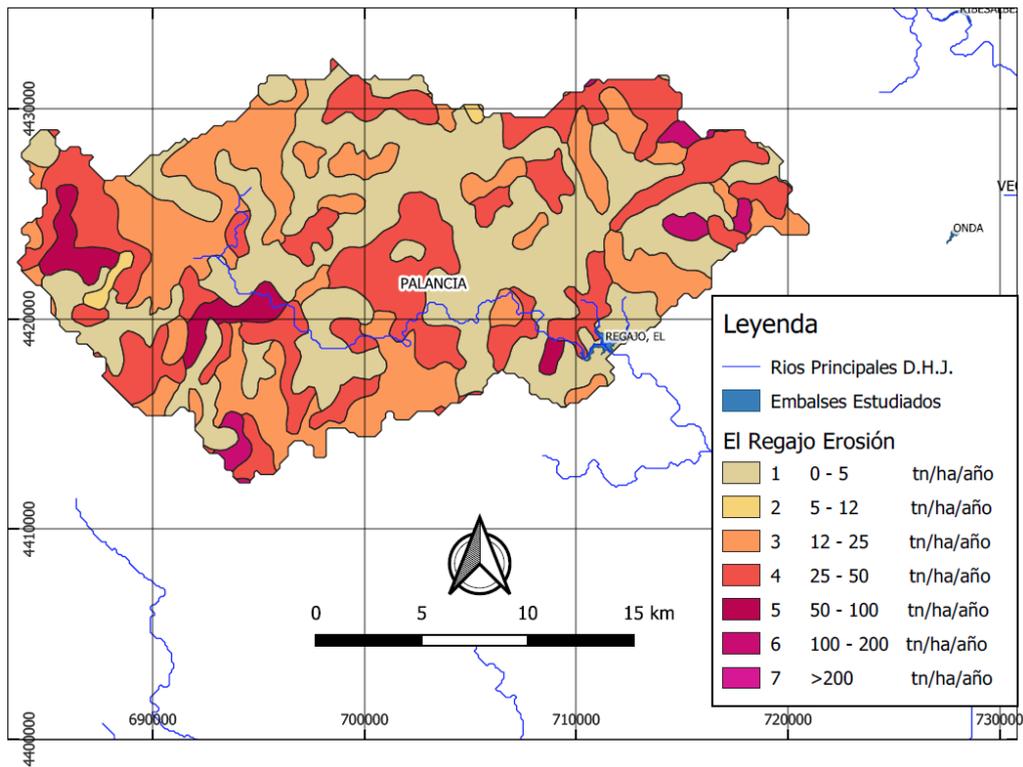


Figura 95. Embalse de El Regajo: Estado erosivo de la cuenca de aporte (Elaboración propia).

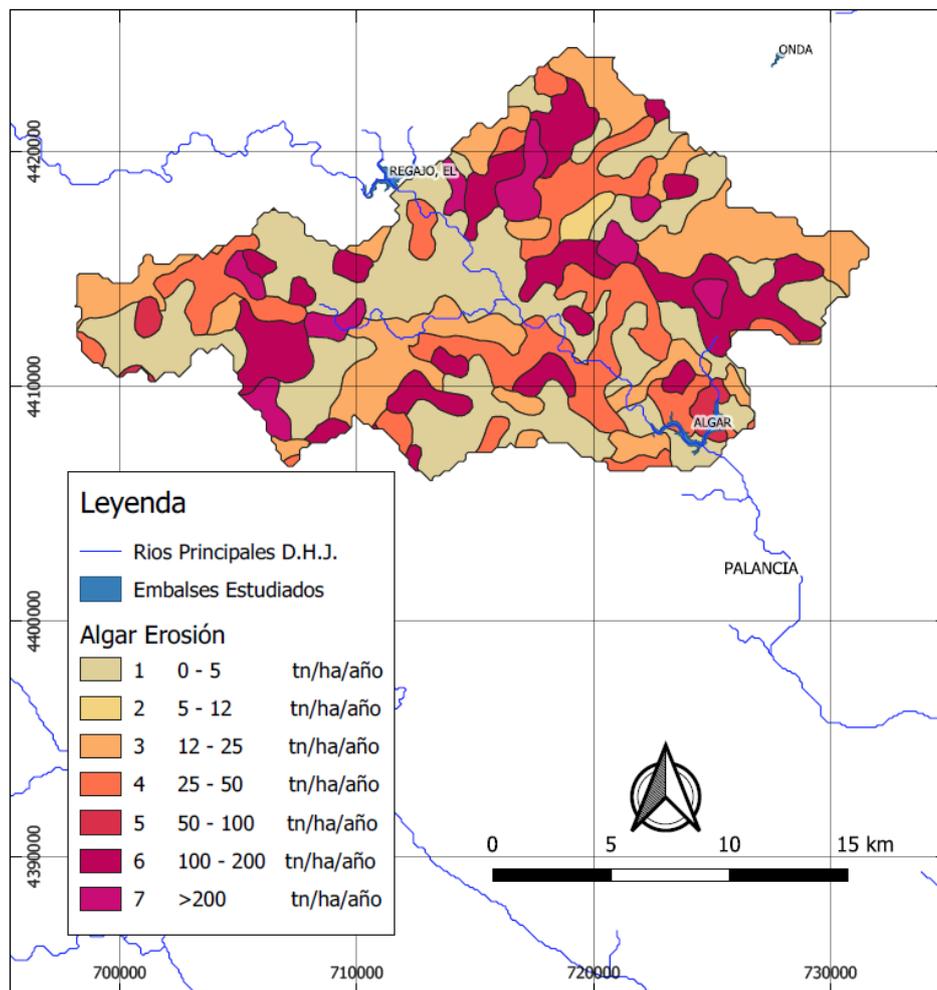


Figura 96. Embalse de Algar: Estado erosivo de la cuenca de aporte (Elaboración propia).

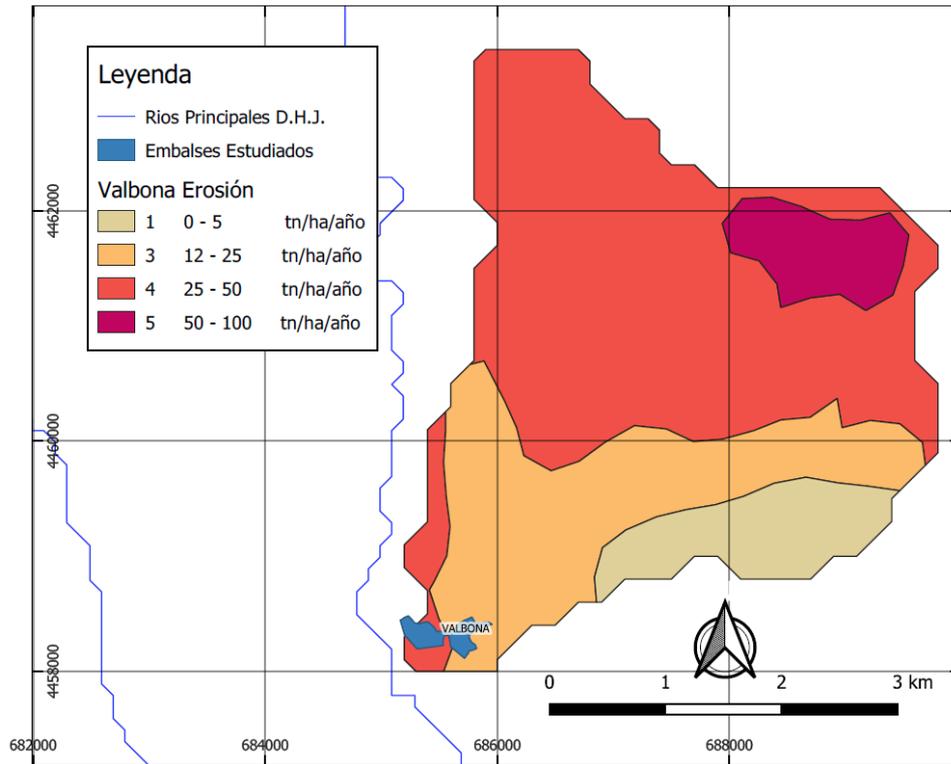


Figura 97. Embalse de Valbona: Estado erosivo de la cuenca de aporte (Elaboración propia).

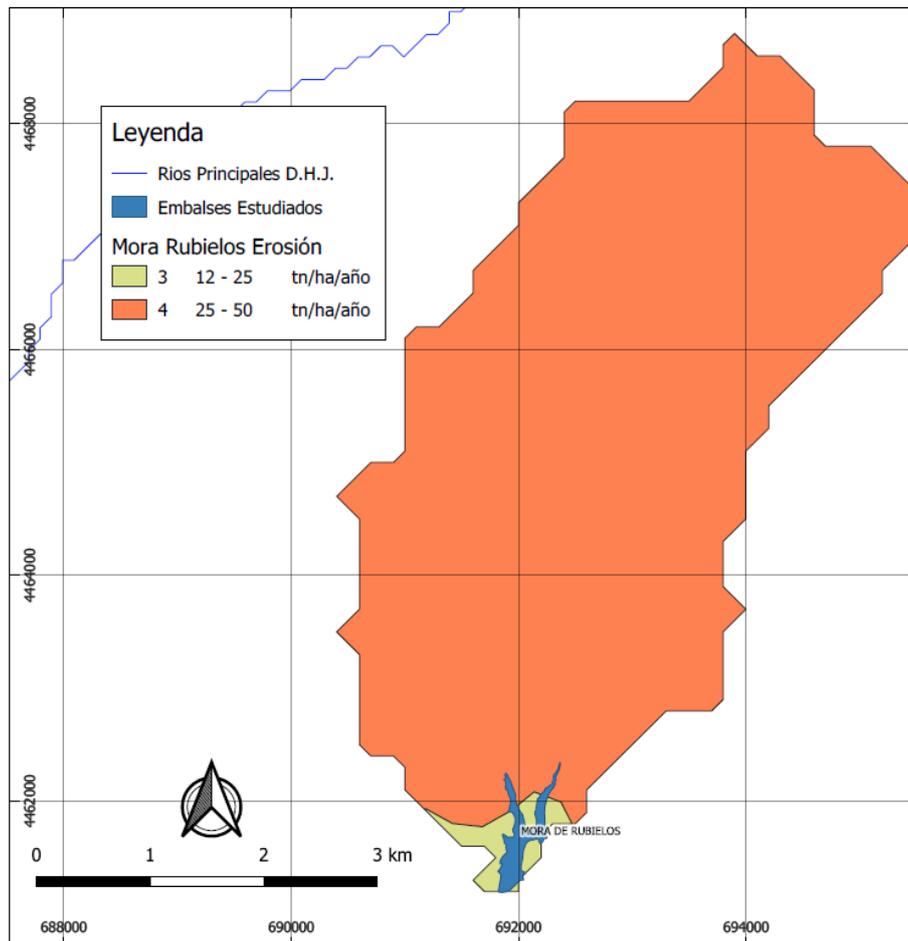


Figura 98. Embalse de Mora de Rubielos: Estado erosivo de la cuenca de aporte (Elaboración propia).

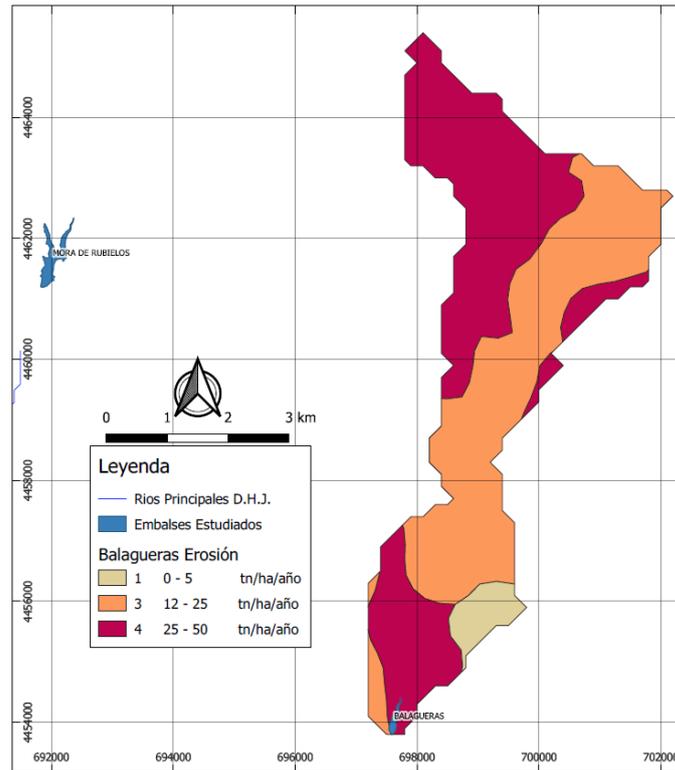


Figura 99. Embalse de Balagueras: Estado erosivo de la cuenca de aporte (Elaboración propia).

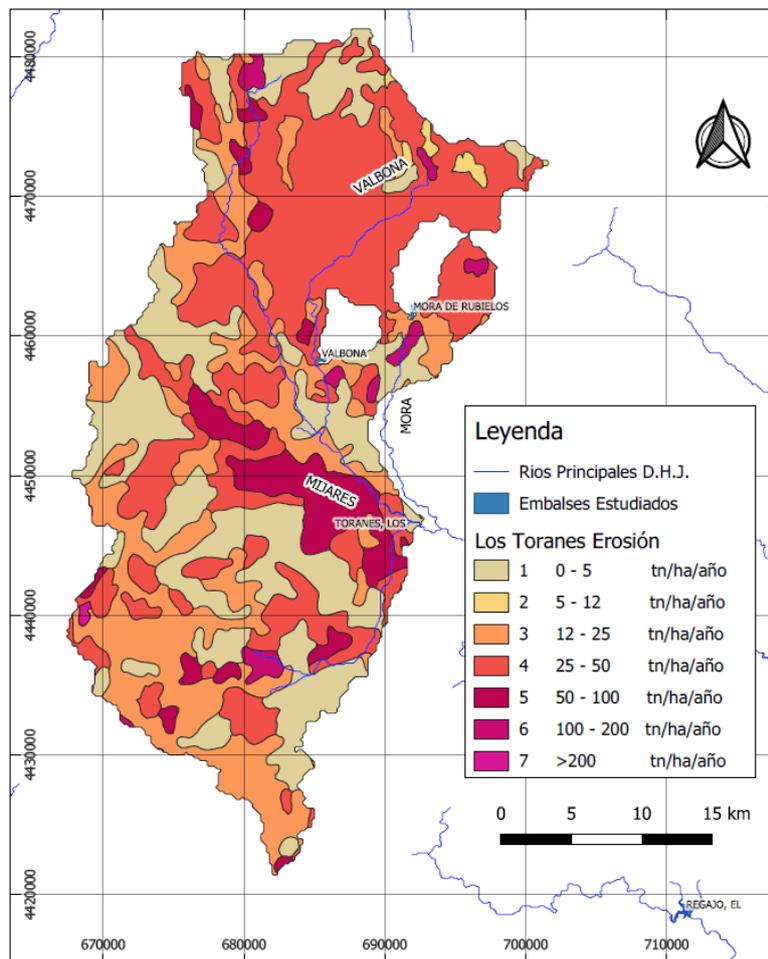


Figura 100. Embalse de Los Toranes: Estado erosivo de la cuenca de aporte (Elaboración propia).

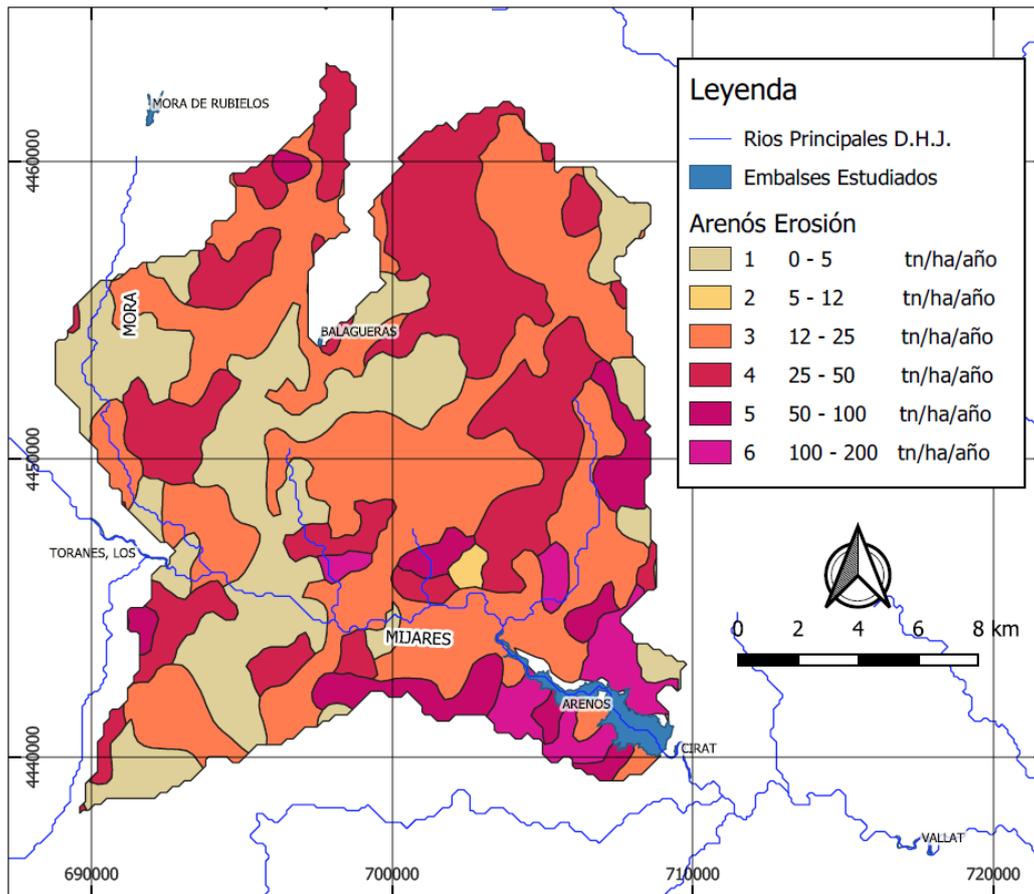


Figura 101. Embalse de Arenós: Estado erosivo de la cuenca de aporte (Elaboración propia).

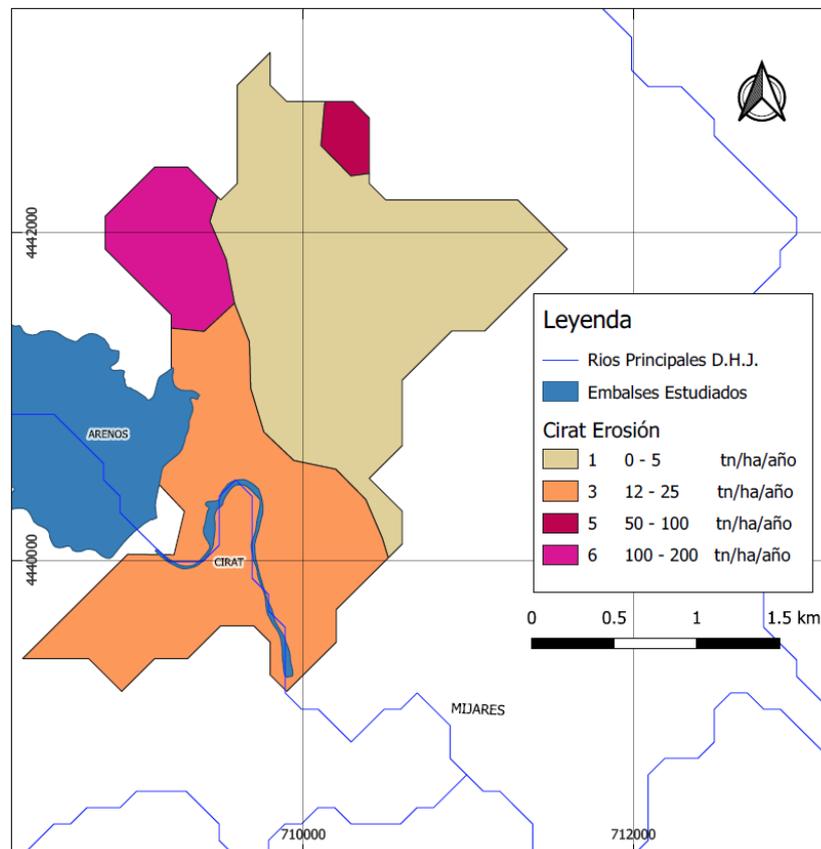


Figura 102. Embalse de Cirat: Estado erosivo de la cuenca de aporte (Elaboración propia).

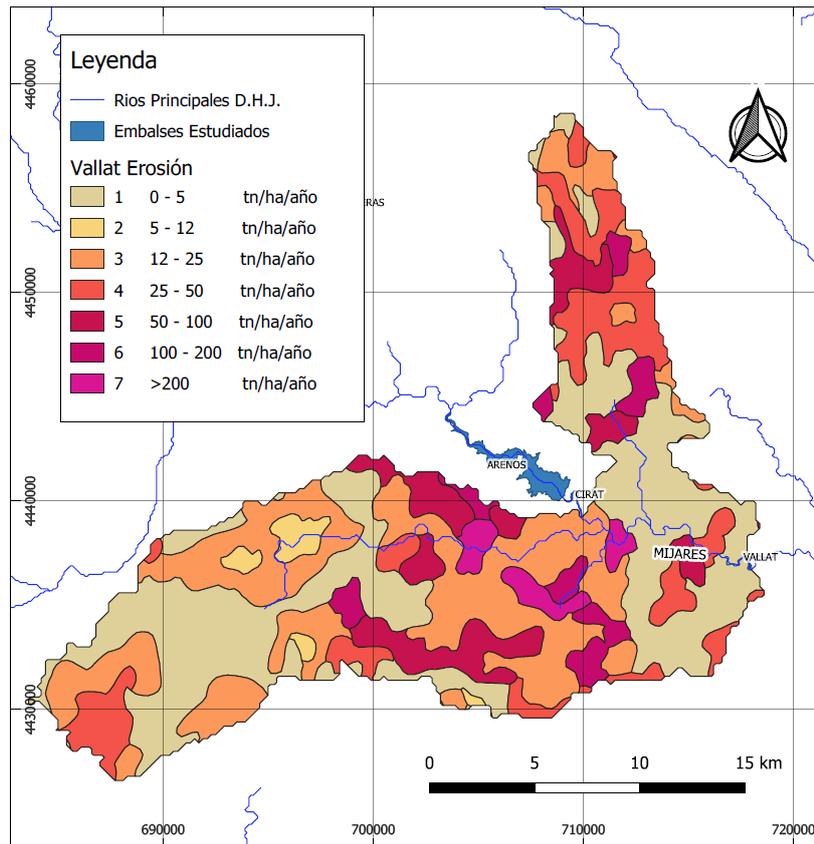


Figura 103. Embalse de Vallat: Estado erosivo de la cuenca de aporte (Elaboración propia).

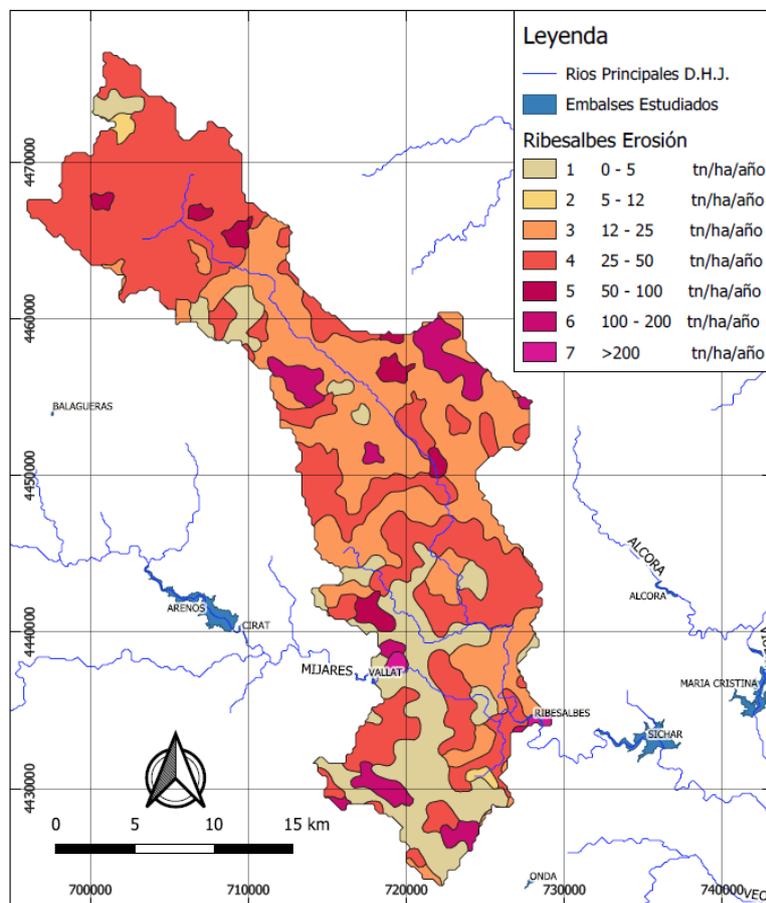


Figura 104. Embalse de Ribesalbes: Estado erosivo de la cuenca de aporte (Elaboración propia).

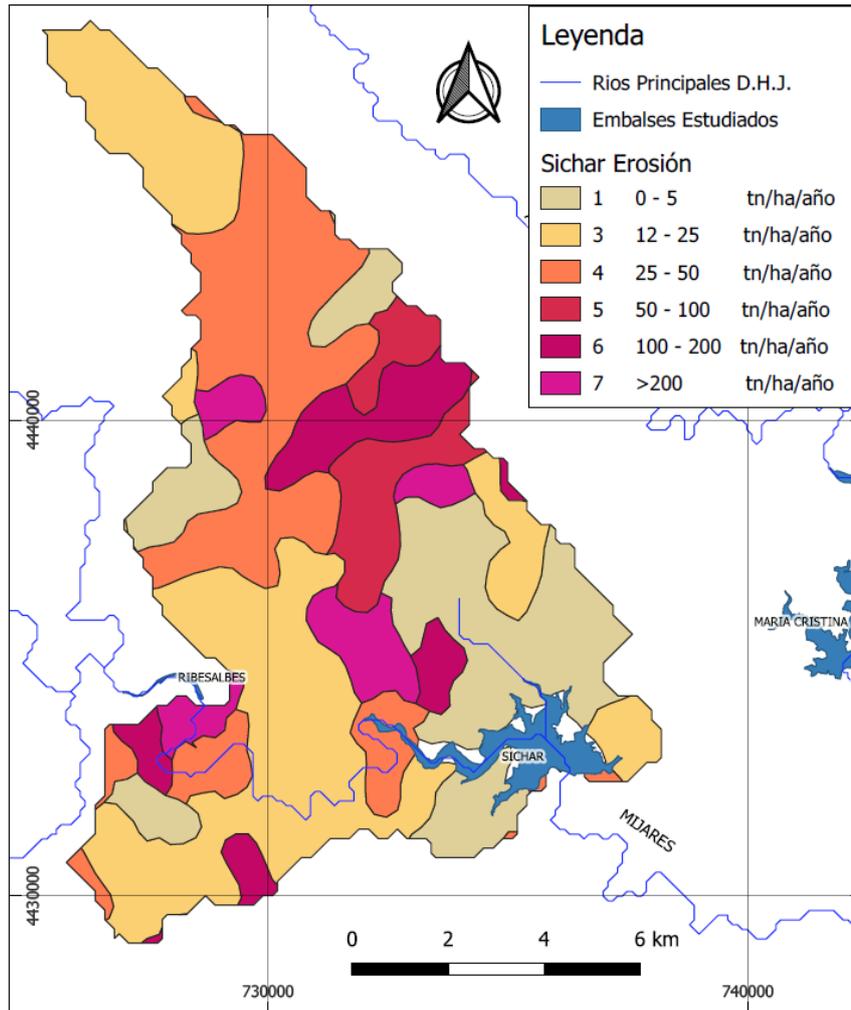


Figura 105. Embalse de Sichear: Estado erosivo de la cuenca de aporte (Elaboración propia).

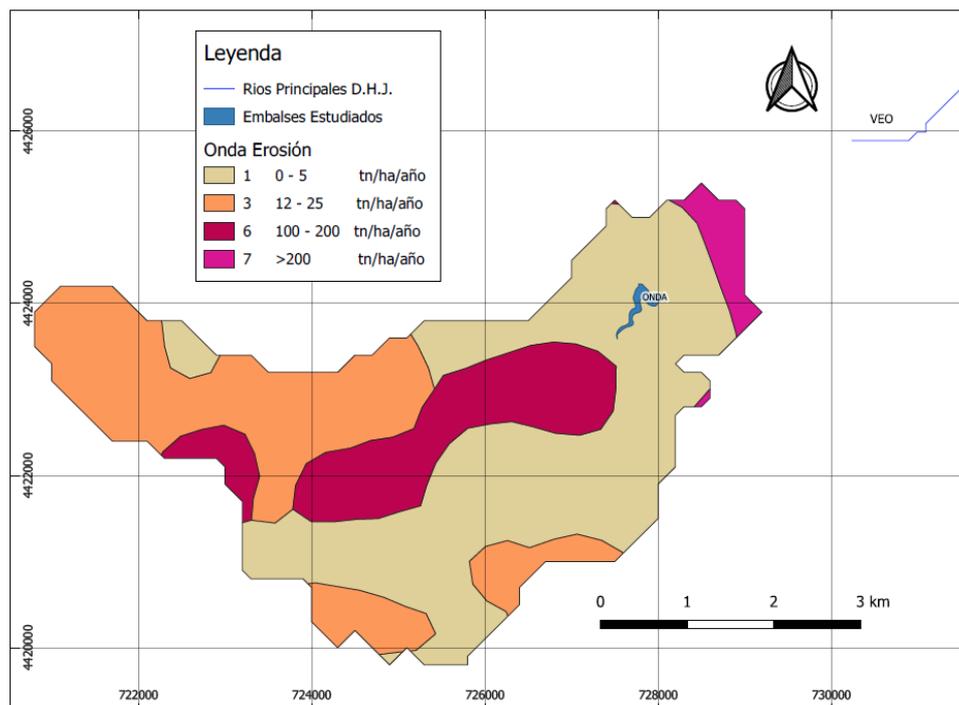


Figura 106. Embalse de Onda: Estado erosivo de la cuenca de aporte (Elaboración propia).

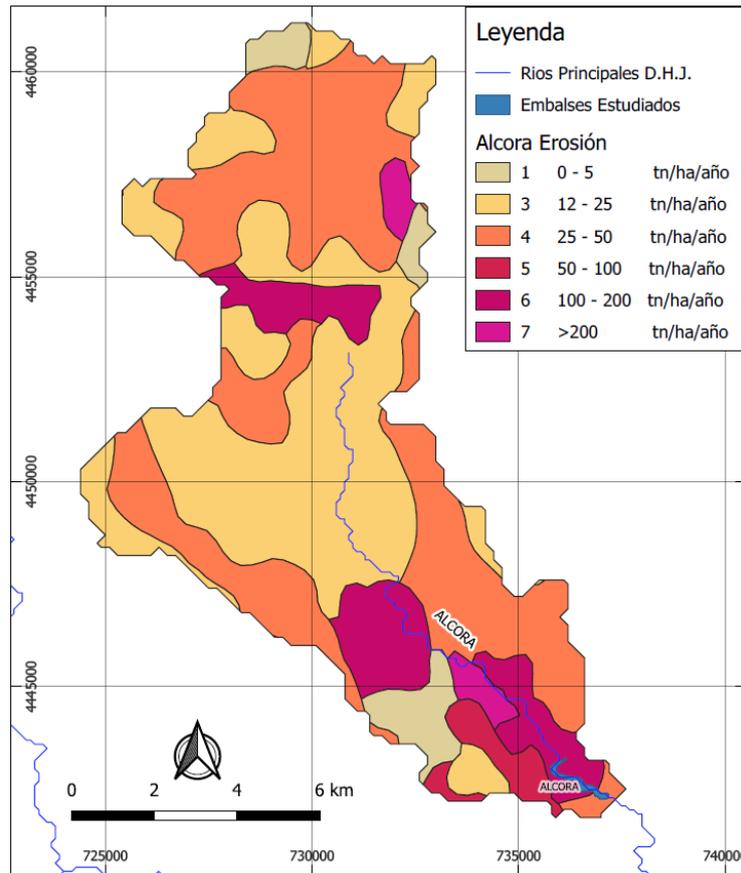


Figura 107. Embalse de Alcora: Estado erosivo de la cuenca de aporte (Elaboración propia).

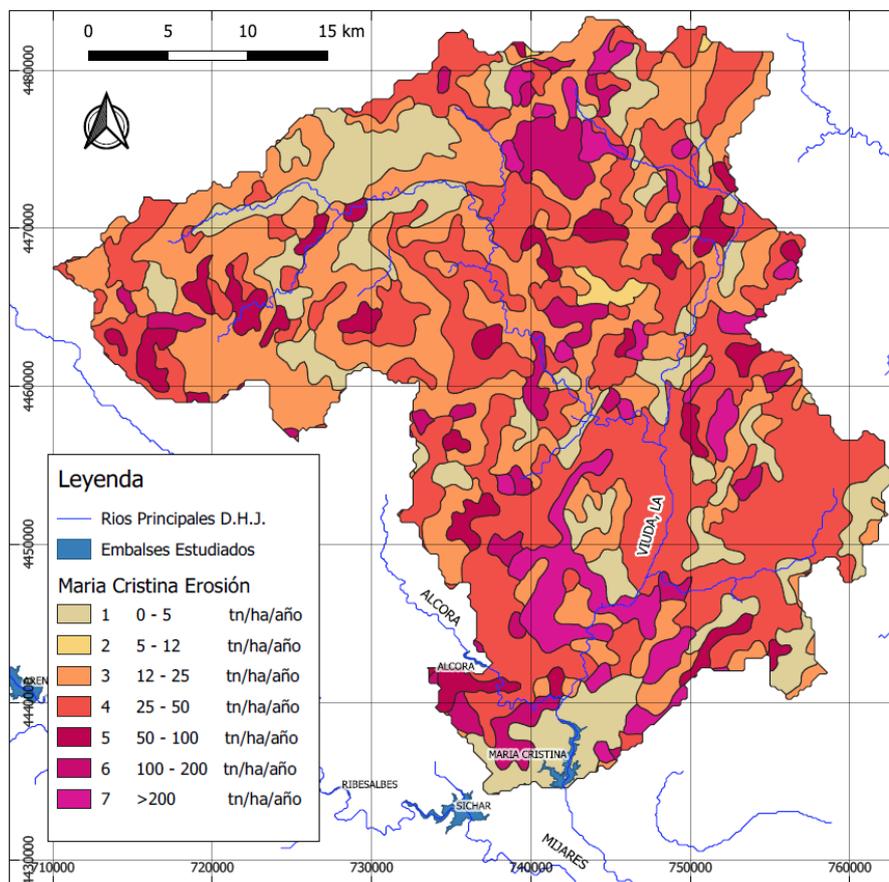


Figura 108. Embalse de María Cristina: Estado erosivo de la cuenca de aporte (Elaboración propia).

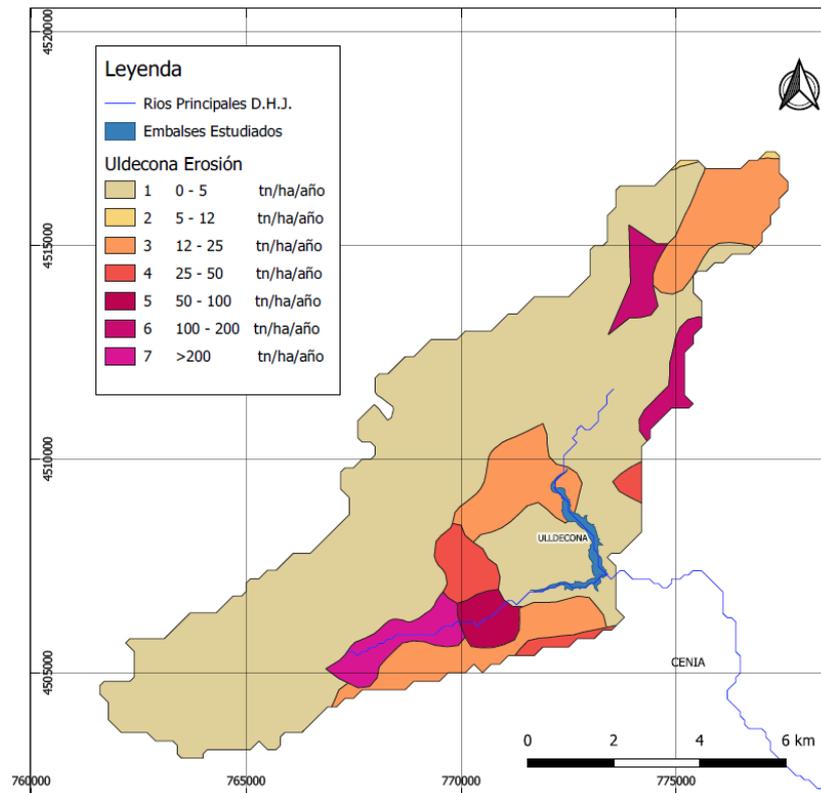


Figura 109. Embalse de Uldecona: Estado erosivo de la cuenca de aporte (Elaboración propia).

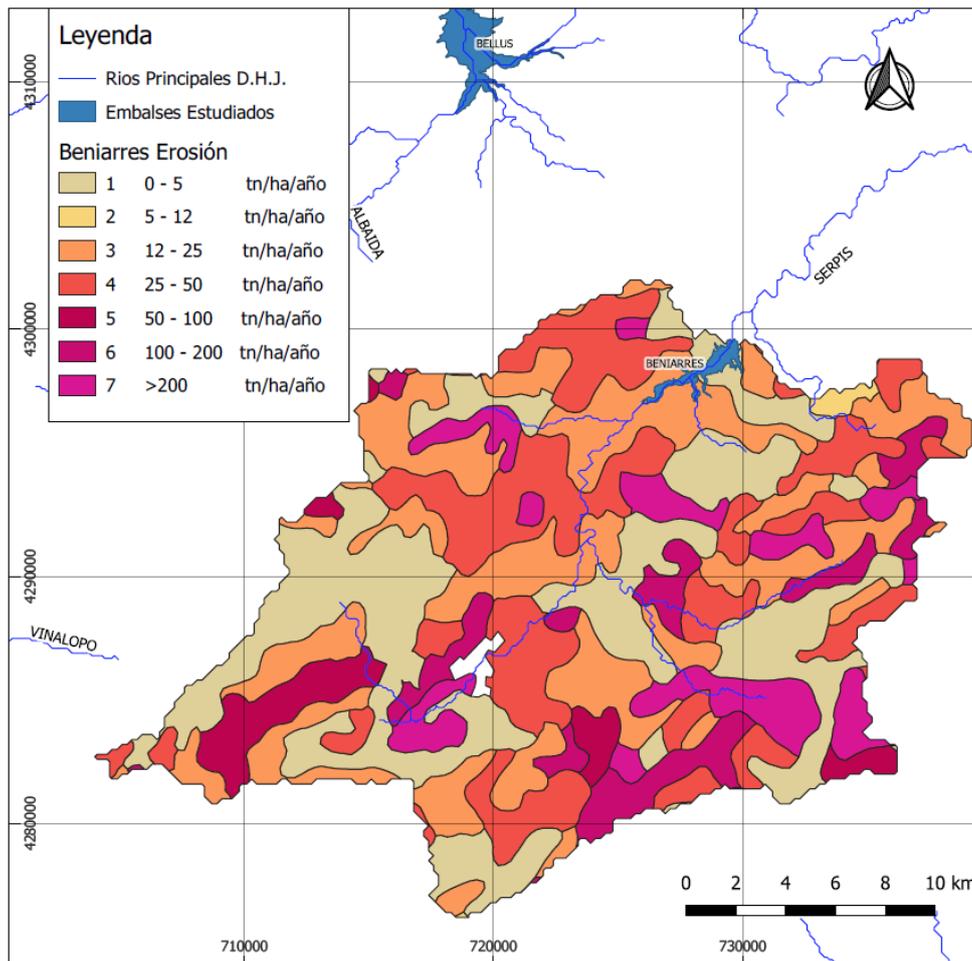


Figura 110. Embalse de Beniarrés: Estado erosivo de la cuenca de aporte (Elaboración propia).

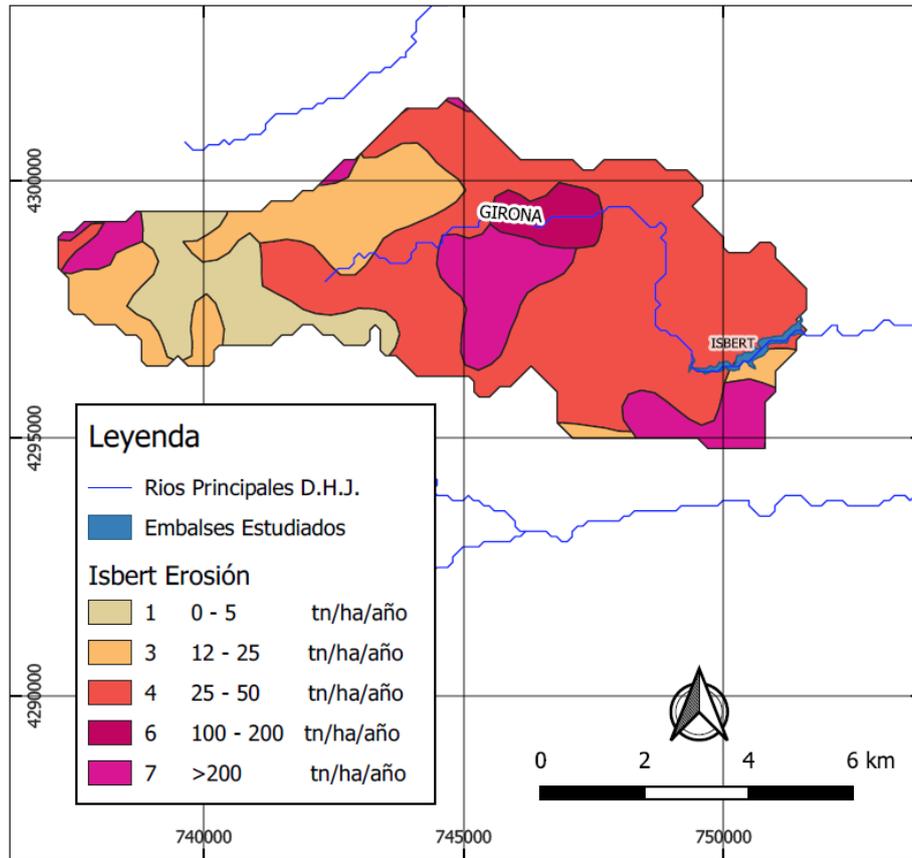


Figura 111. Embalse de Isbert: Estado erosivo de la cuenca de aporte (Elaboración propia).

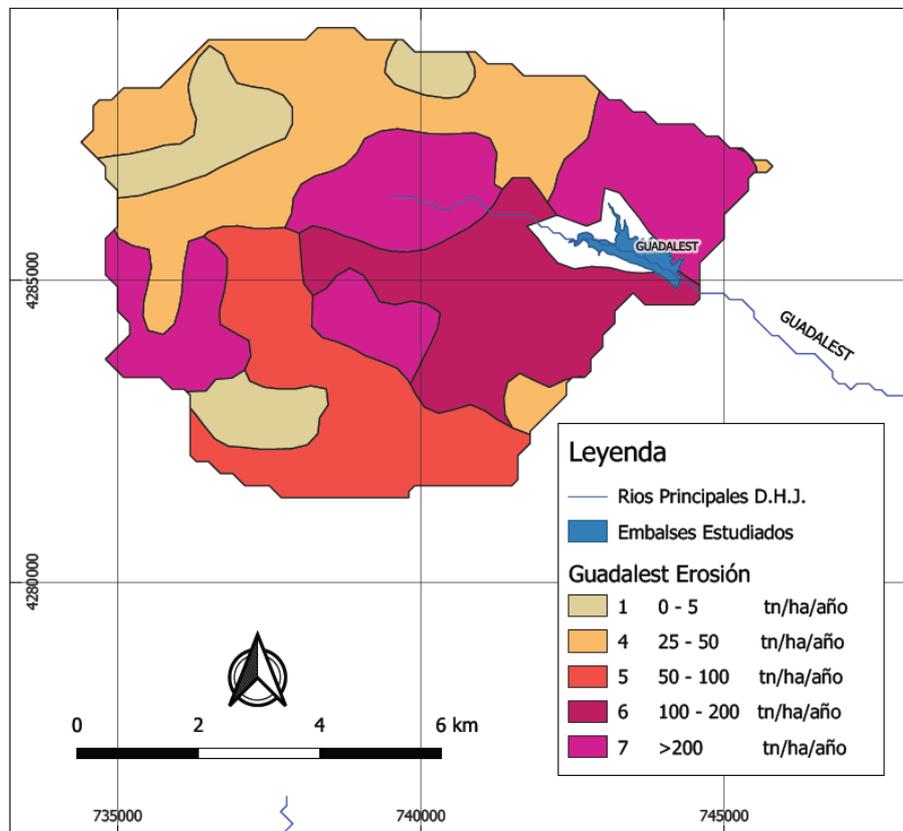


Figura 112. Embalse de Guadalest: Estado erosivo de la cuenca de aporte (Elaboración propia).

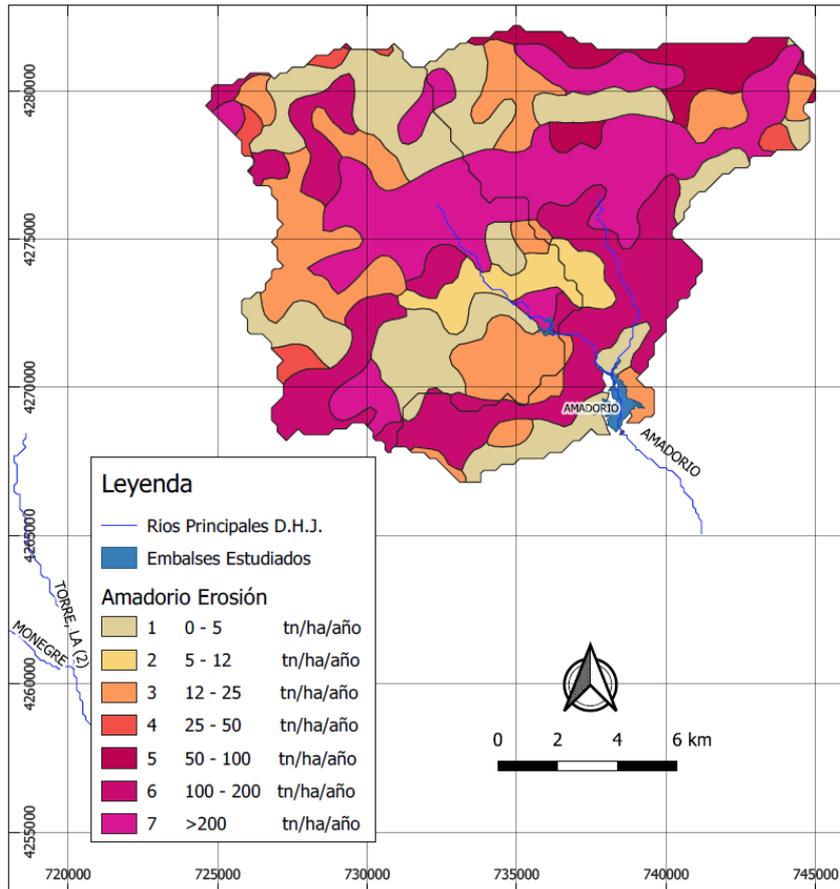


Figura 113. Embalse de Amadorio: Estado erosivo de la cuenca de aporte (Elaboración propia).

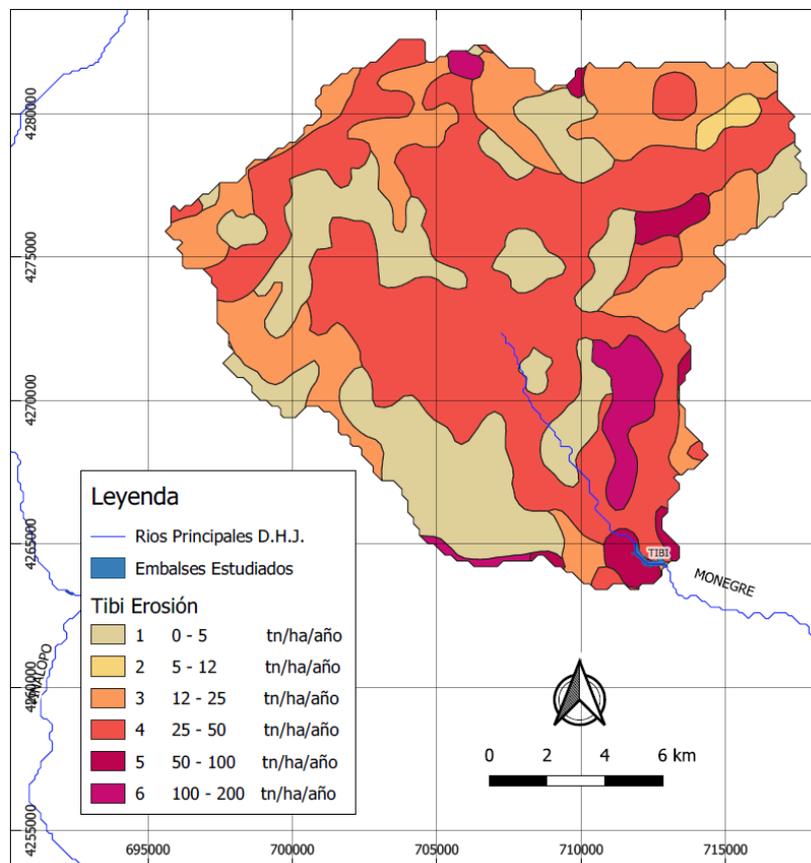


Figura 114. Embalse de Tibi: Estado erosivo de la cuenca de aporte (Elaboración propia).

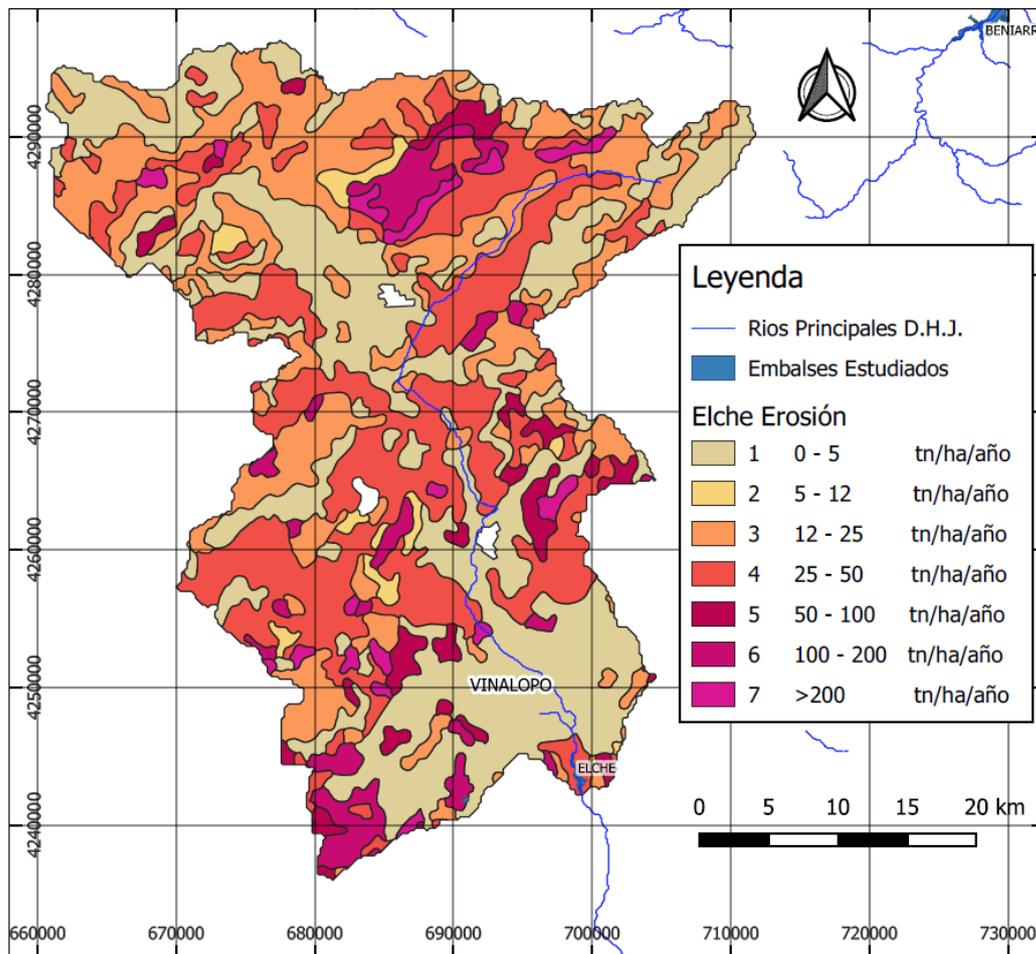


Figura 115. Embalse de Elche: Estado erosivo de la cuenca de aporte (Elaboración propia).

ANEXO III: ORDEN DE STRAHLER EN CUENCAS VERTIENTES

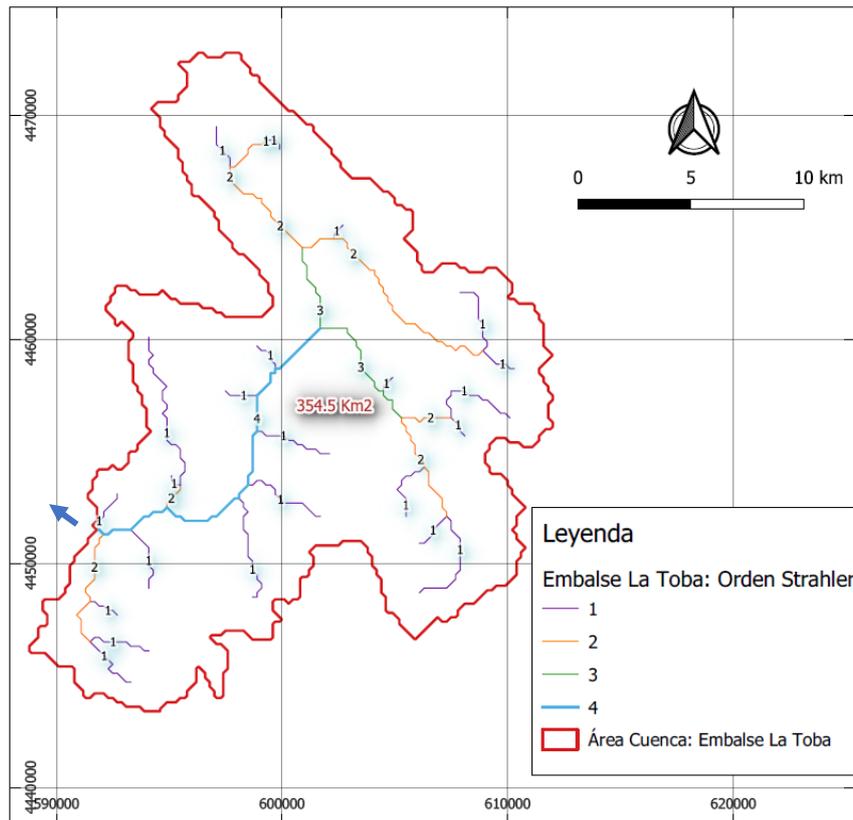


Figura 116. Cuenca Embalse de La Toba: Orden de cauces según Strahler (Elaboración propia)

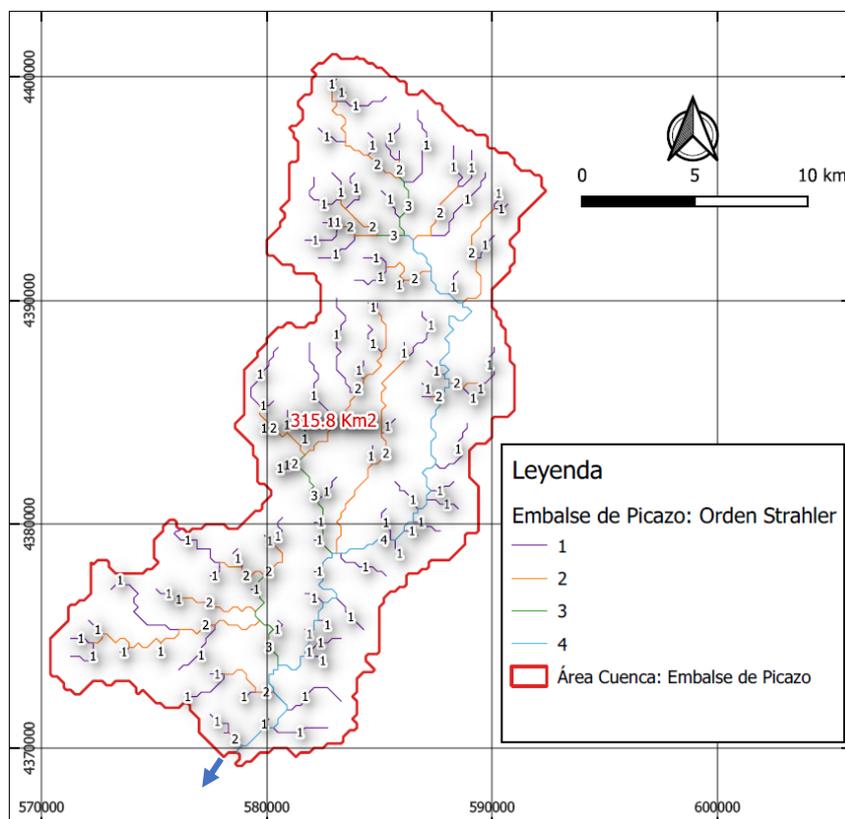


Figura 117. Cuenca Embalse de Picazo: Orden de cauces según Strahler (Elaboración propia)

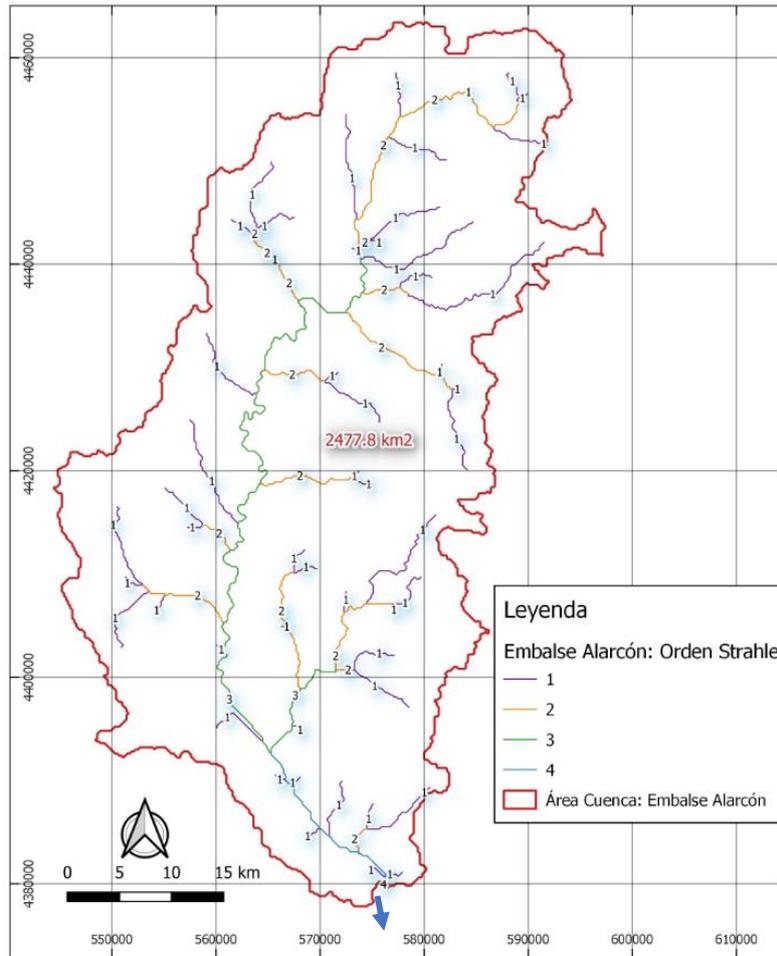


Figura 118. Cuenca Embalse de Alarcón: Orden de cauces según Strahler (Elaboración propia)

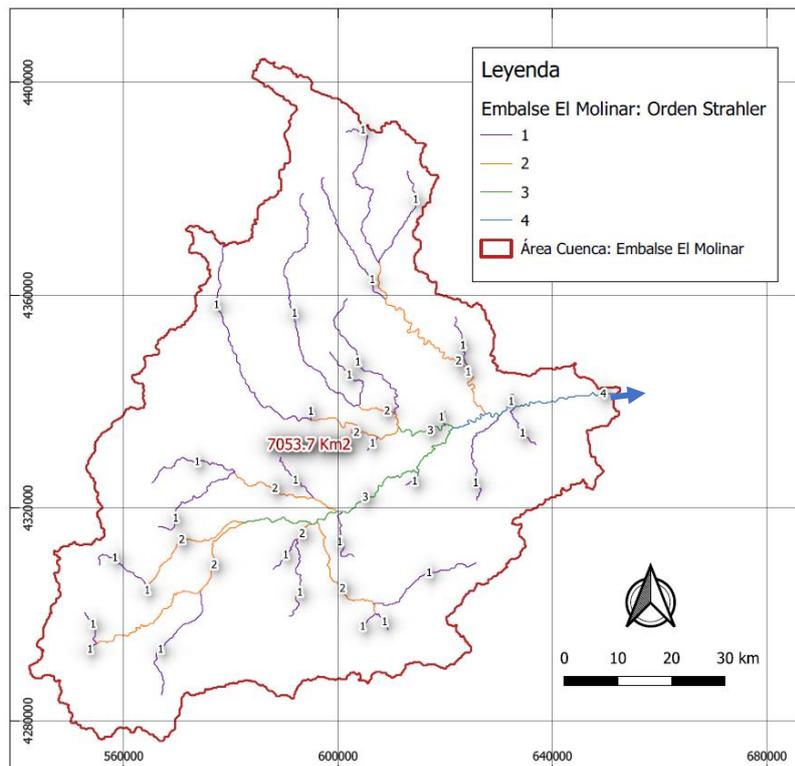


Figura 119. Cuenca Embalse de El Molinar: Orden de cauces según Strahler (Elaboración propia)

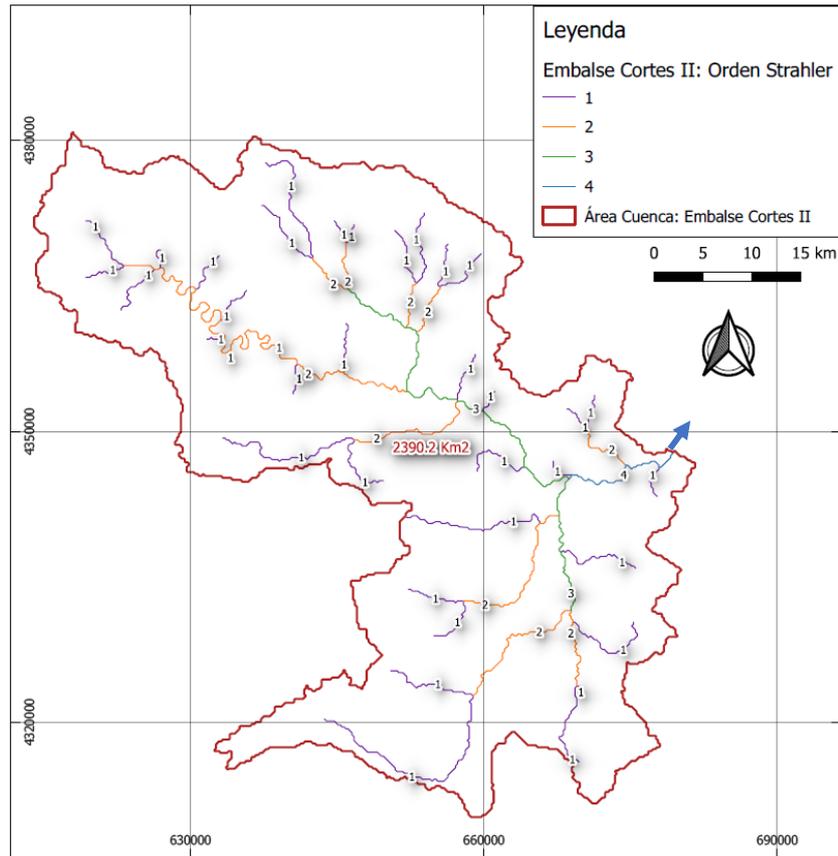


Figura 120. Cuenca Embalse de Cortes II: Orden de cauces según Strahler (Elaboración propia)

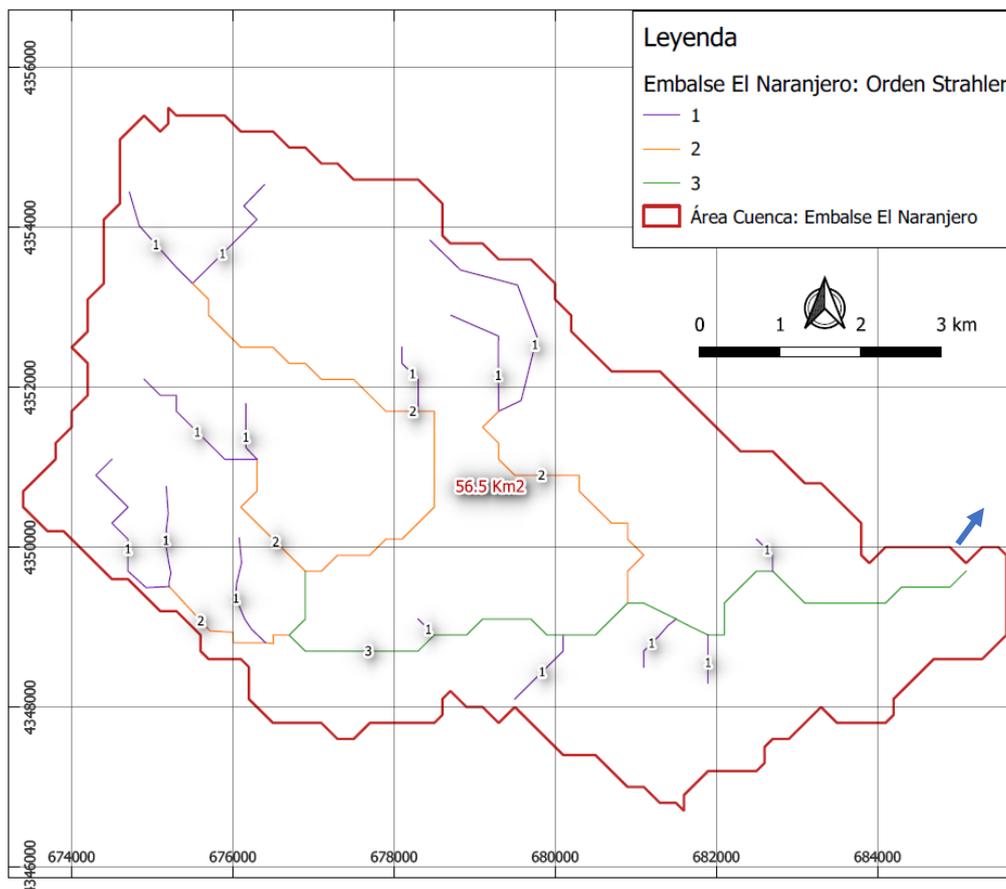


Figura 121. Cuenca Embalse de El Naranjero: Orden de cauces según Strahler (Elaboración propia)

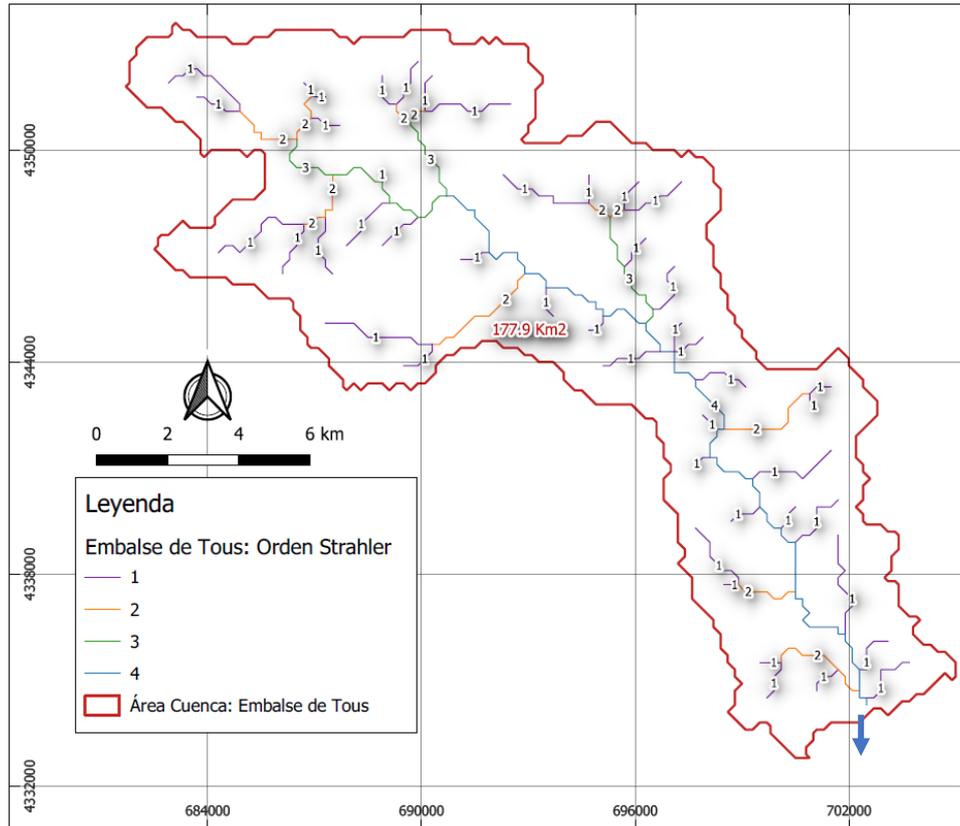


Figura 122. Cuenca Embalse de Tous: Orden de cauces según Strahler (Elaboración propia)

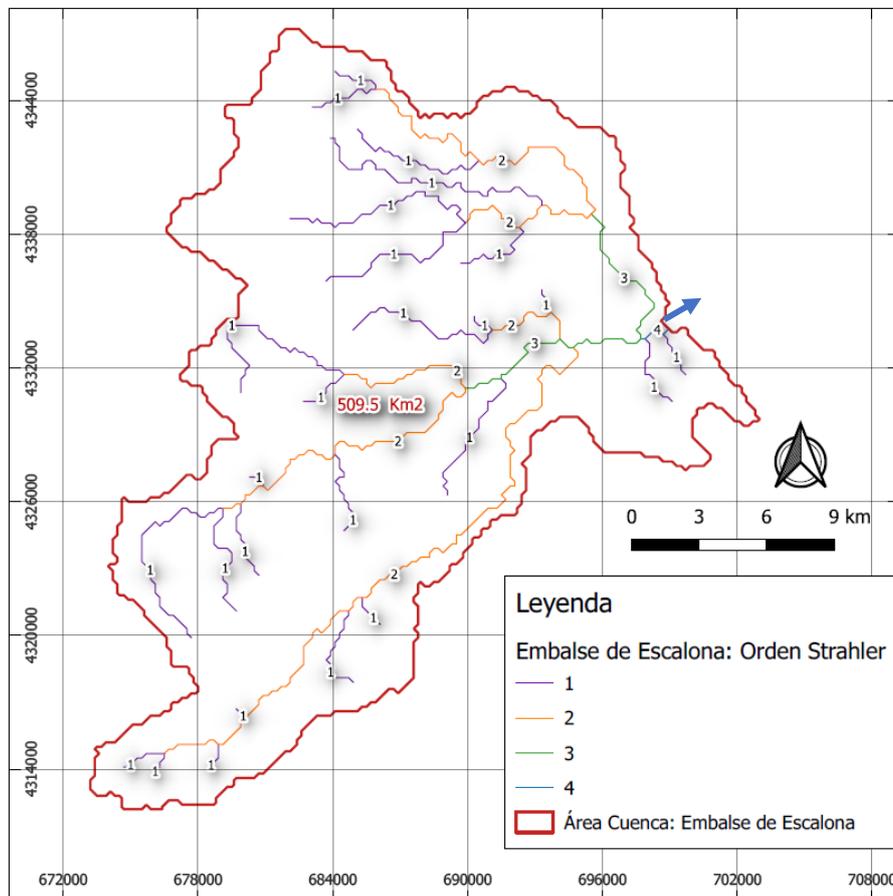


Figura 123. Cuenca Embalse de Escalona: Orden de cauces según Strahler (Elaboración propia)

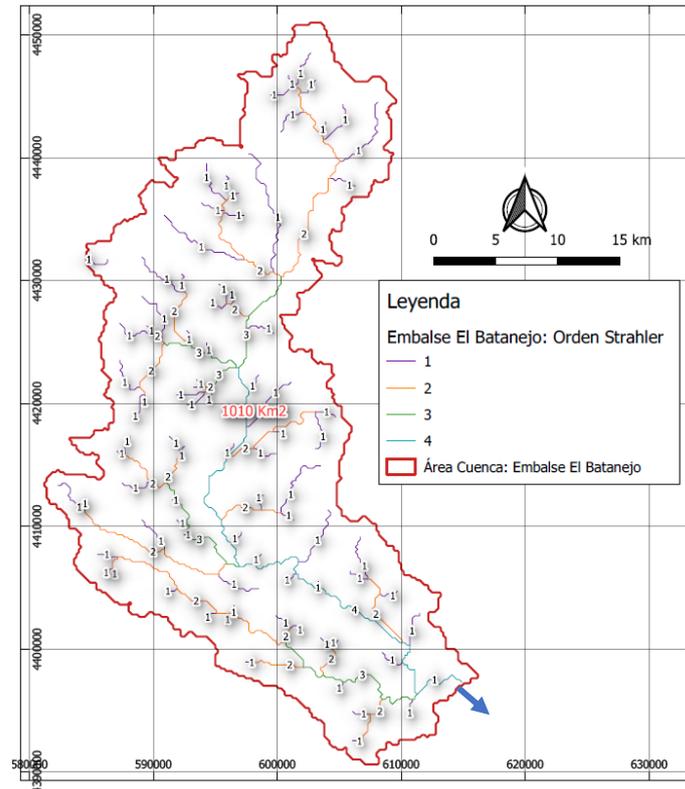


Figura 124. Cuenca Embalse de El Batanejo: Orden de cauces según Strahler (Elaboración propia)

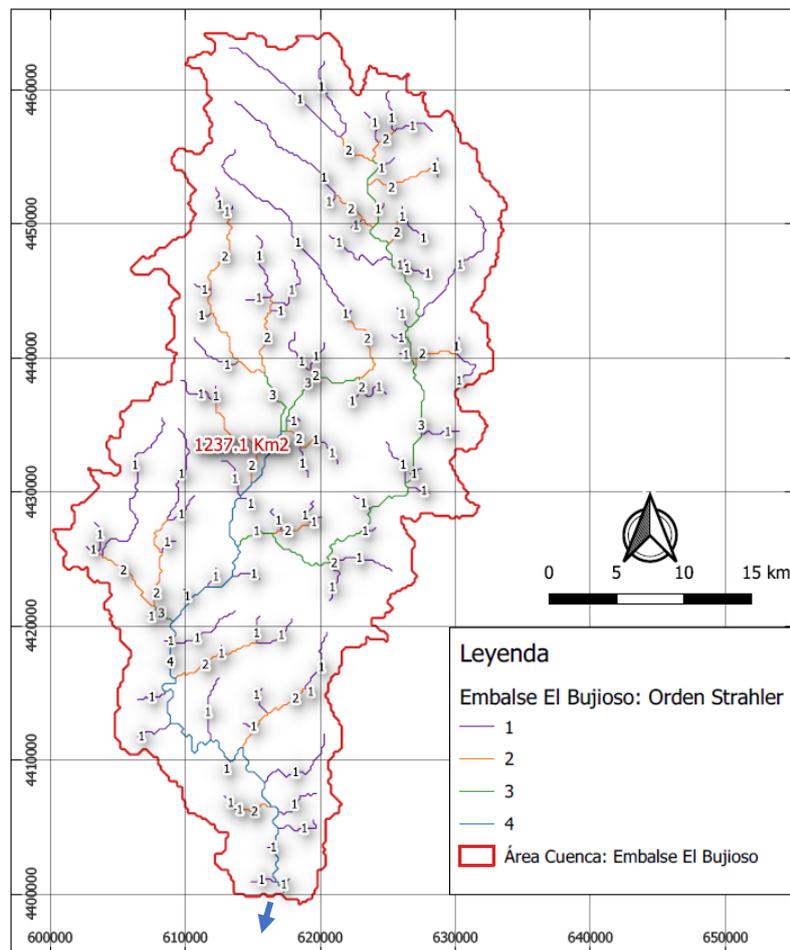


Figura 125. Cuenca Embalse de El Bujioso: Orden de cauces según Strahler (Elaboración propia)

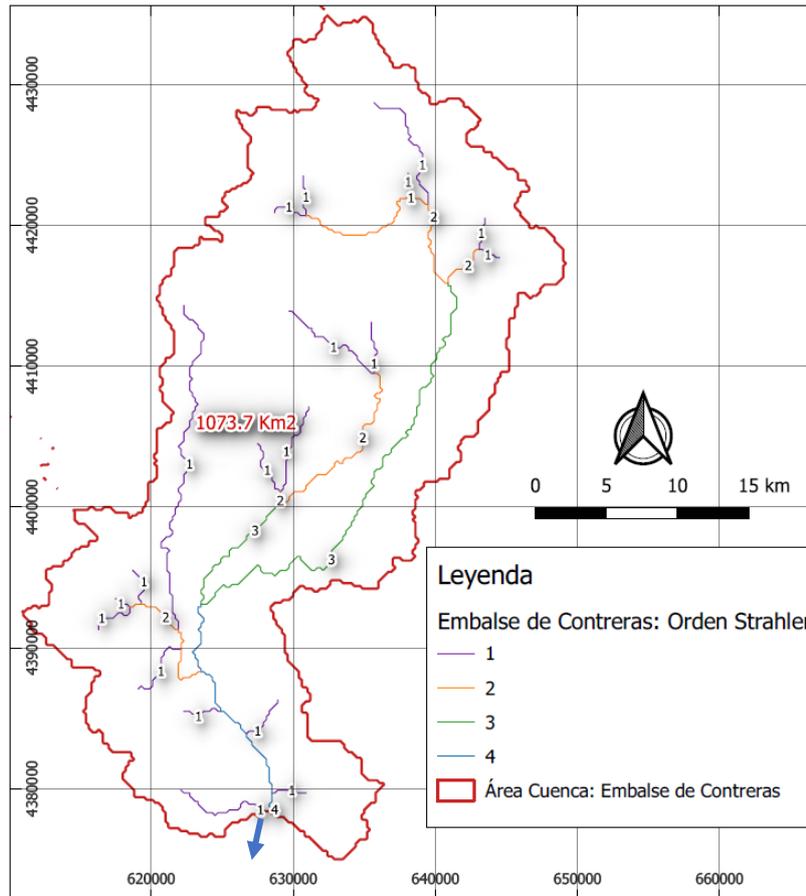


Figura 126. Cuenca Embalse de Contreras: Orden de cauces según Strahler (Elaboración propia)

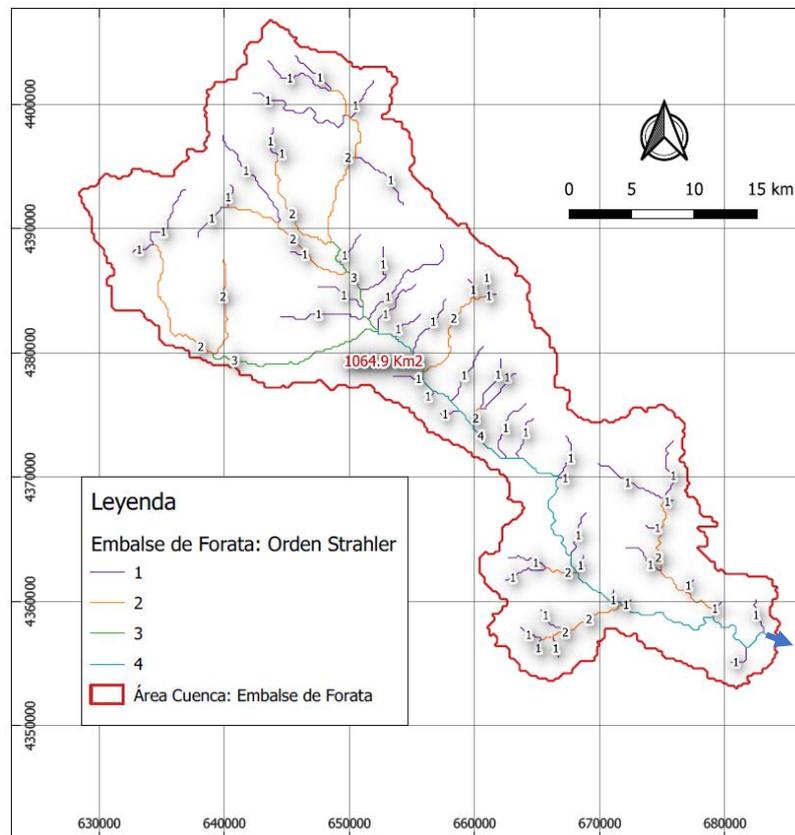


Figura 127. Cuenca Embalse de Forata: Orden de cauces según Strahler (Elaboración propia)

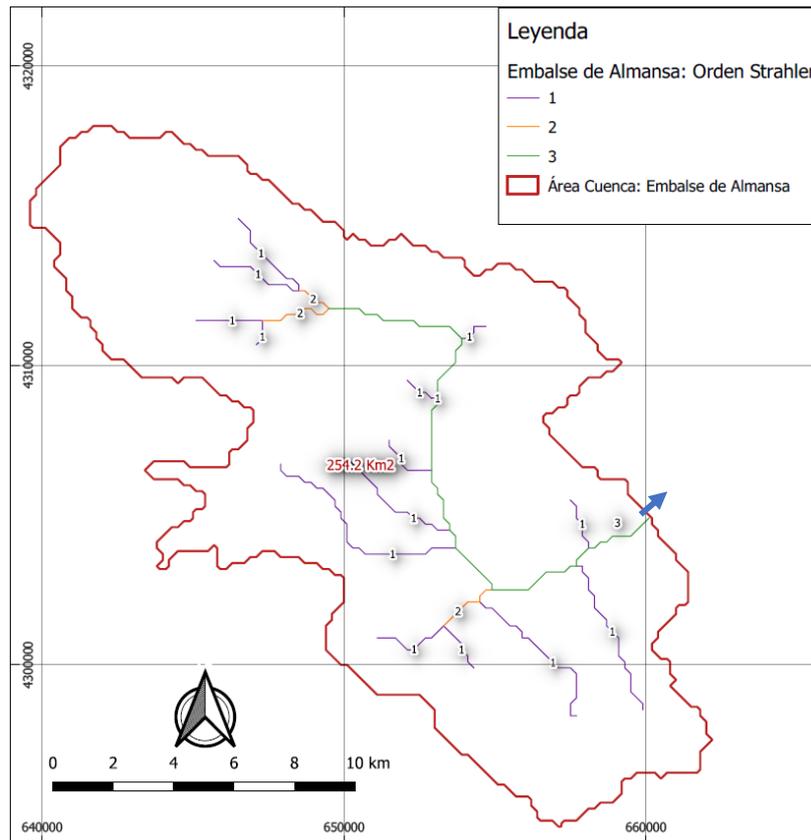


Figura 128. Cuenca Embalse de Almansa: Orden de cauces según Strahler (Elaboración propia)

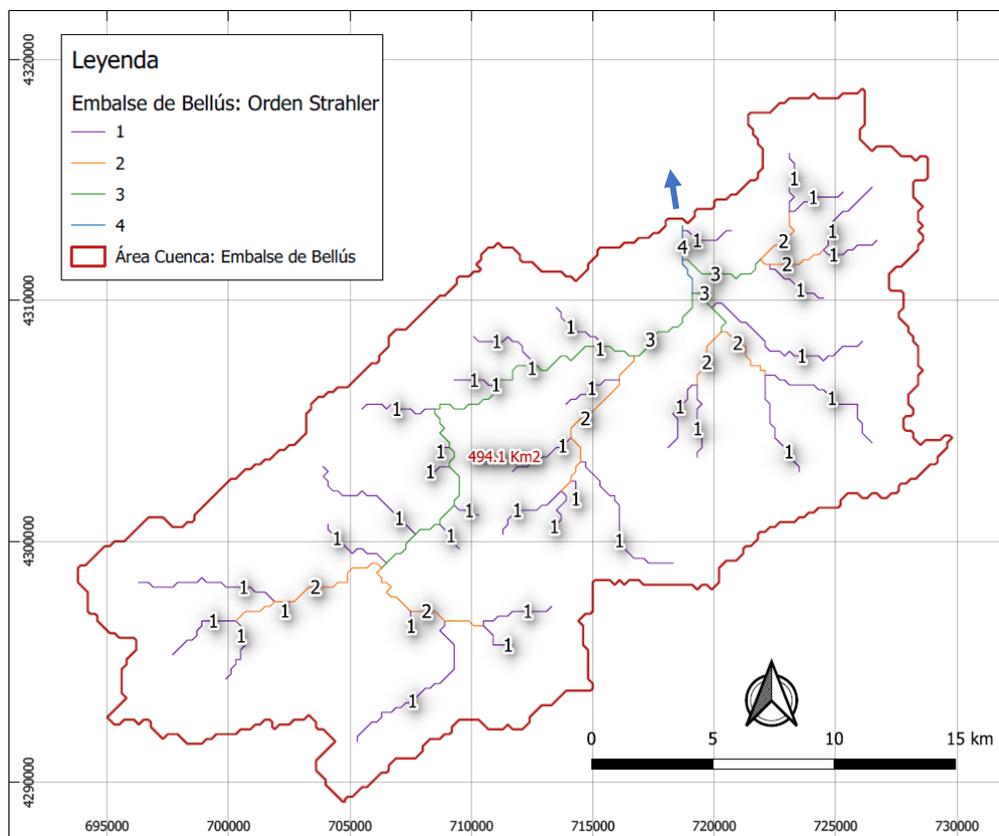


Figura 129. Cuenca Embalse de Bellús: Orden de cauces según Strahler (Elaboración propia)

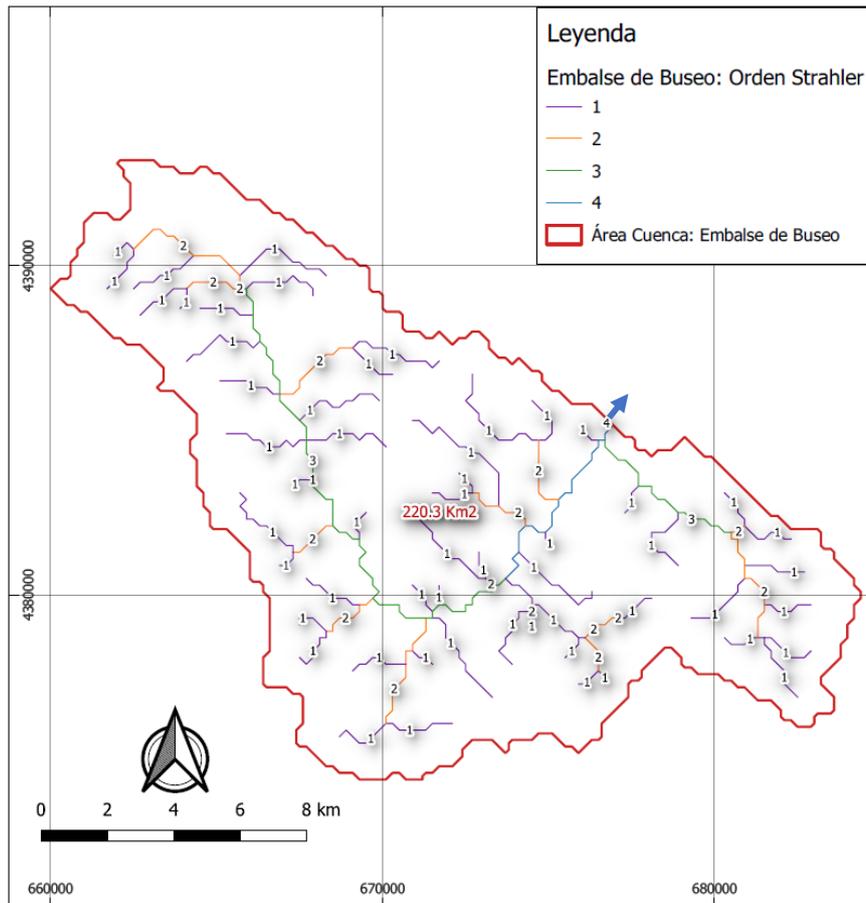


Figura 130. Cuenca Embalse de Buseo: Orden de cauces según Strahler (Elaboración propia)

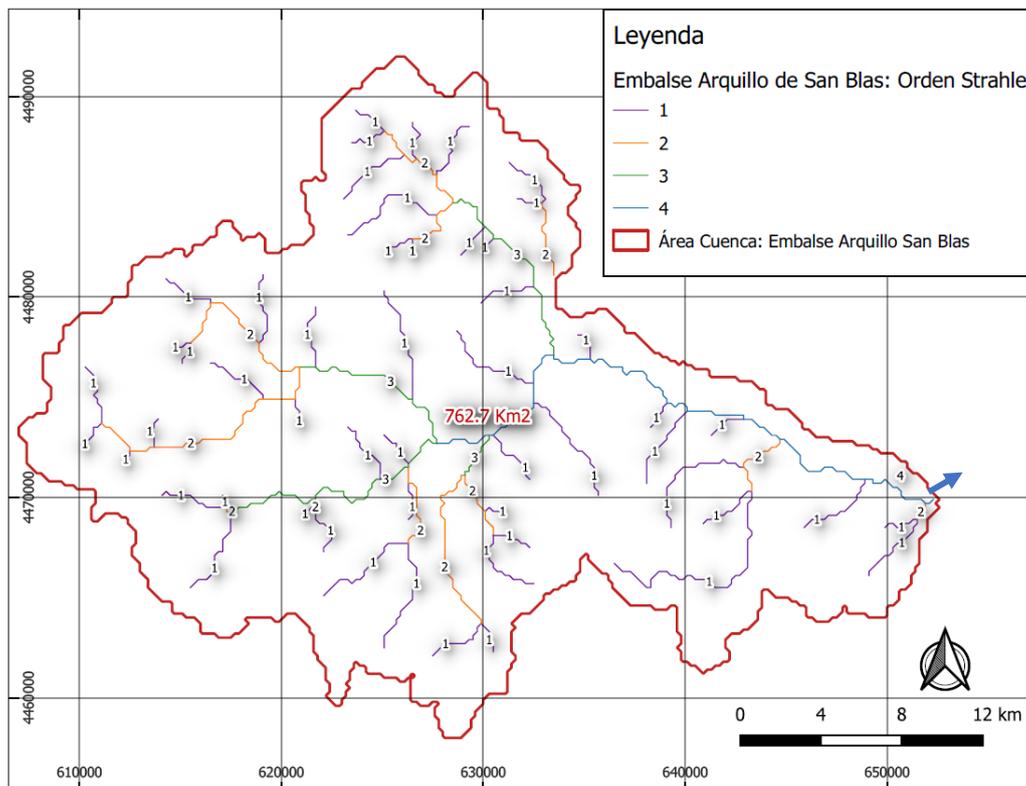


Figura 131. Cuenca Embalse Arquillo de San Blas: Orden de cauces según Strahler (Elaboración propia)

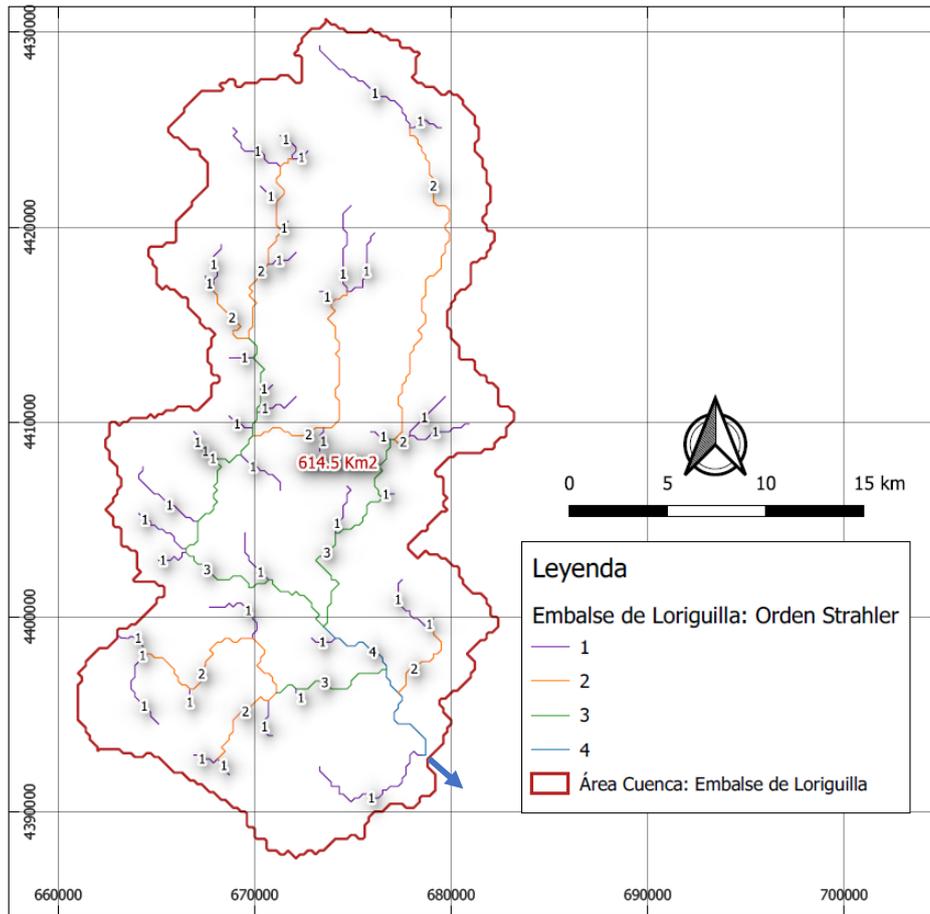


Figura 132. Cuenca Embalse de Loriguilla: Orden de cauces según Strahler (Elaboración propia)

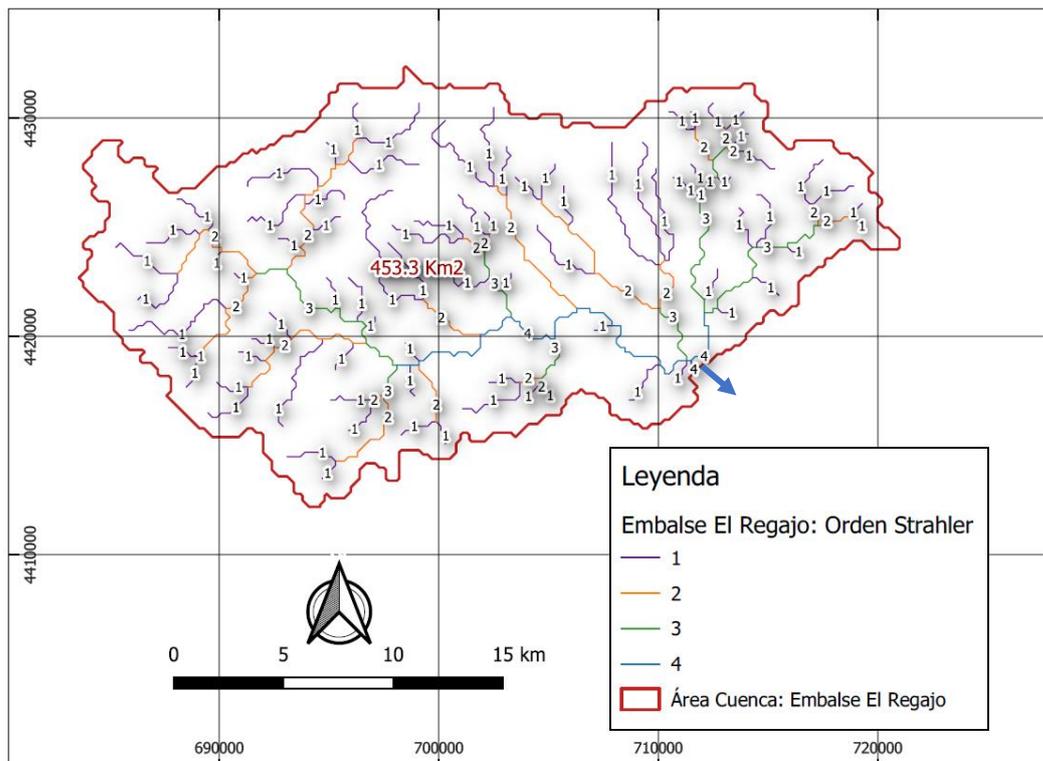


Figura 133. Cuenca Embalse de El Regajo: Orden de cauces según Strahler (Elaboración propia)

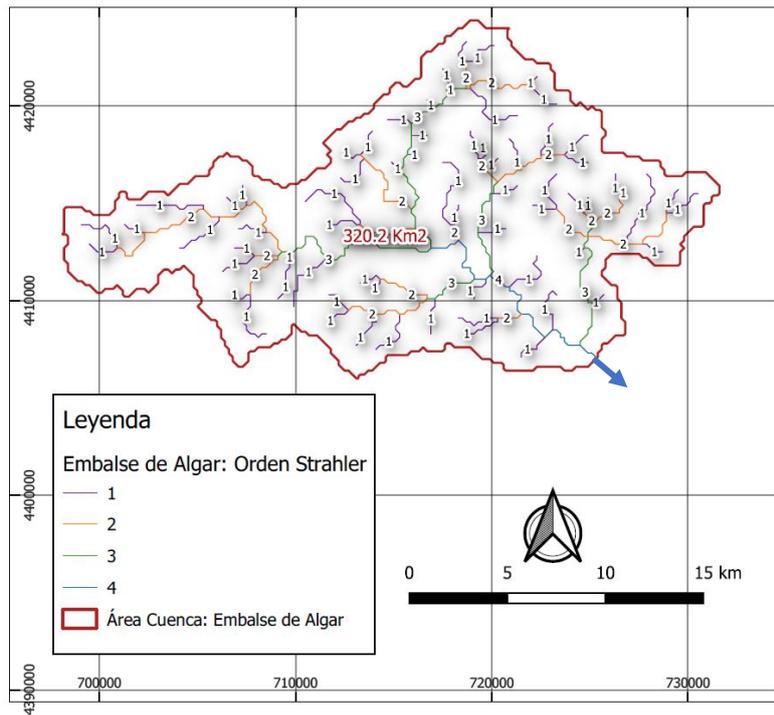


Figura 134. Cuenca Embalse de Algar: Orden de cauces según Strahler (Elaboración propia)

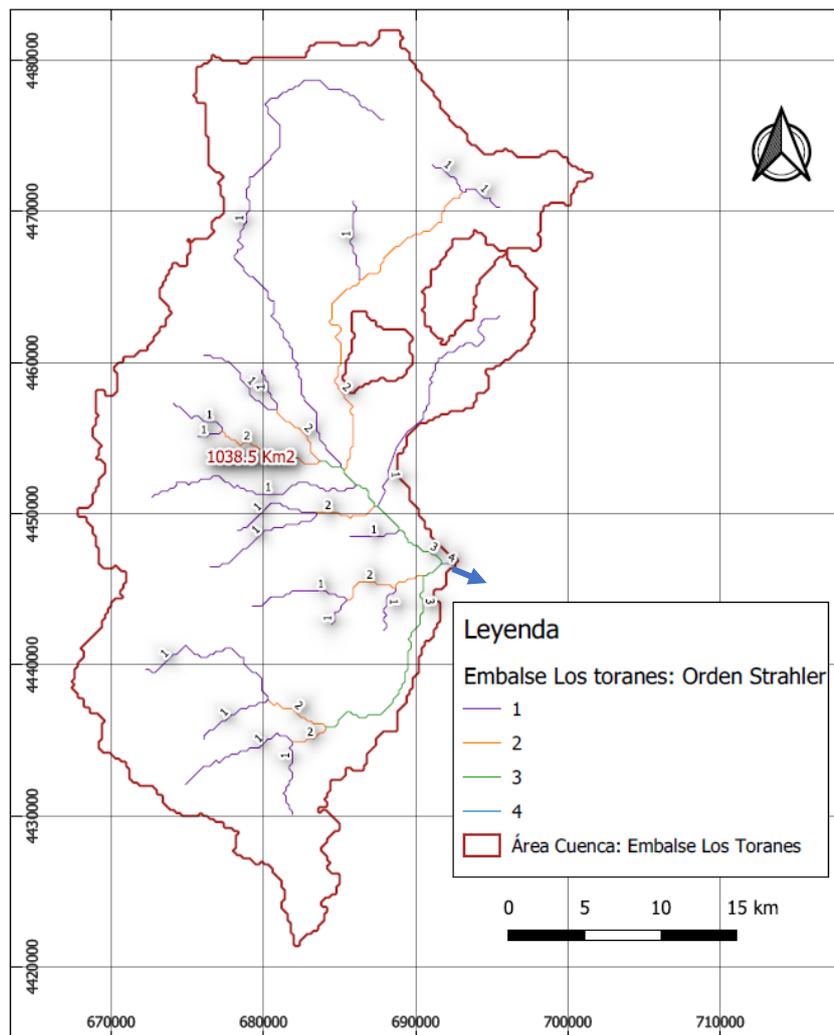


Figura 135. Cuenca Embalse de Los Toranes: Orden de cauces según Strahler (Elaboración propia)

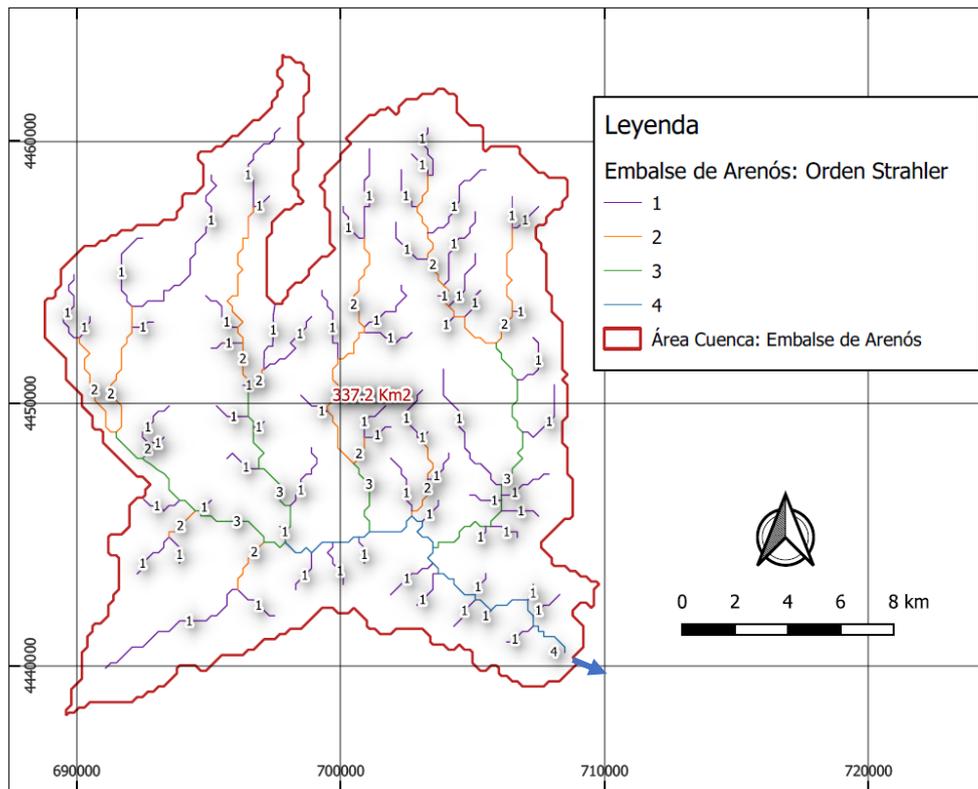


Figura 136. Cuenca Embalse de Arenós: Orden de cauces según Strahler (Elaboración propia)

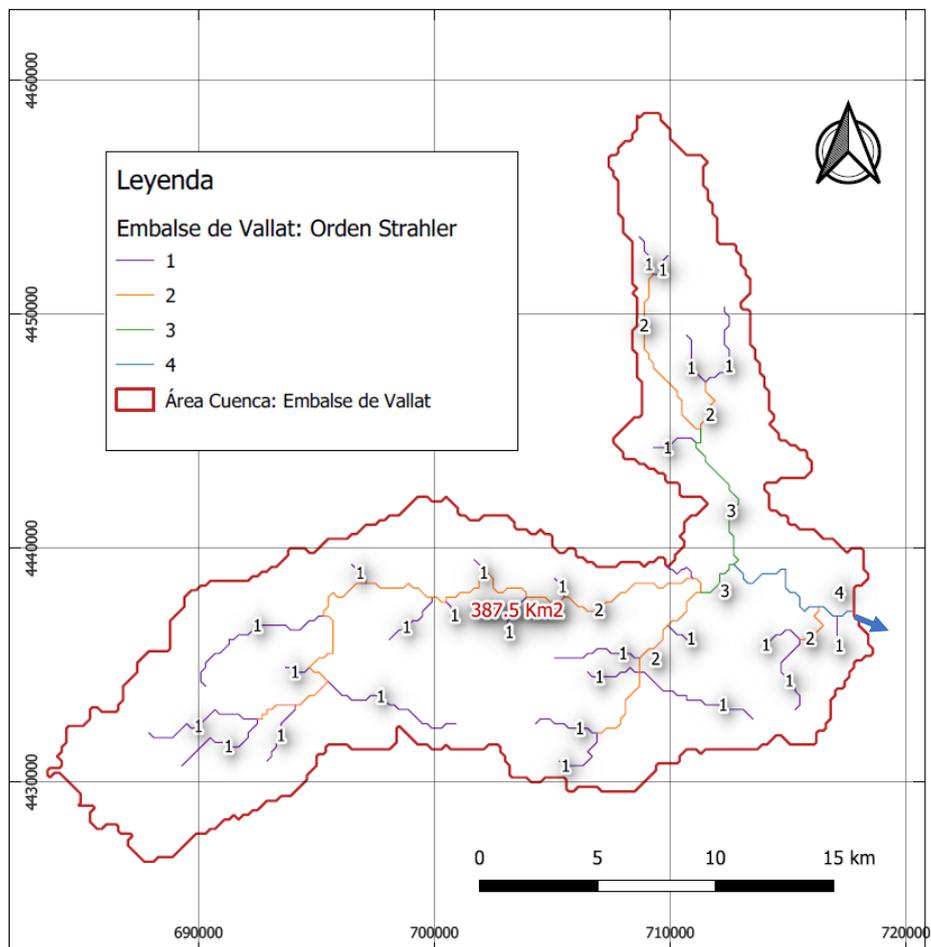


Figura 137. Cuenca Embalse de Vallat: Orden de cauces según Strahler (Elaboración propia)

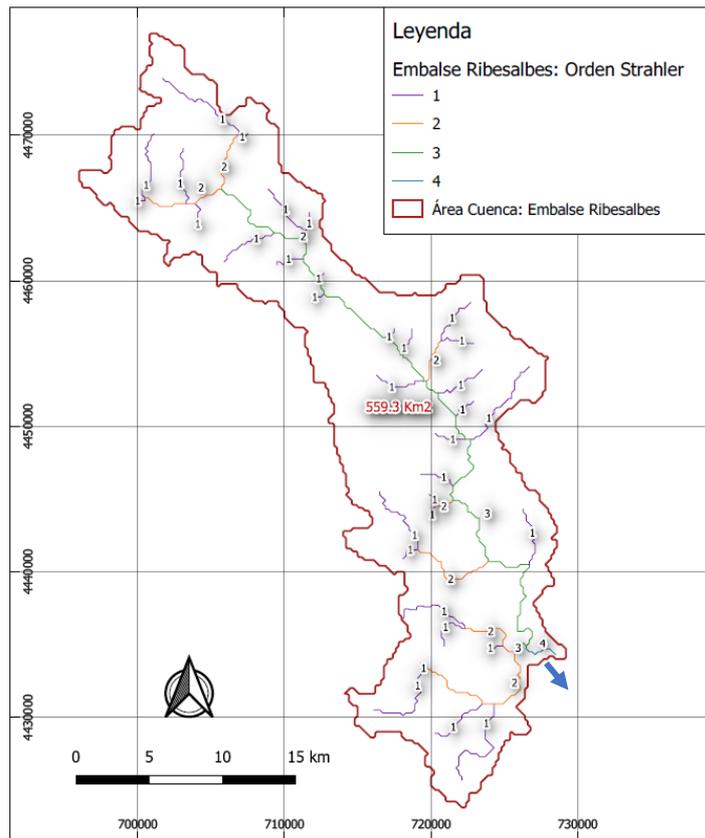


Figura 138. Cuenca Embalse de Ribesalbes: Orden de cauces según Strahler (Elaboración propia)

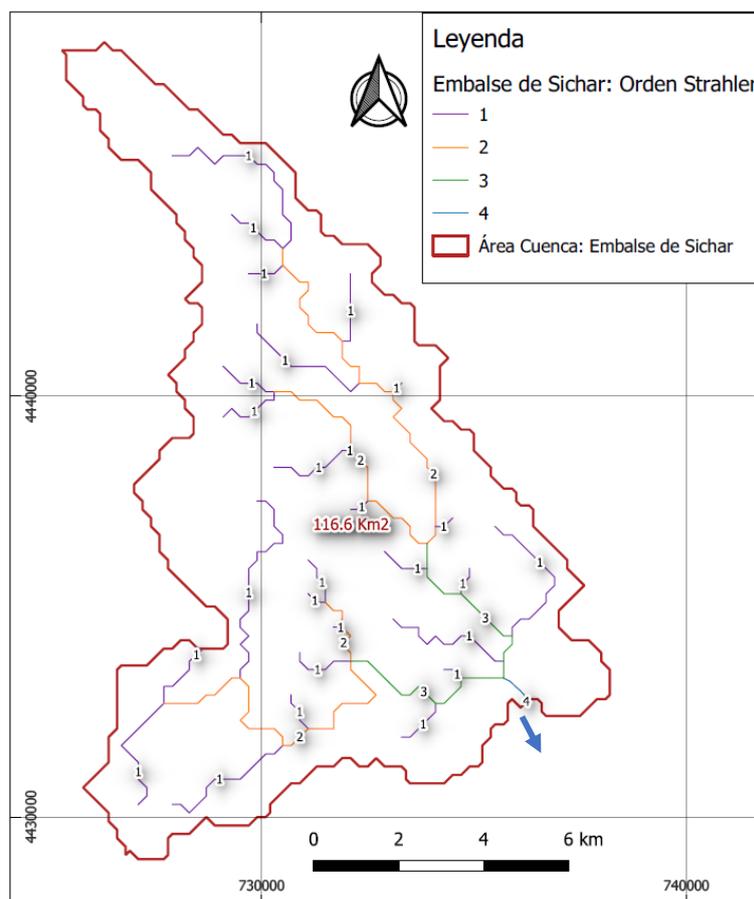


Figura 139. Cuenca Embalse de Sicchar: Orden de cauces según Strahler (Elaboración propia)

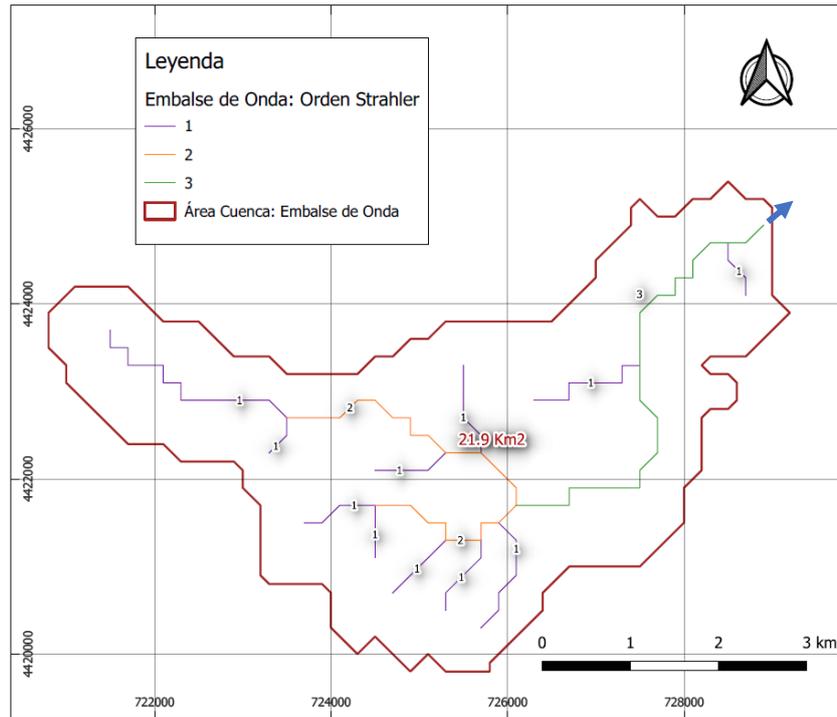


Figura 140. Cuenca Embalse de Onda: Orden de cauces según Strahler (Elaboración propia)

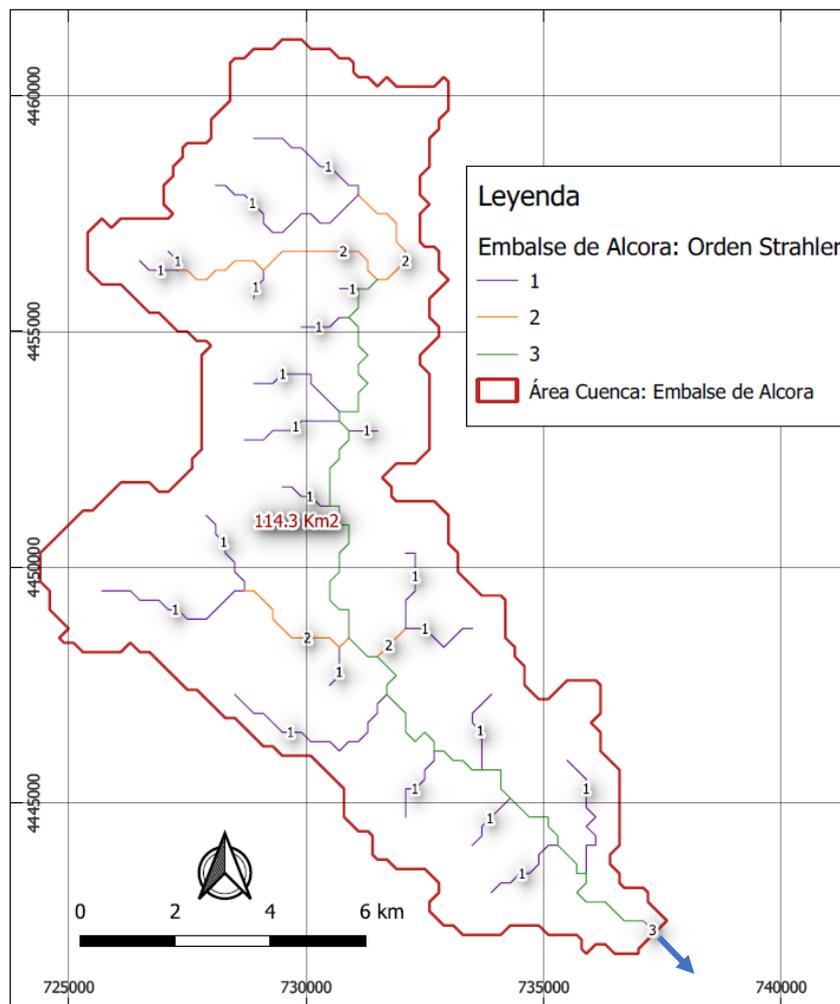


Figura 141. Cuenca Embalse de Alcora: Orden de cauces según Strahler (Elaboración propia)

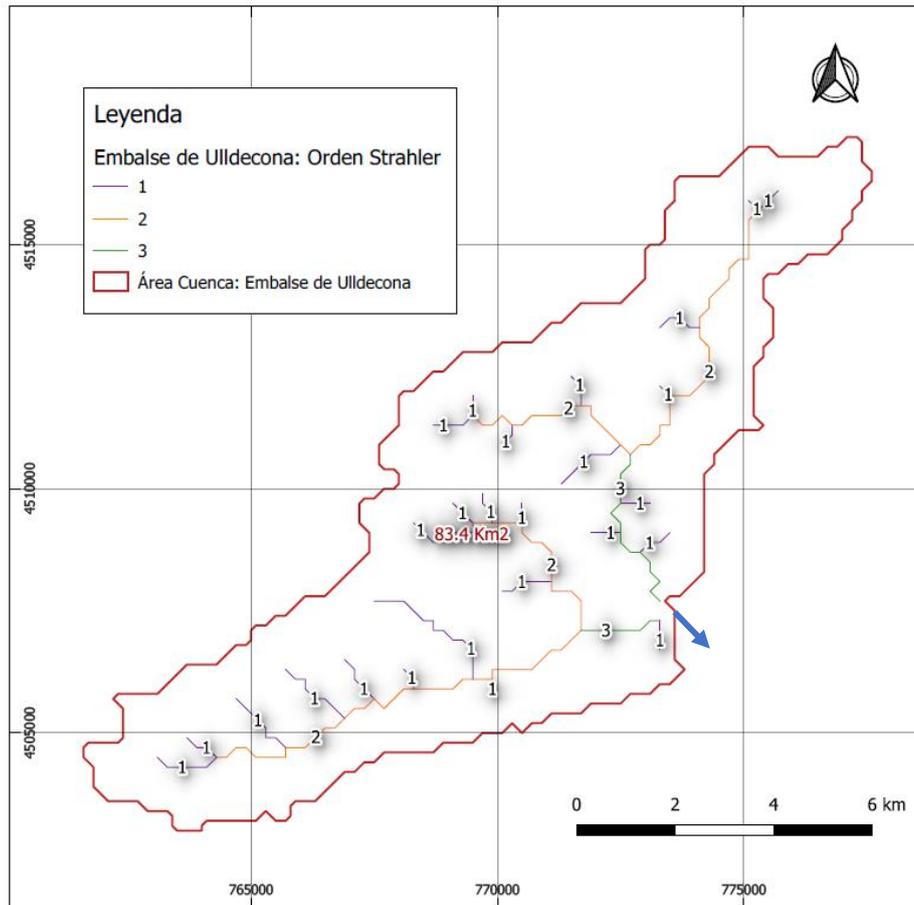


Figura 142. Cuenca Embalse de Uldecona: Orden de cauces según Strahler (Elaboración propia)

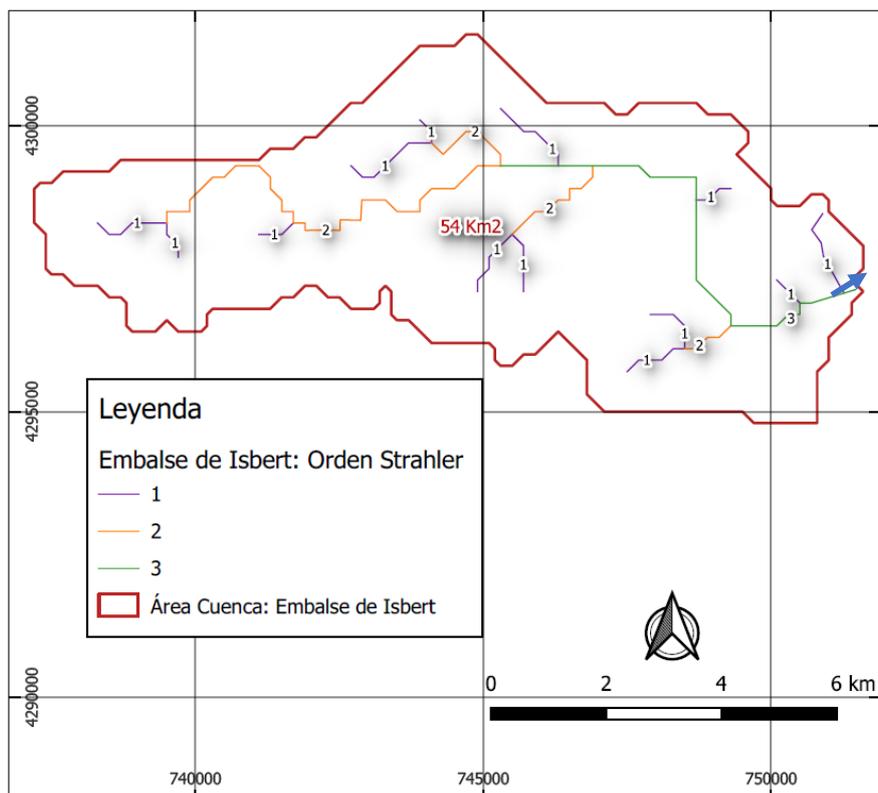


Figura 143. Cuenca Embalse de Isbert: Orden de cauces según Strahler (Elaboración propia)

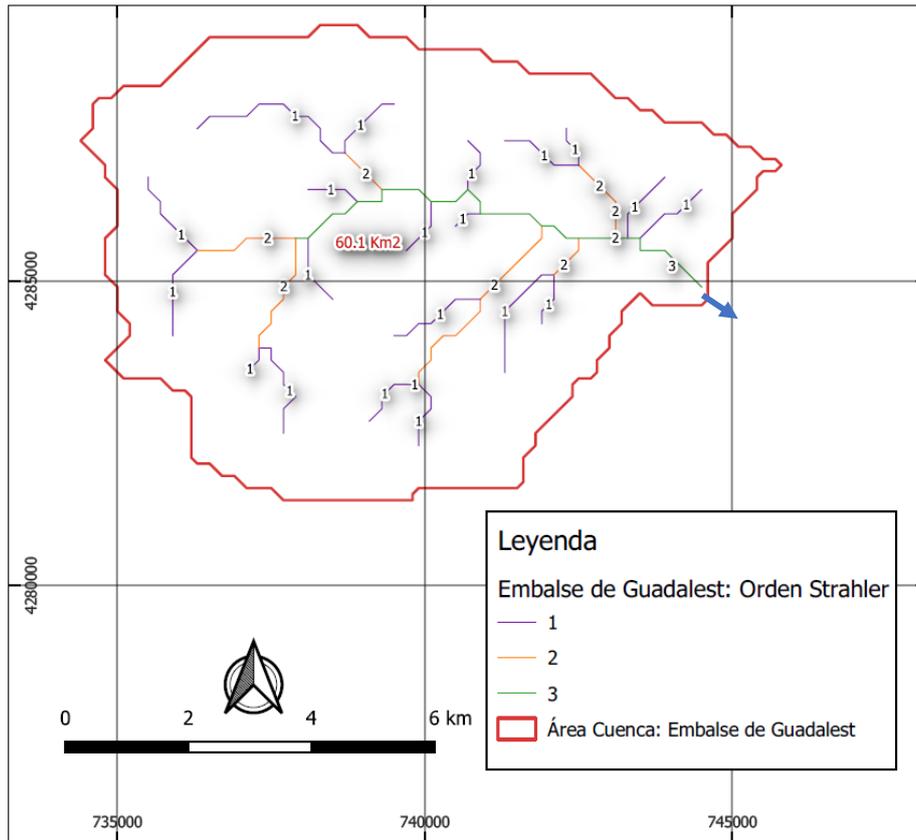


Figura 144. Cuenca Embalse de Guadalest: Orden de cauces según Strahler (Elaboración propia)

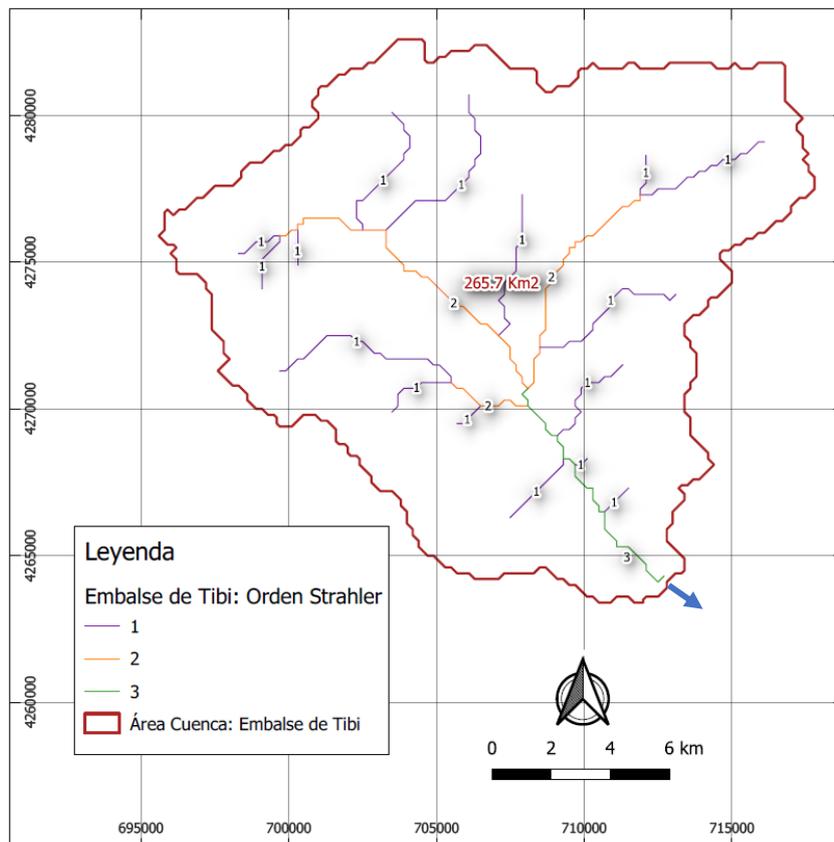


Figura 145. Cuenca Embalse de Tibi: Orden de cauces según Strahler (Elaboración propia)

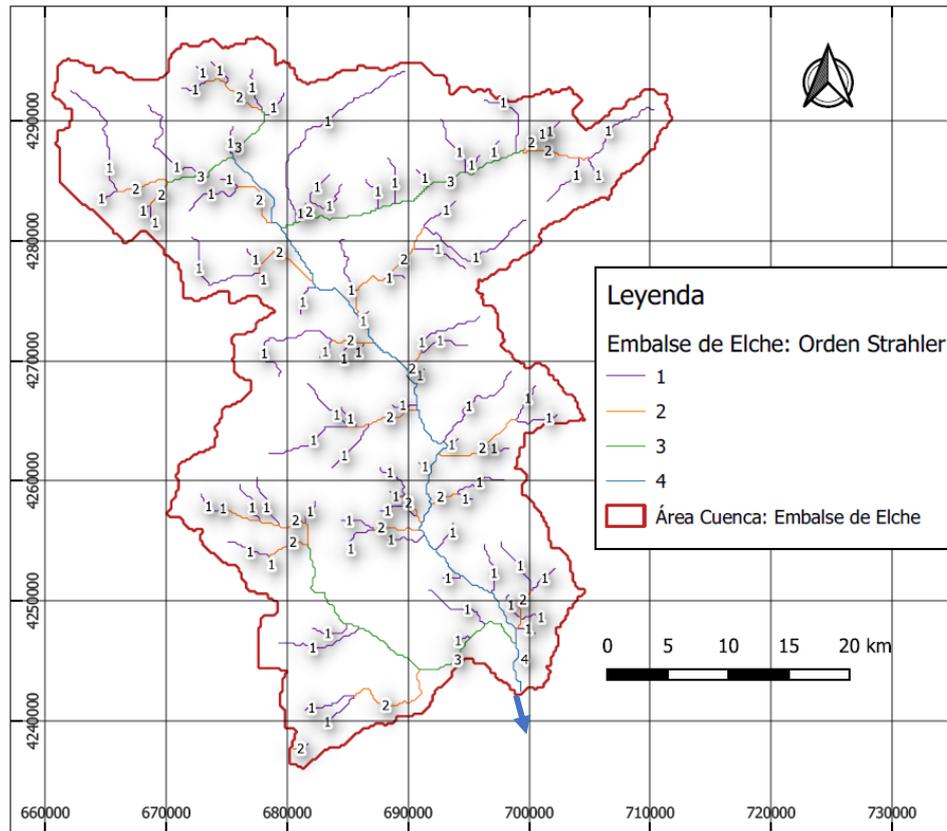


Figura 146. Cuenca Embalse de Elche: Orden de cauces según Strahler (Elaboración propia)

