

Trabajo Fin de Máster

EVALUACIÓN DE LA DEGRADACIÓN ESPECÍFICA Y EMISIÓN DE SEDIMENTOS EN LA CUENCA VERTIENTE AL EMBALSE DE BENIARRÉS (ALICANTE)

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

Autor:

GABRIEL QUIROZ CHACON

Tutor:

DRA. MARÍA LETICIA LÓPEZ SARDÁ

Cotutor:

DR. JOSÉ ANDRÉS TORRENT BRAVO

SEPTIEMBRE, 2018



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

máster en ingeniería
hidráulica y medio ambiente
mihma

Resumen del Trabajo de Fin de Máster

Datos del proyecto

Título del TFM en español: EVALUACIÓN DE LA DEGRADACIÓN ESPECÍFICA Y EMISIÓN DE SEDIMENTOS EN LA CUENCA VERTIENTE AL EMBALSE DE BENIARRÉS (ALICANTE)

Título del TFM en inglés: SPECIFIC SEDIMENT YIELD AND EROSION RATES EVALUATION IN THE DRAINAGE BASIN OF THE BENIARRÉS RESERVOIR (ALICANTE)

Título del TFM en Valenciano: AVALUACIÓ DE LA DEGRADACIÓ ESPECÍFICA I EMISIÓ DE SEDIMENTS EN LA CONCA DRENANT DE L'EMBASSAMENT DE BENIARRÉS (ALACANT)

Alumno: GABRIEL QUIROZ CHACON.

Tutor: DRA. MARÍA LETICIA LÓPEZ SARDÁ

Cotutor/es: DR. JOSÉ ANDRÉS TORRENT BRAVO

Director experimental:

Fecha de Lectura: <SEPTIEMBRE, 2018>

Resumen

En español (máximo 5000 caracteres)

En las últimas décadas la erosión y, la consecuente, emisión de sedimentos a lo largo de la vertiente mediterránea española se ha manifestado como un problema ambiental grave objeto de especial atención. El aterramiento de embalses, producto de la acumulación y sedimentación de altas tasas de suelo removido procedente de las cuencas drenantes, es hoy en día, una de las principales afecciones ambientales que sufren estos cuerpos de agua a nivel mundial, ya que la retención de dichos materiales por las presas, además de disminuir su eficacia en la laminación de avenidas, genera importantes modificaciones en la calidad hidromorfológica de los cauces y en los ecosistemas acuáticos expuestos. Este trabajo constituye una aproximación a la identificación y el

análisis de los procesos erosivos de la cuenca del río Serpis, y la dinámica de aterramiento en el embalse de Beniarrés; el cual ha sido seleccionado por disponer de datos técnicos (estudio batimétrico y sedimentológico realizado por el CEDEX) que han permitido cotejar los resultados del modelo aplicado. Para tal fin, mediante un sistema de información geográfica, se ha estimado la tasa de erosión y pérdida de suelo anual en la cuenca drenante al embalse, seleccionando un método ampliamente utilizado y validado como es el modelo USLE/RUSLE (Universal Soil Loss Equation). Dicho modelo se fundamenta en la estimación de los siguientes parámetros determinantes en el fenómeno de erosión: 1) factor de erosividad o agresividad de las precipitaciones **R**, 2) factor de erosionabilidad de los suelos **K**, 3) factor de longitud de la ladera vertiente / pendiente **LS**, 4) factor de cobertura vegetal y manejo **C**, y 5) factor de prácticas de conservación del suelo **P**. Por otra parte, en vista que el modelo no contempla los procesos de transporte y sedimentación, se ha desarrollado una metodología capaz de considerar estos procesos, para luego, a partir de un análisis integrado, evaluar aquellas zonas más susceptibles a ser erosionadas, comprender la colmatación del embalse e incluir un conjunto de medidas correctoras con el objeto de prolongar su tiempo de vida útil. Los valores de las tasas medias de erosión obtenidos en ambos casos están próximos a 256 tn/km²/año, con un aporte de sedimentos al embalse de 119000 tn/año, de los cuales son retenidos en su vaso el 94% (111865 tn/año).

En valenciano (máximo 5000 caracteres)

En les últimes dècades, l'erosió i la consegüent emissió de sediments al llarg de la vessant mediterrània espanyola s'ha manifestat com un problema ambiental greu objecte d'especial atenció. El soterrament d'embassaments, producte de l'acumulació i sedimentació d'altas taxes de sòl remogut procedent de les conques drenant és, a hores d'ara, una de les principals afeccions ambientals que pateixen aquests cossos d'aigua a nivell mundial, ja que la retenció d'aquests materials en les preses disminueixen la seua eficàcia en la laminació d'avingudes i genera importants modificacions en la qualitat hidro-morfològica de les lleres i en els ecosistemes aquàtics exposats. Aquest treball constitueix una aproximació per la identificació i l'anàlisi dels processos erosius de la conca del riu Serpis, i la dinàmica de soterrament en l'embassament de Beniarrés; el qual ha estat seleccionat per poder disposar de dades tècniques (estudi batimètric i sedimentològic realitzat pel CEDEX) que han permés comparar els resultats del model aplicat. Així

doncs, mitjançant un sistema d'informació geogràfica, s'ha estimat la taxa d'erosió i pèrdua de sòl anual en la conca drenant de l'embassament, seleccionant un mètode àmpliament utilitzat i validat com és el model USLE / RUSLE (Universal Soil Loss Equation). Aquest model es fonamenta en l'estimació dels paràmetres determinants en el fenomen d'erosió: 1) factor d'erosivitat o agressivitat de les precipitacions **R**, 2) factor d'erosionabilitat dels sòls **K**, 3) factor de longitud de la vessant / pendent **LS**, 4) factor de cobertura vegetal i maneig **C**, i 5) factor de pràctiques de conservació del sòl **P**. Tanmateix, donat que el model no contempla els processos de transport i sedimentació, s'ha desenvolupat una metodologia capaç d'analitzar aquests processos, per després, a partir d'una anàlisi integrada, avaluar aquelles zones més susceptibles de ser erosionades, comprendre el curull de l'embassament i incloure un conjunt de mesures correctores amb l'objectiu de perllongar el seu temps de vida útil. Els valors de les taxes mitjanes d'erosió obtinguts en ambdós casos estan pròxims a 256 tones/ km² / any, amb una aportació de sediments a l'embassament de 119000 tones/any, de les quals són retingudes en el seu vas el 94% (111865 tones/any).

En inglés (máximo 5000 caracteres)

In the last decades, erosion and as its consequence the emission of sediments along the Mediterranean coast of the Iberian Peninsula have been a serious environmental problem with need of special attention. Due to accumulation and sedimentation of high soil rates from the draining basins, the silting of reservoirs has even become one of the main environmental issues worldwide. When materials are hold back by dams, their efficacy to laminate flow peaks is reduced and thus modifications are generated in both the river hydromorphological quality and the exposed aquatic ecosystems. This research work is an approach to identify and analyze erosive processes in the *Serpis* river watershed and the dynamics of silting registered in the Beniarrés reservoir. The locations have been chosen for having technical data (bathymetry and sedimentology study made by CEDEX) available which allows to check the results of the applied model. To estimate and quantify the annual erosion rate and soil loss in the catchment area of the *Serpis* river upstream of the reservoir there was used a Geographical Information System (GIS) and applied a widely used and validated method called *USLE model* (Universal Soil Loss Equation). The USLE model is based on the estimation of key parameters in the process of water erosion such as:

1) the rainfall erosivity factor R, 2) the soil erodibility factor K, 3) the slope length and slope steepness factor LS, 4) the cover-management factor C and 5) the support practices factor P. However, this model does not contemplate the processes related to transport and sedimentation. Therefore a methodology has been developed that can evaluate those and further, through an integrated analysis also delimits areas susceptible to erosion, interprets the silting of reservoirs and suggests a set of control measures to prolong their lifetime. The average erosion rate obtained for both cases takes a value close to 256 tn/km²/year, meanwhile the annual amount of sediment reaching the reservoir is 119000 tn/year, of which 94% are trapped inside (111865 tn/year).

Palabras clave español (máximo 5): Erosión de suelos, cuenca vertiente del río Serpis, Ecuación universal de pérdidas de suelo (USLE), aterramiento/colmatación de embalses, Embalse de Beniarrés.

Palabras clave valenciano (máximo 5): Erosió de sòl, conca vessant del riu Serpis, Equació universal de pèrdues de sòl (USLE), soterrament/curull dels embassaments, Embassament de Beniarrés.

Palabras clave inglés (máximo 5): Soil erosion, Serpis river drainage basin, Universal Soil Loss Equation (USLE), silting of reservoirs, Beniarrés reservoir.

INDICE GENERAL

Índice general	1
Índice de figuras	5
Índice de tablas	7
Índice de fotografías	9
INTRODUCCIÓN	10
1 GENERALIDADES	13
1.1 Descripción del problema	13
1.2 Objetivos.....	16
1.2.1 Objetivo principal	16
1.2.2 Objetivos secundarios.....	16
1.3 Justificación.....	16
1.4 Situación geográfica del área de estudio.	17
1.5 Antecedentes	20
2 DESCRIPCIÓN DEL MEDIO FÍSICO	23
2.1 Características generales de la Cuenca.....	23
2.2 Geología.....	26
2.2.1 Marco Tectónico.....	27
2.2.2 Estratigrafía	27
2.2.2.1 Mesozoico.....	28
2.2.2.2 Cenozoico.....	29
2.3 Geomorfología.....	31
2.3.1 Pendientes	33
2.3.2 Orientación de Laderas y Exposiciones	34
2.4 Edafología	34
2.4.1 Tipos de suelos. Clasificaciones	35
2.4.2 Erosión de suelos	42
2.5 Hidrogeología	46
2.5.1 Subsistema Solana – Almirante – Mustalla.....	47
2.5.2 Subsistema de Sierra Mariola.....	48
2.5.3 Subsistema de Sierra Segaria.....	49
2.6 Clima	54
2.6.1 Observatorios meteorológicos y datos climáticos.....	56

2.6.2	Precipitaciones y Temperaturas	58
2.6.3	Vientos. Velocidad y dirección.....	67
2.6.4	Análisis de Sequías	68
2.6.4.1	Índice de Blair	69
2.6.4.2	Clasificación de Bagnouls & Gausсен. Diagramas Ombrotérmicos	70
2.6.4.3	Pluviofactor de Lang	72
2.6.4.4	Índice de aridez de Martonne	72
2.6.4.5	Coeficiente pluviométrico de Emberguer (Q).....	73
2.6.4.6	Índice de aridez de Giacobbe	73
2.6.4.7	Índice de eficacia pluviométrica de Thornthwaite	73
2.6.4.8	Índice de Dantin-Revenga	74
2.6.5	Balances Hídricos	74
2.6.6	Clasificaciones climáticas	81
2.6.6.1	Clasificación agroclimática de Papadakis	82
2.6.6.2	Clasificación climática de Thornthwaite	84
2.6.6.3	Clasificación bioclimática de Rivas-Martínez	85
2.6.6.4	Clasificación fitoclimática de Allué	87
2.6.6.5	Índices de Potencialidad Agrícola y Clasificación Climática de Turc	88
2.6.6.6	Índice de Agresividad Climática de Fournier	91
2.7	Vegetación y Usos del Suelo	92
2.7.1	Vegetación Potencial	93
2.7.2	Vegetación Actual	97
2.7.3	Cultivos.....	99
2.7.4	Otros Usos del Suelo	101
3	HIDROLOGIA FORESTAL	102
3.1	Principales cursos de agua	104
3.1.1	Río Valleseta.....	104
3.1.2	Río Penáguila.....	104
3.1.3	Río Barxell.....	105
3.1.4	Río Agres	105
3.1.5	Río Polop.....	106
3.1.6	Barranco del Troncal.....	107
3.1.7	Río Molinar	107
3.1.8	Barranco del Sofre	108
3.2	Infraestructuras hidráulicas.....	109
3.2.1	Embalse de Beniarrés.....	109
3.2.2	Azudes	111

3.2.3	Hidrotecnias	112
3.3	Características de la Cuenca Hidrográfica	115
3.3.1	Parámetros generales.....	115
3.3.1.1	Área de la cuenca (A)	115
3.3.1.2	Longitud del cauce principal (L), Perímetro (P) y Ancho (W)	116
3.3.1.3	Desnivel altitudinal (DA)	116
3.3.2	Parámetros morfométricos	116
3.3.2.1	Factor de Forma (F).....	116
3.3.2.2	Coeficiente de Gravelius	116
3.3.2.3	Rectángulo equivalente	117
3.3.3	Parámetros de relieve.....	117
3.3.3.1	Pendiente media del cauce (j)	117
3.3.3.2	Pendiente promedio de la cuenca (J)	117
3.3.3.3	Curva hipsométrica.....	117
3.3.3.4	Histograma de frecuencias altimétricas	119
3.3.3.5	Altura media (H).....	120
3.3.4	Características de la red de drenaje	120
3.3.4.1	Perfil longitudinal del río Serpis	120
3.3.4.2	Orden jerárquico de la red fluvial	121
3.3.4.3	Densidad del drenaje.....	121
3.4	Unidades hidrológicas.....	122
4	METODOLOGÍA	124
4.1	Revisión y recopilación de información.	124
4.2	Caracterización de la zona	126
4.3	Hidrología de la cuenca	128
4.4	Tasa de erosión anual - Modelo USLE	129
4.5	Producción y Transporte de sedimentos	136
4.6	Medidas de control de la erosión y sedimentación	138
5	EMISIÓN DE SEDIMENTOS	139
5.1	Modelos de erosión ajustados a SIG.....	139
5.2	Aplicación del Modelo USLE	140
5.2.1	Factor R.....	140
5.2.2	Factor K.....	141
5.2.3	Factor LS.....	143
5.2.4	Factor C.....	143
5.3	Pérdida anual de suelo	145
5.4	Producción anual de sedimentos.....	153

6	TRANSPORTE DE SEDIMENTOS.....	156
6.1	Datos disponibles en el embalse	158
6.2	Volumenes acumulados. Medida del aterramiento	159
6.3	Densidad de los depósitos acumulados en el embalse	159
6.4	Eficiencia de retención de sedimentos	161
6.5	Degradación específica de la cuenca vertiente al embalse.....	164
6.5.1	Método de estimación directo.....	164
6.5.2	Estimación indirecta. Coeficiente de entrega (<i>SDR</i>).....	165
6.6	Vida útil del embalse	167
7	MEDIDAS DE CONTROL DE LA SEDIMENTACIÓN	169
7.1	Soluciones directas	169
7.2	Soluciones indirectas	172
7.2.1	Ordenación de la cuenca.....	173
7.2.2	Restauración hidrológico-forestal	178
8	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	183
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	189

ANEXOS

Mapa 1. Mapa de Ubicación y Emplazamiento.

Mapa 2. Mapa Topográfico.

Mapa 3. Mapa Altimétrico.

Mapa 4. Mapa Geológico.

Mapa 5. Mapa Litológico.

Mapa 6. Mapa Geomorfológico.

Mapa 7. Mapa de Pendientes.

Mapa 8. Mapa de Orientación de Laderas.

Mapa 9. Mapa de Exposiciones.

Mapa 10. Mapa Edafológico.

Mapa 11. Mapa Hidrogeológico.

Mapa 12. Mapa de Vegetación y Cultivos.

Mapa 13. Mapa de Usos del Suelo.

Mapa 14. Mapa Hidrográfico y Unidades Hidrológicas.

Mapa 15. Mapa de Estados Erosivos.

Mapa 16. Mapa de Actuaciones y medidas. Ordenación Hidrológico-Forestal.

Mapa 17. Mapa de Hidrotecnias de Corrección de Cauces.

INDICE DE FIGURAS

- Figura 1. Capacidad inicial y volúmenes de aterramiento (2003, 2.025 y 2.050) en embalses de diferentes cuencas hidrográficas españolas.
- Figura 2. Localización geográfica del área de estudio.
- Figura 3. Sistema de explotación Serpis.
- Figura 4. Cabecera del río Serpis y su paso por el municipio de Alcoy.
- Figura 5. Esquema geológico simplificado de los materiales presentes en la cuenca de drenaje del río Serpis.
- Figura 6. Esquema tectónico y unidades estructurales de la zona.
- Figura 7. Modelo digital del terreno de la cuenca de drenaje del río Serpis.
- Figura 8. Abanicos aluviales y depósitos fluviales asociados al río Serpis en Muro de Alcoy.
- Figura 9. Erosión laminar y en cárcavas (INES).
- Figura 10. Movimientos en masa (erosión en profundidad) en la zona (INES).
- Figura 11. Erosión eólica en la cuenca del Serpis (INES).
- Figura 12. Erosión en cauces en la cuenca del Serpis (INES).
- Figura 13. Subsistema Solana – Almirante – Mustalla.
- Figura 14. Subsistema de Sierra Mariola.
- Figura 15. Acuífero Almudaina-Alfaro-Mediodía-Segaria.
- Figura 16. Masas de agua subterráneas y tipología de la relación río-acuífero en el río Serpis, tramos alto y medio de la cuenca.
- Figura 17. Zonas climáticas de la Comunidad Valenciana según Pérez Cueva.
- Figura 18. Estaciones meteorológicas representativas presentes en el área de estudio.
- Figura 19. Zonas ombroclimáticas de la Comunidad Valenciana.
- Figura 20. Mapa de isoyetas. Precipitaciones medias anuales.
- Figura 21. Gráfico de precipitación total mensual en las 4 estaciones seleccionadas.
- Figura 22. Gráfico de precipitaciones máximas en 24 horas.
- Figura 23. Zonas termoclimáticas de la Comunidad Valenciana.
- Figura 24. Gráficos de temperatura de las estaciones Albaida 'El Clau', Beniatjar Les Planes, Alcolecha y Alcolecha.
- Figura 25. Climograma de Gausson de las estaciones norte y surde la cuenca.
- Figura 26. Gráfico balance hídrico de estación Albaida 'El Clau'.
- Figura 27. Gráfico balance hídrico de estación Beniatjar Les Planises.
- Figura 28. Gráfico balance hídrico de estación Alcolecha.

- Figura 29. Gráfico balance hídrico de estación Alcoy.
- Figura 30. Clasificación agroclimática de Papadakis para la comarca agraria Montaña (Alicante).
- Figura 31. Mapa de Subregiones Fitoclimáticas (Allué).
- Figura 32. Índices de potencialidad agrícola de Turc para la Comunidad Valenciana.
- Figura 33. Gráfico de porcentajes ocupados por los principales uso del suelo en la zona.
- Figura 34. Series de vegetación potencial presentes en la cuenca del Serpis.
- Figura 35. Superficie ocupada (%) por cada unos los tipos de vegetación en la cuenca.
- Figura 36. Distribución superficial de los diversos tipos de cultivos.
- Figura 37. Área ocupada por las superficies artificiales presentes en la cuenca.
- Figura 38. Peligrosidad de inundación en el río Serpis según PATRICOVA.
- Figura 39. Planos de la Presa de Beniarrés.
- Figura 40. Entradas y salidas de agua al embalse de Beniarrés
- Figura 41. Volúmenes embalsado en el pantano de Beniarrés.
- Figura 42. Ubicación de los azudes presentes en la zona de estudio.
- Figura 43. Ubicación de los diques transversales a los cauces.
- Figura 44. Características y datos medibles en diques.
- Figura 45. Histograma de frecuencias de las pendientes en la zona.
- Figura 46. Curva hipsométrica de la cuenca del Serpis.
- Figura 47. Histograma de frecuencias altimétricas.
- Figura 48. Perfil Longitudinal del río Serpis, hasta la presa de Beniarrés.
- Figura 49. Orden de la red de drenaje según el sistema de Strahler.
- Figura 50. Esquema de la metodología aplicada en la investigación.
- Figura 51. Cambios en la erosión y sedimentación en función de la morfología de la pendiente.
- Figura 52. Datos de entrada del modelo USLE para la determinación de los factores de la ecuación.
- Figura 53. Mapa del Factor R del modelo USLE.
- Figura 54. Mapa del Factor K del modelo USLE.
- Figura 55. Mapa del Factor LS del modelo USLE.
- Figura 56. Mapa del Factor C del modelo USLE.
- Figura 58. Algebra de Mapas. Producto de los factores de la Ecuación USLE.
- Figura 58. Modelo digital del terreno con la representación de los estados erosivos.
- Figura 59. Eficiencia de retención de sedimentos.

- Figura 60. Factor de entrega en función del área de la cuenca en km.
Figura 61. Mapa reclasificado de pendientes (%).
Figura 62. Mapa reclasificado de vegetación.
Figura 63. Mapa reclasificado de estados erosivos.
Figura 64. Actuaciones y medidas en los montes gestionados por la Administración.

INDICE DE TABLAS

- Tabla I. Municipios incluidos en el tramo alto y medio de la cuenca de drenaje del río Serpis.
Tabla II. Superficie de las subcuencas presentes en la cuenca de drenaje del río Serpis.
Tabla III. Tipos de suelos presentes en la cuenca de drenaje del río Serpis.
Tabla IV. Equivalencia entre las clasificaciones de suelos Soil Taxonomy y FAO.
Tabla V. Superficie total de las masas de agua subterráneas en la cuenca de estudio. Características hidráulicas y tipos litológicos dominantes.
Tabla VI. Recurso renovable y renovable zonal por masa de agua subterránea (Hm³/año).
Tabla VII. Presiones significativas en las masas de agua subterráneas de la cuenca del río Serpis.
Tabla VIII. Estaciones pluviométricas en el ámbito de estudio.
Tabla IX. Estaciones termopluviométricas en el ámbito de estudio.
Tabla X. Precipitaciones medias mensuales y anuales en las estaciones meteorológicas presentes en el ámbito de estudio.
Tabla XI. Pluviometría estacional y total en las estaciones seleccionadas.
Tabla XII. ETP estacional y total en las estaciones seleccionadas.
Tabla XIII. Precipitaciones máximas en 24 horas.
Tabla XIV. Temperaturas medias mensuales y anuales.
Tabla XV. Parámetros de temperatura de las estaciones termopluviométricas seleccionadas.
Tabla XVI. Frecuencias de dirección del viento (%).
Tabla XVII. Velocidades medias del viento (km/h).
Tabla XVIII. ETP Thornthwaite. Medias mensuales por estación y anual (mm/año).
Tabla XIX. Caracterización de las sequías mediante el Índice de Blair.
Tabla XX. Índice de Lang de las estaciones seleccionadas.
Tabla XXI. Clasificación climática según el índice de aridez de Martonne.

- Tabla XXII. Coeficiente de Emberguer y tipo de clima.
- Tabla XXIII. Índice de Giacobbe y tipo de clima asociado.
- Tabla XXIV. Índice de Dantin-Revenge.
- Tabla XXV. Capacidad de campo según el tipo de suelo y cultivo.
- Tabla XXVI. Balance hídrico estación Albaida 'El Clau'.
- Tabla XXVII. Balance hídrico estación Beniatjar Les Planises.
- Tabla XXVIII. Balance hídrico estación Alcolecha.
- Tabla XXIX. Balance hídrico estación Alcoy.
- Tabla XXX. Clasificación climática de Papadakis.
- Tabla XXXI. Clasificación climática de Thornthwaite.
- Tabla XXXII. Índices bioclimáticos de Rivas-Martínez.
- Tabla XXXIII. Clasificación bioclimática de Rivas-Martínez.
- Tabla XXXIV. Clasificación fitoclimática de Allúe Andrade.
- Tabla XXXV. Índice de potencialidad agrícola de Turc en regadío.
- Tabla XXXVI. Índice de potencialidad agrícola de Turc en secano.
- Tabla XXXVII. Clasificación climática de Turc.
- Tabla XXXVIII. Clasificación según el índice de Fournier.
- Tabla XXXIX. Etapas de regresión y bioindicadores de las series 22b. y 22a.
- Tabla XL. Ficha técnica de la Presa de Beniarrés.
- Tabla XLI. Características de los diques construidos en la zona.
- Tabla XLII. Datos usados para la elaboración de la curva hipsométrica.
- Tabla XLIII. Unidades hidrológicas definidas en la cuenca.
- Tabla XLIV. Factor K según las litologías.
- Tabla XLV. Factor C para los usos de suelo presentes en la zona de estudio según el Proyecto Corine Land Cover.
- Tabla XLVI. Umbrales y grados de erosión establecidos en el mapa de niveles erosivos.
- Tabla XLVII. Producción específica y total de sedimentos en las unidades hidrológicas.
- Tabla XLVIII. Resultados del estudio batimétrico elaborado en el embalse de Beniarrés.
- Tabla IL. Valores de densidad inicial y K para diferentes estados de los sedimentos en embalses.
- Tabla L. Porcentajes en las fracciones de arena, limo y arcilla de los sedimentos del embalse de Beniarrés.
- Tabla LI. Datos para determinar los ratios C/I.

Tabla LII. Vocación del suelo a partir del % de la pendiente.

Tabla LIII. Modelo Usle para la ordenación de cuencas.

INDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografías 1. Afloramientos de rocas calcáreas del Terciario en el Municipio de Alcoy.

Fotografías 2. Formas de relieve características de la cuenca del Serpis.

Fotografías 3. Tipos de suelos presentes en la zona de estudio clasificados bajo la *Soil Taxonomy*.

Fotografías 4. Vegetación actual presente en la cuenca del Serpis.

Fotografías 5. Vistas generales del río Serpis.

Fotografía 6. Río Valleseta tras su paso por el T.M. Cocentaina previo a la confluencia con el río Serpis.

Fotografía 7. Río Penáguila o Frainos tras su paso por el T.M. Benilloba.

Fotografía 8. Río Barxell o Riquer tras su paso por el Puente de Cervantes en el T.M. Alcoy.

Fotografía 9. Río Agres en el Término Municipal de Agres.

Fotografía 10. Río Polop en el Término Municipal de Alcoy.

Fotografía 11. Barranco del Troncal en el Término Municipal de Alcoy

Fotografía 12. Río Molinar en el Término Municipal de Alcoy.

Fotografía 13. Barranco del Sofre próximo a la desembocadura al pantano de Beniarrés, en el Municipio Planes.

Fotografía 14. Embalse y presa de Beniarrés.

Fotografía 15. Diques construidos en la cuenca del Serpis, aguas arriba del embalse de Beniarrés.

INTRODUCCIÓN

En la cuenca Mediterránea, la erosión del suelo es un fenómeno cada vez más preocupante por constituir una importante amenaza para el mantenimiento de sistemas agrícolas y ambientales. Diversos estudios han demostrado que la erosión no sólo ha provocado significativas pérdidas de suelo reflejadas en la disminución de zonas cultivables, ya que el aterramiento de los vasos receptores de embalses es un claro indicador palpable y cuantificable, de la degradación ambiental e impacto en los recursos hídricos de cuencas vertientes.

Por este motivo la gestión de las aguas superficiales tiene particular enfoque en la lucha contra la desertificación. A pesar de esto, el carácter discontinuo del fenómeno erosivo, asociado a la ocurrencia de intensas precipitaciones, en algunos casos esporádicas, genera una percepción intermitente por parte de la sociedad, pese a que, cuando suceden episodios catastróficos se exigen respuestas inmediatas a la administración.

En España, la erosión afecta a gran número de ríos regulados, por lo tanto, la colmatación de embalses representa un problema ambiental de primer orden. Ya a principios de los años 90, se calculaba en torno al 20% la reducción media de la capacidad útil de los embalses del territorio nacional (CODA 1993, en Martínez Salvador, *et al.*, 2015).

Sí a esto se suman las predicciones del escenario de cambio climático global que señalan un incremento de la aridez en toda la región mediterránea, la problemática adquiere mayor interés. En esta zona se estima para finales del siglo XXI, un incremento de temperatura superior a la media global, más pronunciada en verano que en invierno. La región Mediterránea sufrirá durante los meses invernales aumentos medios de temperatura de 3.8 °C y disminuciones medias de precipitación de 12%; en meses estivales se estiman en 6.0 °C el aumento medio de temperatura y reducciones medias de precipitación de 24 %. Además habrá un aumento de los extremos relacionados con las precipitaciones de origen tormentoso, las cuales son las que verdaderamente impulsan los procesos de erosión más pronunciados (IPCC, 2013).

El aumento de la temperatura produciría un incremento en la evapotranspiración, que derivaría en un grave déficit hídrico y el efecto negativo en la cubierta vegetal, la cual es la principal defensa contra la erosión hídrica.

En conclusión, las regiones semiáridas mediterráneas se exponen a un escenario con alta probabilidad de ocurrencia, donde se producirá un aumento de la erosión hídrica; hecho que hace imprescindible la disposición de modelos eficaces capaces de identificar las áreas vulnerables y predecir el resultado de posibles medidas correctoras.

Por otra parte, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) constituyen una potente y eficaz herramienta en la modelización de los procesos de erosión hídrica, ya que además de determinar cuantitativa y cualitativamente la magnitud y distribución espacial de la pérdida de suelo, son capaces de evaluar el transporte del material removido a través de la cuenca vertiente. Todo esto, aporta de manera muy significativa, valiosa información sobre las zonas más vulnerables a la erosión y las causas que la originan, destacando entre estas, el abandono de cultivos y la deforestación. A pesar de que la erosión se considera como un proceso natural, el manejo inadecuado y uso intensivo de los suelos agrícolas, aunado a la deforestación han acelerado de manera alarmante los procesos de degradación del paisaje.

La metodología más usada para este fin es el modelo USLE (Universal Soil Loss Equation), planteado por Wischmeier y Smith (1978), ya que suministra una estimación de las partículas del suelo susceptibles a ser removidas y por tanto, determina aquellas zonas más propensas a la erosión, sin embargo, no incluye la dinámica relacionada al transporte y posterior sedimentación de los materiales.

Dicho modelo trabajado a lo largo de veinte años, se ha desarrollado mediante datos recolectados de más de 10000 ensayos de erosión en parcelas y pequeñas cuencas vertientes en 46 estaciones ubicadas en la Gran Llanura Norteamericana (Saldaña, *et al.*, 2014). A pesar de haber sido creado y calibrado en Estados Unidos, la ecuación USLE representa el modelo más aceptado y aplicado para la estimación anual de la erosión hídrica potencial de los suelos a nivel mundial, adaptándose en función de las condiciones climáticas, edafológicas y topográficas particulares de las diversas zonas geográficas del planeta.

El presente estudio tiene como principal objetivo aplicar el modelo USLE, para predecir la erosión hídrica en la cuenca vertiente del embalse de Beniarrés (río Serpis, tramos superior y medio) y cotejar los resultados (pérdida y producción de sedimentos, aportes sólidos y degradación de la cuenca) con los obtenidos a partir de datos batimétricos y registros sedimentológicos de dicho embalse, presentes en los informes técnicos realizados por el CEDEX. Los análisis permitirán sugerir un conjunto de medidas óptimas y factibles a ser aplicadas tanto en la cuenca drenante (medidas indirectas), como en el propio embalse (medidas directas), con el objeto de disminuir la cantidad de sedimento emitido anualmente y prolongar el tiempo de vida útil del embalse de Beniarrés. Adicionalmente, toda la información se complementará a través de la cartografía temática generada y se zonificarán aquellas regiones más susceptibles, emisoras de partículas de suelo removido.

1 GENERALIDADES

1.1 Descripción del problema

El mantenimiento de presas, al igual que la sedimentación de los embalses asociados, son temas que, a pesar de ser muy relevantes, no despiertan excesivo interés. En los Congresos Internacionales de ICOLD únicamente se ha profundizado en el aterramiento de embalses en tres ocasiones (años 1951, 1982 y 2009) y en las Jornadas Españolas de Presas sólo en dos (1996 y en 2010).

Algunos proyectos de infraestructuras hidráulicas han pasado por alto la emisión de sedimentos desde cuencas drenantes, así como la posterior movilización de dicho material. Esto ha resultado en diseños inadecuados e incapaces de controlar la sedimentación, especialmente en cuencas con altas tasas de pérdida de suelos (Herrero, 2016).

Los efectos más marcados del aterramiento de embalses son la disminución en el volumen de almacenamiento de agua; los problemas de estabilidad en las obras hidráulicas ubicadas aguas abajo y asociados a la retención de sedimentos en los vasos receptores; los cambios de la pendiente longitudinal del cauce, la alteración del transporte de nutrientes y materia orgánica, la eutrofización y la limitación en el uso recreativo de los embalses.

De acuerdo al Inventario de Presas Españolas de 1991, los embalses ocupaban unos 2800 km² de superficie total y un volumen de 54600 Hm³. En el año 2000, según los datos publicados en el Libro Blanco del Agua en España, el volumen total de almacenamiento ascendía a 56000 Hm³. A día de hoy, se ha evaluado la disminución de capacidad por colmatación en 109 embalses del territorio nacional, con un volumen de almacenamiento de 17000 Hm³ (30,35% del total) y cuyas cuencas vertientes significan el 45% del área total del país (220200 km² de 505956 km²).

De un total de 51653 Hm³ de capacidad, según las estimaciones de los años 2003 y 2025, se habrían perdido por aterramiento 4335 Hm³ y 6385 Hm³, respectivamente; por lo tanto, el volumen de material acumulado en 22 años sería de 2050 Hm³ con tasa media anual de 93.2 Hm³/año. De igual manera para el escenario 2025 – 2050, el volumen de sedimento acumulado en esos 25 años sería de 2458 Hm³ (98.32 Hm³/año) ya que para el año 2050 se habría reducido el almacenamiento de los

embalse 8843 Hm³ (Figura 1). Según estas previsiones, desde el 2003 hasta el 2050, el volumen de sedimentos se duplicará en 47 años (Cobo, 2008).

La sedimentación no ocurre en todos los embalse con la misma intensidad, no obstante la pérdida media anual de la capacidad de los embalses españoles se estima en un 0,5% (en un estudio de 50 años). El Libro Blanco del Agua en España da una pérdida anual media de la capacidad, en torno a 0,16%, respecto del volumen inicial.

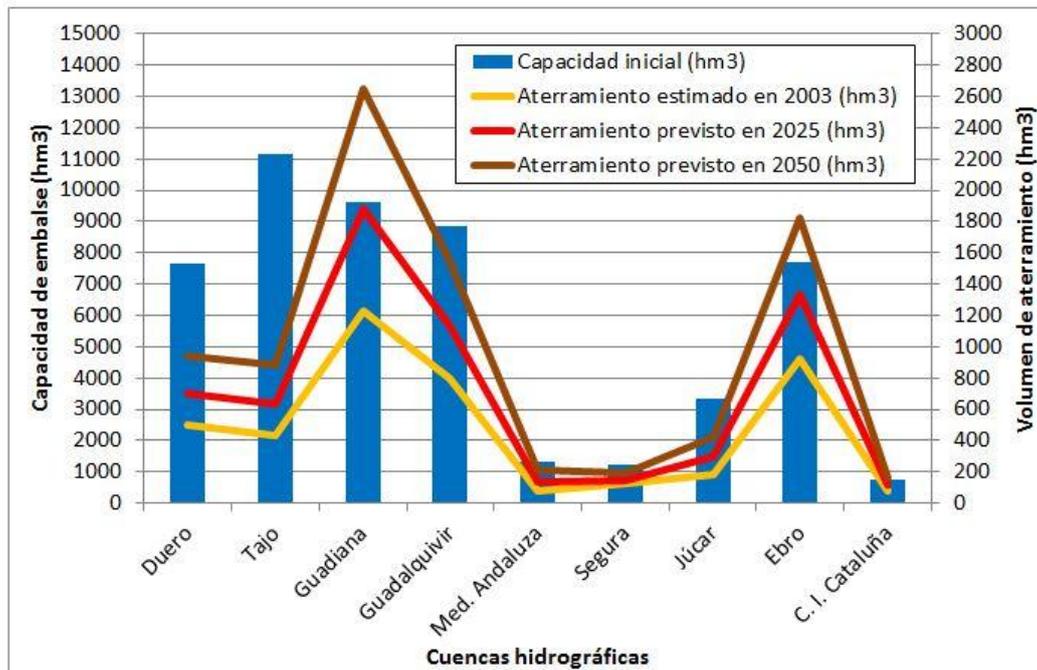


Figura 1. Capacidad inicial de los embalses y volúmenes de aterramiento estimados en 2003 y para los escenarios 2025 y 2050, en diferentes cuencas hidrográficas españolas. Fuente: Herrero, 2016.

Esto depende de muchos factores, siendo los más importantes aquellos externos al propio embalse, es decir, los referidos a la naturaleza del terreno de la cuenca vertiente. La erosión es la encargada de producir la mayor proporción de sedimentos, y este problema ha aumentado progresivamente en la vertiente mediterránea. A esto hay que sumar la mala gestión agraria y ambiental, que agrava los procesos erosivos, con la consecuente pérdida de potencial biológico de los suelos.

La deforestación generalizada de nuestros bosques, la erosión y degradación de los suelos, y las prácticas agrícolas, son causas que se fortalecen de forma recíproca y conducen al territorio valenciano a una desertificación acelerada.

Las causas primarias de la desertificación derivan fundamentalmente de las actuaciones en los recursos frágiles, potenciadas por situaciones climáticas y topográficas desfavorables. En la Comunidad Valenciana entre los factores climáticos

negativos destacan la elevada evapotranspiración que da lugar a déficits hídricos en el suelo, las escasas precipitaciones, mal distribuidas y en ciertos casos torrenciales, y las sequías intermitentes. Entre los factores desfavorables topográficos cabe señalar la abundancia de zonas montañosas con suelos escasamente retenidos por la reducida cubierta vegetal y la extensión de materiales geológicos intrínsecamente erosionables. La conjunción de estos factores físicos, climáticos y humanos, es perjudicial en cuanto a su capacidad para afectar la estabilidad y productividad de ecosistemas frágiles, que poseen una reducida capacidad de regeneración.

A lo largo de la historia de la Comunidad Valenciana hay indicios de períodos críticos en los que la degradación del medio físico se vio incrementada fundamentalmente por la erosión de los suelos. Los datos históricos, el análisis de sedimentos y otras observaciones indirectas parecen indicar ciclos con incrementos en la tasa de erosión que coincidirían con graves crisis agroforestales y abandono de cultivos. Actualmente, el grado de erosión de los suelos de la Comunidad Valenciana es alarmante. Se señala de forma aproximada que más de la mitad de su superficie se encuentra gravemente erosionada.

El proceso iniciado con la disminución de las producciones conlleva una obtención de escasos bienes económicos, que no favorece la conservación ni el mantenimiento sino el abandono progresivo. A nivel ejecutivo existen diferentes organismos y servicios con competencias y jurisdicciones distintas, pero que aún funcionan con falta de comunicación entre ellos. También existe una desconexión comunicacional entre el nivel administrativo y el rural, originado por la falta de concienciación general sobre el valor del suelo.

El fenómeno erosivo adquiere singular importancia en las zonas áridas y semi-áridas, como es el caso de la provincia de Alicante, en donde el régimen de lluvias no favorece la permanencia de una capa vegetal estable. Además, la extensión de los cultivos y el empleo de técnicas agrícolas inadecuadas, como el arado de laderas en el sentido de la pendiente, o el laboreo excesivo del terreno unido a la irrigación en manto, lleva a la destrucción de la estructura del suelo y a su pérdida. En parcelas con cultivo extensivo de secano: vid, almendro, olivo y cereal, el proceso erosivo, por poco perceptible que sea y poca concienciación que exista, es igualmente importante. Ahora bien, teniendo en cuenta que aproximadamente el 50% de la superficie en la

Comunidad Valenciana es de carácter forestal, en dicho ámbito el problema de la erosión alcanza niveles más preocupantes, debido a la orografía adversa y la torrencialidad del régimen pluviométrico.

1.2 Objetivos

Los objetivos de la presente investigación son los siguientes:

1.2.1 Objetivo principal

Evaluar cuantitativamente la degradación específica de la cuenca vertiente al embalse de Beniarrés y valorar el proceso de aterramiento de dicho embalse, acelerado por el efecto de los sedimentos emitidos, transportados y acumulados en el fondo.

1.2.2 Objetivos secundarios

- Caracterizar los principales aspectos hidrológicos, climáticos, geológicos y forestales en la cuenca de estudio.
- Estimar la erosión media anual en la cuenca usando la Ecuación de Pérdida Anual de Suelo (USLE) adaptada en un entorno SIG, para delimitar aquellas zonas que emiten mayor cantidad de sedimento o las más susceptibles a ser erosionadas.
- Analizar la dinámica de transporte de sedimentos en la cuenca con los datos medidos disponibles a partir del levantamiento batimétrico realizado en el embalse.
- Validar los resultados de degradación específica obtenidos tanto de manera directa, como por las estimaciones indirectas (USLE - SDR).
- Determinar el tiempo de vida útil, factible económicamente, del embalse de Beniarrés.
- Establecer medidas capaces de reducir la erosión y pérdida de suelo en la cuenca drenante, así como para controlar la colmatación del embalse.

1.3 Justificación

La realización de trabajos y cartografías destinadas al análisis detallado de la erosión en cuencas españolas, es fundamental para el desarrollo de futuros planes y

programas de restauración hidrológico-forestal y lucha contra la desertificación. Esta investigación también incluye una revisión y actualización de estudios previos que han abarcado la cuenca del río Serpis, como es el caso de su ordenación realizada en el año 2013, los Mapas de Estados Erosivos (1998) y el Inventario Nacional de Erosión de Suelos (2002-2012); todo esto permite observar la evolución en el tiempo de la pérdida de suelo.

Adicionalmente, al utilizarse una cartografía base a escala 1:25.000, las ortofotografías más recientes del PNOA y los MDT05 con paso de malla de 5 metros, se ha mejorado la precisión de los resultados, lo cual facilita y optimiza la priorización de actuaciones en la cuenca. A su vez, la metodología utilizada se ha actualizado incorporando las últimas investigaciones en cuanto a evaluación de la erosión (*RUSLE*) y en los usos de suelo mediante la versión más reciente del Proyecto *Corine Land Cover* (2012).

A modo general, los resultados aquí obtenidos pueden ser de gran utilidad y complemento para la planificación hidrológica y demás planes como de ordenación territorial, de cuencas, de restauración hidrológico-forestal, de control de la erosión y conservación de suelos, de lucha contra la desertificación, de ordenación de los recursos naturales, entre otros.

Por otra parte, la metodología empleada también puede extrapolarse a otras cuencas, para estimar de manera fiable la emisión de sedimentos y predecir la vida útil de los embalses asociados.

La aplicación de Sistemas de Información Geográfica para gestionar bancos de datos gráficos y alfanuméricos, creados a partir de cartografías temáticas y de los MDT, facilita el desarrollo de actualizaciones periódicas tanto de la información base como de los resultados.

1.4 Situación geográfica del área de estudio.

La zona de estudio ocupa los tramos alto y medio de la cuenca de drenaje del río Serpis, la cual se ubica al sureste de la Comunidad Valenciana, e incluida entre los ámbitos territoriales tanto de la provincia de Alicante al noreste como de la provincia de Valencia al sureste. Sin embargo, debido al objetivo principal de la presente investigación, el estudio de la cuenca se ha realizado hasta el embalse de Beniarrés,

por lo tanto el tramo bajo de la cuenca y los sectores más próximos a la desembocadura del río no han sido considerados (Figura 2).

Por este motivo, la zona estudiada tiene una superficie de 465,33 km², es decir, un 62 % de la superficie total de la cuenca del río (752,11 km²), y se encuentra casi en su totalidad incluida dentro de la provincia de Alicante ocupando un total de 446,27 km², por tan solo 19,06 km² (menos del 4%) dentro de la provincia de Valencia.

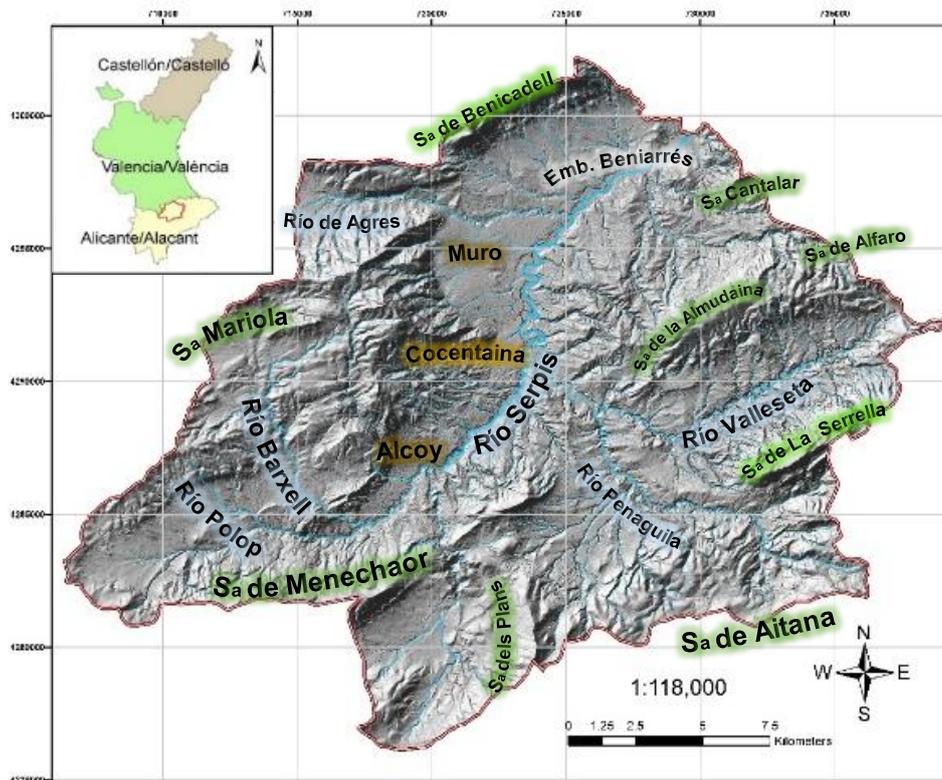


Figura 2. Localización geográfica del área de estudio. La línea roja punteada corresponde a la nueva divisoria de la cuenca del río Serpis para el estudio en cuestión, la cual ha sido cerrada al noreste en la presa de Beniarrés y no se extiende hasta la ciudad de Gandía, lugar donde se desarrolla la desembocadura. Fuente: Elaboración propia a partir de MDT05 (IGN).

Esta amplia región abarca principalmente municipios pertenecientes a las comarcas de Condado de Cocentaina (El Comtat) y Hoya de Alcoy (l'Alcoià), pero también incluye parte de los municipios Xixona/Jijona y Confrides pertenecientes a las comarcas Campo de Alicante y Marina Baja, respectivamente, todos estos de la Provincia de Alicante (ver Anexo Mapa 1). El único municipio perteneciente a la provincia de Valencia atravesado por la cuenca es Bocairent. En la tabla I se resumen los municipios circunscritos dentro de la cuenca.

Con respecto a la divisoria de la cuenca, en sentido horario y partiendo desde el embalse de Beniarrés hacia el sureste, recorre las Lomas del Cantalar hasta la sierra

del mismo nombre (cota máx. 649 m) para luego prolongarse al este, entre las sierras de Llombo y Albureca.

Continúa al noreste hasta la sierra Foradá (852 m), lugar donde se direcciona al sureste atravesando el Valle de Alcalá hasta el collado Paet (773 m). En este punto, empieza el recorrido al suroeste hasta la solana de Tollos (941 m), desciende bordeando al oeste la sierra de Alfaro y continua al sur por la sierra La Serrella atravesando el Plá de la Casa (1379 m), uno de los principales picos de dicha sierra; corta el Plá de la Carrasca (1242 m) hasta alcanzar los límites de la sierra Aitana (ver Anexo Mapa 2 y Mapa 3).

Municipio	Comarca	Provincia	Sup. Total / Sup. en cuenca (km ²)	Población
Agres *	Condado de Cocentaina	Alicante	25,76 / 18,63	565
Alcocer de Planes	Condado de Cocentaina	Alicante	4,72 / 4,72	221
Alcoleja *	Condado de Cocentaina	Alicante	14,57 / 12,75	194
Alcoy/Alcoi *	Hoya de Alcoy/l'Alcoià	Alicante	129,76 / 125,80	59198
Almudaina	Condado de Cocentaina	Alicante	8,83 / 8,83	119
Alqueria d'Asnar, I'	Condado de Cocentaina	Alicante	0,70 / 0,70	517
Balones	Condado de Cocentaina	Alicante	11,23 / 11,23	129
Benasau	Condado de Cocentaina	Alicante	9,03 / 9,03	158
Beniarrés *	Condado de Cocentaina	Alicante	20,20 / 6,43	1164
Benifallim *	Hoya de Alcoy/l'Alcoià	Alicante	13,67 / 11,78	114
Benilloba	Condado de Cocentaina	Alicante	9,54 / 9,54	769
Benillup	Condado de Cocentaina	Alicante	3,41 / 3,41	100
Benimarfull	Condado de Cocentaina	Alicante	5,53 / 5,53	427
Benimassot	Condado de Cocentaina	Alicante	9,52 / 9,52	99
Bocairent *	Valle de Albaida	Valencia	97,17 / 18,55	4288
Cocentaina	Condado de Cocentaina	Alicante	52,78 / 52,78	11432
Confrides *	Marina Baja	Alicante	40,03 / 5,98	207
Facheca *	Condado de Cocentaina	Alicante	10,18 / 6,51	107
Gaianes	Condado de Cocentaina	Alicante	9,52 / 9,52	452
Gorga	Condado de Cocentaina	Alicante	9,11 / 9,11	267
Jijona/Xixona *	Campo de Alicante	Alicante	163,79 / 12,01	7057
Millena	Condado de Cocentaina	Alicante	9,75 / 9,75	221
Muro de Alcoy	Condado de Cocentaina	Alicante	30,58 / 30,58	9307
Penàguila *	Hoya de Alcoy/l'Alcoià	Alicante	49,98 / 30,32	328
Planes *	Condado de Cocentaina	Alicante	38,91 / 23,11	725
Quatretondeta	Condado de Cocentaina	Alicante	16,70 / 16,70	113
Tollos *	Condado de Cocentaina	Alicante	14,62 / 1,77	53

Tabla I. Municipios incluidos en el tramo alto y medio de la cuenca de drenaje del río Serpis. Los municipios marcados (*), son aquellos cuya línea divisoria de la cuenca corta parcialmente el ámbito del municipio, es decir, no están circunscritos en su totalidad dentro de la divisoria. Los datos de población corresponden a las cifras oficiales producto de la revisión del padrón municipal, INE 2016.

En dirección sureste-suroeste, bordea la parte oeste de la sierra Aitana destacando La Moleta de Aitana (1468 m) y Pla de Cirer (1126 m), esta última al norte de Alto de la Campedrana. Continuando paulatinamente en dirección suroeste, atraviesa el Morro de la Vena (1125 m), la sierra Rontonar (1217 m), para luego alinearse con la sierra del Plans, y seguir descendiendo hacia el suroeste por el Cerro del Racó de Chamarra (1124 m), Cerro del Racó de Matet (1180 m) hasta el norte de la sierra La Carrasqueta, en cuya cima (1205 m), se redirecciona en sentido noroeste hasta llegar al Parque natural de la Fuente Roja, para alinearse a lo largo de la cuesta de la sierra Menechaor (cota máx. 1354 m) hacia el oeste. Se prolonga por Biscoy (1161 m), El Serrat (1069 m) y el collado del Xocolater (979 m).

En su parte occidental, la cuenca asciende en dirección noreste pasando por el alto La Menora (979 m), Monte Solorrón (974 m), Loma de Guilella (1074 m) y divide las provincias de Alicante y Valencia a lo largo de Loma de la Fontfreda. Continúa a través de la sierra Mariola, destacando las cimas El Portín (1087 m) y Alto de la Cava (1124 m), donde se desvía hacia el norte hasta el collado de Santa Ana (765 m) y continuar al oeste pasando por Cueva Alta (882 m) hasta alcanzar la sierra Benicadell y atravesando los picos Alto del Morral (1022 m) y Benicadell (1104 m). Finalmente, al sur de la sierra Marjalets y en dirección sureste, atraviesa el municipio Beniarrés llegando nuevamente al embalse.

Los puntos límites o extremos de la poligonal descrita por la cuenca presentan las siguientes coordenadas UTM:

- Norte X=725394.696 m Y=4302172.629 m
- Sur: X=718853.974 m Y=4276103.861 m
- Este: X=739473.252 m Y=4295971.502 m
- Oeste: X=706360.668 m Y=4283183.464 m

1.5 Antecedentes

La construcción del embalse de Beniarrés empezó en el año 1945, no obstante, 13 años después, en 1958, se consolida definitivamente como infraestructura e inicia su funcionamiento. El embalse con una capacidad de almacenamiento de 27 Hm³ y superficie total de 268 hectáreas, tiene su capacidad ocupada aproximadamente al 50% como media, según datos de la CHJ (2007), aunque las precipitaciones ocurridas

durante el año 2008 situaron su almacenamiento en 90%. En el año 2002 se invirtieron alrededor de 1,50 millones de euros para su consolidación. Esto consistió en el desarrollo de un conjunto de obras, entre las que destacaron la consolidación e impermeabilización de la presa con el fin de evitar posibles fugas, así como la puesta en marcha de un nuevo sistema de drenaje para el incremento de su capacidad en un 40 %. Estas labores culminaron en el año 2010 con un presupuesto total superior a los 17 millones de euros (Tormo, 2008).

Simultáneamente, desde principios del 2005 los equipos de la CHJ han llevado a cabo otras obras menores en el embalse con el objetivo de prevenir y mantener la infraestructura. Por ello, se han consolidado los cimientos de la presa del embalse mediante inyecciones de cemento (540 toneladas) a través de un sistema de galerías. Durante el año, se detectó una fuga en una de las laderas del embalse, la cual fue inmediatamente sellada; además se delimitó y consolidó toda la zona. Dichas obras de mantenimiento fueron financiadas tanto por el Ministerio de Medio Ambiente, como por la propia Confederación Hidrográfica del Júcar.

Este mismo año, los ayuntamientos con mayor implicación en el embalse (Alcoy, Cocentaina, Alqueria d'Asnar, Benimarfull, Muro de Alcoy, Gaianes, Planes y Beniarrés) en conjunto con la CHJ; acordaron realizar una auditoría ambiental de sus aguas. Según los resultados de los estudios, llegaron a la conclusión que las aguas vertidas al embalse presentaban niveles de calidad muy bajos. Adicionalmente, los informes sirvieron para determinar la posición de los ayuntamientos implicados en la recuperación de la calidad de las aguas del embalse de Beniarrés, en torno a dos aspectos, 1) implementar un sistema de depuración terciaria en las depuradoras (específicamente en la planta depuradora de Els Algars , ubicada en Alcoy), y 2) limitar los proyectos de urbanizaciones planteados en el perímetro del embalse, en especial en el Municipio de Planes; por suponer un fuerte impacto para el paisaje y una sobrecarga general en la zona (Tormo, 2008).

En el año 2007, surgió una nueva polémica relacionada al estado y calidad ambiental de las aguas del embalse. El Ayuntamiento de Beniarrés hizo pública la intención de denunciar a la CHJ por no implicarse en la mejora de la calidad de las aguas del embalse, y por hacer caso omiso ante la solicitud de dicho ayuntamiento, de realizar

una auditoría ambiental. La denuncia por los motivos mencionados se haría oficial en junio del 2007 ante el Síndico de Agravios de la Comunidad Valenciana.

En 2009, la CHJ adjudicó las obras para el dragado del embalse, con el fin de incrementar ligeramente su capacidad, además de hacer reparaciones en el desagüe de fondo de la presa y acondicionar sus accesos. Al comprobarse que lodos acumulados en el fondo del embalse no contenían elementos tóxicos o peligrosos, a pesar de que este ha recibido por décadas aguas residuales y vertidos industriales generados aguas arriba del río Serpis en las comarcas de l'Alcoià y El Comtat; se decidió extraerlos y secarlos en espacios degradados ubicados en las cercanías al embalse, para luego ser aprovechados como material para ejecutar actuaciones de regeneración ambiental.

Así mismo, la CHJ dio instrucciones sobre tomar medidas para proteger la fauna fluvial ya que el procedimiento de extracción de los lodos mediante bombas de succión, incrementaría la turbidez del agua embalsada, afectando la temporada de cría de las especies piscícolas.

En septiembre de 2016, se solicitó nuevamente por parte de los ayuntamientos de Beniarrés y Planes, una limpieza del embalse aprovechando el período de sequías y un descenso al 3,7 % de su capacidad total, que sacó a la luz gran cantidad de desperdicios y cieno acumulado con el paso del tiempo en la base de presa. Esta actuación hubiese permitido la recuperación de la capacidad original del embalse (30,835 Hm³) y mejorado sustancialmente la calidad de las aguas. Sin embargo, dicha petición de dragado fue descartada por la CHJ objetando causas de complejidad medioambiental.

2 DESCRIPCIÓN DEL MEDIO FÍSICO

2.1 Características generales de la Cuenca

La cuenca de drenaje presenta una superficie total de 752,11 km², siendo su principal río el Serpis, el cual con un caudal medio de 0,95 m³/s, nace en las estribaciones del Parque Natural del Carrascal de la Font Roja (altitudes superiores a los 700 m) y tras recorrer unos 63 km aproximadamente, desemboca en el mar Mediterráneo en el término municipal de Gandía, comarca La Safor.

Según la CHJ (2014), la superficie comprendida por el sistema de explotación Serpis es de 985 km², esto debido a que incluyen además de la cuenca propia del río Serpis, las cuencas del Jaraco o Vaca, el barranco Beniopa y las demandas atendidas por estos (Figura 3).

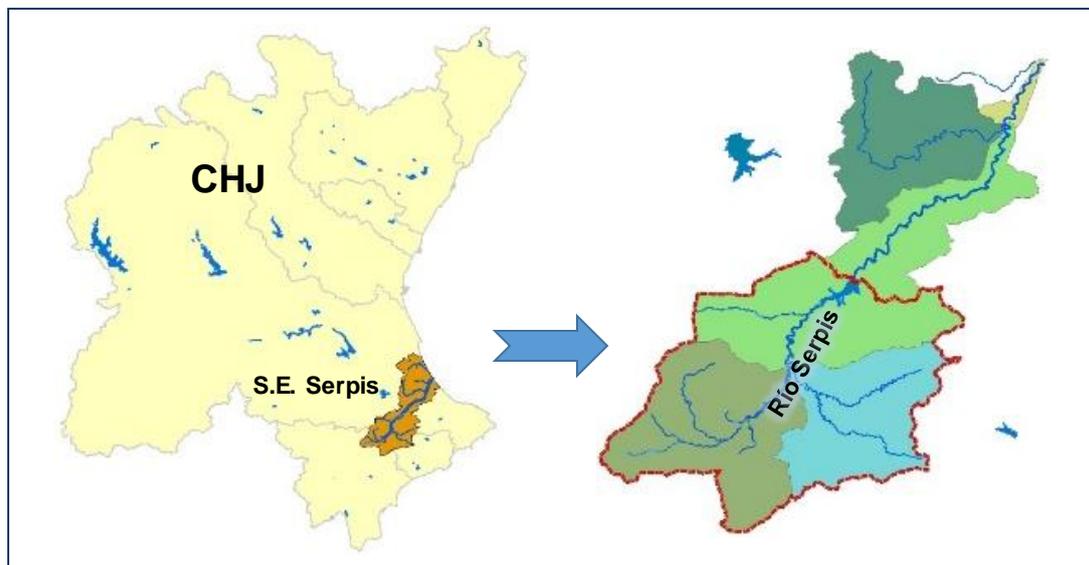


Figura 3. Sistema de explotación Serpis. En la imagen izquierda se muestra la ubicación del sistema de explotación del río Serpis definido por la CHJ en todo el ámbito de la demarcación hidrográfica del Júcar. A la derecha, se presentan las cinco (5) subcuencas del sistema. Fuente: CHJ, 2014.

En su totalidad, el sistema presenta 15 masas de agua superficial que suman una longitud de 174,7 km y 19 masas de agua subterránea incluidas parcial o completamente en el sistema, siendo las masas Almirante Mustalla, Plana de Jaraco, Plana de Gandía, Sierra de Ador y Marchuquera-Falconera las más destacadas ya que además de tener la mayor parte de su superficie, representan el mayor volumen de extracción dentro del sistema de explotación (CHJ, 2014). Dentro del tramo medio resalta la masa subterránea Muro de Alcoy cuya superficie es de 23.24 km². La divisoria de la cuenca describe una superficie alargada en dirección SO (tramo alto con altitudes máximas) a NE (tramos medio y bajo, incluyendo desembocadura), con

un total de cinco (5) subcuencas definidas y unas 870 microcuencas. En la tabla II se muestra la superficie de cada una de las subcuencas del sistema.

Cuenca	Subcuenca	Tramo/curso	Superficie (km ²)
Serpis	1	Alto	188.82
	2	Alto	140.61
	3	Medio y bajo	261.61
	4	Bajo	149.45
	5	Desembocadura	11.61

Tabla II. Superficie de las subcuencas presentes en la cuenca de drenaje del río Serpis. Las subcuencas 1 y 2 están incluidas en su totalidad en la nueva divisoria, sin embargo, la subcuenca 3 ocupa en la región unos 135.9 km² (52 % del tamaño total). Fuente: Elaboración propia (2017).

Como se ha mencionado anteriormente, el Serpis nace en la Font Roja en las estribaciones de la sierra de Biscoy, lugar donde discurren el río Polop y el barranco del Troncal (Figura 4). En esta zona de cabecera, la escorrentía es dependiente del régimen de precipitaciones, por lo tanto, lleva agua sólo en temporada de lluvias; hasta que recibe en las cercanías de Alcoy el flujo continuo del río Barxell, ya que este último drena parte del acuífero de Sierra Mariola.



Figura 4. Cabecera del río Serpis y paso por el municipio de Alcoy. El círculo en la parte inferior izquierda de la ortofoto corresponde al punto de encuentro entre el río Polop y el barranco del Troncal, lugar donde nace el río Serpis. Fuente: Elaboración Propia a partir de ortofoto PNOA 2012 (IGN).

A lo largo de todo su recorrido, el cauce del Serpis atraviesa principalmente materiales de naturaleza margosa (facies *Tap*), excepto en las zonas con asentamientos urbanos establecidas sobre materiales cuaternarios. Al cruzar Alcoy, además de recibir por la margen derecha al río Molinar, recoge los residuos urbanos e industriales de la zona.

Aguas abajo con su cauce orientado en dirección S-N, continua su paso por Cocentaina y tras recibir las aguas del río Valleseta por su margen derecha; se orienta en dirección O-E en las proximidades de Muro de Alcoy, lugar donde adicionalmente desembocan por la margen izquierda las aguas del río Agres.

Desde este punto de confluencia y tras recorrer 1,3 km, finalmente el curso medio es cerrado al llegar al embalse de Beniarrés, siendo este la principal infraestructura de regulación superficial de todo el sistema Serpis. Respecto al régimen fluvial, el río tiene un régimen mediterráneo con máximas en enero y mínimas en agosto, con fuertes crecidas en otoño debido a las lluvias torrenciales en esta parte del año.

Embalse de Beniarrés

El embalse que regula el sistema Serpis desde octubre del año 1958, está ubicado en la comarca Condado de Cocentaina (El Comtat), dentro de los municipios Alcocer de Planes, Planes y Beniarrés, con cerrada en las calizas de la sierra Albureca y vaso en las margas *Tap* (Pulido, 1979).

Este tiene una superficie de 268 Ha, un volumen total de 31 Hm³, de los cuales son útiles 27 Hm³ (Capacidad a NMN), y finaliza en una presa de gravedad-hormigón de 53 m de altura y longitud de coronación de 395 m. De propiedad estatal y gestionado por la Confederación Hidrográfica del Júcar, el embalse se construyó con el objeto de abastecer al riego de las extensas superficies agrícolas situadas aguas abajo, no obstante, sus aguas también son destinadas a usos lúdicos como la pesca y la navegación. La capacidad de este cuerpo de agua está condicionada por el aporte de sedimentos que el cauce principal del Serpis, así como sus afluentes, descargan en él; por lo tanto, el embalse de Beniarrés actúa como medio receptor de las aguas residuales, previamente depuradas, de una zona con fuerte asentamiento urbano e industrial. Aguas arriba del embalse, la presión industrial sobre las masas de agua en algunos tramos del Serpis es alta.

Por este motivo, el agua embalsada es considerada de baja calidad (e incluso hipereutróficas). Cabe destacar, que en los últimos años las concentraciones de fitoplancton no permiten que se alcance el buen potencial ecológico, sin embargo, al destinarse al abastecimiento de la demanda agrícolas, la calidad del agua no resulta un factor limitante en la gestión y los suministros (CHJ, 2014).

2.2 Geología

La cuenca de drenaje del Serpis ha sido desarrollada principalmente sobre materiales del relleno de la cuenca neógeno-cuaternaria de Alcoy (Colodrón *et al.*, 1980). El basamento de dicha cuenca está constituido por materiales margosos y calizos de edad Jurásico Superior – Paleógeno, los cuales forman los relieves en la zona (sierras Benicadell, Mariola, Menechaor, Serrella, Alfaro y Gallinera) pertenecientes al sistema Prebético (Pirson d' Autrey, 1987). Por otra parte, el relleno de la cuenca sedimentaria está constituido por materiales del Mioceno hasta la actualidad. Según Viseras *et al.*, (2004), la cuenca mantuvo un carácter marino hasta el Mioceno superior, época en la que finalmente se colmata y da inicio la sedimentación continental (Figura 5).

Durante el Cuaternario la cuenca experimenta un episodio erosivo muy significativo, que genera la profunda incisión de la red de drenaje fluvial sobre el terreno y la consecuente formación de terrazas colgadas a diversa cota respecto de los cauces actuales (Cuenca y Walter, 1995). La incisión es el resultado de la continuada elevación tanto de los relieves circundantes como de la cuenca (Goy *et al.*, 1989), aumentando la capacidad erosiva de los ríos, además también influye la variación del nivel de base de la cuenca, consecuencia de su comunicación con el Mar Mediterráneo (IGME, 1985). Debido a esto, en muchas zonas los fondos de los barrancos discurren sobre las margas marinas que infrayacen los depósitos continentales más jóvenes (Delgado *et al.*, 2006).

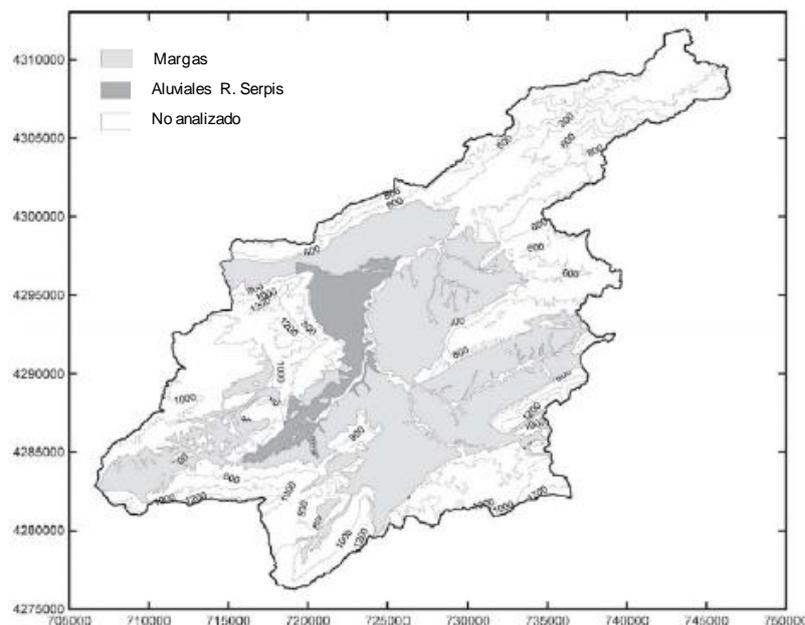


Figura 5. Esquema geológico simplificado de los materiales presentes en la cuenca de drenaje del río Serpis. Fuente: Delgado *et al.*, 2006.

Los materiales en la cuenca pueden considerarse en dos grandes grupos: las margas marinas o *Tap* (Mioceno), y los aluviales del río Serpis (Plioceno-Cuaternario), lugar donde se han asentado los núcleos urbanos (y potenciales áreas de crecimiento).

2.2.1 Marco Tectónico

La zona está incluida en el Prebético externo, caracterizado estructuralmente por largas crestas con anticlinales, flancos verticales e inversión en profundidad.

Al norte destaca el anticlinal La Solana – Benicadell con direcciones anómalas debido a la influencia asociada al levantamiento de la sierra Mariola y cuyo flanco sur en su prolongación hacia Benicadell, ha desaparecido por una falla longitudinal que lo ha hundido.

Al noroeste de la cuenca, el sinclinal de Agres está cabalgado por el flanco norte del anticlinal de Mariola, siendo este último, la estructura más destacada de la zona, la cual irrumpe en bóveda desde el occidente, presentándose muy fracturada y cortada al este por la gran falla N-S extendida desde Muro de Alcoy y Cocentaina, con un salto que supera los 200 m. La característica convergente de la sierra de la Aforada y su prolongación occidental de Loma Redonda, permiten suponer una continuidad de la sierra Mariola hacia el Levante (Almela *et al.*, 1975).

La zona de transición hacia el Prebético interno constituida por el anticlinal al suroeste, marca el inicio de la facies *Tap* ampliamente desarrollada, la cual a su vez impide el reconocimiento de esta zona, a la que adicionalmente podría pertenecer el anticlinal de Loma Redonda, ya que presenta características litológicas convergentes con estas formaciones y con las del anticlinal de la Serrella al sureste (Figura 6).

2.2.2 Estratigrafía

Para la caracterización y representación de los diversos materiales que afloran en la zona de estudio se ha revisado el Mapa Geológico de España a escala 1:50.000 realizado por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME), hojas 820 (Onteniente), 821 (Alcoy), 846 (Castalla) y 847 (Villajoyosa).

La serie litoestratigráfica ha sido datada por el material fosilífero hallado, especialmente en formaciones del Cretácico, Paleoceno, Eoceno, Oligoceno y Mioceno (ver Anexo Mapa 4 y Mapa 5).

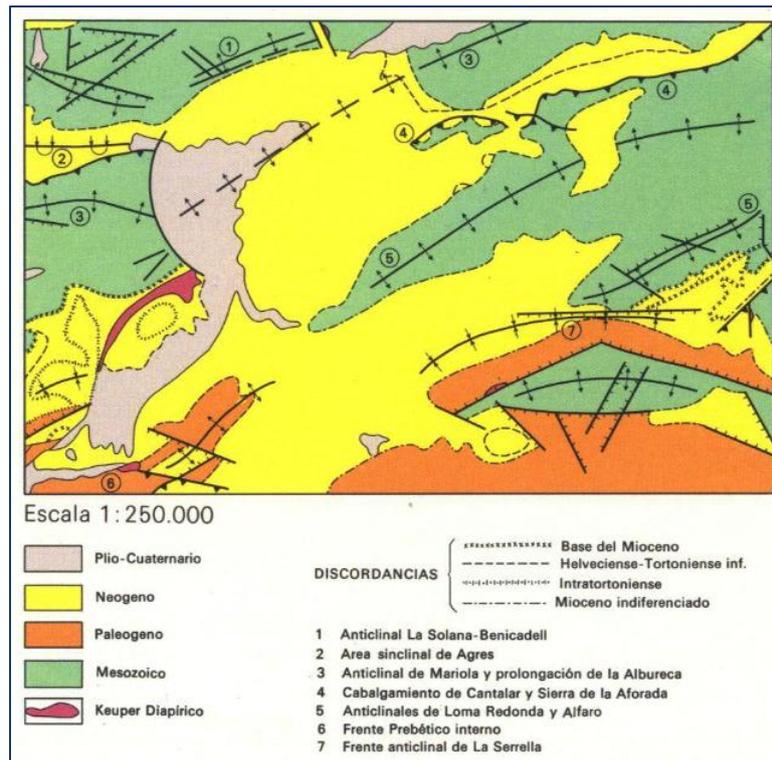


Figura 6. Esquema tectónico y unidades estructurales en la zona. En la imagen se han representado los principales rasgos estructurales, como el anticlinal de Mariola al oeste. Fuente: Almela *et al.*, 1975.

2.2.2.1 Mesozoico

Triásico (Keuper): Cocentaina es la zona más destacada donde se pueden observar los materiales del triásico, compuestos por arcillas verdes, arcillas rojizas y yesos. Adicionalmente, en las estribaciones de la sierra Benicadell también aparecen algunas manchas las cuales suelen disponerse en afloramientos tipo diapíricos, muy afectados por la tectónica regional y en lentejones interestratificados con las unidades miocenas.

Jurásico: en el núcleo del anticlinal de sierra Mariola existe el único afloramiento del Jurásico en la zona. La serie se conforma de dolomías en la base que pasan a calizas dolomíticas y biomicrita a techo (Almela *et al.*, 1973).

Cretácico: la serie cretácica es muy variable en cuanto a características litológicas, sin embargo, se han caracterizado cuatro conjuntos. Uno de ellos corresponde a calcarenitas, calizas y margas grises que pasan a areniscas ferruginosas; alcanzando hasta 300 m de potencia en el anticlinal de Mariola. Otro conjunto identificado en la sierra y al oeste del anterior (Morro del Contador), se compone de biomicritas, calcarenitas y margas. Al norte de la cuenca, en la sierra Benicadell y demás prolongaciones occidentales, el Cretácico está representado por dolomías de tonos

grises, dolomicritas y margas en un conjunto de potencia entre 200 y 250 m, las cuales se interrumpen por un conjunto formado por biomicritas y calcarenitas en Pont del Dona, Alto de Volcadores y Cueva Alta, sin embargo, la dolomitización aparece nuevamente en la sierra Mariola, Albureca, Alforada y Loma Redonda. En la sierra Almudaina aflora el último conjunto descrito, representado por calizas micríticas y margas que manifiestan claramente el proceso de regresión continuada en el Paleoceno (Martínez del Olmo *et al.*, 1973).

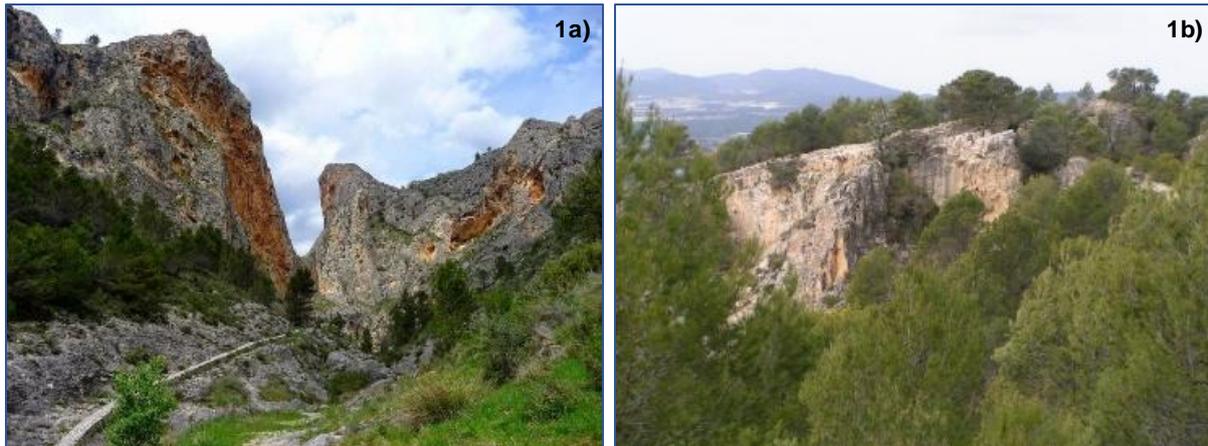
2.2.2.2 Cenoico

Paleoceno: estos materiales generalmente afloran al sur de la cuenca, unos se componen de arcillas verdes y margas ocreas con potencias que oscilan entre los 50 y 100 m; otro conjunto corresponde a margas esquistosas amarillentas y calizas margosas de aspecto noduloso y finalmente, con unos 65 m de potencia las calcarenitas finas y margas con sílex y nódulos de pirita (Martínez del Olmo *et al.*, 1977).

Eoceno: estos materiales apenas se presentan en la zona; algunos afloramientos se observan al sureste de la cuenca y se caracterizan por dos tramos, una serie carbonática de calizas dolomíticas pararecificales (proximidades de Alcoy en la sierra de Ondoches;) y otra principalmente margosa.

Oligoceno: el Oligoceno en la zona objeto del estudio, se representa bajo tres facies: 1) conglomerados y margas arcillosas rojizas de zona mediolitoral con influencias lacustres y continentales, 2) calizas y margas exclusivamente marinas y 3) alternancia de margas arcillosas y areniscas. Los primeros corresponden a conglomerados de gruesos cantos del Eoceno intercalados con margas arcillosas continentales rojo salmón y potencia superior a los 500 m (destaca el afloramiento al borde norte del anticlinal de la sierra de Ondoches). La facies calizo-margosa está bien representada al sur de Alcoy (desde la Ermita de San Antonio en dirección sur-este). El último conjunto con potencia superior a los 300 m, es una alternancia de areniscas con estructuras de corriente (flysch) y margas con intercalaciones de calcarenitas bioclásticas (Colodrón *et al.*, 1980).

Mioceno: las rocas de esta época actualmente representan la mayor parte de los afloramientos de la cuenca de drenaje (Fotografías 1). Durante el Mioceno se produce una transgresión general con discordancias internas.



Fotografías 1. Afloramientos de rocas calcáreas del Terciario en el Municipio de Alcoy. **1a)** Calizas y calcarenitas margosas en el Barranco del Cint (Alcoy). **1b)** Afloramiento de margas y calizas al noroeste de Alcoy en las proximidades de las antiguas canteras.

El Mioceno de base está constituido tanto por calizas pararecificales como por calizas detríticas y microconglomerados que cambian lateralmente a calizas margosas y margas calcáreas. Un conjunto de calcarenitas y calizas bioclásticas corta al Tap dividiéndolo en dos facies. Las margas del Tap corresponden a una potente unidad de más de 1000 m (IGME, 1985) acumulada en una cuenca marina profunda. Estas son margas algo limosas, de tonos blancos a beige claro y distribuidas en estratos de espesores variables, las cuales se encuentran en el flanco sur de Mariola y al margen derecho del Serpis limitadas por las sierras Almudaina al sureste, Cantalar al este y el embalse de Beniarrés al norte (Almela et al., 1975). El resto de potentes conjuntos margosos que se encuentran en amplias áreas de la cuenca se denominan como indiferenciados, por falta de niveles guía y ausencia de buzamientos en la serie margosa que colmata los sinclinales.

Plioceno: al oeste de Alcoy (mina de lignito) y en la cabecera del Serpis, aparece un depósito arcillas rojas con episodios conglomeráticos e intercalaciones calizas, dispuesto sobre el Keuper o en cinturones envolventes.

Pleistoceno – Holoceno (Cuaternario): los depósitos cuaternarios se encuentran repartidos de manera abundante y generalmente encajados en depresiones de materiales neógenos. Entre estos se incluyen terrazas, depósitos de ladera, abanicos aluviales, costras calcáreas conos actuales y mantos de arroyada.

Los sedimentos aluviales del Serpis y de otros cursos menos importantes están constituidos por gravas, arenas, arcillas y limos en proporciones variables; y los depósitos de ladera comprenden gravas, arcillas y limos de tonos rojizos, a veces

cementadas. La dinámica de las fallas normales en el borde oriental de la sierra Mariola ha favorecido que estos sedimentos tengan una gran potencia (Delgado *et al.*, 2006).

2.3 Geomorfología

El tramo alto y medio de la cuenca destacan por largas crestas y estrechos valles, sin inversión de relieve y laderas claramente estructurales (Figura 7).

La cabecera del río Serpis presenta relieve montañoso al sur (Parque Natural del Carrascal de Font Roja y sierra de Ondoxes) y ondulado en el Valle de Polop, el cual está enclavado entre las sierras Mariola y Menechaor (Fotografía 2a), y se caracteriza por ser una llanura irregular alargada, de unos 10 kilómetros de largo y altitudes entre los 700 m (Barchell y Polop Bajo) y 1000 m (Polop Alto) (ver Anexo Mapa 3/Mapa 6).

En la zona de confluencia entre el Serpis y el Barxell (520 m - 630 m) el relieve es colinado, extendiéndose esta morfología por Alcoy y zona sur de Cocentaina, siempre al margen izquierdo del río, ya que por su margen derecho el terreno está fuertemente socavado. Esta morfología es la predominante en toda la cuenca, ya que es el resultado de la acción erosiva de los ríos y barrancos sobre las margas terciarias (altitudes inferiores a los 400 m).

En estos materiales se presentan las principales zonas con laderas muy acentuadas, por ejemplo en los márgenes de los ríos Valleseta y Penáguila al este. En Alcoy los afluentes Molinar y Uxola también han tallado laderas muy abruptas.

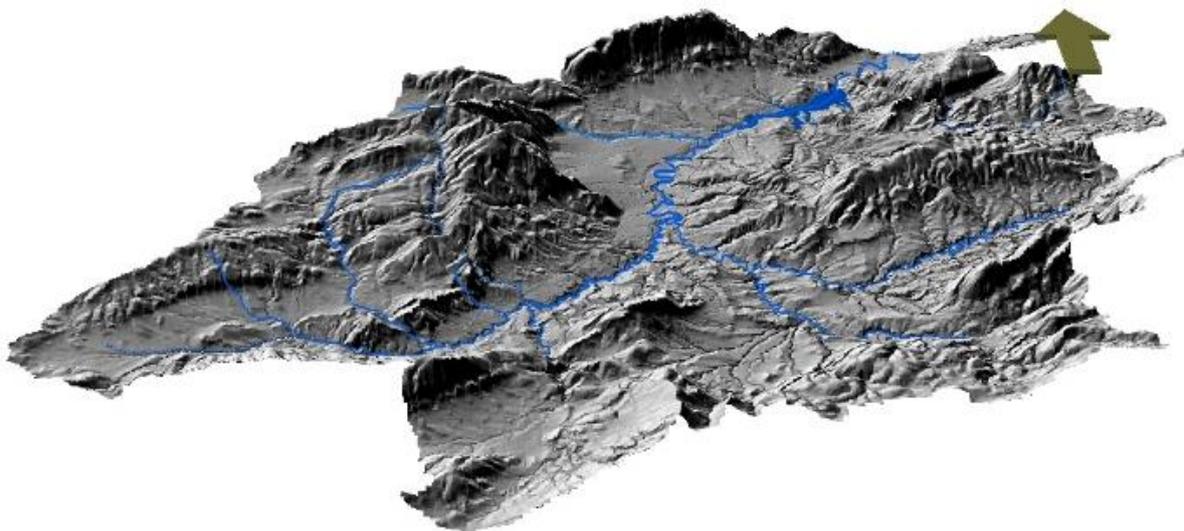
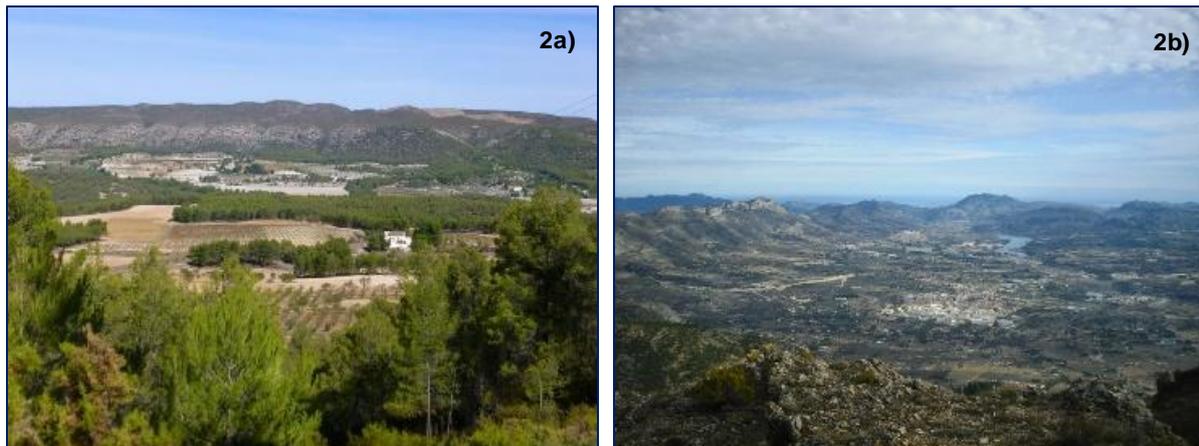


Figura 7. Modelo digital del terreno de la cuenca de drenaje del río Serpis. Fuente: Elaboración propia a partir del MDT05 (IGN).

La zona de Cocentaina a lo largo de las estribaciones de la sierra Mariola, está definida por laderas suaves que se prolongan hacia el Valle del Agres al oeste, sin embargo, en Muro de Alcoy el terreno adquiere forma ondulada.

Por otra parte, las regiones más elevadas de la cuenca superiores a los 850 m, como la sierras Mariola, Benicadell, Almudaina, La Serrella y Aitana al sur; representan el típico relieve de montaña (Fotografía 2b).



Fotografías 2. Formas de relieve características de la cuenca del Serpis. **2a)** Valle del Polop y Parque Natural de la Font Roja al fondo. **2b)** Depresión del valle del Serpis y embalse de Beniarrés a la derecha. A la izquierda se observa la sierra de Benicadell.

Las geoformas más destacadas originadas por el río Serpis son las terrazas pleistocenas cuya extensión abarca la mancha Alcoy-Cocentaina-Muro de Alcoy, y al norte próximas al embalse de Beniarrés. Estas terrazas en Alcoy y Cocentaina, se ensanchan al oeste del Serpis en un área muy extensa con más de 100 m de desnivel y suave declive desde el núcleo de Mariola hacia Levante.

La terraza más alta se cubre por un aporte de sedimentos desde las zonas elevadas en forma de abanicos aluviales y demás depósitos de ladera (coluviones), evidenciando la presencia de torrentes abandonados y paleocauces (Figura 8). La migración progresiva del Serpis hacia el este, desde el umbral levantado de Mariola, da lugar a la excavación de la terraza baja (Almela *et al.*, 1975).

Para la elaboración del mapa de unidades geomorfológicas y fisiográficas, se ha consultado el Mapa Geomorfológico de España y del margen continental, Escala 1:1.000.000 (Martin-Serrano *et al.*, 2005) y el mapa fisiográfico de la Comunitat Valenciana (COPUT, 1992).



Figura 8. Abanicos aluviales y depósitos fluviales asociados al río Serpis en Muro de Alcoy. Escala 1:16.000. Fuente: Elaboración Propia a partir de Ortofotografía PNOA 2012 (IGN).

2.3.1 Pendientes

Las laderas en el área de estudio están caracterizadas por fuertes pendientes que sufren una importante erosión debido a la escorrentía superficial y fenómenos de inestabilidad de taludes. Por este motivo, son constantes los deslizamientos en materiales margosos Tap y aluviales, asociados a problemas de humedad puntual o generalizada, en el contexto del rejuvenecimiento geomorfológico de la región.

Según IGME (1985), hasta en pendientes tan bajas como de 15° se puede producir inestabilidad por la incisión fluvial y erosión al pie de los taludes, por lo tanto, en pendientes que superan los 25° de inclinación, los problemas de estabilidad se incrementan. Adicionalmente, la zona también exhibe reptación de las capas más superficiales de los taludes, desprendimientos en escarpes y desplomes, todos estos en función de variables como la energía del relieve, la disposición de los estratos (buzamiento hacia el exterior de la ladera) y la fracturación de los materiales (La Roca, 1990).

Basándose en umbrales de pendiente, García Mayordomo (1998) definió áreas de potencial riesgo a deslizamientos, clasificando como riesgo moderado aquellas áreas con pendientes entre 10 y 20° , y de riesgo alto cuando son superiores a 20° . Para la elaboración del mapa de pendientes (ver anexo Mapa 7) se ha trabajado con herramienta GIS, a partir del modelo digital del terreno (MDT05) con paso de malla

de 5 m del IGN. Con esta imagen *Raster* se aplica un módulo para obtener la distribución espacial de las pendientes en la cuenca. Dicho mapa posteriormente se reclasificará atendiendo a los criterios de pendiente que se establezcan para la aplicación de la metodología USLE.

2.3.2 Orientación de Laderas y Exposiciones

Al igual que el mapa de pendiente, la orientación también se determina a partir del MDT05 (IGN) y es útil ya que aporta información sobre la dirección de pendiente descendente que presenta cada una de las celdas del *Raster*, es decir, la dirección de brújula a la que apunta la superficie en cada una de las ubicaciones. La orientación en un punto es el ángulo existente entre el vector que señala el norte y la proyección sobre el plano horizontal del vector normal a la superficie de ese punto (ver anexo Mapa 8).

La orientación está estrechamente relacionada con la insolación (cantidad de energía en forma de radiación solar) que llega a un punto de la superficie terrestre; de aquí los conceptos de solana y umbría. La laderas en **solana** son aquellas que al estar orientadas hacia el sur, reciben una mayor cantidad de radiación solar; por el contrario, la laderas en **umbría** están “a espaldas” de la solana, es decir, ubicadas en la sombra orográfica y orientadas hacia el norte.

Partiendo de estas definiciones se ha realizado el mapa de exposiciones según dos tipos, dependientes del ángulo de orientación de las laderas: solana entre 90° y 270° y umbría entre $0^\circ - 90^\circ$ y $270^\circ - 360^\circ$. En la cuenca, la umbría representa la principal exposición de las laderas (ver anexo Mapa 9).

2.4 Edafología

Los suelos mediterráneos están sometidos a una prolongada e intensa presión humana que, junto con el clima, geología y topografía, han intervenido a su configuración actual. Los suelos en la Comunidad Valenciana al presentarse en áreas de climas semiárido y árido (períodos secos de tres o más meses anuales), están afectados por procesos de desertificación. También influye la cantidad y forma en que la lluvia se produce, ya que la acumulación en cortos períodos de tiempo (lluvias de otoño y primavera), favorecen la escorrentía y dificultan los procesos de infiltración de agua en el terreno, lo cual provoca la abundancia de suelos poco evolucionados.

En cuanto a la composición química, en general, existe un predominio de suelos básicos o neutros, y es frecuente la presencia de carbonatos tanto en suelo como en subsuelo. La reacción básica, la aireación y las moderadas temperaturas favorecen los procesos de descomposición de materia orgánica que aunado a la deficiente producción e incorporación de biomasa, resulta en contenidos medios-bajos de materia orgánica, la cual disminuye aún más con la puesta en cultivo, sin embargo estos bajos niveles repercuten en una menor capacidad de retención de agua y una mayor erosionabilidad.

El nivel potencial de fertilidad es bueno y la capacidad de retención de nutrientes es media, al igual que las concentraciones de nitrógeno y fósforo (Miralles, 2005).

2.4.1 Tipos de suelos. Clasificaciones

La naturaleza y el tipo de suelos es el resultado de un proceso espontáneo de descomposición y erosión de la roca madre, en el que en ocasiones también interviene la acción antrópica mediante la práctica de la agricultura.

El ambiente mediterráneo, en el que se encuadra la Comunidad Valenciana, posee unas características climáticas intermedias entre las presentes en ambientes de climas áridos, subtropicales secos y templados oceánicos, siendo más afines los primeros y segundos que los segundos y últimos, respectivamente. Por este motivo, los paisajes mediterráneos presentan una gran riqueza y diversidad en cuanto al tipo de suelos.

Por otra parte, numerosos han sido los intentos de clasificar el suelo a lo largo del tiempo, cada uno siguiendo diversos criterios como geológicos, químicos, climáticos, ingenieriles, genéticos, entre otros; sin embargo, debido a la complejidad que representa esta tarea no todos han tenido el mismo éxito. Por ello, las clasificaciones objetivas que dan preferencia a las características morfométricas considerando propiedades medibles del suelo, constituyen en la actualidad la tendencia más aceptada en las modernas clasificaciones. Las dos principales metodologías en constante revisión y ampliación son la *Soil Taxonomy* y la *FAO-UNESCO* (Gómez-Miguel, 2005).

Entre las principales características de estos dos métodos objetivos resaltan, la utilización de caracteres diferenciadores (en las propiedades medibles del suelo) que

establecen clases definidas de manera muy rigurosa y precisa, por el uso de criterios cuantitativos y no cualitativos. Se evita la subjetividad presente en interpretaciones como las usadas en las clasificaciones genéticas, no obstante, aquellas propiedades que son el resultado directo de algún proceso formador de suelo, son utilizadas como diferenciadores. Por otra parte, el suelo es clasificado como se encuentra en la realidad sin necesidad de adaptarlo a unas condiciones previas al labrado y pueden ser aplicadas tanto a suelos vírgenes como a suelos agrícolas.

Estas clasificaciones tienen dos principales semejanzas: 1) la importancia que dan a la base de diagnóstico, es decir, a las propiedades y horizontes de diagnóstico; y 2) el carácter dicotómico de su estructura, sin embargo estos no son comunes en ambos sistemas, ni están definidos exactamente de la misma manera. Otras diferencias radican, desde el punto de vista metodológico la *Soil Taxonomy* es abierta mientras la *FAO* es cerrada; la relevancia y necesidad de datos de suelo y clima es muy significativa en la *Soil Taxonomy* (hecho que la hace muy sensible a la falta de datos) y menor en la *FAO*; y la aplicabilidad en la actividad agronómica es muy superior en la *Soil Taxonomy*.

***Soil Taxonomy* (USDA, 1975 - 1999)**

La taxonomía de suelos (*Soil Taxonomy*) publicada por primera vez en 1975, está desarrollada y coordinada por el Ministerio de Agricultura de los Estados Unidos (USDA). Su última actualización corresponde a *Keys to Soil Taxonomy* del año 2014.

La clasificación de USDA utiliza criterios basados en la morfología del suelo a través de la medición de sus propiedades directamente en el perfil o analizando muestras en laboratorio, y de forma articulada se añaden las características desarrolladas durante el proceso formador del suelo. Los dos elementos fundamentales usados para diferenciar y catalogar un suelo son los horizontes diagnósticos y las propiedades diagnósticas, entre las que destacan el régimen de humedad y el de temperatura del suelo. Esto resulta en una clasificación con muchas posibilidades de combinación desarrollada bajo los siguientes niveles: Orden, Suborden, Gran Grupo, Subgrupo, Familia y Serie.

En la cuenca de estudio, el régimen de temperatura del suelo es **mésico**, con temperatura media anual del suelo igual o mayor de 8 °C y menor de 15 °C; y

diferencia de 6 °C o más entre temperatura media del suelo durante verano e invierno, a 50 cm de profundidad debajo de la superficie del suelo o a un contacto más superficial. Dicho régimen es el dominante en gran parte del resto de España.

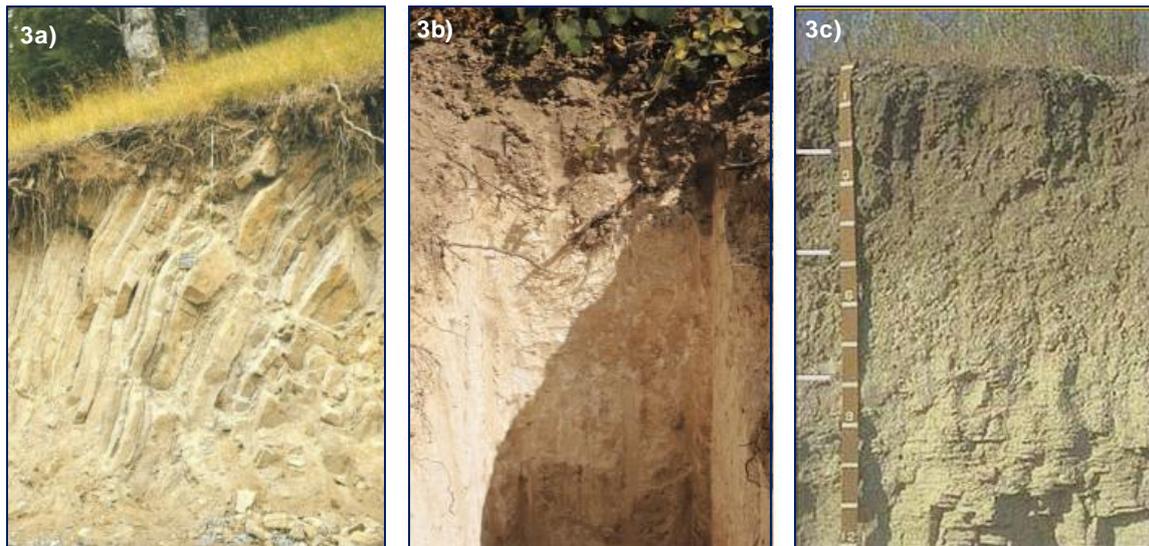
Con respecto al régimen de humedad del suelo, es del tipo **xérico**, régimen que tipifica las áreas con climas mediterráneos de inviernos húmedos y frescos, y veranos cálidos y secos. La humedad producida durante el invierno (evapotranspiración potencial mínima), es efectiva para la lixiviación. Adicionalmente, en años normales el suelo está seco en todas partes por 45 días o más consecutivos en los 4 meses siguientes al solsticio de invierno. De igual manera, en años normales el suelo está húmedo en alguna parte por más de la mitad de los días acumulativos por año, en los que la temperatura del suelo a una profundidad de 50 cm es mayor de 5 °C, o por 90 días o más consecutivos cuando la temperatura del suelo a una profundidad de 50 cm es mayor a 8 °C.

La temperatura media anual del suelo es menor de 22 °C, y las temperaturas medias del suelo en verano y en invierno difieren en 6 °C o más, a 50 cm de profundidad debajo de la superficie del suelo o a un contacto dénsico, lítico o paralítico, sí está más superficial (Soil Survey Staff, 2014).

Para la identificación de los suelos en la cuenca del Serpis (ver Anexo Mapa 10) se ha revisado el Mapa de Suelos de España (Gómez-Miguel, 2005b) clasificado bajo la *Soil Taxonomy*. Estos pertenecen a los órdenes *Aridisol*, *Entisol* e *Inceptisol* y se resumen en la tabla III. Las fotografías 3 corresponden a ejemplos tipo de estos suelos.

Suelo	Orden	Suborden	Grupo1	Asociación1	Extensión (km ²)
1	Aridisol	Orthid	Calciorthid		67,07
2	Entisol	Orthent	Torriorthent	Haplocalcid	84,08
3		Orthent	Xerorthent		87,62
4		Orthent / Fluvent	Xerorthent + Xerofluvent		47,66
5	Inceptisol	Ochrept	Xerochrept	Haploxeralf	178,89

Tabla III. Tipos de suelos presentes en la cuenca de drenaje del río Serpis. La clasificación utilizada en el Mapa de Suelos de España a escala 1:1.000.000 ha sido la *Soil Taxonomy* (USDA). Fuente: Gómez-Miguel, 2005b.



Fotografías 3. Tipos de suelos presentes en la zona de estudio. **3a)** Entisol (*Xerorthent* lítico) sobre dolomías. **3b)** Inceptisol sobre materiales calcáreos. **3c)** Aridisol.

Orden Entisol

En este orden se incluyen suelos minerales muy jóvenes y de escasa evolución que no exhiben ningún desarrollo de perfiles ni presencia de horizontes diagnósticos (en algunos casos poseen horizontes A y/o C difícilmente distinguibles), por ser en su mayoría material regolítico inalterado. Esto ocurre debido a que se forman sobre materiales depositados recientemente (deslizamientos), en los cuales la erosión favorece el rejuvenecimiento del suelo (Gómez-Miguel *et al.*, 2016). En otros casos, el suelo está sobre materiales muy resistentes difíciles de meteorizar (Fotografía 3a).

Están ampliamente distribuidos en la zona de abancalamientos del levante peninsular y en tierras niveladas (truncamientos y acumulación de horizontes) de manera antrópica para el asentamiento de nuevos regadíos. En la cuenca de estudio los suelos pertenecientes a este orden ocupan más del 45% del total y se incluyen en el suborden *Orthent* o suelos esqueléticos (entisoles de áreas montañosas y zonas con pendientes escarpadas), localizándose en la sierra Mariola, en el sistema de abanicos aluviales al margen izquierdo del Serpis entre Cocentaina y Muro de Alcoy, a lo largo de las terrazas asociadas al río y en el piedemonte sur de la sierra de Almudaina. Los grupos corresponden a *Torriorthent*, *Xerorthent* y *Xerofluvent*, diferenciándose entre ellos de acuerdo al régimen de temperatura dominante, ya que los primeros son de climas áridos y los segundos de régimen de humedad xérico.

- *Torriorthent*: son los *Orthents* secos y salados de regiones áridas frías y calientes. Tienen un régimen de humedad tórrido, la mayoría son neutros o

calcáreos y están en pendiente abruptas. Se encuentran en zonas de escasa vegetación formada por arbustos xerofíticos y pastos efímeros. Otras características distintivas de estos suelos son sus profundidades (< de 150 cm), coloración pardo amarillenta clara, bajo contenido de materia orgánica, pH de 8 y textura franco-arcillosa (Fernández González, 2011).

- *Xerorthent*: suelos de climas mediterráneos que han sido cultivados durante mucho tiempo, y al estar en áreas de pendientes moderadas son muy vulnerables a la erosión. Se caracterizan por ser profundos y poco evolucionados, de régimen de temperatura cálido y régimen de humedad seco (xérico), no presentan ningún horizonte diagnóstico a menos de 1 m de la superficie del suelo, son moderadamente alcalinos pero algunos ácidos, buen drenaje, contenido medio de materia orgánica y textura franco-arcillosa.
- *Xerofluvent*: suelos que han sufrido interrupciones en su evolución por el continuo aporte de materiales (coluviones, aluviones, arenas, etc.) asociado a las sucesivas crecidas e inundaciones de los ríos. Se utilizan para labores de regadío y se encuentran en las riberas de los ríos. Destacan por ser profundos (100 – 150 cm), pH ligeramente ácido, buen drenaje, contenido medio de materia orgánica, coloración marrón pálido y textura franco-arcillosa.

Orden Inceptisol

Son los suelos que tienen mayor representación en España. Consisten en suelos pobremente desarrollados que se caracterizan por horizontes superficiales de colores claros y presencia de horizontes subsuperficiales (cámbico, gípsico, cálcico, fragipán, hardpan). Estos pueden presentarse en un gran número de formas de relieve, desde terrazas aluviales hasta en zonas montañosas; y en la mayoría de climas, especialmente en regiones mediterráneas cálidas (Fotografía 3b).

El perfil de este orden de suelos tiene falta de madurez a semejanza del material originario (especialmente si es muy resistente), por lo que se relacionan geográficamente con los Entisoles. Se desarrollan sobre las margas y calizas que rellenan las cuencas de los ríos y configuran las mesetas sobre una buena parte del neógeno marino del este peninsular.

Los inceptisoles ocupan un 38,5% del total de los suelos en la zona de estudio y cubren ampliamente las formaciones carbonatadas y margosas (facies *Tap*). Estos

corresponden al suborden *Ochrept* grupo *Xerochrept*, caracterizados por ser de régimen de humedad xérico y presentar coloración rojiza o parda oscura. Otros aspectos a destacar son el bajo contenido de materia orgánica presente, pH ligeramente ácido, buen drenaje, no tienen fragipán (horizonte duro en estado seco y frágil en estado húmedo), textura franco-arenosa (Fernández González, 2011).

Orden Aridisol

Estos suelos corresponden al único orden definido por su grado de aridez ya que durante prolongados periodos de tiempo, suelen carecer de agua de suministro para las plantas (Gómez-Miguel *et al.*, 2016). Son característicos de un régimen climático en el que la evapotranspiración sobrepasa ampliamente a las precipitaciones durante la mayor parte del año. En estas condiciones, la escasa infiltración de agua en el suelo propicia un contenido elevado de bases en el perfil y un escaso crecimiento de la vegetación (Fotografía 3c).

Al sur y suroeste de la cuenca, en los valles del Polop y La Canal se presentan aridisoles *Calciorthids* caracterizados por presentar un alto contenido de cal, proporcionándoles una coloración blanca. Además destacan por: tener un horizonte cálcico de origen secundario (acumulación de carbonato cálcico o magnésico) a menos de 1 m de la superficie, carecen de una capa gypsica o petrogypsica (horizonte de acumulación de yeso o gypsico cementado), son suelos profundos (< de 150 cm), pH básico (9), excesivo drenaje, contenido bajo de materia orgánica, coloración roja amarillenta entre 0 y 41 cm, pardo entre 41 y 94 cm, y pardo claro hasta el final del perfil; textura franco-arenosa.

FAO-UNESCO (1968 - 1990)

Con el fin de valorar los recursos edáficos del mundo, la Organización para la Alimentación y la Agricultura de Naciones Unidas (FAO), desarrolló en 1975 una clasificación para la leyenda del Mapa Mundial de Suelos de la UNESCO a escala 1:5.000.000, siendo modificada más tarde bajo el nombre de Leyenda Revisada del Mapa Mundial de Suelos, 1990 (Gómez-Miguel, 2005).

Este método ampliamente aceptado como sistema de referencia, aporta generalizaciones acerca de la interacción entre los factores y los procesos formadores del suelo. Además, se caracteriza por ser muy intuitivo, eficaz desde el punto de vista

didáctico y útil para estudios poco detallados (a nivel continental). Las unidades se mapean como Asociaciones de Suelos y se describen en función de las fases del suelo, la textura y las pendientes.

En la actualidad, la *World Reference Base for Soil Resources* (WRB) del año 1998 desarrollada en conjunto por la IUSS y la FAO, ha reemplazado las primeras clasificaciones de la *FAO/UNESCO* ya que adicionalmente adopta conceptos de otras clasificaciones como la *Soil Taxonomy*, la *Référentiel Pédologique* y los conceptos rusos. La última actualización es del año 2014 y el nivel de detalle corresponde a los subgrupos de la *Soil Taxonomy* (IUSS, 2015).

En la tabla IV se presentan las equivalencias entre las dos principales clasificaciones, únicamente de los tipos de suelos reconocidos en la cuenca del Serpis, resultando en tres grupos: *Solonchaks*, *Leptosols* y *Calcisols*.

Soil Taxonomy (USDA, 1999)			FAO (1990)
Orden	Suborden	Grupo	
Entisol	<i>Orthent</i>	<i>Torriorthent</i>	Solonchaks
Entisol	<i>Orthent</i>	<i>Xerorthent</i>	Leptosols
Inceptisol	<i>Ochrept</i>		Calcisols
Aridisol	<i>Orthid</i>		Calcisols

Tabla IV. Equivalencia entre las clasificaciones de suelos *Soil Taxonomy* y *FAO*. Fuente: Modificado de Gómez-Miguel, 2005.

Solonchaks: son suelos pálidos grisáceos y mal drenados, de difícil utilización agrícola y habituales en zonas con condiciones áridas a subhúmedas, caracterizados por tener en el perfil un alto contenido en sales solubles (horizonte sálico dentro de 50 cm desde la superficie del suelo) acumulado por evaporación. En estado natural, suelen estar colonizados por una vegetación muy especializada y adaptada a condiciones de elevada presión osmótica y al efecto de algunos iones (Miralles, 2005).

Leptosols: son suelos muy poco profundos sobre roca dura, materiales calcáreos o suelos más profundos muy gravosos o pedregoso (afloramientos generalizados). Están ampliamente extendidos en áreas montañosas, sin embargo, pueden presentarse en zonas tropicales, polares, al nivel del mar o en picos elevados. Su espesor es, como máximo, de 30 cm siendo los más delgados y someros (menores a 10 cm de profundidad) llamados leptosoles líticos; por ello, es escaso el potencial de

soporte de la vegetación. Estos son poco deseados en la agricultura de secano, ya que tienen poca capacidad para retener agua, pero en ciertos casos, poseen potencial en cultivos arbóreos o pastoreo.

Calcisols: los suelos con una substancial acumulación de carbonatos secundarios, provenientes de depósitos aluviales, coluviales o eólicos de materiales alterados ricos en bases, se denominan *Calcisols*. Comúnmente se desarrollan en ambientes áridos y semiáridos sobre terrenos colinados, con vegetación natural escasa dominada por arbustos, pastos y árboles xerófitos. En estas zonas, el lavado del carbonato está frenado y las fluctuaciones de evapotranspiración dan lugar a una fuerte acumulación de carbonatos a lo largo de todo el perfil.

2.4.2 Erosión de suelos

En la actualidad, la erosión constituye uno de los problemas ambientales más graves que afectan al medio natural en España, ya que entre sus principales efectos provoca la pérdida de fertilidad de suelos agrícolas y forestales, acelera la degradación de la cubierta vegetal y disminuye la regulación natural de las aguas.

A pesar de que en el siguiente trabajo se obtendrá un mapa actualizado de pérdida de suelo en la cuenca del río Serpis (tramos alto y medio); con el fin de comparar y determinar la evolución de los procesos erosivos en la zona, adicionalmente se ha revisado la información cartográfica presente en el Inventario Nacional de Erosión de Suelos (INES), iniciado y desarrollado desde el año 2001 por el extinto Ministerio de Medio Ambiente, en la actualidad Ministerio de Agricultura, Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (MAPAMA).

Su antecedente directo lo constituyen los Mapas de Estados Erosivos para grandes cuencas hidrográficas (escala 1:400.000), iniciados en 1982 por el antiguo Instituto Nacional de Conservación de la Naturaleza, cuyo objetivo era generar una cartografía que permitiera conocer las características de los fenómenos erosivos, a una escala adecuada para la priorización de inversiones. Sin embargo, debido a que los mapas necesitan una constante revisión para actualizarlos, mejorar la metodología utilizada y adecuar la escala de trabajo a los requerimientos actuales de planificación; se puso en marcha el primer Inventario Nacional de Erosión de Suelos (INES, 2002-2012). Entre los objetivos del INES está suministrar una información estadística, homogénea y comparable sobre los procesos de erosión del suelo en España, determinar la

evolución de dichos procesos, proporcionar información para delimitar las zonas donde se debe actuar prioritariamente en la lucha contra la erosión y servir como instrumento para la coordinación de las políticas que inciden en la conservación del suelo.

A partir de una escala de trabajo 1:50.000, se realiza un inventario continuo cada 10 años en el que se estudian cinco tipos de erosión o módulos: erosión laminar y en regueros, erosión en cárcavas y barrancos, erosión en profundidad (movimientos en masa), erosión de cauces y erosión eólica.

Erosión laminar y en regueros

La erosión laminar y en regueros debido al efecto del agua es el tipo de erosión más significativo cuantitativa y cualitativamente. La metodología se basa en las últimas versiones del modelo USLE / RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation / Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada).

La zonas con mayor tasa de erosión en la cuenca (> 200 tn/ha/año) se ubican a lo largo del margen derecho del Serpis y en las cercanías del embalse de Beniarrés predominantemente sobre materiales margosos; otros lugares con valores elevados son, el extremo meridional en el valle del Agres prolongándose por todas las estribaciones de la sierra Benicadell y al este en las sierras Cantalar y flanco sur de Almudaina. Al sur y oeste, en las sierras Aitana y Mariola, las tasas de erosión son generalmente bajas (10 tn/ha/año) (Figura 9).

Erosión en profundidad (movimientos en masa)

El tercer módulo de erosión considerado, clasifica cualitativamente el territorio en función de la potencialidad a presentar fenómenos de movimientos en masa/deslizamientos, considerando variables litológicas, topográficas (pendiente), pluviométricas, sismicidad, así como, la existencia de movimientos activos en el pasado reciente.

En la zona de estudio es habitual la potencialidad alta, la cual se incrementa a muy alta en las partes más al este y noreste de la cuenca; al oeste de Alcoy y Cocentaina, al pie de la sierra Mariola, también se presentan parches de potencialidad alta - muy alta (Figura 10).

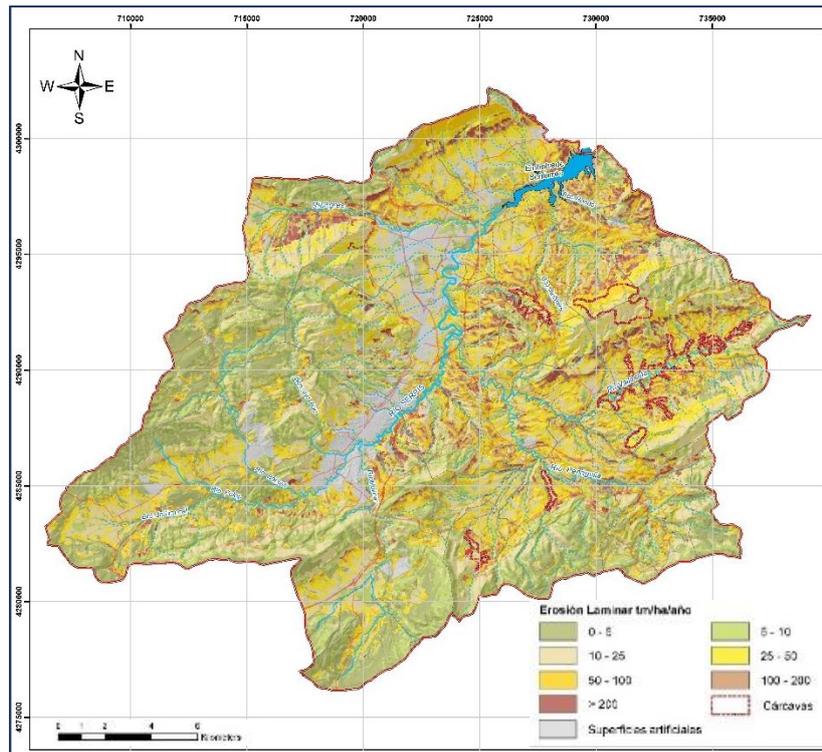


Figura 9. Erosión laminar en la cuenca del Serpis. Fuente: INES, 2002-2012.

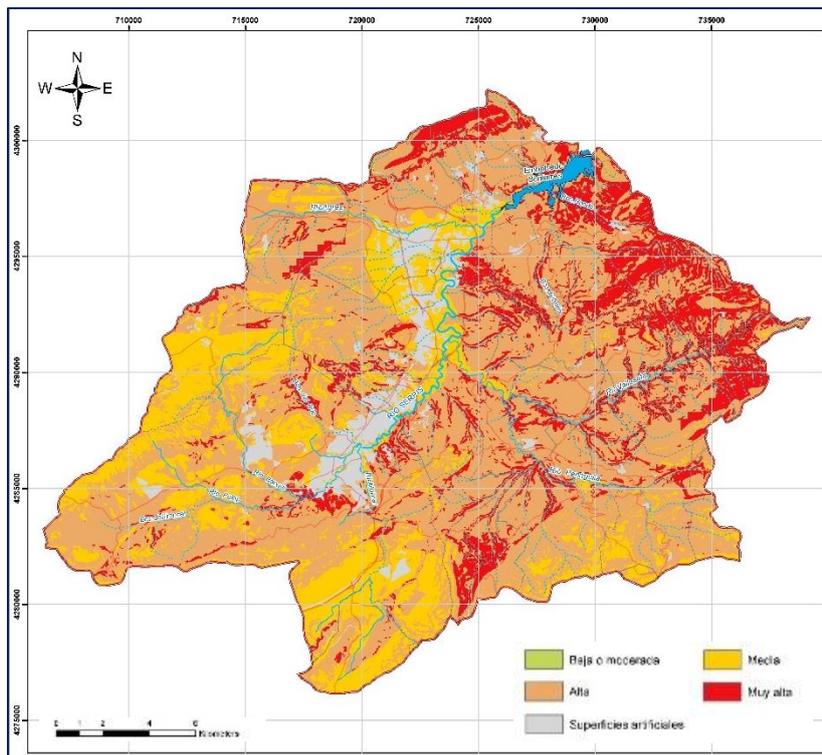


Figura 10. Erosión en profundidad (movimientos en masa) en la cuenca. Fuente: INES, 2002-2012

Erosión en cárcavas y barrancos

Por otra parte, se consideran las áreas afectadas por procesos activos de erosión en forma de cárcavas y barrancos, el cual corresponde a un módulo igualmente

provocado por la acción del agua. La identificación y delimitación de estas zonas es realizada mediante fotointerpretación de ortoimágenes.

Estos procesos destacan a lo largo del río Valleseta al pie de la sierra Almudaina, en los barrancos de Caraita (afluente del Serpis a la altura de Cocentaina) y Torresena (afluente del río Penáguila).

Erosión eólica

Los factores que intervienen en la erosión eólica son la intensidad del viento, el relieve, las características físico-químicas del suelo, la cubierta vegetal o vegetación natural, y demás usos del suelo. Este tipo de erosión no tiene un gran efecto en la cuenca, ya que se considera de muy bajo a bajo; sin embargo al oeste entre Cocentaina y Muro de Alcoy aparece una zona de nivel medio (Figura 11).

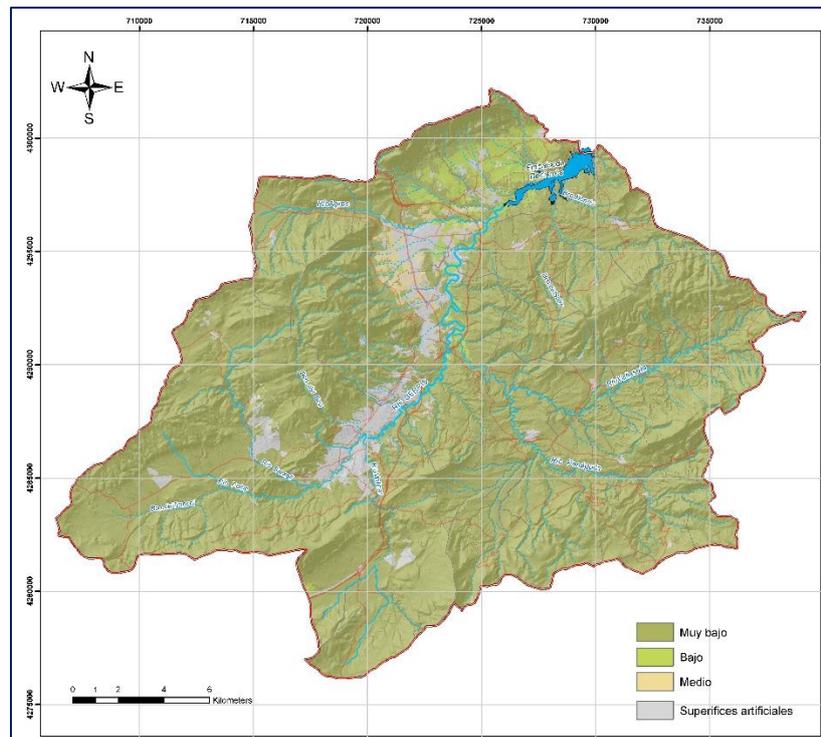


Figura 11. Erosión eólica en la cuenca del Serpis. Fuente: INES, 2002-2012.

Erosión de cauces

Corresponde a la clasificación de manera cualitativa de las subcuencas (en términos de unidades hidrológicas) según la susceptibilidad de sufrir fenómenos torrenciales en la red de drenaje. Los factores tenidos en cuenta para realizar esta clasificación son la litología, pendiente, intensidad de la lluvia, erosión laminar y potencialidad de movimientos en masa.

La erosión en cauces de la red hidrográfica de la zona se considera alta a muy alta, esto último en la subcuenca norte a partir de la unión entre el Serpis y el Valleseta (Figura 12).

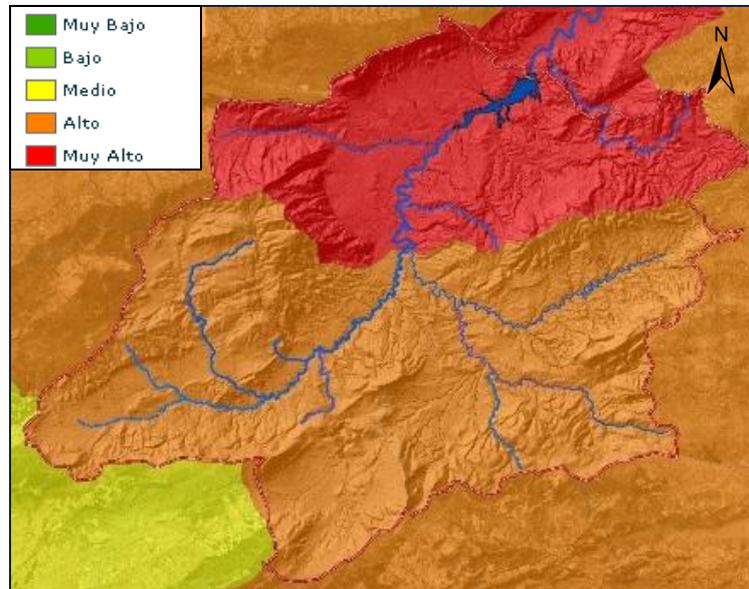


Figura 12. Erosión en cauces en la cuenca del Serpis. Fuente: INES, 2002-2012.

2.5 Hidrogeología

Los acuíferos desarrollados total o parcialmente dentro de la cuenca del Serpis, pertenecen a la Zona Norte del Sistema de Acuíferos Prebético Valencia - Alicante (Sánchez Serradilla, 2010), formados por alineaciones montañosas y valles del Prebético externo nororiental que ocupa una superficie de 2600 km², sin sumar los 400 km² que corresponde a los subsistemas Sierra Aitana - Serrella-Aixorta y Anticlinales de Orcheta - Peña Alhama.

Estos acuíferos mayormente son de naturaleza carbonatada (materiales cretácicos y jurásicos) y en menor proporción, calcodetríticos terciarios y detríticos cuaternarios; con niveles impermeables constituidos por arcillas evaporíticas triásicas (facies *Keuper*), margas paleógenas y margas blanquiazules miocenas (facies *Tap*).

Las zonas permeables suelen presentar formas de relieve acusadas, de estructura anticlinal y muy tectonizadas, a diferencia de los valles sinclinales ocupados por los materiales impermeables. Las características hidráulicas son variables ya que dependen del nivel de karstificación y fracturación, por lo tanto, en ciertas zonas las calizas y dolomías pueden alcanzar transmisividades de 12000 m²/día pero en otras pueden tener niveles de productividad tan bajos de sólo 100 m²/día.

Por otra parte, el flujo subterráneo generalmente tiene dirección OS–EN al igual que la estructura tectónica del Prebético; y los gradientes hidráulicos en los acuíferos carbonatados oscilan entre 5% y 0,25%, siendo casi nulo en aquellos con intensa karstificación (IGME, 1988).

En el sistema completo del Serpis se han diferenciado un total de nueve subsistemas: 1) Sierra de las Agujas; 2) Sierra Grossa; 3) Solana-Almirante-Mustalla; 4) Sierra Mariola; 5) Sierra Segaria; 6) Peñón-Montgó-Bernia-Benisa; 7) Plana de Gandía-Denia; 8) Sierra Aitana-Serrella-Aixorta; y 9) Anticlinales de Orcheta-Peña Alhama. De estos, la cuenca del Serpis en sus tramos alto y medio, tiene una influencia directa en los subsistemas número 3, 4, 5.

2.5.1 Subsistema Solana – Almirante – Mustalla

El subsistema ubicado al norte de la cuenca, tiene una superficie de 560 km² (aflorando 460 km² de estos), longitud de 75 km (entre Villena y Oliva) y ancho entre 5 y 15 km; conteniendo la depresión de Villena y las sierras de Benejama, Solana, Benicadell, Ador, Albuerca, Azafor, Almirante, Gallinera, Mustalla y Oliva. Además, su interior incluye 42 núcleos urbanos siendo Villena el más poblado (34163 hab. INE, 2016). El río Serpis atraviesa el subsistema en Lorcha, Villalonga y el curso alto de Vinalopó (Figura 13).

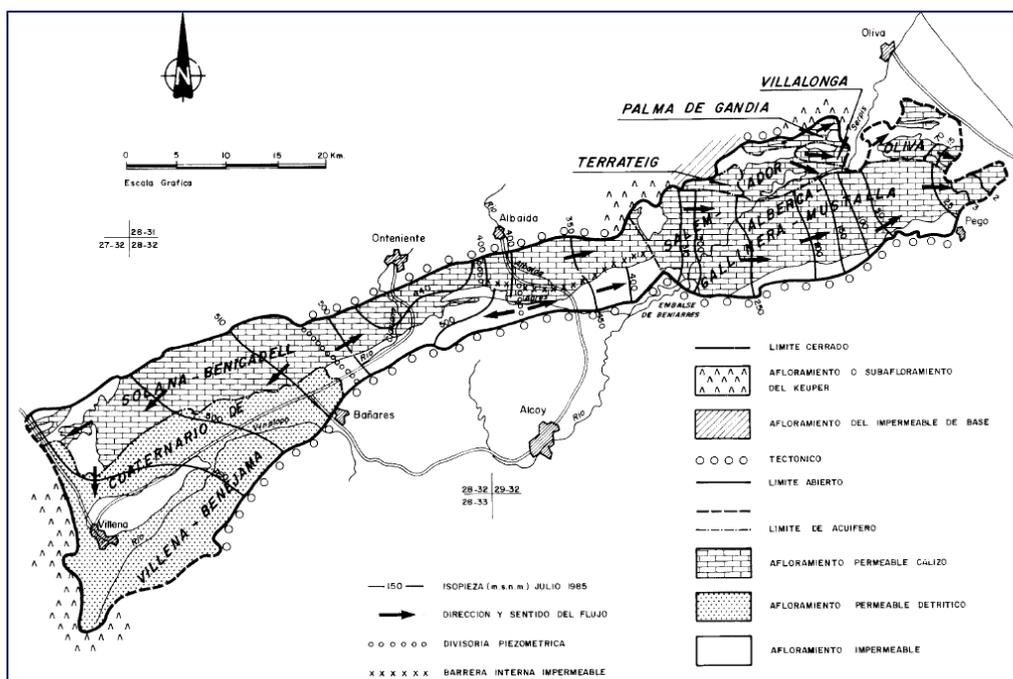


Figura 13. Subsistema Solana – Almirante – Mustalla. Fuente: IGME, 1988.

Litológicamente, la formación cretácica tiene unos 800 m de dolomías y calizas con intercalaciones arcillo-arenosas y margosas conectadas hidráulicamente, y flujo subterráneo con dirección principal SE-NE (IGME, 1988).

Su uso está destinado en más del 67% al abastecimiento agrícola; el resto es para abastecer las demandas urbano-industrial en 25% e industrial independiente menor al 7%. Respecto a su calidad, es adecuada para todos los usos con facies químicas predominantemente bicarbonatadas cálcicas y, en ciertos casos, cálcico-magnésicas.

2.5.2 Subsistema de Sierra Mariola

Este acuífero cretácico ocupa una superficie de 300 km² aproximadamente, de los que afloran 240 km² de materiales permeables. Tiene morfología alargada en dirección NE-SO y comprende la alineación montañosa definida por las sierras Peñarrubia, Onil, Fontanella, Menechaor, Fontfreda, Mariola y Ondoches, abarcando adicionalmente la Hoya de Alcoy. Alcoy, Cocentaina, Muro de Alcoy, Agres, Bañeres, Biar, Sax y Onil representan los núcleos poblacionales emplazados en la periferia del subsistema (Figura 14).

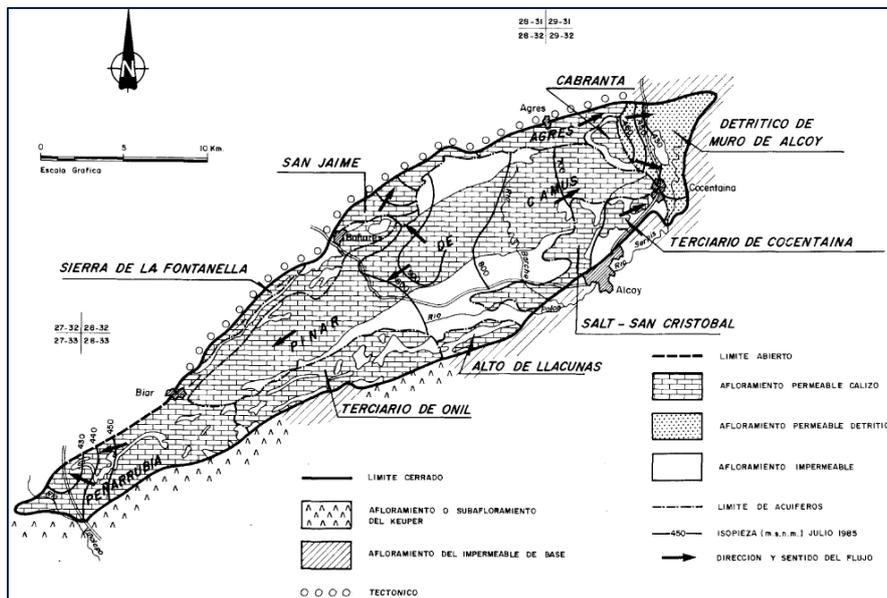


Figura 14. Subsistema de Sierra Mariola. Fuente: IGME, 1988.

La formación de edad Cretácico dispone de unos 650 m de calizas y dolomías con intercalaciones margosas y un tramo de 400 m de calizas micríticas y dolomías cristalinas del Jurásico Superior (IGME, 1988). Adicionalmente, incluye algunos acuíferos permeables terciarios, predominantemente del Mioceno; caracterizados litológicamente por calizas, margas arcillosas, margocalizas, conglomerados, calizas

micríticas y detríticas, y margas blancas (facies *Tap*). Por otra parte, los sedimentos cuaternarios alcanzan gran desarrollo constituyendo el acuífero Muro de Alcoy.

Los acuíferos reconocidos dentro de este subsistema son los siguientes: 1) Acuífero de Pinar de Camus, 2) Acuífero Terciario de Onil, 3) Acuífero de Peñarubia, 4) Acuífero de Alto de Llacunas, 5) Acuífero de Salt San Cristóbal, 6) Acuífero Terciario de Cocentaina, 7) Acuífero detrítico de Muro de Alcoy, 8) Acuífero Jurásico de Muro de Alcoy, 9) Acuífero de Agres, 10) Acuífero de San Jaime y 11) Acuífero de la Sierra de la Fontanella.

En lo referente a la extracción, el abastecimiento urbano-industrial es la principal demanda satisfecha, ya que alrededor de un 89% está destinado a este uso; para demanda agrícola se destina un 10% del total de recurso y para el abastecimiento industrial independiente tan sólo un 0,4%; además se extrae agua para abastecer parcialmente las localidades de Alcoy y Alicante. Finalmente, el agua subterránea del subsistema de Sierra Mariola es considerada de buena calidad, con una mineralización relativamente baja y con residuo seco entre 200 y 400 mg/l (IGME, 1988).

2.5.3 Subsistema de Sierra Segaria

Este subsistema de superficie 220 km² de los cuales 150 km² forman afloramientos permeables, presenta forma alargada en dirección Este Noreste-Oeste Suroeste, tiene longitud de 38 km, anchura de 10 km e incluye un total de 15 municipios. Las sierras de Almudaina, Aforada, Alfaro, Carrasca, Fontilles, Mediodía y Segaria están comprendidas en su interior (Figura 15).

Unos 650 m de calizas y dolomías intercaladas con margas componen el sistema, el cual está conectado hidráulicamente y tiene dirección de flujo subterráneo Oeste Suroeste-Este Noreste, coincidiendo en su límite norte con el subsistema Solana-Almirante-Mustalla por su parte límite meridional. Dos acuíferos principales forman el subsistema: Almudaina-Mediodía y Segaria; sin embargo existen otros pequeños acuíferos “colgados” y de escasos recursos.

Las aguas subterráneas principalmente satisfacen la demanda agrícola, ya que casi un 83% están destinadas a este sector; además se abastece menos de 12% del recurso a la demanda urbano-industrial y sobre el 5% va dirigido al sector industrial

independiente. La calidad del agua es buena para todo uso y presenta facies típica bicarbonatada cálcico-magnésica.

Además de la información reseñada, para el estudio del marco hidrogeológico (ver anexo Mapa 11) dentro de la cuenca en cuestión se ha partido de los mapas hidrogeológico y de permeabilidades de España a escala 1:200.000 (IGME, 2000) y de la caracterización de las masas de agua subterráneas en la demarcación de la Confederación Hidrográfica del Júcar.

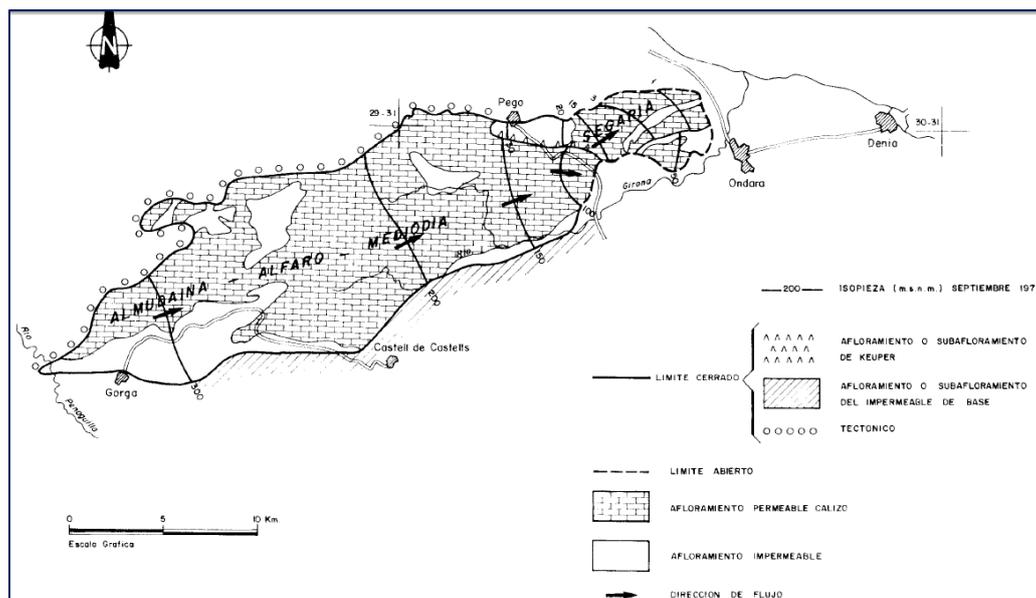


Figura 15. Acuífero Almodaina-Alfaro-Medioldia-Segaria. Fuente: IGME, 1988.

En el sistema de explotación existen 19 masas de agua subterráneas incluidas total o parcialmente, sin embargo, las más destacadas por su tamaño y aportar un mayor volumen de extracción, se concentran en los tramos bajos y desembocadura (Plana de Jaraco, Plana de Gandía, Sierra de Ador, Marchuquera-Falconera, Almirante Mustalla).

En las cuencas alta y media se incluyen 11 de estas masas subterráneas (Figura 16), todas permeables destacando las de Barrancones-Carrasqueta y Sierra Aitana con superficies superiores a los 200 km²; y la de Muro de Alcoy que a pesar de ser la más pequeña (23,24 km²) tiene 2,5 Hm³/año de recurso disponible.

Adicionalmente, existen numerosos manantiales unos conectados directamente al río o a alguno de sus afluentes, ganando de esta forma recursos el río. Los únicos manantiales aislados y desconectados del río están en la sierras Mariola y Aitana (Martínez del Prado, 2016). La relación río-acuífero en las cuencas media y alta del

Serpis concentra principalmente tramos ganadores (IGME-DGA, 2010), a excepción de uno en el río Barxell (Riquer) de aproximadamente 3 km de longitud.

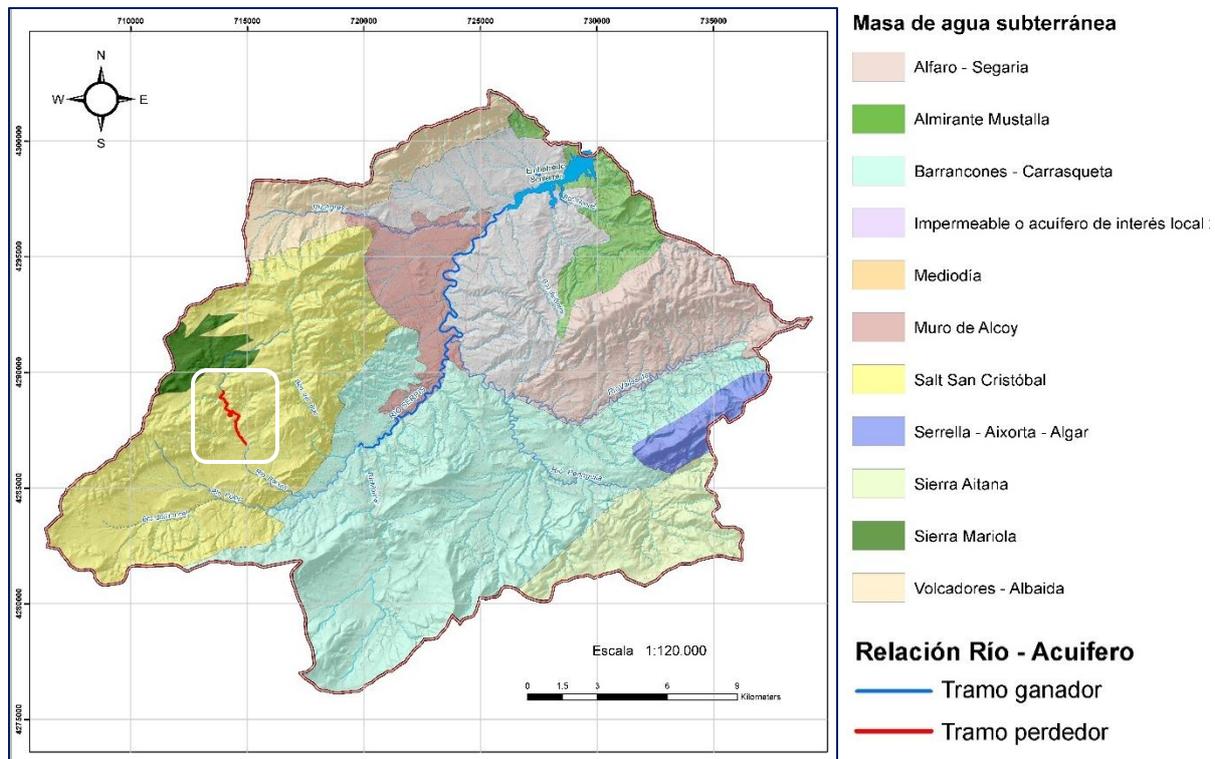


Figura 16. Masas de agua subterráneas y tipología de la relación río-acuífero en el río Serpis. En el rectángulo, se muestra el único tramo perdedor presente en la zona (río Barxell). Fuente: CHJ, 2014.

Estos cuerpos subterráneos han sido descritos de acuerdo a sus características hidráulicas en libre, confinada, mixta y predominantemente libre. Por otra parte, también se caracteriza la litología dominante del acuífero en detrítica, carbonatada y mixta (Tabla V). (CHJ, 2015).

Para evaluar el recurso en cada masa de agua subterránea se ha utilizado el modelo Patrical (Pérez, 2005), el cual es capaz de simular ya sea en régimen natural como en alterado, las componentes superficiales del ciclo hidrológico y las variables subterráneas como infiltración por lluvia, transferencias laterales entre acuíferos, relaciones entre río/humedal y masas de agua subterránea, salidas subterráneas al mar. El recurso renovable de una masa de agua subterránea según la Instrucción de Planificación Hidrológica (IPH), se define como la suma de sus entradas (recarga por la infiltración de la lluvia, recarga por retornos de regadío y otros usos, infiltración desde cauce superficial y entradas por transferencias laterales desde otras masas de agua subterránea), sin embargo, en casos en que existan flujos subterráneos entre masas de agua; se utiliza el concepto de recurso renovable zonal, restando al recurso

renovable las salidas subterráneas hacia otras masas (CHJ, 2015). En la tabla VI se muestran los resultados del recurso renovable y renovable zonal, además de los valores de cada una de las variables incluidas en el modelo.

Masa de agua Subterránea	Sup. total / Sup. en cuenca (km ²)	Funcionamiento hidráulico	Litología
Barrancones – Carrasqueta	263,79 / 148,01	Predominantemente libre	Carbonatada
Sierra Aitana	215,82 / 25,88	Mixta	Mixta
Almirante Mustalla	205,54 / 18,89	Mixta	Carbonatada
Alfaro – Segaria	175,26 / 45,29	Mixta	Mixta
Salt San Cristóbal	155,15 / 107,78	Mixta	Carbonatada
Serrella - Aixorta - Algar	151,02 / 9,16	Mixta	Carbonatada
Volcadores – Albaida	150,56 / 22,46	Mixta	Carbonatada
Sierra Mariola	95,67 / 7,54	Mixta	Carbonatada
Acuífero local	57,07 / 57,07	-	-
Mediodía	51,68 / -	Mixta	Carbonatada
Muro de Alcoy	23,24 / 23,24	Libre	Detrítico

Tabla V. Superficie total de las masas de agua subterráneas en la cuenca de estudio. Características hidráulicas y tipos litológicos dominantes. Fuente: CHJ, 2015.

Masa de agua Subterránea	Recarga Lluvia	Retornos Totales	Pérdidas del río	Entradas Laterales	Recurso renovable	Salidas Laterales	Recurso Renovable Zonal
Barrancones - Carrasqueta	19,4	0,1	0,2	7,0	26,7	5,4	21,3
Sierra Aitana	23,5	0,8	0,0	0,0	24,3	0,0	24,3
Almirante Mustalla	27,3	3,9	2,6	8,8	42,6	12,0	30,6
Alfaro - Segaria	22,9	2,5	1,6	0,0	27,0	5,6	21,4
Salt San Cristóbal	10,6	0,0	1,0	0,0	11,6	5,3	6,3
Serrella - Aixorta - Algar	24,3	0,9	0,5	0,0	25,7	0,1	25,6
Volcadores - Albaida	15,3	0,5	0,1	0,0	15,9	7,0	8,9
Sierra Mariola	6,3	0,1	0,1	0,0	6,5	0,1	6,4
Mediodía	10,1	0,2	0,0	0,1	10,4	0,1	10,3
Muro de Alcoy	3,2	0,1	0,0	1,9	5,2	0,0	5,2

Tabla VI. Recurso renovable y renovable zonal por masa de agua subterránea (Hm³/año). Fuente: CHJ, 2015.

Con respecto a las presiones en las masas de agua subterránea se tienen en cuenta las fuentes de contaminación puntual y difusa, extracciones de agua, recarga artificial y otros tipos (intrusión); estas se resumen en la tabla VII.

Las fuentes de contaminación puntual se producen por los vertidos a las aguas subterráneas (urbanos e industriales), sin embargo para las masas del Serpis se

consideran No Significativas. Las fuentes difusas corresponden a dos tipos: práctica de actividades agrarias y alteración de las zonas de recarga natural por usos del suelo artificiales no agrarios. En la cuenca, la presión por infiltración de nitratos es muy baja (menos de 25 Kg/ha/año) excepto la masa Almirante Mustalla con valores entre 50 y 100 Kg/ha/año considerándose alta la carga contaminante por nitratos; de igual manera, el exceso de fitosanitarios en general es muy bajo-bajo con valores entre 0,25 y 1,00 Kg/ha/año, que se incrementan entre 1 y 3 Kg/ha/año (presión media) en la masa subterránea mencionada anteriormente. La masa Muro de Alcoy presenta una fuente difusa asociada a la presión significativa por la alteración de la tasa de recarga natural ya que tiene un 26% de ocupación de superficies artificiales en afloramientos permeables del acuífero (CHJ, 2014b).

El parámetro indicador de la presión por extracción es el Índice de explotación (K), el cual es una relación entre el volumen total bombeado y el recurso disponible calculándose como el cociente entre el volumen total de la demanda de uso de aguas subterráneas y el recurso disponible. Las masas Salt Cristóbal, Sierra Mariola, Alfaro-Segaria y Mediodía se consideran que tienen presión significativa por extracción.

Masa de agua Subterránea	Fuentes Puntuales	Fuentes Difusas	Extracción total (Hm ³ /año)	Recurso disponible (Hm ³ /año)	Indice de Explotación (K)	Presión por recarga artificial
Barrancones - Carrasqueta	12	No	9,1	10,2	0,8	No
Sierra Aitana	4	No	3,1	10,4	0,2	No
Almirante Mustalla	13	No	12,0	18,4	0,6	Si
Alfaro - Segaria	17	Si	10,5	8,5	10,2	No
Salt San Cristóbal	4	No	5,8	6,3	0,9	No
Serrella - Aixorta - Algar	8	No	15,8	20,3	0,7	No
Volcadores – Albaida	6	No	2,8	3,9	0,7	No
Sierra Mariola	3	No	4,5	3,1	1,4	No
Mediodía	1	No	7,5	6,9	1,0	Si
Muro de Alcoy	2	Si	0,4	2,5	0,1	No

Tabla VII. Presiones significativas en las masas de agua subterráneas de la cuenca del río Serpis. Fuente: CHJ, 2014b.

2.6 Clima

El clima en el Comtat y L'Alcoià, comarcas sobre las que principalmente se ubican el tramo alto y medio del Serpis, se caracteriza por ser un clima mediterráneo típico (Csa según la clasificación climática de Köppen-Geiger), de precipitaciones equinociales y predominio de temperaturas suaves durante todo el año debido a la influencia del mar (en torno a los 15 °C), veranos largos y calurosos con temperaturas medias por encima de los 22 °C (máximas superiores a los 30 °C) e inviernos fríos, húmedos y lluviosos.

La costa mediterránea, al estar orientada al este y protegida por la meseta castellana, presenta un régimen de precipitaciones de ritmo anual prolongado con máximas en otoño y primavera (mínimo estival y pico otoñal), es decir, las lluvias se concentran en las estaciones intermedias en lugar del invierno, sin embargo, este último es más seco pero ampliamente más lluvioso que el verano.

Según Fernández González (2011), los periodos fríos o de heladas (número de meses en los que la temperatura media de las mínimas es inferior a 7 °C) son poco frecuentes y de baja intensidad, sin embargo, aumentan en dirección E-O (de 3 meses a 6 meses). El período cálido (número de meses con una temperatura media de las máximas superior a 30 °C) varía de 0 a 1 mes en toda la zona, excepto en las regiones bajas del valle del Serpis, donde varía de 1 a 2 meses. Finalmente, el período seco o árido, indicador del número de meses con déficit hídrico (diferencia entre la evapotranspiración potencial ETP y la real), se prolonga durante 4 meses en las zonas fluviales del Serpis, y disminuye a 3 meses en las zonas más elevadas.

Estas características son las que definen la parte septentrional del territorio alicantino, no obstante, la caracterización climática está influenciada por el relieve y la altitud, los cuales imponen una cantidad de matices climáticos que generan un mosaico en el clima local, que a pesar de tener medias totales pluviométricas alrededor de 600 mm, aparecen ámbitos en el fondo de los valles, que registran valores de precipitaciones medias anuales inferiores a los medidos en serranías y laderas de favorable disposición a los flujos húmedos, reflejo de un efecto de sombra pluviométrica, sin que ello sea impedimento en la aparición frecuente de episodios torrenciales (Belda Miró, 2014). Este fenómeno está representado en la sierra Mariola (precipitaciones anuales de 850 mm) y más claramente en la Font Roja, la cual hace de barrera

pluviométrica (efecto *foehn*) marcando una clara diferencia entre un sector húmedo al norte (umbría), con medias de lluvias anuales superiores a los 500 mm, y otros sectores secos y semiáridos al sur con lluvias por debajo de 400 mm (e incluso de 300 mm) anuales. La sierra también marca una barrera hidrográfica entre los cursos que fluyen al norte, de régimen mediterráneo irregular pero con agua durante todo el año, y los que circulan al sur, que constituyen ramblas y barrancos.

Por otra parte, la humedad relativa media anual tiene poca variación oscilando entre 63.5% y 68%, registrándose los máximos en septiembre (74%) y los mínimos durante el mes de febrero (54%). Los vientos dominantes son muy variables, pero cierta preferencia a los de poniente (O) que ofrecen un aumento en las temperaturas desde finales de otoño hasta principios de primavera, ya que en los meses de verano destacan los vientos del levante (E) (Sánchez Serradilla, 2013).

En el mismo contexto, de acuerdo a la diferenciación del clima de la Comunidad Valenciana planteada por Pérez Cueva (1994), en la que se establecen 8 zonas climáticas siguiendo aspectos geográficos como altitud, continentalidad y configuración montañosa; la cuenca del río Serpis comprende los siguientes sectores (Figura 17).

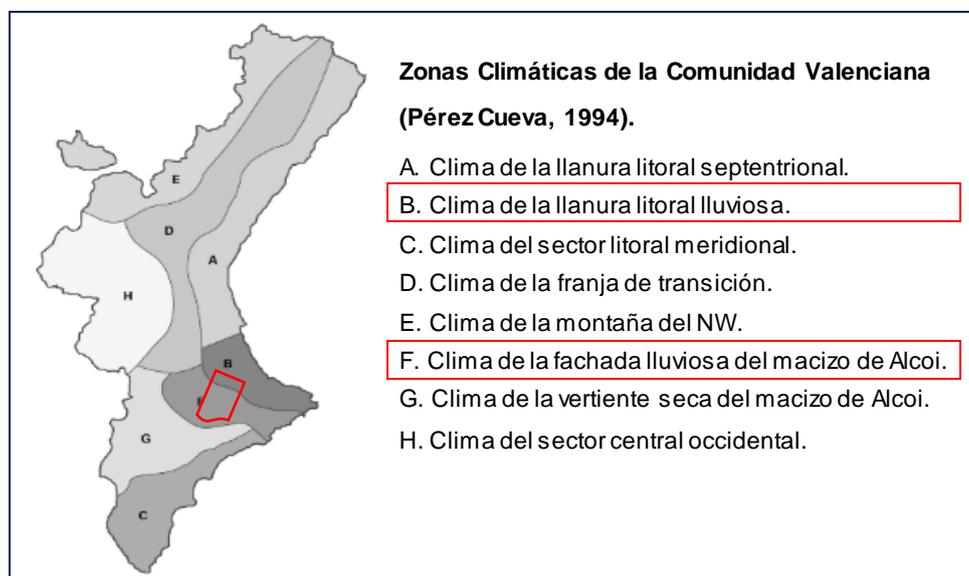


Figura 17. Zonas climáticas de la Comunidad Valenciana. La zona de estudio comprende las zonas B y F. Fuente: Pérez Cueva, 1994.

- **Zona B. Clima de la llanura litoral lluviosa:** Las precipitaciones anuales se sitúan en torno a los 650 mm. El otoño sigue siendo la estación más lluviosa, seguida de la primavera, aunque en este caso los inviernos son más lluviosos

que en la zona A (clima de la llanura litoral septentrional). La sequía estival sigue siendo muy marcada. El aumento pluviométrico es consecuencia de la orientación de la costa, casi perpendicular a los flujos de NE, habituales en las situaciones de ciclogénesis mediterránea o "gota fría". Las temperaturas son muy parecidas a las de la zona A, si acaso un poco más altas por su situación más meridional.

- **Zona F. Clima de la fachada lluviosa del macizo de Alcoy:** Esta zona corresponde a la vertiente norte del extremo oriental de las Béticas, y origina un tipo de clima similar al de la llanura litoral lluviosa (zona B), con unos 600 mm de promedio anual, pero con unas temperaturas más bajas debido a la mayor continentalidad y a la mayor altitud (alrededor de 14-15°C de media anual). El régimen pluviométrico estacional se mantiene con un claro máximo otoñal, seguido por una primavera y un invierno con precipitaciones muy similares y un verano seco.

2.6.1 Observatorios meteorológicos y datos climáticos

Se ha realizado un estudio climatológico detallado con el fin de definir las características del área y conocer la influencia aproximada de las precipitaciones sobre las aportaciones del sistema Serpis. El período trabajado ha sido el comprendido entre los años hidrológicos 1961/62 y 2002/2003, en total 43 años.

Los datos meteorológicos han sido obtenidos del Atlas Climático de la Comunidad Valenciana (Pérez Cueva, 1994) y del Servidor de Cartografía del Sistema de Información Geográfico Agrario (SIGA) desarrollado por el Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. Se han analizado un total de 21 estaciones para realizar el estudio climático, de las cuales 8 son pluviométricas y 13 termopluviométricas (Tablas VIII y IX); y se sitúan en un área de recubrimiento suficientemente amplia (Figura 18). Entre los criterios utilizados para la selección y/o descarte de ciertas estaciones, se destacan los siguientes:

- Localización dentro del área de estudio o en su entorno más inmediato. Se han desechado estaciones con escasa representatividad climática, al igual que las más alejadas.
- De igual manera, se han descartado aquellas estaciones con ausencia importante de datos en el período de estudio seleccionado.

- Se han obviado estaciones que presentan redundancia de información respecto a otras estaciones elegidas.

Estaciones	Código	X	Y	Altitud	Años útiles
Bañeres	8002	703550.82	4287802.44	816	43 (1961-2003)
Pantano de Beniarrés	8067	729570.27	4299632.79	286	41 (1961-2003)
Almudaina	8066	729741.55	4293516.68	586	42 (1961-2003)
Gorga	8063	729868.83	4289137.42	545	43 (1961-2003)
Relleu	8033A	734616.76	4275149.09	429	43 (1961-2003)
Sella	8034	737479.07	4276700.62	419	43 (1961-2003)
Callosa de Ensarria	8041A	750397.39	4281737.96	247	43 (1961-2003)
L'Olleria	8285	712636.77	4309637.01	285	43 (1961-2003)

Tabla VIII. Estaciones pluviométricas en el ámbito de estudio. Fuente: SIGA.

Estaciones	Código	X	Y	Altitud (m)	Años útiles (P)	Años útiles (T)
Ibi 'C H Jucar'	8028	710637.19	4277838.68	730	12 (1961-1972)	12 (1961-1972)
Bocairent	8282	707272.31	4293458.98	641	43 (1961-2003)	21 (1976-1996)
Ontinyent	8283	707581.29	4300247.03	350	43 (1961-2003)	43 (1961-2003)
Albaida 'El Clau'	8280	716530.97	4299255.36	500	16 (1967-1982)	15 (1967-1981)
Carricola	8287	719357.12	4302110.12	333	43 (1961-2003)	31 (1973-2003)
Beniatjar Les Planises	8286	723714.53	4302200.03	396	43 (1961-2003)	43 (1961-2003)
Alcolecha	8060	732076.01	4283955.68	739	10 (1961-1970)	10 (1961-1970)
Jijona	8029	717369.86	4268617.78	415	15 (1961-1975)	16 (1961-1976)
Alcoy	8059	719795.22	4286383.16	562	26 (1961-1987)	24 (1964-1987)
Vall de Laguard Fontilles	8054	752866.37	4295699.56	250	42 (1962-2003)	42 (1962-2003)
La Pobla del Duc	8288E	724993.91	4308687.95	220	33 (1971-2003)	31 (1972-2003)
Pego 'Convento'	8057 ^a	749724.12	4303013.30	82	43 (1961-2003)	33 (1969-2003)
Villalonga	8068E	742224.59	4307876.73	90	14 (1968-1981)	13 (1969-1981)

Tabla IX. Estaciones termoplumiométricas en el ámbito de estudio. Fuente: SIGA.

Estas estaciones meteorológicas se ubican en las comarcas del Sur de Valencia y Norte de Alicante, teniendo en común el rasgo mediterráneo de la sequía estival causada por las altas presiones en altitud e inversiones de subsidencia durante dicha estación, sin embargo, los contrastes térmicos y pluviométricos observados son consecuencia directa de los factores de relieve, proximidad al mar y situación particular en la cuenca del Mediterráneo Occidental.

Para la elaboración tanto de gráficos de pluviometría y temperatura, como de los balances hídricos y sus respectivos análisis; únicamente se seleccionarán los datos

asociados a las estaciones termopluviométricas de Alcoy, Alcolecha, Albaida 'El Clau' y Beniatjar Les Planises. Las 2 primeras están incluidas en la parte sur de la demarcación de la cuenca y la 2 últimas, a pesar de no estar dentro de la poligonal, se ubican al norte muy próximas a esta y al Embalse de Beniarrés. Adicionalmente, todas abarcan altitudes representativas de los tramos medio y alto de la cuenca, con cotas superiores a los 700 m (Alcolecha 739 m) en las zonas altas e inferiores a los 400 m en las proximidades al embalse (Beniatjar 396 m).



Figura 18. Estaciones meteorológicas representativas presentes en el área de estudio. Fuente: SIGA.

2.6.2 Precipitaciones y Temperaturas

Precipitaciones

La Comunidad Valenciana al presentar un clima mediterráneo el período de máximas temperaturas registra por otra parte, la mínima precipitación. Con respecto a la pluviosidad, las lluvias se distribuyen de manera irregular a lo largo del año, siendo mayores durante otoño y primavera. De acuerdo a los valores de precipitación media anual, Peris Gisbert *et al.* (1996) han establecido 4 zonas ombroclimáticas (Figura 19) descritas a continuación:

- Zona semiárida: se registran precipitaciones entre 200 – 350 mm anuales.
- Zona seca: se registran precipitaciones entre 350 – 600 mm anuales.
- Zona subhúmeda: se registran precipitaciones entre 600 – 1000 mm.

- Zona húmeda: se registran más de 1000 mm anuales.

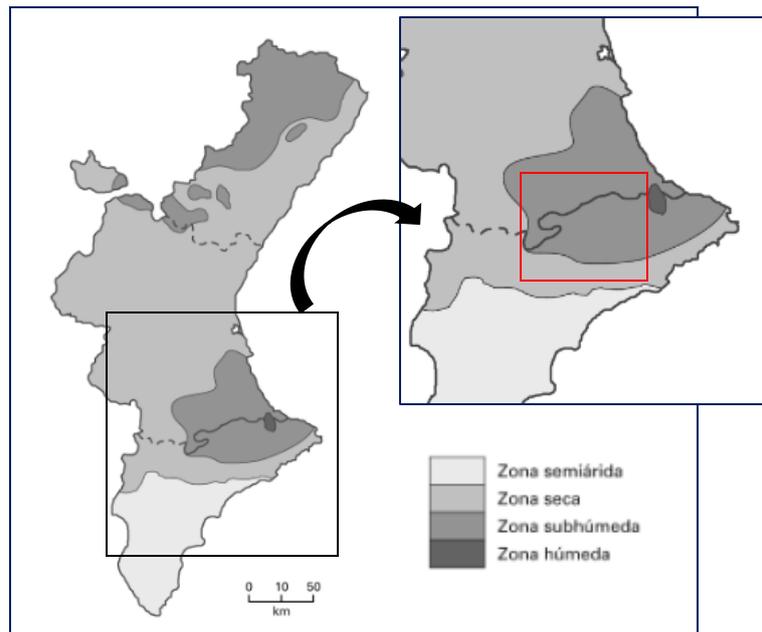


Figura 19. Zonas ombroclimáticas de la Comunidad Valenciana. Atendiendo al ombroclima, las estaciones seleccionadas (enmarcadas en el rectángulo rojo) se sitúan principalmente en la zona subhúmeda, sin embargo, las ubicadas al sur (Jijona, Relleu y Sella) están en la zona seca. Fuente: Peris Gisbert *et al.*, 1996.

En la tabla X se presentan los datos de precipitación media mensual y anual; a partir de estos últimos, se ha realizado el mapa de precipitaciones o isoyetas en la cuenca de estudio (ver Figura 20).

La situación geográfica de la cuenca del Serpis (área montañosa de la parte oriental de la Península Ibérica), origina una distribución de las lluvias con máximo en otoño y un período estival muy seco. Durante el verano el anticiclón de las Azores impide que las borrascas circulen por la Península, pero en otoño e invierno se desplaza en dirección sur permitiendo así, la entrada de los frentes del Atlántico.

A pesar de esto, las masas de aire húmedo atlánticas llegan muy desecadas, por lo que se atribuyen las máximas precipitaciones (otoño e invierno) a la incidencia de vientos húmedos de levante procedentes del Mediterráneo (Tabla XI).

La similitud de la precipitación en invierno y primavera es indicativo de la pérdida de influencia del litoral sobre el régimen de lluvias. Las precipitaciones máximas se dan en octubre (a excepción de Albaida 'El Clau' que ocurre en abril), con otro máximo en diciembre y uno de menos entidad en primavera. El mínimo de precipitaciones se dan en los meses de julio y agosto, coincidiendo con los valores máximos de ETP (Tabla XII).

ESTACIONES	ENE.	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Ibi 'C H Júcar'	21,70	21,00	25,60	38,60	24,70	27,10	10,90	6,80	34,80	77,50	27,10	40,10	355,90
Bañeres	45,00	39,00	44,30	49,30	50,30	29,00	12,40	15,60	48,60	56,50	48,30	46,70	484,90
Bocairent	59,20	55,50	58,60	60,20	57,20	33,80	12,80	15,30	56,50	76,40	65,90	66,50	617,80
Ontinyent	51,10	48,50	50,90	52,80	51,90	30,90	11,20	18,10	49,60	74,30	60,00	55,30	554,40
Albaida 'El Clau'	79,80	54,20	89,40	100,80	64,90	36,90	12,30	19,30	30,40	89,70	57,60	89,60	725,00
Carricola	75,80	60,90	69,00	62,00	62,20	26,90	10,90	14,10	60,60	93,30	79,10	79,30	694,10
Beniatjar Les Planises	69,20	62,20	58,20	64,40	60,00	24,50	8,40	15,00	53,50	95,40	85,10	73,00	668,90
Pantano de Beniarrés	78,70	72,10	57,40	66,10	63,80	28,10	10,10	11,40	50,20	91,50	68,20	90,30	687,90
Almudaina	68,50	63,40	57,20	60,70	53,20	24,40	8,50	12,60	52,30	101,40	81,10	69,00	652,20
Gorga	62,40	48,70	53,50	50,10	55,20	26,80	7,90	15,00	53,90	90,30	62,70	67,00	593,60
Alcolecha	34,10	44,50	41,90	44,80	39,20	45,20	1,00	13,40	48,20	112,40	51,00	83,30	558,90
Relleu	29,10	28,40	28,50	35,20	40,80	24,20	6,20	13,70	48,10	57,70	37,70	36,80	386,30
Sella	33,70	34,30	31,90	36,10	46,80	20,40	4,10	12,50	47,30	59,70	41,90	44,50	413,10
Jijona	19,90	26,20	35,60	31,80	23,60	40,20	5,40	17,10	40,40	76,70	28,20	41,90	386,90
Alcoy	38,40	32,20	42,60	44,30	48,40	28,30	10,20	15,30	26,80	70,60	42,70	61,40	461,00
Callosa de Ensarria	50,60	49,50	43,00	44,80	49,20	20,90	3,60	9,70	48,20	84,00	52,80	64,00	520,20
Vall de Laguard Fontilles	87,70	83,40	76,50	76,10	59,50	32,10	8,60	24,50	67,20	125,40	103,40	102,10	846,50
La Pobla del Duc	65,70	52,40	49,30	50,10	60,20	21,70	6,70	12,90	68,40	82,10	86,90	59,10	615,60
L'Olleria	47,80	39,70	44,60	47,00	43,50	20,90	7,20	13,50	52,40	74,40	48,00	57,50	496,50
Pego 'Convento'	70,80	72,10	77,60	73,00	61,30	31,40	9,80	28,20	87,60	120,50	113,10	90,10	835,60
Villalonga	99,30	42,40	90,00	78,90	47,90	37,10	11,40	18,60	36,30	113,60	123,20	121,20	819,90

Tabla X. Precipitaciones medias mensuales y anuales en las estaciones meteorológicas presentes en el ámbito de estudio. Fuente: SIGA.

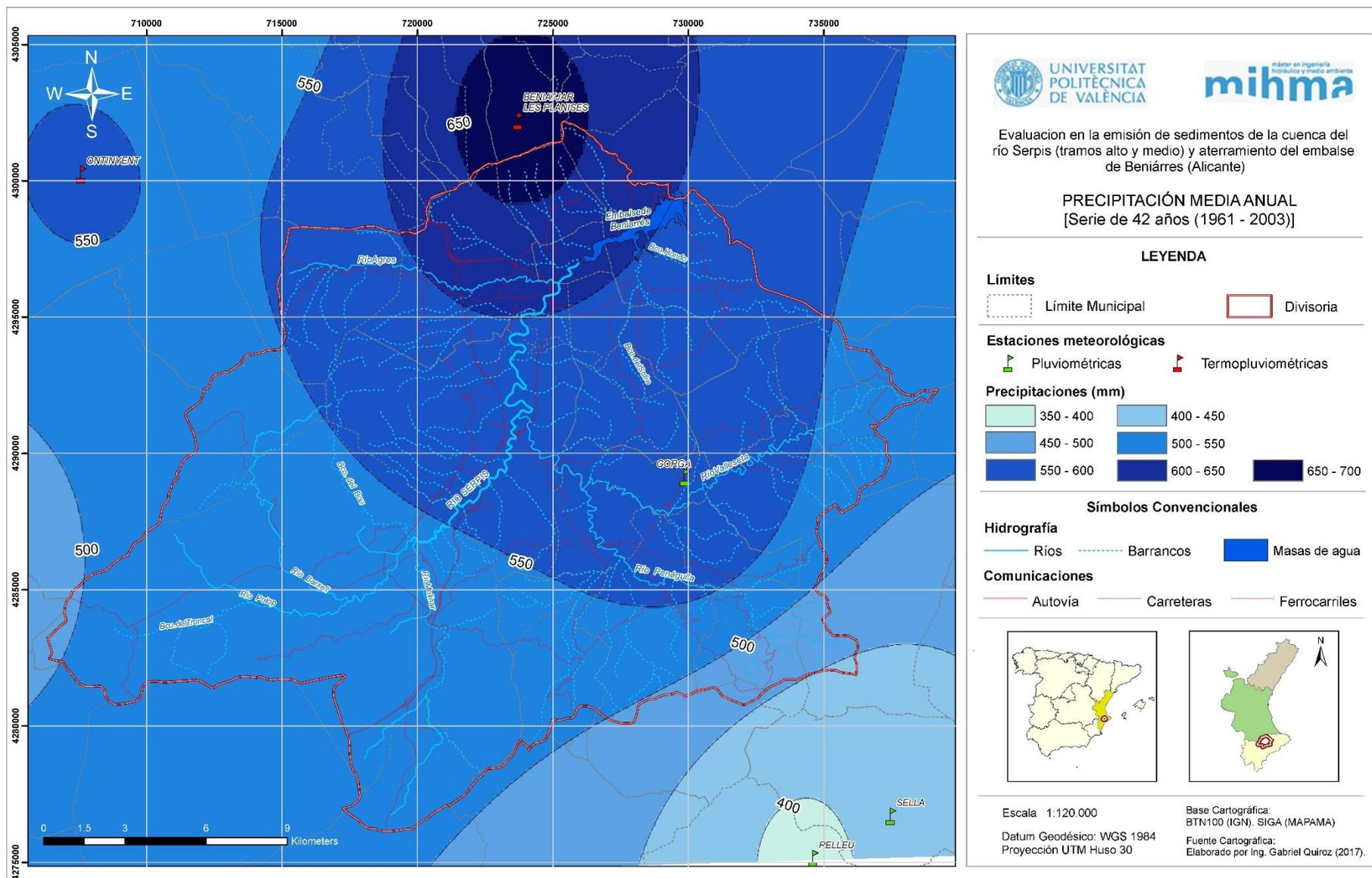


Figura 20. Mapa de isoyetas de la cuenca en estudio. Fuente: Elaborado a partir de los datos del SIGA (MAPAMA).

En la figura 21 se representan los valores de precipitación total mensual para las estaciones de Alcoy, Alcolecha, Albaida 'El Clau' y Beniatjar Les Planises.

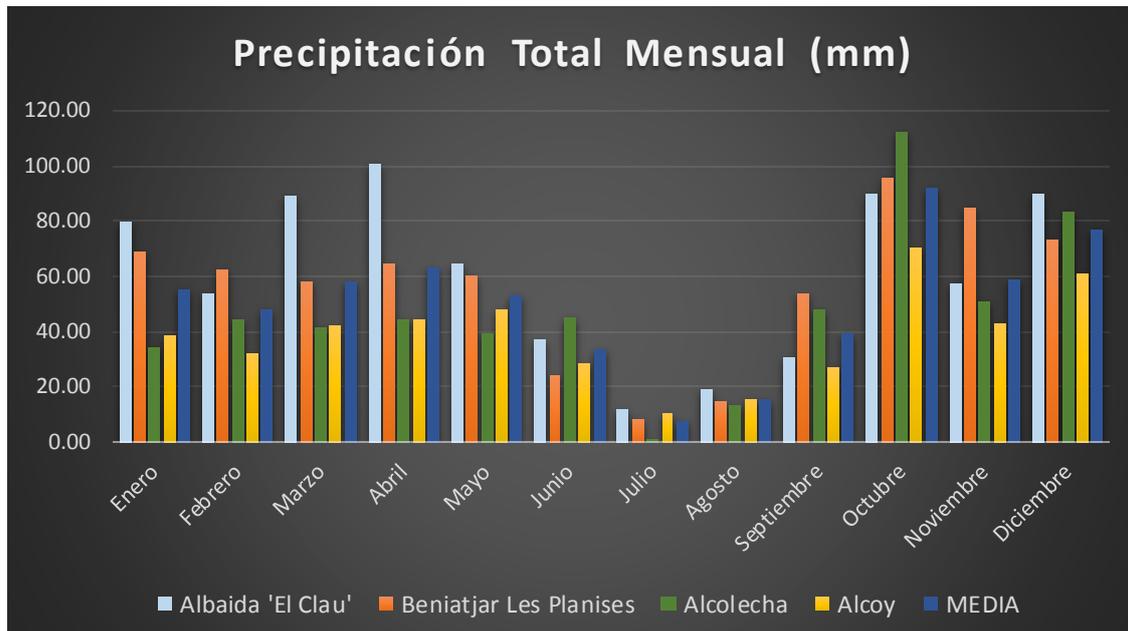


Figura 21. Gráfico de precipitación total mensual en las 4 estaciones seleccionadas. Fuente: SIGA.

Estación	Primavera	Verano	Otoño	Invierno	TOTAL
Albaida 'El Clau'	255,10	68,50	177,70	223,60	725,00
Beniatjar Les Planises	182,60	47,90	234,00	204,40	668,90
Alcolecha	125,90	59,60	211,60	161,90	558,90
Alcoy	135,30	53,80	140,10	132,00	461,00

Tabla XI. Pluviometría estacional y total en las estaciones seleccionadas. Fuente: SIGA.

Estación	Primavera	Verano	Otoño	Invierno	TOTAL
Albaida 'El Clau'	154,10	415,50	198,90	56,60	825,10
Beniatjar Les Planises	164,80	408,00	194,60	59,20	826,60
Alcolecha	152,70	385,90	171,30	43,50	753,40
Alcoy	147,30	378,90	181,20	56,10	763,50

Tabla XII. ETP estacional y total en las estaciones seleccionadas. Fuente: SIGA.

Por otra parte, la irregularidad en los distintos años y el número bajo y constante de días de lluvia para todos los meses del año (con claro descenso en verano), caracteriza las precipitaciones en la zona. Esto indica la torrencialidad de las precipitaciones en otoño, relacionadas a la gota fría. En la tabla XIII se aprecia que la máxima precipitación en 24 horas se produce durante octubre (excepto en la estación Albaida 'El Clau' ocurriendo en enero), y julio es el mes con los registros más bajos (Figura 22).

Estaciones Mes	Albaida 'El Clau'	Beniatjar Les Planes	Alcolecha	Alcoy
Enero	46,40	30,30	20,00	17,70
Febrero	26,00	31,10	21,90	16,30
Marzo	42,80	28,80	26,70	20,50
Abril	41,40	30,60	27,50	15,80
Mayo	24,90	26,70	27,70	17,20
Junio	17,70	12,50	27,40	13,70
Julio	9,00	6,50	1,00	7,80
Agosto	11,30	9,60	12,90	8,50
Septiembre	18,00	29,40	29,20	14,60
Octubre	37,70	46,10	44,50	30,60
Noviembre	24,60	43,30	24,60	18,00
Diciembre	39,50	34,30	39,10	25,40
Máximas	92,30	107,00	83,10	55,80

Tabla XIII. Precipitaciones máximas en 24 horas (mm). Fuente: SIGA.

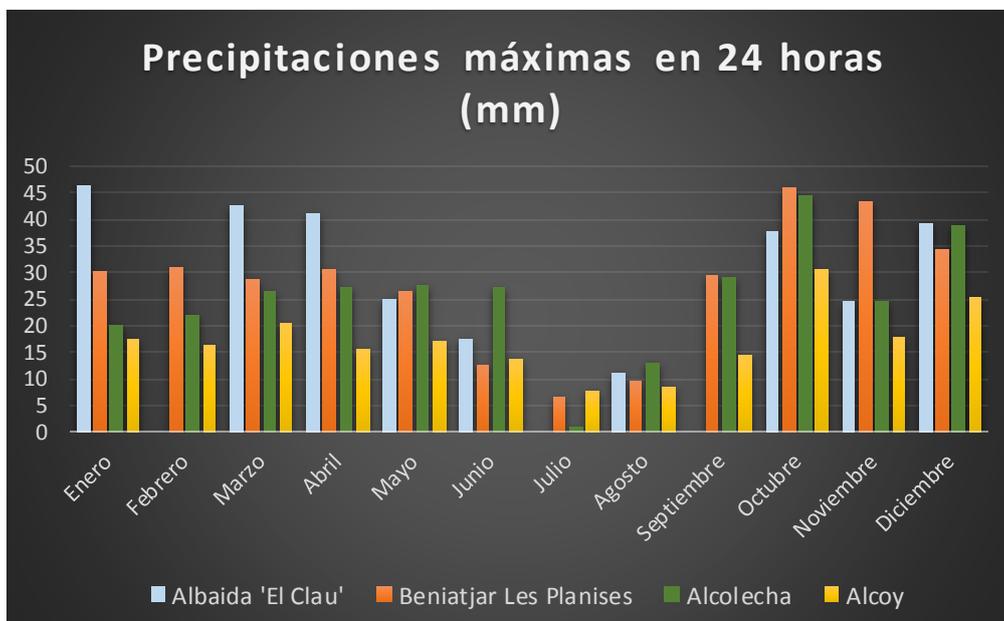


Figura 22. Gráfico de precipitaciones máximas en 24 horas. Fuente: SIGA.

En las cotas superiores de las zonas montañosas, se dan precipitaciones en forma de nieve todos los años en meses cuyas temperaturas son las más bajas; especialmente en enero y en menor magnitud, diciembre y febrero, prolongándose de forma excepcional hasta abril. Finalmente, el granizo se presenta en primavera y verano por fenómenos tempestuosos.

Temperaturas

En la Comunidad Valenciana, de acuerdo al régimen de temperaturas, se establecen tres zonas termoclimáticas:

- Zona litoral o inferior: con temperaturas medias anuales superiores a 15 °C y la no existencia de heladas tardías. Las altitudes se ubican por debajo de los 500 m.
- Zona sublitoral o media: con temperaturas medias anuales fluctuando entre 12 y 15 °C. El rango de altitudes comprendidas están entre los 500 y 1200 m.
- Zona continental o superior: con temperaturas medias anuales inferiores a los 12 °C.

Las estaciones meteorológicas en el ámbito de estudio, se incluyen dentro de las zonas litoral y sublitoral, ya que ninguna de estas registra temperaturas inferiores a los 12 °C (Figura 23).

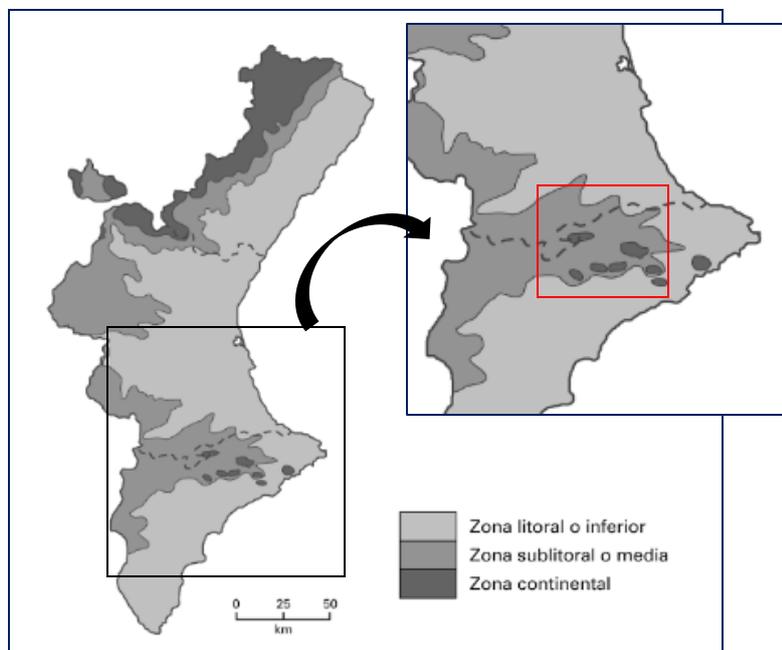


Figura 23. Zonas termoclimáticas de la Comunidad Valenciana. Fuente: Peris Gisbert *et al.*, 1996.

En las tablas XIV y XV, se muestran los datos de temperaturas mensuales y anuales; y otros valores de interés como, las temperaturas medias de las máximas del mes más cálido y del mes más frío, duración medio del periodo de heladas y del periodo seco.

Las temperaturas medias anuales en las estaciones meridionales de la cuenca están sobre los 16 °C, siendo inferiores en la zona sur, en torno a los 14,2 °C. La distribución de temperaturas en las 4 estaciones analizadas se muestra en la figura 24a. Los meses de julio y agosto son los más cálidos con valores entre los 23,3 y 25,3 °C, presentando temperaturas medias de las máximas entre 28,4 y 33,4 °C (Figura 24b).

ESTACIONES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Ibi 'C H Júcar'	6,0	7,4	8,5	10,8	13,6	16,5	20,9	21,3	18,6	14,5	9,60	6,50	12,80
Bocairent	7,4	8,6	10,8	12,3	15,6	20,1	23,7	23,7	20,8	15,5	11,4	8,70	14,90
Ontinyent	8,9	10,0	11,9	13,7	17,2	21,3	24,7	24,8	21,7	16,8	12,3	9,60	16,10
Albaida 'El Clau'	8,7	9,5	11,0	12,8	16,8	21,0	25,3	25,2	22,3	16,9	12,4	8,90	15,90
Carricola	10,1	11,2	13,2	14,9	18,3	22,8	25,9	26,1	22,9	17,9	13,6	11,0	17,30
Beniatjar Les Planises	8,9	9,7	11,5	13,7	17,2	21,1	24,9	24,8	21,7	17,0	12,5	9,40	16,10
Alcolecha	6,5	7,0	8,5	11,7	16,2	19,4	24,2	23,4	20,0	14,5	9,00	5,90	13,90
Jijona	7,7	8,1	9,7	12,8	16,9	20,6	24,4	24,3	21,0	16,7	11,6	8,20	15,20
Alcoy	7,8	8,3	9,7	11,7	15,3	19,7	23,6	23,3	20,3	15,3	11,0	7,90	14,50
Vall de Laguard Fontilles	10,5	11,4	13,4	15,2	18,6	22,6	25,8	26,0	22,8	18,4	14,0	11,2	17,50
La Pobla del Duc	9,5	10,8	12,7	14,2	17,6	21,9	25,2	25,5	22,5	17,8	13,2	10,4	16,80
Pego 'Convento'	11,7	12,4	14,1	15,9	19,0	23,1	26,3	26,8	23,6	19,2	15,2	12,5	18,30
Villalonga	10,9	11,3	12,1	14,2	17,7	21,3	24,1	24,1	21,7	17,4	13,9	10,7	16,60

Tabla XIV. Temperaturas medias mensuales y anuales (°C). Fuente: SIGA

ESTACIONES	Temperatura Media de máximas del mes más cálido (°C)	Temperatura Media de mínimas del mes más frío (°C)	Período frío o de heladas (meses)	Período seco o árido (meses)
Ibi 'C H Júcar'	30,0	-1,5	8	4,5
Bocairent	30,8	2,7	6	2,5
Ontinyent	32,2	3,8	4	3,5
Albaida 'El Clau'	33,4	4,3	5	3
Carricola	32,5	5,9	3	3
Beniatjar Les Planises	30,8	5,4	4	3
Alcolecha	28,4	3	5	3
Jijona	31,0	3	5	4,5
Alcoy	30,8	3	6	3,5
Vall de Laguard Fontilles	31,5	6,7	1	3
La Pobla del Duc	32,1	4	4	3
Pego 'Convento'	32,1	7,3	0	3
Villalonga	30,8	5,7	4	3,5

Tabla XV. Parámetros de temperatura de las estaciones termoplumiométricas seleccionadas. Fuente: SIGA

Enero y diciembre con temperaturas medias entre los 9 y 6 °C, y medias de las mínimas entre 3 y 5,4 °C; son los meses más fríos. Desde el mes de noviembre hasta marzo existe la posibilidad de producirse nevadas, ya que las temperaturas medias de las mínimas se sitúan por debajo de los 0 °C, excepto la estación de Beniatjar que no registra valores negativos (Figura 24c).

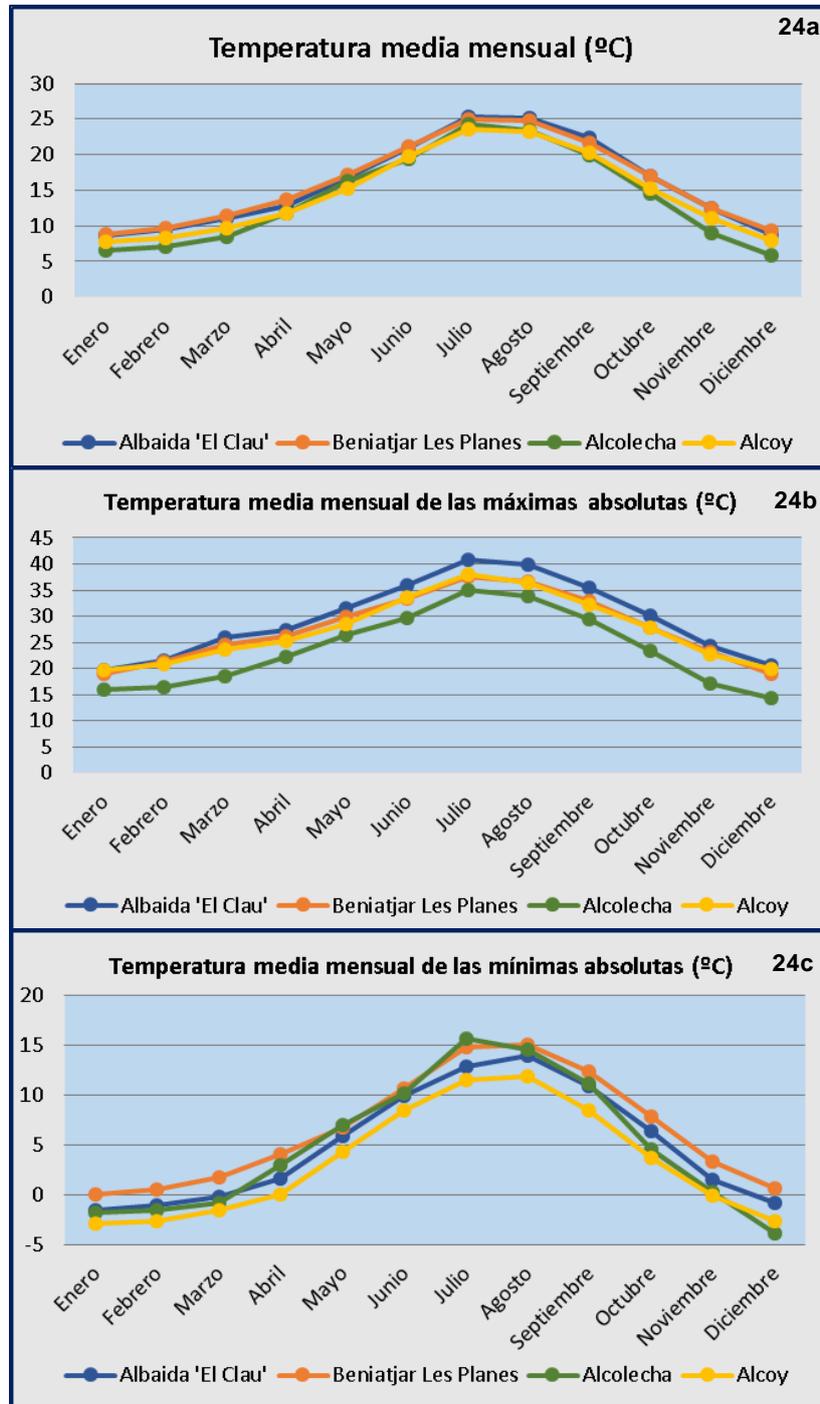


Figura 24. Gráficos de temperatura de las estaciones Albaida ‘El Clau’, Beniatjar Les Planes, Alcolecha y Alcolecha. **24a)** Temperatura media mensual. **24b)** Temperatura media mensual de las máximas absolutas. **24c)** Temperatura media mensual de las mínimas absolutas. Fuente: SIGA

2.6.3 Vientos. Velocidad y dirección

Adicionalmente al análisis detallado de precipitaciones y temperaturas en la zonas, y con el fin de ampliar el conocimiento sobre las variables climáticas; se ha realizado una investigación a partir de los datos de la estación Alicante/El Altet (período desde 1961-1990), sobre el régimen de vientos en la cuenca del Serpis.

Las direcciones dominantes de los vientos son NE (22%), SO (18%) y SE (14%). Los vientos dirigidos al este suelen venir acompañados por precipitaciones. Por otra parte, respecto a las velocidades, aquellos con valores entre 0 y 5 km/h son los más frecuentes representando el 56% del total; seguidos por los vientos entre 5 y 28 km/h con 42%, y con tan sólo una frecuencia del 2% se ubican los vientos con velocidades entre 29 y 61 km/h (Quinto, 2015).

La región septentrional alicantina se encuentra incluida dentro del sistema de distribución de vientos valenciano-catalano-balear; y presenta dos principales tendencias. Inicialmente, durante invierno y otoño los vientos influyentes son los del poniente (O), los cuales cambian en primavera y verano teniendo un dominio aquellos del levante (E), gregal (NE) y siroco (SE).

Esta afirmación se corrobora al observar en la tabla XVI, que los vientos más frecuentes anualmente son los del poniente (O) con un 14,1%, seguidos por los de levante (E) con un 13,2%, siroco (SE) 8,6% y, tanto los de gregal (NE) como mistral (NO) en 6,5%, respectivamente. Sin embargo, los valores más elevados corresponden a los momentos de calma, con un 24,8% del total.

Respecto a las velocidades medias del viento (Tabla XVII), estas se distribuyen entre los 13,6 y 26,2 km/h con media de 19,2 km/h. La velocidad mínima se da en vientos de componente sur y la máxima en aquellos de componente oeste.

El régimen de vientos más fuertes se concentra a finales de otoño con fuertes rachas de componente E y SE, sin embargo, en verano se dan situaciones puntuales de vientos con gran intensidad, de componentes O y SO. A destacar las ráfagas extremas que tuvieron lugar durante el mes de enero entre el periodo 1961-1990 con valores muy amplios oscilando entre 29 y 153 km/h, de vientos del poniente con rumbo O-NO (Belda Miró, 2014). Otros vientos y fenómenos del tipo local, también destacan en la zona. Entre estos se pueden mencionar los vientos de ladera caracterizados por

ser ascendentes de día y descendentes por las noches; vientos de valle; vientos Foehn, la inversión térmica y los torbellinos en días cálidos de verano.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
N	2,4	2,6	3,5	2,2	2,2	1,1	1,6	2,5	2,1	2,4	3,3	3,3	2,4
NNE	0,5	1,1	0,5	1	0,3	0,7	0,6	0,2	0,3	1	1,1	0,3	0,6
NE	3	5,7	7,3	8,2	6,5	7,3	7,4	8,2	7,1	7,9	5,4	4	6,5
ENE	1,5	3,2	3,8	5,3	6,6	7,8	7,5	8,2	6,2	4,1	2,4	1,5	4,8
E	2,9	6,2	9,9	15,3	18,5	21,7	27,5	22,8	18,8	9,6	2,9	1,9	13,2
ESE	1,2	3	4,7	5,9	6,7	9,2	9,1	8,7	8,2	4,4	1,5	0,8	5,3
SE	2,5	4,7	9,4	11,8	11,9	13,2	12,4	13,3	12,7	8	2,5	1	8,6
SSE	0,4	0,5	1,2	0,9	0,9	0,6	0,6	1,3	1,2	0,8	1,1	0,4	0,8
S	1,7	1,8	2	0,9	0,9	0,7	0,9	0,8	0,9	1,9	2,1	1,5	1,3
SSO	0,5	0,2	0,4	0,3	0,4	0,2	0,2	0,1	0,1	0,3	0,4	0,9	0,3
SO	6,8	5,1	3	2,3	2,1	0,9	0,8	1	1,4	2,2	5	5,3	3
OSO	4,8	3,8	3,8	2,6	1,8	1,3	0,4	0,7	1,6	2,2	3,4	4,7	2,6
O	24,1	25,2	17,5	12,8	12,5	6,9	3,1	3,3	8,3	13,5	18,2	23,7	14,1
ONO	4,7	4,5	4,5	2,9	3,2	2,1	1,7	1,7	2,8	4,2	4,6	5,5	3,5
NO	7,1	6,7	7,3	7,1	4,9	3,6	4,8	6,7	6,2	7,3	8	8,9	6,5
NNO	24,5	1,8	1,6	1,4	0,9	0,9	1,6	1,6	1,4	1,7	2	1,2	1,5
Calmas	34,5	23,8	19,6	18,9	19,9	21,9	19,8	18,9	20,8	28,5	35,9	35,1	24,8

Tabla XVI. Frecuencias de dirección del viento (%). Fuente: Pérez Cueva, 1994.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
N	22,7	20,2	25	21,9	15,8	11	10,8	13,7	14,3	19,1	22,4	23,2	19,5
NNE	14,3	15	16,9	16	11,5	15	12,5	14,3	9,5	13,7	16	15,2	14,6
NE	15,1	15,3	17,7	18,3	16,3	17,7	17,4	17,5	15,4	15	16,1	19,4	16,8
ENE	12,7	12,4	15,2	17,9	17,4	17,8	18,3	17,2	14,9	13,1	15,3	13,6	16,3
E	12,2	12,5	15,8	17,4	17,5	18,2	18,5	17,7	16	14,6	13,4	14,3	16,9
ESE	11	13,8	16,3	17,8	18,4	18,9	19,4	17,5	16	12	11,4	10	16,9
SE	9,7	11,7	14,6	16,9	18,6	18,6	19,2	18,2	16,4	12,5	12,7	11,9	16,6
SSE	9,3	11,9	15,6	16,3	17,4	16,9	15,1	17,2	15,6	13,2	11,9	9,5	14,7
S	13,2	13	12,3	16,7	15,3	18,2	16,1	14,8	15,3	15,3	10,8	12,4	13,6
SSO	15,4	16	17,1	9,3	17,3	16,3	13,3	11	18	11,5	12,5	14,5	14,4
SO	19,3	20,1	20,5	23,3	25,2	21,3	20,5	21,8	23,2	19,2	17,1	21,5	20,4
OSO	24,3	25,2	22,6	30,3	28	23,7	28,4	21,5	17,9	22,3	21,9	23,9	24,1
O	26,9	29	26,7	28,7	29,4	28,7	16	22,8	20,7	23,2	22,4	25,5	26,2
ONO	23,5	21,3	26,1	23,6	22,2	19	11,4	11,9	15	19,3	20,8	26,6	21,4
NO	20,8	20,4	19,7	19,6	15,4	12,7	11,6	12	11,5	15,3	17,6	18,2	16,7
NNO	20,6	21,2	26,4	22,9	16,6	10,6	11,5	12,5	12,8	21,1	20,7	20,1	18,5
MEDIAS	21,6	21,1	20,2	20,4	19,9	18,9	18	17,1	16,1	16,7	18,6	22	19,2

Tabla XVII. Velocidades medias del viento (km/h). Fuente: Pérez Cueva, 1994.

2.6.4 Análisis de Sequías

Se ha realizado un análisis detallado de la intensidad y periodicidad de las sequías en la zona. Dicho análisis se ha llevado a cabo determinando los índices de aridez de

Blair, Martonne y Giacobbe, el factor pluviométrico de Lang, los índices pluviométricos de Emberger, Thornthwaite y Dantin-Revenga; además de la construcción de los diagramas ombrotérmicos de Gausson para cada una de las 4 estaciones termopluviométricas consideradas.

En la tabla XVIII, se muestran los valores de evaporación potencial anual para las estaciones analizadas, calculados según el método de Thornthwaite y aportados por el SIGA. Según estos datos, las estaciones al sur de la cuenca (Alcoy y Alcolecha) alcanzan valores que rondan los 760 mm/año, en contraste con los registrados en las estaciones más al norte sobre los 825 mm/año.

El verano corresponde a la estación con valores de ETP más elevados, alrededor de los 400 mm/año; siendo el mes de julio el que muestra mayor ETP respecto a las medias mensuales.

Mes \ Estaciones	Albaida 'El Clau'	Beniatjar Les Planises	Alcolecha	Alcoy
Enero	18,1	18,4	14,7	18,3
Febrero	20,5	21,1	16,4	19,7
Marzo	32,2	34,6	26,6	30,8
Abril	44,2	49,5	45,3	43,6
Mayo	77,7	80,6	80,8	72,9
Junio	113,1	113,4	105,4	106,6
Julio	156,7	152,5	148,1	141,7
Agosto	145,8	142,1	132,4	130,6
Septiembre	104,8	100,3	93,3	93,7
Octubre	61,9	61,8	54,4	57,2
Noviembre	32,3	32,4	23,6	30,3
Diciembre	18,1	19,7	12,4	18,2
Anual	825,1	826,6	753,4	763,5

Tabla XVIII. ETP Thornthwaite. Medias mensuales por estación y anual, en mm/año. Fuente: SIGA

El período árido en las estaciones está en torno a los 3 meses anuales, excepto en Alcoy cuya duración es de 3,5 meses (Tabla XV), siendo estos mayo, junio, julio y agosto, respectivamente. A través de los climogramas de Gausson este comportamiento puede ser observado gráficamente de una mejor forma.

2.6.4.1 Índice de Blair

Mediante este índice la zona es clasificada en función de su precipitación anual (Tabla XIX). La estación de Alcoy, con precipitación media anual de 461 mm según está clasificación corresponde a un clima *Semiárido*; las estaciones restantes Albaida 'El

Clau' (725 mm), Beniatjar Les Planises (668,9 mm) y Alcolecha (558,9 mm) se incluyen en el tipo de clima *Subhúmedo*.

TIPO DE CLIMA Y ALTURA DE LLUVIA ANUAL	ESTACIONES
ÁRIDO (0 – 250)	-
SEMIÁRIDO (250 – 500)	ALCOY (461 mm)
SUBHÚMEDO (500 – 1000)	ALBAIDA 'EL CLAU' (725 mm)
	ALCOLECHA (558.9 mm)
	BENIATJAR LES PLANISES (668.9 mm)
HÚMEDO (1000 – 2000)	-
MUY HÚMEDO (> 2000)	-

Tabla XIX. Caracterización de las sequías mediante el Índice de Blair.

2.6.4.2 Clasificación de Bagnouls & Gausсен. Diagramas Ombrotérmicos

A nivel bioclimático, el método de Gausсен es de los que tiene mayor aceptación para el estudio de las sequías, ya que representa en un mismo gráfico (climograma) los datos de temperatura y precipitación de un lugar a lo largo del año. Partiendo de la ecuación $T > 2P$, la existencia y duración de períodos secos corresponden a las zonas de la gráfica en que la curva de temperatura se sitúa por encima de la curva de precipitaciones (área sombreada).

El climograma de Albaida 'El Clau' (Figura 25a) muestra la existencia de cuatro meses secos o de aridez, iniciando a principios de junio y culminando en septiembre. En la estación de Beniatjar Les Planises (Figura 25b) tres meses de aridez – junio, julio y agosto – y en Alcolecha sólo dos meses secos, julio y agosto (Figura 25c). Finalmente, en la estación de Alcoy los cuatro meses en los que se produce déficit hídrico se distribuyen desde los últimos días de mayo hasta los primeros de septiembre. Durante estos períodos, debido a que la temperatura es mayor que la precipitación las plantas estarán faltas de agua presentando de esta manera el déficit hídrico mencionado. Además, el mes de julio representan el mes de mayor riesgo ya que es el período en que los extremos están más separados entre sí (Figura 25d).

Según estos climogramas, el clima en la zona de estudio está en la categoría *Climas cálidos y templado-cálidos*, región bioclimática *termoxerotérica*, ya que en todos los meses del año las temperaturas medias mensuales están por encima de 0 °C, y las precipitaciones son inferiores al doble de las temperaturas, entre uno y ocho meses. Específicamente, cuatro meses en las estaciones Albaida 'El Clau' y Alcoy, tres meses en Beniatjar Les Planises y sólo dos meses en Alcolecha.

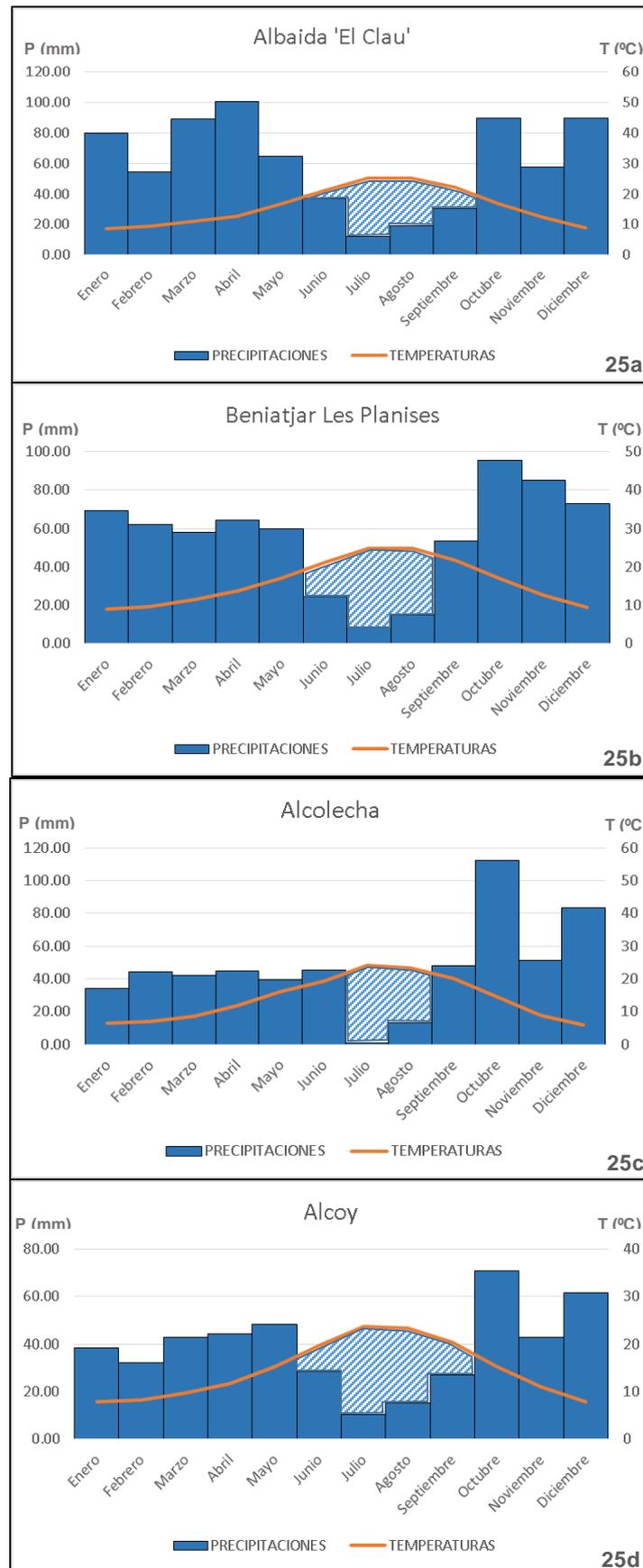


Figura 25. Climogramas de Gausson de las estaciones norte y sur de la cuenca. **25a)** Climograma estación Albaida 'El Clau'. **25b)** Climograma estación Beniatjar Les Planises. **25c)** Climograma estación Alcolecha. **25d)** Climograma estación Alcoy. Fuente: Datos del SIGA.

2.6.4.3 Pluviofactor de Lang

El índice de Lang o de estepa (I), es el cociente entre la precipitación mensual en mm y la temperatura media mensual en °C. Si el valor del índice es inferior a 2 para un mes determinado; entonces se considera como interrumpido el período vegetativo de las plantas a causa de la sequía. Al compararse este índice (Tabla XX) con las etapas de sequía observadas mediante los diagramas de Gausson, se comprueba que los valores inferiores a 2 coinciden con los meses donde $T > 2P$.

Según los valores anuales, las 3 primeras estaciones se clasifican en *Zona húmeda de estepas y sabanas* (I entre 40 - 60), y la estación de Alcoy en *Zona árida* (I entre 20 - 40).

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Anual
Albaida 'El Clau'	9,17	5,71	8,13	7,88	3,86	1,76	0,49	0,77	1,36	5,31	4,65	10,07	45,60
Beniatjar LesPlanises	7,78	6,41	5,06	4,70	3,49	1,16	0,34	0,60	2,47	5,61	6,81	7,77	41,55
Alcolecha	5,25	6,36	4,93	3,83	2,42	2,33	0,04	0,57	2,41	7,75	5,67	14,12	40,21
Alcoy	4,92	3,88	4,39	3,79	3,16	1,44	0,43	0,66	1,32	4,61	3,88	7,77	31,79

Tabla XX. Índice de Lang. Zona sombreada para $I < 2$. Fuente: Elaborado a partir de SIGA.

2.6.4.4 Índice de aridez de Martonne

En la Comunidad Valenciana el fenómeno de aridez está ligado a la escasez de precipitaciones, relacionadas a su vez, con el efecto de barrera pluviométrica que produce la orogénesis de la zona, la cual impide la circulación de las tormentas provenientes del norte y noroeste. Adicionalmente, el régimen de temperaturas más altas de lo normal también es un factor determinante. Para el cálculo de este índice y a partir de los datos de precipitación (P) y temperatura media anual (T), se aplica la ecuación $I = P / (T + 10)$. En la tabla XXI se muestran los resultados obtenidos de dicho índice y la zona climática asociada, para cada estación.

INDICE DE MARTONNE	ZONA CLIMÁTICA	ESTACIONES
0 - 5	Hiperárido (desiertos)	
5 - 10	Árido (semidesiertos)	
10 - 20	Semiárido de tipo mediterráneo (estepas y países secos mediterráneos)	Alcoy (I=18,8)
20 - 30	Subhúmeda (regiones de olivos y cereales)	Albaida 'El Clau' (I=27,9), Beniatjar (I=25,6), Alcolecha (I=23,4)
30 - 60	Húmeda (regiones subhúmeda de prados y bosques)	
> 60	Perhúmeda (zonas húmedas a muy húmedas)	

Tabla XXI. Clasificación climática según el índice de aridez de Martonne. Fuente: Elaboración propia.

2.6.4.5 Coeficiente pluviométrico de Emberguer (Q)

Este índice relaciona las precipitaciones anuales (P) con las temperaturas medias máximas del mes más cálido (M_i) y mínimas del mes más frío (m_i). Con el fin de caracterizar y estimar el tipo de vegetación, el coeficiente ha sido adaptado a las comarcas mediterráneas (Rivas Martínez, 1996 - 2009) mediante $Q = (100 * P)/(M_i^2 - m_i^2)$. Ver tabla XXII.

COEFICIENTE DE EMBERGUER (Q)	ZONA CLIMÁTICA	ESTACIONES
0 – 30	Árido	
30 – 50	Semiárido	Alcoy (Q=49,1)
50 – 90	Subhúmedo	Albaida 'El Clau' (Q=66,1), Beniatjar (Q=72,7), Alcolecha (Q=70,1)
90 – 200	Húmedo	
> 60	Perhúmedo	

Tabla XXII. Coeficiente de Emberguer y tipo de clima. Fuente: Rivas Martínez, 1996-2009.

2.6.4.6 Índice de aridez de Giacobbe

Índice que relaciona la precipitación total del verano (P_v) y unos parámetros térmicos mediante ecuación $I = (100 \times P_v)/(M \times Exc)$; siendo M la temperatura media de las máximas del mes más cálido y Exc la excursión térmica (diferencia numérica entre los valores máximos y mínimos de las temperaturas medias). En la tabla XXIII se resumen los valores del índice de Giacobbe para las cuatro estaciones consideradas.

ÍNDICE DE GIACOBBE	ZONA CLIMÁTICA	ESTACIONES
< 1	Perárido	
1 – 4	Árido	
4 – 10	Semiárido	Beniatjar (I=9,7)
10 – 50	Subhúmedo	Albaida 'El Clau' (I=12,3), Alcolecha (I=11,5), Alcoy (I=11,1)
> 50	Húmedo	

Tabla XXIII. Índice de Giacobbe y tipo de clima asociado. Fuente: Elaboración propia.

2.6.4.7 Índice de eficacia pluviométrica de Thornthwaite

Es una medida de eficacia de las precipitaciones a largo plazo en la promoción del crecimiento vegetal. El índice es igual a 10 veces la suma de la medida de la precipitación – evaporación mensual (P-E ratio).

$$P - E \text{ index} = 10 \sum_{n=1}^{12} (P - E \text{ ratio})_n \quad \text{donde,} \quad P - E \text{ ratio} = 11,5 \left(\frac{P}{T - 10} \right)^{\frac{10}{9}}$$

La precipitación mensual P se expresa en pulgadas y la temperatura mensual T en grados Fahrenheit; además las temperaturas inferiores a 28,4 °F se calculan como 28,4° y los P-E ratios superiores a 40 se calculan como 40 (Rivas Martínez, 1996 - 2009).

Los valores de este índice para las estaciones son: Albaida 'El Clau' 53,80, Beniatjar Les Planises 47,94, Alcolecha 43,81 y Alcoy 33,43, clasificando la zona como *Subhúmeda* (P-E [32-63]) con vegetación de praderas como dominante.

2.6.4.8 Índice de Dantin-Revenga

Se determina mediante la ecuación, $DR = 100 \times T/P$. En la tabla XXIV se resumen los resultados obtenidos.

ÍNDICE DE DANTIN-REVENGA	CLIMA	ESTACIONES
0 – 2	España húmeda	
2 – 3	España semiárida	Albaida 'El Clau' (DR=2,2), Beniatjar (DR=2.4), Alcolecha (DR=2,5)
3 – 6	España árida	Alcoy (DR=3,2)
> 6	España sub-desértica	

Tabla XXIV. Índice de Dantin-Revenga. Fuente: Elaboración propia.

2.6.5 Balances Hídricos

Los diagramas de balance hídrico se han construido a partir del modelo de Thornthwaite y Mather (1955), el cual únicamente requiere de las temperaturas y precipitaciones medias mensuales como datos de entrada. Las tres hipótesis de partida de este método son:

- La profundidad del suelo, donde tienen lugar las pérdidas de agua por evapotranspiración, viene definida por el sistema radicular de la vegetación. Estas pérdidas en el transcurso de los meses secos ($P - EPT < 0$) se convierten en *potenciales acumuladas* (ppa), en caso contrario, durante los meses húmedos son iguales a 0. El *déficit de humedad* (Dh), se define como la diferencia entre la *evapotranspiración potencial* (ETP) y la *evapotranspiración real* (ETR).
- La *capacidad de almacenamiento del agua en el suelo* (St) susceptible de evapotranspirarse, está definida por la *capacidad de campo* (CC) y el *punto de marchitez*. El *exceso de humedad* (Eh) sólo aparece cuando $P - ETP > 0$; de

tal manera que queda definido como la diferencia positiva de $P - (ETP + \Delta ST)$; siendo ΔST , los cambios de agua almacenada en el suelo.

- Sí la zona tiene un contenido de humedad superior a la capacidad de campo, el exceso se pierde por gravedad alimentando de esta forma el acuífero, de manera que siempre y cuando exista excedente (E_h), de manera general, este será igual a la *escorrentía* (R) así, $R_m = E_{hm}$ (Pagney, 1982).

Si existen meses a lo largo del año en los que $P > ETP$, y por lo tanto $ETR = ETP$; la diferencia con la precipitación se utiliza para que el suelo tenga una humedad equivalente a su capacidad de campo y el sobrante, por percolación, irá a la capa freática o escurrirá en superficie. Por el contrario, en los meses en que $P < ETP$, se cumple que $ETP > ETR$. Toda la ETP engloba a la precipitación caída en ese mes y a parte de la contenida en el suelo en el mes anterior.

Para valorar la cantidad de agua que el suelo cede, se considera actuando sobre él una ETR equivalente a $ETP - P$; por lo tanto, para cada mes existirá una pérdida potencial y una pérdida real.

A partir de estos supuestos se representa gráficamente los valores de pluviometría, ETP y ETR , de tal manera que quedan definidas las siguientes áreas en el balance:

- Exceso de agua: **$P > ETP$**
- Déficit de agua: **$ETP > ETR$**
- Utilización de humedad del suelo: **$ETR > P$**
- Recargo de humedad del suelo: **$P > ETP$** después de un período de déficit, hasta que el sobrante (E_h) sea mayor que cero.

La *capacidad de campo* (CC) para cada una de las estaciones consideradas se muestra en la tabla XXV, la cual se obtiene mediante el producto entre la *capacidad de retención* (CR) y la *profundidad radicular* (PR): $CC = CR \times PR$

El primer término CR , depende de la textura del suelo superficial, por lo tanto se ha revisado el Mapa de Suelos de España (Gómez-Miguel, 2005b) y la granulometría asociada a estos según la caracterización de las comarcas agrarias de España, Provincia de Alicante (Fernández González, 2011). A excepción de la estación Beniatjar Les Planies ubicada sobre suelos *Xerorthent* de textura franco-arcillosa, las estaciones restantes están sobre suelos tipo *Xerochrept* de textura franco-arenosa. Para la obtención de los valores de profundidad de raíces, se ha determinado inicialmente el uso de suelo bajo las estación meteorológica en cuestión, mediante la

clasificación del Proyecto *Corine* 2012 y atribuyéndose el respectivo valor de profundidad (Ríos, 2017). La estación de Albaida 'El Clau' se encuentra sobre matorrales esclerófilos, Beniatjar y Alcolecha ambas sobre mosaico de cultivos; y Alcoy, a pesar de estar sobre tejido urbano continuo (profundidad radicular de 0,06 m), se le ha asignado una capacidad de almacenamiento de agua o reserva de 100 mm.

ESTACIÓN	Capacidad de retención (mm/m)	Profundidad radicular (m)	Capacidad de campo (mm)
Albaida 'El Clau'	150	0,67	100
Beniatjar Les Planises	300	0,67	200
Alcolecha	150	0,67	100
Alcoy	150	0,06	100 *

Tabla XXV. Capacidad de campo según el tipo de suelo y cultivo. Fuente: Elaboración propia.

Elementos del balance hídrico

Los valores para cada estación de temperatura media mensual en °C (T), evapotranspiración potencial en mm (ETP) y precipitación media mensual en mm (P), han sido recopilados de la base de datos SIGA.

La diferencia entre pluviometría y evapotranspiración potencial ($P - ETP$), corresponde a adiciones potenciales para valores positivos, o pérdidas potenciales si el resultado es negativo. Las pérdidas potenciales acumuladas de un mes (ppa), serán iguales a 0 si $P - ETP > 0$; caso contrario, serán $ppa_m = ppa_{m-1} + (P - ETP)_m$, donde ppa_{m-1} son las pérdidas potenciales acumuladas del mes anterior. El agua capilar contenida en el suelo (St) se ha determinado mediante las tablas de retención de humedad del suelo (Thornthwaite y Mather, 1957), las cuales relacionan para una capacidad de campo determinada, los valores de ppa y St . Los cambios de la humedad almacenada en el suelo (ΔSt) para cada mes, se obtienen de la diferencia entre la St del mes considerado y la de su inmediato anterior.

La evapotranspiración real (ETR), en meses en que la precipitación es mayor a la ETP, entonces $ETR_m = ETP_m$, caso contrario, si $P_m < ETP_m$ entonces;

$$ETR_m = P_m + |\Delta St|.$$

El déficit de humedad (Dh) es la diferencia entre ETR y ETP; por otra parte, el excedente (Eh) únicamente existirá en los meses húmedos ($P - ETP > 0$) siempre y cuando se haya alcanzado la capacidad de campo ($St = CC$), entonces;

$$Eh_m = P_m - (ETR_m + \Delta St).$$

La escorrentía total (R), se ha calculado para el mes de enero mediante $R = ((Eh_{m-1} \times 0.5) + Eh_m) \times 0.5$; los meses restantes con $R = (Eh_{m-1} \times 0.5) + (Eh_m \times 0.5)$. Finalmente, La detención de humedad (DT) o totalidad de agua almacenada en el suelo que permanece en superficie, es la sumatoria del agua contenida en el suelo (St), el exceso de humedad (Eh) y el remanente del mes anterior (R_{m-1}), menos la escorrentía del mes considerado (R_m), así pues;

$$DT = St + Eh + R_{m-1} - R_m.$$

Balance hídrico. Estación Albaida 'El Clau'

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
T	8,7	9,5	11,0	12,8	16,8	21,0	25,3	25,2	22,3	16,9	12,4	8,9
ETP	18,1	20,5	32,2	44,2	77,7	113,1	156,7	145,8	104,8	61,9	32,3	18,1
P	79,8	54,2	89,4	100,8	64,9	36,9	12,3	19,3	30,4	89,7	57,6	89,6
P - ETP	61,7	33,7	57,2	56,6	-12,8	-76,2	-144,4	-126,5	-74,4	27,8	25,3	71,5
ppa	0,0	0,0	0,0	0,0	-12,8	-89,0	-233,4	-359,9	-434,3	0,0	0,0	0,0
St	100,0	100,0	100,0	100,0	88,0	40,0	9,0	2,0	1,0	28,8	54,1	100,0
ΔSt	0,0	0,0	0,0	0,0	-12,0	-48,0	-31,0	-7,0	-1,0	27,8	25,3	45,9
ETR	18,1	20,5	32,2	44,2	76,9	84,9	43,3	26,3	31,4	61,9	32,3	18,1
Dh	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,8	-28,2	-113,4	-119,5	-73,4	0,0	0,0	0,0
Eh	61,7	33,7	57,2	56,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	25,6
R	37,3	47,7	45,5	56,9	28,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,8
DT	137,3	123,3	159,5	145,2	116,6	68,3	9,0	2,0	1,0	28,8	54,1	112,8

Tabla XXVI. Balance hídrico estación Albaida 'El Clau'. Fuente: Elaboración propia.

Según los valores obtenidos en la estación de Albaida 'El Clau' (Tabla XXVI y Figura 26), el primer mes en el que la precipitación es superior a la evapotranspiración potencial tras un periodo de déficit hídrico, es el mes de octubre, por lo tanto se inicia en este momento el año hidrológico. A partir de entonces, el comportamiento del suelo inicia su recarga de humedad hasta alcanzar su saturación en el mes de diciembre, mes donde el agua almacenada en el suelo es igual a la capacidad de campo, cumpliéndose la expresión $St = CC$.

A lo largo de estos dos meses de recarga, es el mes de octubre en el que existe mayor incremento del agua capilar contenida en el suelo (27,8 mm). Después de este período, ya con la capacidad de campo del suelo alcanzada (100 mm), se inicia una etapa de escorrentía superficial de cinco meses, que abarca desde el mes de diciembre hasta el mes de abril. La máxima escorrentía se concentra en este último

meses con un valor medio superior a 100 mm. A partir de entonces, el balance hídrico refleja un período de déficit de cinco meses, que iría desde mayo hasta septiembre, correspondiendo con la época estival. En estos meses, el suelo gasta progresivamente su reserva hídrica, con mínimos entre agosto y septiembre debido a los altos valores de temperatura, sin embargo, no queda completamente seco.

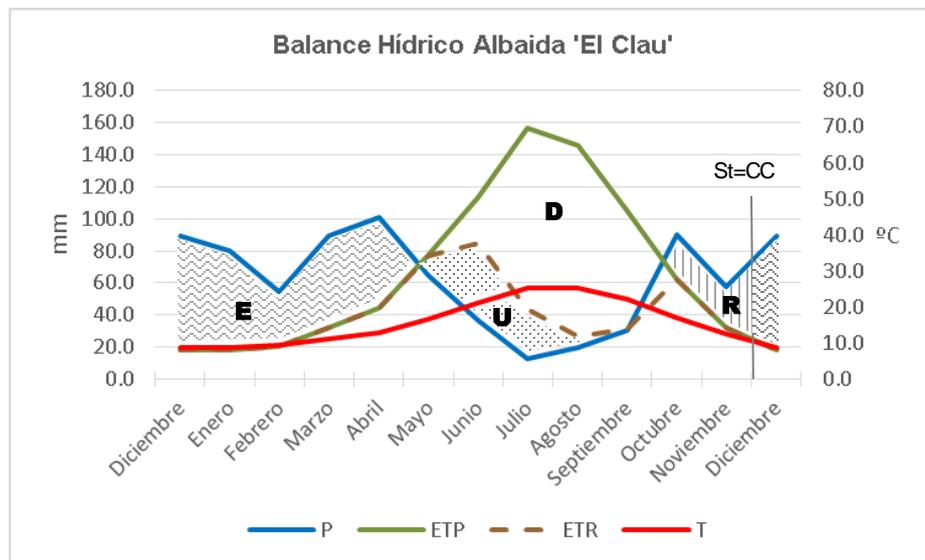


Figura 26. Gráfico balance hídrico de estación Albaida 'El Clau'. R= acumulación de agua en reserva, E=escorrentía, D= período de déficit, U= etapa de utilización de la reserva. Fuente: Elaboración Propia.

Balance hídrico. Estación Beniatjar Les Planises

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
T	8,9	9,7	11,5	13,7	17,2	21,1	24,9	24,8	21,7	17,0	12,5	9,4
ETP	18,4	21,1	34,6	49,5	80,6	113,4	152,5	142,1	100,3	61,8	32,4	19,7
P	69,2	62,2	58,2	64,4	60,0	24,5	8,4	15,0	53,5	95,4	85,1	73,0
P - ETP	50,8	41,1	23,6	14,9	-20,6	-88,9	-144,1	-127,1	-46,8	33,6	52,7	53,3
ppa	0,0	0,0	0,0	0,0	-20,6	-109,5	-253,6	-380,7	-427,5	0,0	0,0	0,0
St	200,0	200,0	200,0	200,0	174,0	115,0	55,0	29,0	23,0	56,6	109,3	162,6
ΔSt	37,4	0,0	0,0	0,0	-26,0	-59,0	-60,0	-26,0	-6,0	33,6	52,7	53,3
ETR	18,4	21,1	34,6	49,5	86,0	83,5	68,4	41,0	59,5	61,8	32,4	19,7
Dh	0,0	0,0	0,0	0,0	5,4	-29,9	-84,1	-101,1	-40,8	0,0	0,0	0,0
Eh	13,4	41,1	23,6	14,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
R	6,7	27,3	32,4	19,3	7,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
DT	206,7	213,9	191,3	195,7	166,6	115,0	55,0	29,0	23,0	56,6	109,3	162,6

Tabla XXVII. Balance hídrico estación Beniatjar Les Planises. Fuente: Elaboración propia.

En la estación de Beniatjar el período de déficit hídrico culmina en el mes de septiembre, por lo tanto, a partir del mes de octubre comienza la recarga de humedad del suelo, alcanzando su capacidad de campo (200 mm) en el mes de enero (Tabla XXVII y Figura 27). De los tres meses de acumulación de agua en reserva, el mes de

diciembre presenta la mayor variación de agua capilar contenida en el suelo (53,3 mm). Posteriormente, el periodo de escorrentía superficial iniciado en el mes de enero se prolongará hasta el mes de abril, para dar paso a inicios del mes de mayo, de una nueva etapa de déficit hídrico de cinco meses de duración (de mayo a septiembre), donde la reserva se agotará paulatinamente, hasta el punto en que se inicia de nuevo el año hidrológico en octubre coincidiendo con el período otoñal.

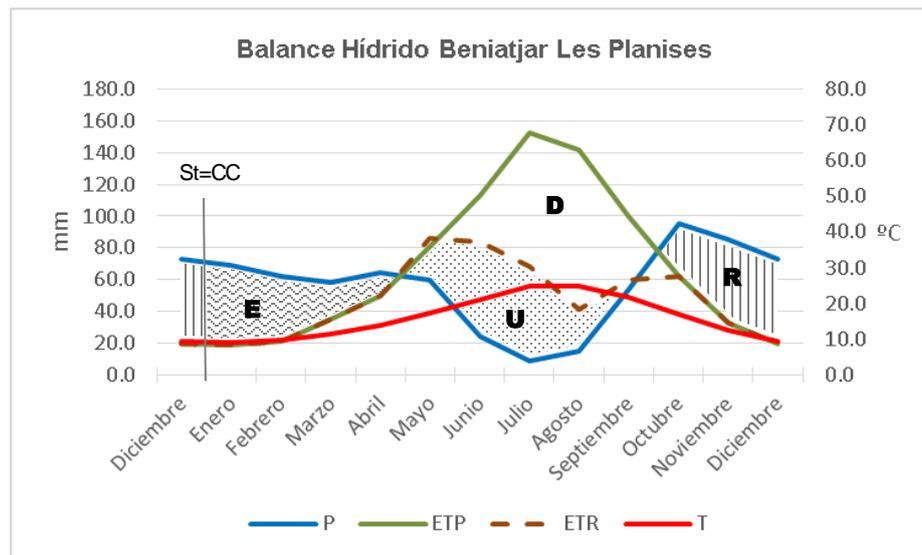


Figura 27. Gráfico balance hídrico de Beniatjar Les Planises. **R**= acumulación de agua en reserva, **E**=escorrentía, **D**= período de déficit, **U**= etapa de utilización de la reserva. Fuente: Elaboración Propia.

Balance hídrico. Estación Alcolecha

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
T	6,5	7,0	8,5	11,7	16,2	19,4	24,2	23,4	20,0	14,5	9,0	5,9
ETP	14,7	16,4	26,6	45,3	80,8	105,4	148,1	132,4	93,3	54,4	23,6	12,4
P	34,1	44,5	41,9	44,8	39,2	45,2	1,0	13,4	48,2	112,4	51,0	83,3
P - ETP	19,4	28,1	15,3	-0,5	-41,6	-60,2	-147,1	-119,0	-45,1	58,0	27,4	70,9
ppa	0,0	0,0	0,0	-0,5	-42,1	-102,3	-249,4	-368,4	-413,5	0,0	0,0	0,0
St	100,0	100,0	100,0	99,0	65,0	35,0	8,0	2,0	2,0	60,0	87,4	100,0
ΔSt	0,0	0,0	0,0	-1,0	-34,0	-30,0	-27,0	-6,0	0,0	58,0	27,4	12,6
ETR	14,7	16,4	26,6	45,8	73,2	75,2	28,0	19,4	48,2	54,4	23,6	12,4
Dh	0,0	0,0	0,0	0,5	-7,6	-30,2	-120,1	-113,0	-451	0,0	0,0	0,0
Uh	19,4	28,1	15,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	58,3
R	24,3	23,8	21,7	7,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	29,2
DT	124,3	128,6	117,4	113,1	72,7	35,0	8,0	2,0	2,0	60,0	87,4	129,2

Tabla XXVIII. Balance hídrico estación Alcolecha. Fuente: Elaboración propia.

Al igual que en las dos estaciones anteriores, el último mes en que la evapotranspiración potencial es superior a la precipitación es en septiembre. La recarga de humedad en el suelo se prolonga durante los dos meses posteriores,

siendo octubre con 58,0 mm, el mes que presenta mayor incremento del agua capilar en el suelo. La saturación o momento en que St es igual a la capacidad de campo (100 mm) se produce en el mes de diciembre.

A lo largo de cuatro meses, contando a partir de diciembre, se produce la escorrentía superficial concentrándose en este mismo mes el máximo valor (media superior a los 80 mm). En abril se inicia el gasto de la reserva hídrica acumulada hasta entonces, ya que en dicho mes corresponde el comienzo del período de déficit (época estival), prolongándose por seis meses hasta finales de septiembre (Tabla XXVIII y Figura 28).

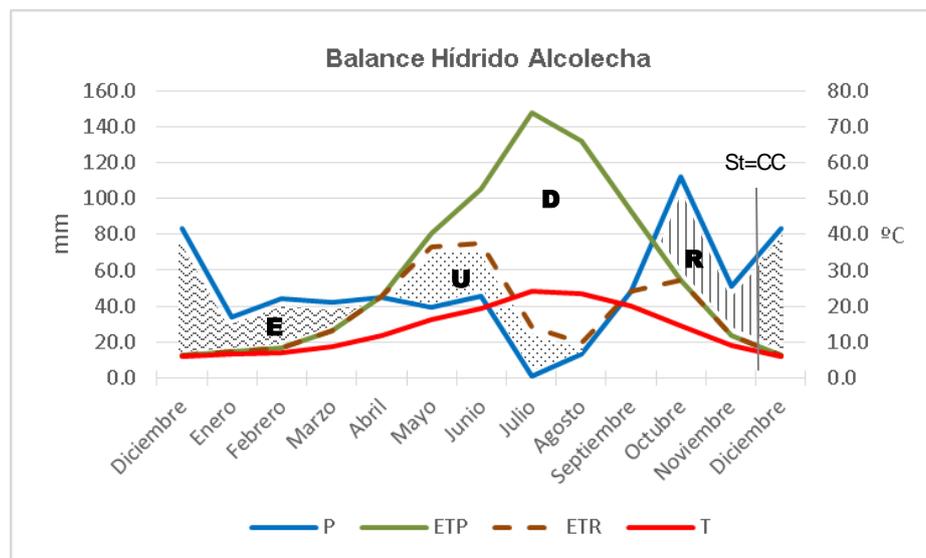


Figura 28. Gráfico balance hídrico de estación Alcolecha. **R**= acumulación de agua en reserva, **E**=escorrentía, **D**= período de déficit, **U**= utilización de la reserva. Fuente: Elaboración Propia.

Balance hídrico. Estación Alcoy

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
T	7,8	8,3	9,7	11,7	15,3	19,7	23,6	23,3	20,3	15,3	11,0	7,9
ETP	18,3	19,7	30,8	43,6	72,9	106,6	141,7	130,6	93,7	57,2	30,3	18,2
P	38,4	32,2	42,6	44,3	48,4	28,3	10,2	15,3	26,8	70,6	42,7	61,4
P-ETP	20,1	12,5	11,8	0,7	-24,5	-78,3	-131,5	-115,3	-66,9	13,4	12,4	43,2
Ppa	0,0	0,0	0,0	0,0	-24,5	-102,8	-234,3	-349,6	-416,5	0,0	0,0	0,0
St	90,1	100,0	100,0	100,0	77,0	35,0	9,0	3,0	1,0	14,4	26,8	70,0
ΔSt	20,1	9,9	0,0	0,0	-23,0	-42,0	-26,0	-6,0	-2,0	13,4	12,4	43,2
ETR	18,3	19,7	30,8	43,6	71,4	70,3	36,2	21,3	28,8	57,2	30,3	18,2
Dh	0,0	0,0	0,0	0,0	-1,5	-36,3	-105,5	-109,3	-64,9	0,0	0,0	0,0
Eh	0,0	2,6	11,8	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
R	0,0	1,3	7,2	6,3	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
DT	90,1	101,3	104,6	94,5	76,7	35,0	9,0	3,0	1,0	14,4	26,8	70,0

Tabla XXIX. Balance hídrico estación Alcoy. Fuente: Elaboración propia.

En la última estación considerada (Alcoy), tras culminar la época estival, en el mes de octubre la precipitación supera por primera vez a la evapotranspiración potencial. La recarga de humedad se desarrolla a lo largo de cuatro meses, culminando a finales de enero, momento en cual se satura el suelo o alcanza la capacidad de campo establecida para la estación en 100 mm. Durante la etapa de acumulación de agua, en el mes de diciembre se producen los mayores incrementos en la reserva hídrica (43,2 mm). Por otra parte, la escorrentía superficial iniciada en febrero, se extiende hasta el mes de abril con medias alrededor de los 40 mm (Tabla XXIX y Figura 29).

El déficit, según el balance hídrico, tiene una duración de cinco meses comenzando en mayo y finalizando en septiembre, sin embargo, a pesar de los altos valores de temperatura y evapotranspiración, el suelo mantendrá unos mínimos de humedad producto de los volúmenes acumulados hasta entonces.

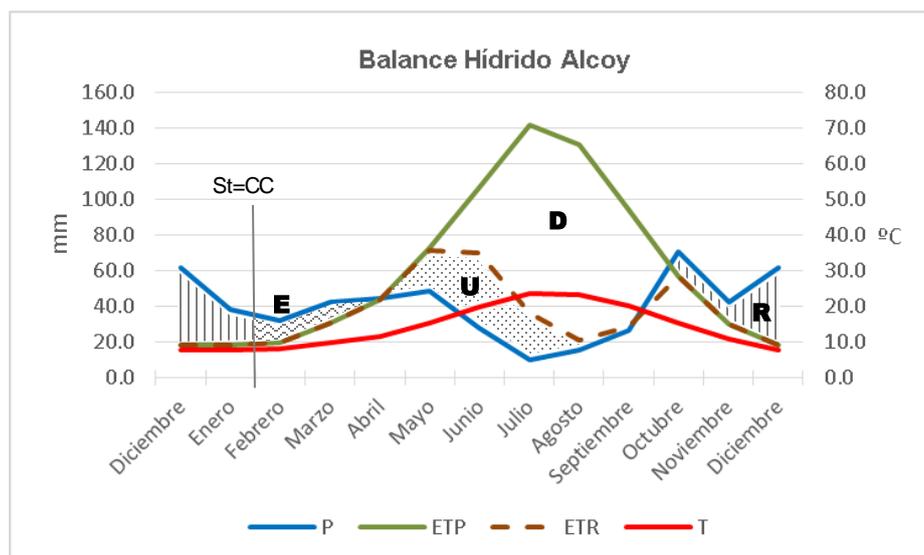


Figura 29. Gráfico balance hídrico de estación Alcoy. R= acumulación de agua en reserva, E=escorrentía, D= período de déficit, U= etapa de utilización de la reserva. Fuente: Elaboración Propia.

2.6.6 Clasificaciones climáticas

Las diversas clasificaciones climáticas tienen como objetivo delimitar unidades o zonas en función del clima imperante (o fluctuante dentro de ciertos rangos) y diferenciarlas de otras, a partir de la precipitación y temperatura, siendo estos los principales parámetros meteorológicos. Por otra parte, los índices bioclimáticos son relaciones numéricas entre los elementos climáticos, cuyo fin es cuantificar la influencia del clima sobre las comunidades vegetales, sobre el sistema edáfico en el que se distribuyan o sobre otro elemento que constituye el ecosistema.

2.6.6.1 Clasificación agroclimática de Papadakis

Esta clasificación se basa en establecer un régimen térmico y un régimen de humedad, útiles para determinar las diversas zonas climáticas, e incluyendo por una parte valores extremos de las variables climatológicas como las severidades estivales e invernales, y por otra parte los períodos de sequía. De esta manera, se establecen umbrales biológicos tanto óptimos como de limitación, para el desarrollo del cultivo.

El régimen térmico está definido por el tipo de verano e invierno dados en una zona. Para determinar el primero de ellos se utiliza la duración del período libre de heladas, la temperatura media de las máximas del mes más cálido y la temperatura media de las mínimas del mes más cálido. Ahora bien, el tipo de invierno se apoya en la temperatura media de las mínimas absolutas del mes más frío, la temperatura media de las mínimas del mes más frío y la temperatura media de las máximas del mes más frío. El régimen de humedad depende de los períodos de sequía, su duración, intensidad y su situación en el ciclo anual; esto se determina mediante la elaboración de los balances hídricos mensual y anual. En la tabla XXX se muestran los datos suministrados por SIGA para las cuatro estaciones consideradas en el análisis.

Estaciones	Tipo de invierno	Tipo de verano	Régimen de humedad	Régimen térmico	Clasificación climática
Albaida 'El Clau'	Ci	O	ME	MA	Mediterráneo marítimo
Beniatjar Les Planises	Ci	O	ME	MA	Mediterráneo marítimo
Alcolecha	Av	O	ME	CO/Co	Mediterráneo continental
Alcoy	Av	O	Me	CO/Co	Mediterráneo continental

Tabla XXX. Clasificación climática de Papadakis. Fuente: SIGA.

La cuenca presenta dos tipos de clima dominantes (Figura 30). La mitad septentrional, caracterizada por su fisiografía fluvial y menores altitudes, presenta el *Mediterráneo marítimo*; en cambio, la mitad meridional de relieve montañoso, predomina el tipo *Mediterráneo continental*. Adicionalmente, al suroeste de Alcoy resalta una región de categoría *Mediterráneo templado* (Fernández González, 2011). Con respecto a la ecología de los cultivos, en la zona las variables climáticas especifican un verano tipo *Oryza* (O) lo suficientemente largo y cálido para el cultivo de arroz pero marginal para el algodón. La zona suroccidental de Alcoy, presenta verano tipo *Maíz* (M). El tipo de invierno en la mitad norte se enmarca dentro de la categoría *Citrus* (Ci), por ser suave para el cultivo de cítricos, más no está exento de heladas. Al sur se distribuye entre

el tipo *Avena fresco* (av) al este y *Avena cálido* (Av) al oeste. El régimen térmico es del tipo *Marítimo cálido* (Ma) al norte y *Continental cálido/semicálido* (CO/Co) al sur, excepto al suroeste de Alcoy cuyo régimen es del tipo *Templado cálido* (TE). El régimen *Mediterráneo húmedo* (ME) es el régimen de humedad dominante en la comarca, menos al suroeste, donde se define como *Mediterráneo seco* (Me).

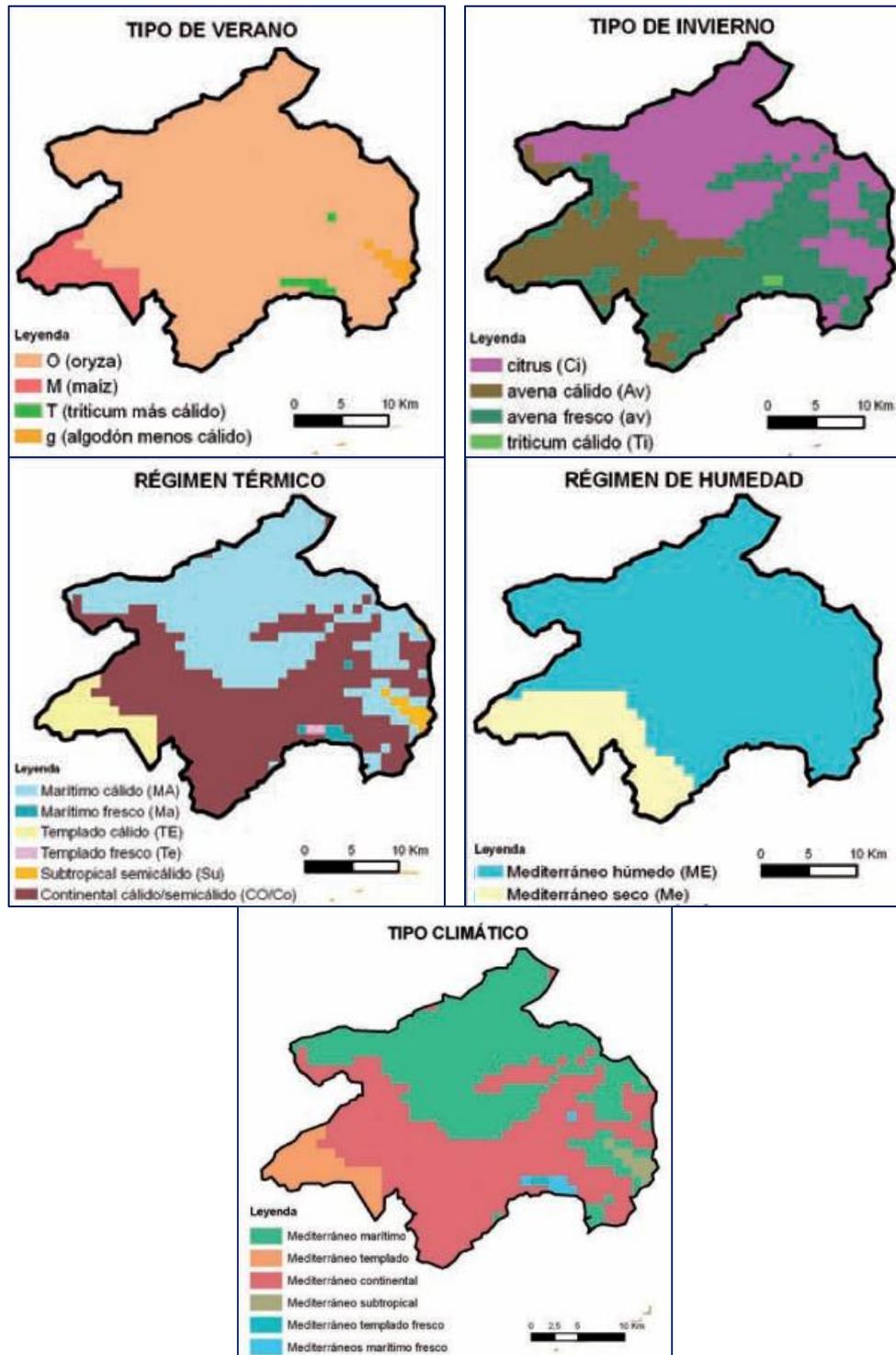
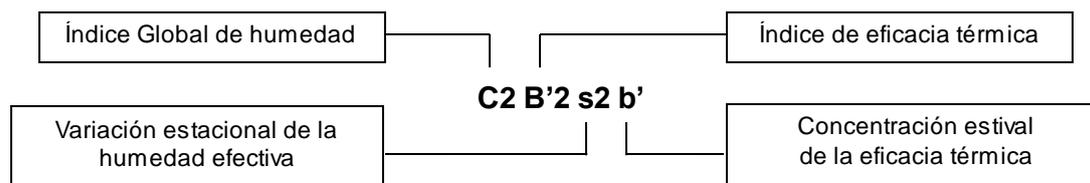


Figura 30. Clasificación agroclimática de Papadakis para la comarca agraria Montaña (Alicante). Fuente: Fernández González, 2011.

2.6.6.2 Clasificación climática de Thornthwaite

El gran aporte de esta clasificación planteada por Thornthwaite (1948), radica en comparar los aportes de agua con las pérdidas, que bajo un clima dado, resultan de los fenómenos de evaporación. De esta forma introduce el concepto de evapotranspiración potencial (ETP), considerándola como una variable climatológica más, dependiente de las condiciones atmosféricas e independiente del suelo y de la vegetación; y siendo una medida satisfactoria de las necesidades de agua del suelo. Así pues, mediante los datos de precipitación y salidas de agua (ETP), se hace un balance hídrico en el suelo con la finalidad de determinar excedentes (s), déficits (d) y superávits de humedad.

La clasificación está estructurada en cuatro índices que en conjunto expresan las características climáticas de una zona, estando asociados al régimen de humedad y al régimen térmico, respectivamente; por ejemplo:



Para el cálculo dichos índices se deben hallar primero las siguientes variables:

$$\text{Total anual de déficits mensuales } d = ETP - ETR$$

$$\text{Total anual de excedentes mensuales } s = P - ETR$$

$$\text{Índice de humedad } I_h = 100 \times s/ETP; \quad \text{Índice de aridez } I_a = 100 \times d/ETP$$

Una vez determinados estos valores, se calculan los índices para clasificar la zona.

- Índice global de humedad (I_m) $I_m = I_h - 0.6 \times I_a$
- Variación estacional de la humedad: la letra es definida en función de I_a e I_h .
- Índice de eficacia térmica: se establece a partir de los valores de ETP.
- Concentración estival de la eficacia térmica: cociente en porcentaje entre la ETP de los 3 meses de verano, y la de todo el año. $ETP_{3 \text{ meses verano}}/ETP_{\text{anual}} \times 100$

En la tabla XXXI se muestran los valores de estos índices y el tipo climático asociado al código, obtenidos del Atlas Climático de la Comunidad Valenciana (Pérez Cueva, 1994).

Estaciones	ETP	ETR	Índice de Humedad	Índice de Aridez	Índice Global	Tipo Climático	Código
Albaida 'El Clau'	84,6	49,8	26,4	41,1	1,8	Subhúmedo húmedo, mesotérmico, déficit importante en verano	C2 B'2 s2 b'
Beniatjar Les Planises	84,0	49,8	20,1	40,4	-4,2	Subhúmedo seco, mesotérmico, superávit importante en invierno	C1 B'2 s2 a'
Alcolecha	75,8	49,1	28,4	35,2	7,4	Subhúmedo húmedo, mesotérmico, déficit importante en verano	C2 B'2 s2 b'
Alcoy	77,0	46,6	3,70	39,3	-20	Subhúmedo seco, mesotérmico, poco o nada de superávit en invierno	C1 B'2 d b'4

Tabla XXXI. Clasificación climática de Thornthwaite. Fuente: Pérez Cueva, 1994.

2.6.6.3 Clasificación bioclimática de Rivas-Martínez

La clasificación bioclimática planteada por Rivas-Martínez (1987), tiene como objetivo correlacionar la vegetación potencial y los valores cuantitativos del clima, mediante una serie de parámetros e índices bioclimáticos, que dan a conocer los umbrales climáticos de los grandes ecotonos vegetacionales y biogeográficos de la Tierra.

Para representar los pisos bioclimáticos en la cuenca del Serpis (tramos alto y medio), se han determinado los siguientes índices (Tabla XXXII):

Índice de continentalidad (I_c), que refleja la amplitud de la oscilación anual de la temperatura; el I_c simple se determina por $I_c = T_{max} - T_{min}$, siendo T_{max} la temperatura media del mes más cálido y T_{min} la del mes más frío del año.

Índice ombrotérmico anual (I_0), es el índice básico en el planteamiento de esta clasificación según $I_0 = P_p/T_p$; siendo el cociente entre la suma de la precipitación media de los meses con temperatura media superior a 0 °C (P_p) y la suma de las temperaturas medias mensuales positivas (T_p).

Índice de termicidad (I_t), valor que pondera la intensidad del frío (factor limitante para muchas plantas y comunidades vegetales) con la temperatura media anual. Dicho índice es definido por el autor como la suma de la temperatura media anual (T), temperatura media de las mínimas del mes más frío (m) y temperatura media de las máximas del periodo mensual más frío (M) mediante: $I_t = (T + m + M) \times 10$.

La zona de estudio se enmarca en el **macrobioclima Mediterráneo**, caracterizado por incluirse en las cinturas subtropical y eutemplada (23° y 52° N & S), con existencia de sequías al menos dos meses consecutivos durante el periodo más cálido del año.

Estaciones	Tmax	Tmin	Pp	Tp	T	M	M	Ic	Io	It
Albaida 'El Clau'	8,7	25,3	725,0	190,8	15,9	4,3	14,1	16,6	3,80	343
Beniatjar Les Planises	8,9	24,9	668,9	192,4	16,1	5,4	13,9	16,0	3,48	354
Alcolecha	5,9	24,2	558,9	166,3	13,9	3	8,8	18,3	3,36	257
Alcoy	7,8	23,6	461,0	173,9	14,5	3	12,2	15,8	2,65	297

Tabla XXXII. Índices bioclimáticos de Rivas-Martínez. Fuente: Elaborado a partir de datos SIGA.

En función de la continentalidad y del índice ombrotérmico, las estaciones se ubican en el **bioclima Mediterráneo pluvioestacional oceánico (Mepo)**, con $Ic \leq 21$ e $Io > 2,0$.

Los *pisos bioclimáticos*, útiles por delimitar las comunidades vegetales, se dividen en **termotipos y ombrotipos**. El primero de ellos se ha determinado con el índice de termicidad (It). Las estaciones de Albaida 'El Clau', Alcoy y Alcolecha están en el termotipo *Mesomediterráneo* [$It = 220 - 350$], sin embargo, las dos primeras en el *horizonte inferior* [$It=285 - 350$], y la última en el *superior* [$It = 220 - 285$]. La estación Beniatjar pertenece al termotipo *Termomediterráneo* [$It = 350 - 450$] *horizonte superior* [$It = 350 - 400$].

Finalmente, con respecto a los ombrotipos, se ha preferido emplear el Io para establecer los tipos y horizontes ómbricos, ya que en las primeras clasificaciones la zonificación venía dada por los valores de la precipitación media (Rivas-Martínez, 2007). La estación Albaida pertenece al ombrotipo *Subhúmedo* [$Io = 3,6 - 6,0$] *horizonte inferior* [$Io = 3,6 - 4,8$]; y las restantes al tipo *Seco* [$Io = 2,0 - 3,6$] con Beniatjar - Alcolecha en el *horizonte superior* [$Io = 2,8 - 3,6$], y Alcoy en el *inferior* [$Io = 2,0 - 2,8$].

La tabla XXXIII resume los resultados definitivos, para las estaciones consideradas, de la clasificación de Rivas-Martínez (1987).

Estaciones	Macrobioclima	Bioclima	Piso Bioclimático: Termotipo	Piso Bioclimático: Ombrotipo
Albaida 'El Clau'	Mediterráneo	M. pluvioestacional oceánico (Mepo)	Mesomediterráneo inferior (Mmei)	Subhúmedoinferior (Sui)
Beniatjar Les Planises	Mediterráneo	M. pluvioestacional oceánico (Mepo)	Termomediterráneo superior (tmes)	Seco superior (Ses)
Alcolecha	Mediterráneo	M. pluvioestacional oceánico (Mepo)	Mesomediterráneo superior (Mmes)	Seco superior (Ses)
Alcoy	Mediterráneo	M. pluvioestacional oceánico (Mepo)	Mesomediterráneo inferior (Mmei)	Seco inferior (Sei)

Tabla XXXIII. Clasificación bioclimática de Rivas-Martínez. Fuente: Elaborado propia.

2.6.6.4 Clasificación fitoclimática de Allué

Allué Andradre (1990), desarrolla una clasificación fitoclimática para España en su obra “*Atlas Fitoclimático de España*” a partir de los datos del Instituto Nacional de Meteorología (INM), de las Series de Vegetación Potencial (Rivas Martínez, 1987) y del trabajo de campo. Dicha clasificación se basa en la observación de climogramas y el análisis del comportamiento que adquieren las curvas de precipitación y temperatura.

El resultado es la caracterización de 19 subtipos de vegetación, cada uno de ellos asociado a unas características climáticas concretas y reunidos en cuatro tipos fitoclimáticos generales: Áridos, Mediterráneos, Nemorales y Oroborealoides (Tabla XXXIV). Estos se ordenan de climas más cálidos y con sequías asociadas a las altas temperaturas, a climas más fríos, que también pueden implicar deficiencias hídricas, asociadas a las heladas.

Al revisarse el Mapa de Subregiones Fitoclimáticas de España Peninsular Balear, en la zona de estudio se identifican dos tipos fitoclimáticos (Figura 31).

TIPO FITOCLIMÁTICO	ASOCIACIONES POTENCIALES DE VEGETACIÓN	ALLUE	ORDEN
ÁRIDO	Espinales de azufaifo, Cornicales	III (IV)	1
MEDITERRÁNEOS	Lentiscares, Coscojares, Acebuchales, Encinares (Quercus ilex rotundifolia) y Encinares alsinares (Quercus ilex ilex)	IV (III)	2
		IV (VII)	3
		IV1	3
		IV2	4
		IV3	5
		IV4	6
		IV (VI) ₁	7
		IV (VI) ₂	8
NEMORALES	Quejigares, Melojares o Rebollares, Encinares alsinares, Robledales pubescentes y pedunculados, Hayedos.	VI (IV)₁	9
		VI (IV) ₂	10
		VI (IV) ₃	11
		VI (IV) ₄	12
		VI (VII)	13
		VI (V)	14
		VI	15
OROBOREALOIDES	Pinares de silvestre, Pinares moros, Robledales pubescentes, Hayedos, Pastos alpinos y alpinoideos.	VIII (VI)	16
		X (VIII)	17
		X (IX) ₁	18
		X (IX) ₂	19

Tabla XXXIV. Clasificación fitoclimática de Allué Andradre. Fuente: Allué Andradre, 1990.

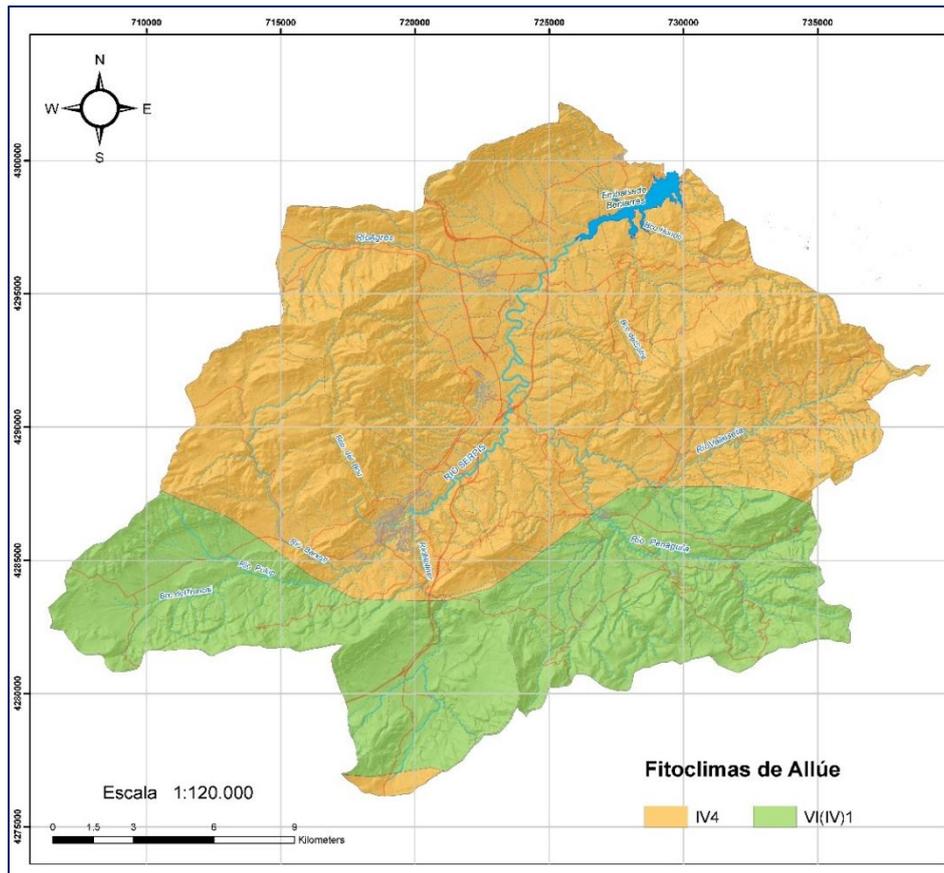


Figura 31. Mapa de subregiones Fitoclimáticas. Fuente: Allúe Andrade, 1990.

Dos terceras partes de la cuenca (zona central y septentrional) pertenecen al fitoclima *Medios Mediterráneos (IV)*; con lentiscares, coscojares, acebuchales, encinares (*Quercus ilex rotundifolia*) y encinares alsinares (*Quercus ilex ilex*), como asociaciones potenciales de vegetación. De estos, el subtipo *Arbóreos bosques ilicinos exclusivos y genuinos, típicos, menos seco IV₄* se distribuye en 327,14 km² de la cuenca.

Respecto a la zona meridional el fitoclima dominante es del tipo *Bosques Nemorales*, con asociaciones potenciales de vegetación de quejigares, melojares o rebollares, encinares alsinares, robledales pubescentes pedunculados y hayedos. El subtipo corresponde a *Transicionales nemoromediterráneos, con planicaducifolia obligada marcescente, Subesclerófila VI (IV)₁* (157,23 km²).

2.6.6.5 Índices de Potencialidad Agrícola y Clasificación Climática de Turc

El índice de potencialidad agrícola de Turc (CA) representa la relación existente entre las variables climáticas (temperatura, radiación y sequedad) y la producción agrícola sobre un suelo bien cultivado asumiendo que el agua no es un factor limitante.

Para su cálculo, se determina el producto de tres factores estimados mes a mes mediante la ecuación: $CA = F_t \times F_h \times F_s$ en seco; y $CA = F_t \times F_h$ en regadío, ya que en este último al suponerse que no hay déficit de agua, $F_h=0$.

Estos tres factores climáticos establecidos en el método son los siguientes:

- Factor térmico (F_t): dependiente de la temperatura media del mes (tm) y de la temperatura media de la mínima del mes (t).

$$F_t = [tm \times (60 - tm)/1000] \times [(t - 1)/4] \quad \text{Si } 1 < t < 5$$

$$F_t = 0, \quad \text{si } t \leq 1$$

$$F_t = tm \times (60 - tm)/1000, \quad \text{si } t \geq 5$$

- Factor solar (F_h): corresponde al menor de los valores; si es negativo se toma el valor 0 asumiendo que el mes es improductivo, de lo contrario:

$$F_{h1} = Nm - 5 - (\Phi/40)^2 \quad \text{y} \quad F_{h2} = 0.03 \times (R - 100);$$

siendo Nm la insolación máxima, Φ la latitud y R la radiación solar en el suelo.

- Factor de sequedad (F_s): se obtiene mediante la elaboración de balances hídricos.

En las tablas XXXV y XXXVI, se resumen los valores mensuales y anuales del índice de Turc para seco y regadío en las cuatro estaciones analizadas y aportados por el SIGA. Adicionalmente, en la figura 32 se muestra el valor del índice para la Comunidad Valenciana.

INDICE DE POTENCIALIDAD AGRÍCOLA DE TURC EN REGADÍO				
	Albaida 'El Clau'	Beniatjar Les Planises	Alcolecha	Alcoy
Enero	1,42	1,73	0,80	0,76
Febrero	2,03	2,32	1,14	1,25
Marzo	3,20	3,33	2,53	2,33
Abril	4,35	4,58	4,08	4,08
Mayo	6,01	6,10	5,87	5,67
Junio	7,24	7,25	6,95	7,01
Julio	7,55	7,52	7,45	7,38
Agosto	6,75	6,72	6,59	6,58
Septiembre	5,46	5,41	5,21	5,24
Octubre	3,82	3,83	3,47	3,59
Noviembre	2,44	2,45	1,90	2,23
Diciembre	1,40	1,68	0,56	0,88
Anual	51,67	52,92	46,55	47,00

Tabla XXXV. Índice de potencialidad agrícola de Turc en regadío. Fuente: SIGA.

INDICE DE POTENCIALIDAD AGRÍCOLA DE TURC EN SECANO				
	Albaida 'El Clau'	Beniatjar Les Planises	Alcolecha	Alcoy
Enero	1,42	1,73	0,8	0,76
Febrero	2,03	2,32	1,14	1,25
Marzo	3,20	3,33	2,53	2,33
Abril	4,35	4,58	4,08	2,00
Mayo	6,01	5,87	3,24	1,11
Junio	1,92	0	0	0
Julio	0	0	0	0
Agosto	0	0	0	0
Septiembre	0	0	0	0
Octubre	2,47	3,42	2,97	2,20
Noviembre	2,44	2,45	1,90	2,16
Diciembre	1,40	1,68	0,56	0,88
Anual	25,24	25,38	17,22	10,69

Tabla XXXVI. Índice de potencialidad agrícola de Turc en secano. Fuente: SIGA.

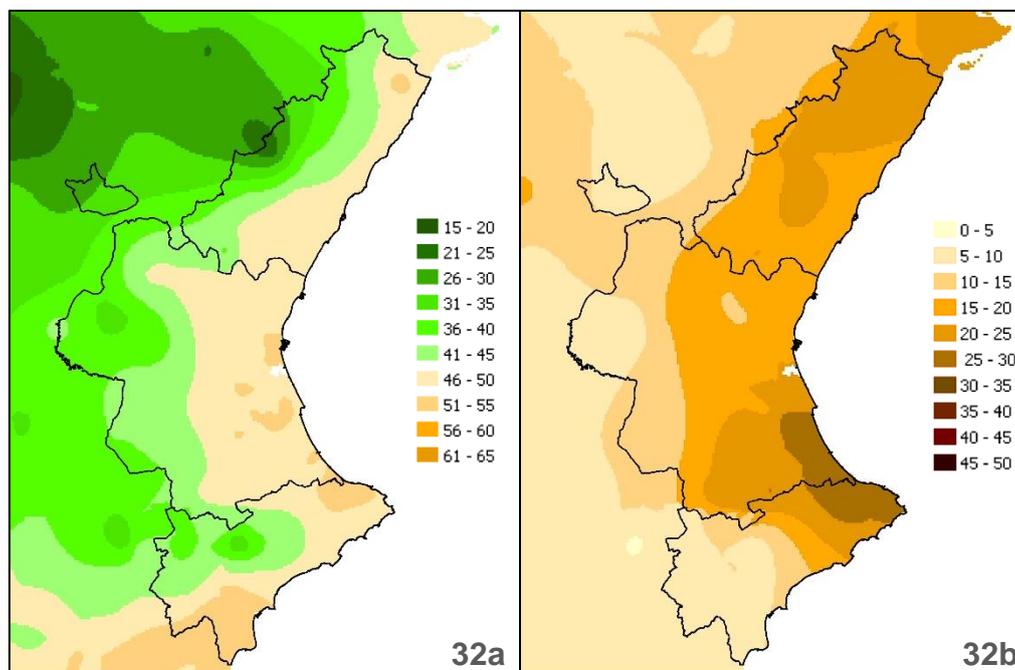


Figura 32. Índices de potencialidad agrícola de Turc para la Comunidad Valenciana. **32a)** IPA de Turc en regadío. **32b)** IPA de Turc en secano. Fuente: Elaborado a partir de datos MAPAMA.

Según estos datos, el índice de Turc tiene igual valor en regadío y secano, unos 5 - 6 meses del año a partir de noviembre, pero disminuye considerablemente para el secano desde el mes mayo hasta el mes de octubre. Esto es consecuencia del riego durante el período estival.

Finalmente, para la clasificación climática Turc emplea la siguiente expresión:

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{IT^2}}} \quad \text{y} \quad IT = 300 + 25T + 0.05T^3$$

siendo ETR la evapotranspiración real, P la precipitación media anual e IT un indicador que directamente de la temperatura media anual (T). Si $D=P$, entonces;

$$P = 0,316 \times L.$$

$P_1 = 2 \times P_2$ y $P_2 = 0,316 \times IT$; con los valores de P_1 y P_2 el clima se clasifica en: húmedo si $P > P_1$, semiárido si $P_2 < P < P_1$ y árido si $P < P_2$ (Tabla XXXVII).

Estaciones	P	T	ETR	IT	P_1	P_2	CLIMA
Albaida 'El Clau'	725,0	15,9	582,13	898,48	567,84	283,92	Húmedo
Beniatjar Les Planises	668,9	16,1	557,62	911,16	575,86	287,93	Húmedo
Alcolecha	558,9	13,9	470,50	781,78	494,09	247,04	Húmedo
Alcoy	461,0	14,5	417,37	814,93	515,04	257,52	Semiárido

Tabla XXXVII. Clasificación climática de Turc. Fuente: Elaboración propia.

2.6.6.6 Índice de Agresividad Climática de Fournier

Según Fournier (1960), la erosión hídrica depende de la pluviometría anual y su distribución, ya que la regularidad de las precipitaciones hace que las intensidades máximas disminuyan y por tanto, su energía cinética es menor (además aumentará la vegetación). Otros factores que influyen en la erosión son la geología, el relieve (mientras más llana sea la cuenca, menor será la erosión) y la vegetación, ya que aumenta la sujeción de los suelos.

A escala regional, las variables climáticas, específicamente el régimen de precipitaciones, constituyen el único elemento posible de diferenciación, de aparecer regiones con diferentes estados erosivos, ya que los otros factores (suelo, relieve y vegetación) tienen gran variedad de características, sin embargo, en pequeñas extensiones estos sí tienen una clara influencia (Guerra, *et al.*, 1985). La ecuación para el cálculo del índice es $IF = p^2/P$, siendo p la precipitación del mes más lluvioso y P la precipitación total anual. En la tabla XXXVIII se muestra la clasificación del IF de acuerdo a los resultados obtenidos.

IF	NIVEL DE EROSIÓN	ESTACIONES
< 15	Muy bajo	Albaida (IF=14,0), Beniatjar (IF=13,6), Alcoy (IF=10,8)
16 – 30	Bajo	Alcolecha (IF=22,6)
31 – 50	Medio	
51 – 65	Alto	
> 65	Muy alto	

Tabla XXXVIII. Clasificación según el índice de Fournier. Fuente: Elaboración propia.

2.7 Vegetación y Usos del Suelo

La vegetación corresponde al conjunto de plantas desarrolladas en un área determinada que ejercen entre sí múltiples influencias. Con respecto a los medios estacionales y antrópicos, así como su sucesión (proceso en el que una asociación vegetal o estadio es sustituida por otra dentro de la misma unidad de lugar), en la comunidades vegetales se distinguen varios tipos tales como, potencial primitiva, permanente, real, virtual, serial, nitrófila, entre otras (Rivas-Martínez, 1987).

La comunidad vegetal estable que estaría en una zona determinada como consecuencia de la sucesión geobotánica progresiva, en el caso de no existir influencia o alteraciones antrópicas en los ecosistemas vegetales, se denomina *vegetación potencial*. La vegetación primitiva o no alterada, es considerada en la práctica, como sinónimo de esta, no obstante, es preciso distinguir entre la vegetación potencial referida a las series climatófilas o clímax (ubicadas en suelos que sólo reciben el agua de lluvia) y las correspondientes a las series edafófilas o permanentes (presentes en suelos semiterrestres o acuáticos, como las series riparias). Por otra parte, la *vegetación real o actual*, es aquella comunidad vegetal presente en un lugar sometido a las influencia tanto del medio estacional como del antropógeno.

Los factores del medio como clima (especialmente temperatura y precipitación), suelo y geografía son los responsables de la existencia de uno u otro topo de vegetación, sin embargo, la acción del hombre decide en última instancia la configuración actual del paisaje.

Para el desarrollo de los apartados de vegetación natural actual, cultivos y usos del suelo, se han revisado los datos e información del proyecto europeo *Corine Land Cover* (CLC) de la Agencia Europea del Medio Ambiente (AEMA).

El Instituto Geográfico Nacional (IGN) en conjunto con el Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG), son los entes encargados de gestionar y coordinar en el territorio nacional, las versiones del CLC, teniendo este gran utilidad para el análisis territorial y la gestión de políticas europeas. El proyecto es una base de datos de polígonos de ocupación del suelo a nivel europeo a una escala de referencia de 1/100.000 y basada en una nomenclatura jerárquica de tres niveles con 44 clases, siendo el tamaño mínimo de polígono de 25 ha. Desde la primera versión del año 1990, la base de datos es actualizada periódicamente con versiones en los años 2000

y 2006, siendo la del 2012 la tercera y última actualización de dicho proyecto que se genera con su respectiva base de datos de cambios en la ocupación del suelo entre el año de referencia anterior y el actual (2006-2012).

En la zona de estudio se han reconocido 23 diferentes clases, de las cuales nueve (9) corresponden a zonas forestales con vegetación natural y espacios abiertos ocupando un total de 254,9 km² de superficie donde domina la vegetación arbustiva; ocho (8) a zonas agrícolas en áreas que suman 189,4 km² y principalmente dominadas por mosaicos de cultivos, olivares y frutales; cinco (5) a superficies artificiales incluyendo el tejido urbano y las zonas industriales que representan 19,1 km² del total y por último, una (1) superficie de agua constituida por el embalse de Beniarrés, cuya extensión es de 1,84 km². En el gráfico de la figura 33 se representan los porcentajes que ocupan estos cuatro (4) grupos de usos del suelo en la cuenca del Serpis.

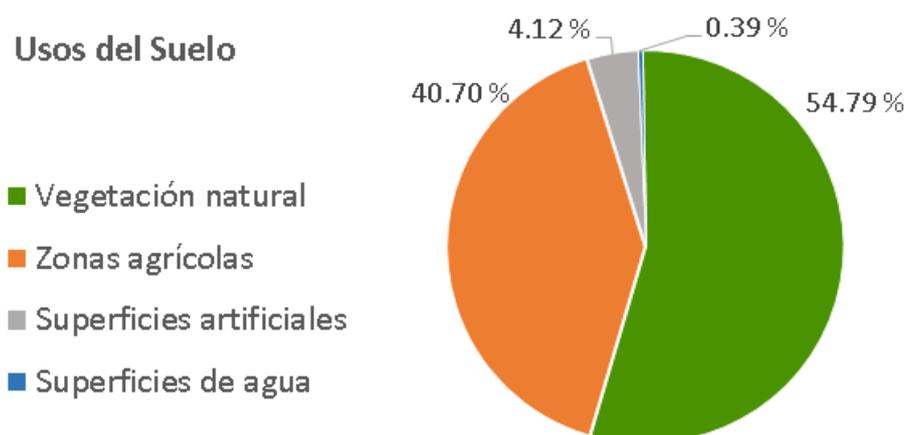


Figura 33. Gráfico de porcentajes ocupados por los principales uso del suelo en la zona de estudio.
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del Proyecto CORINE, 2012.

2.7.1 Vegetación Potencial

Para la determinación y caracterización de la vegetación potencial en la zona de estudio se ha revisado el Mapa de Series de Vegetación de España a escala 1/400.000, elaborado por Salvador Rivas-Martínez y publicado en el año 1987, y su versión ampliada y actualizada del 2011, denominada "Mapa de Series, Geoserias y Geopermaseries de Vegetación de España", así como sus respectivas Memorias.

Las regiones biogeográficas presentan una zonación altitudinal de los ecosistemas vegetales debido esencialmente al descenso progresivo de la temperatura media anual con la altitud, por lo tanto, al correlacionarse el medio físico (suelo y clima) con

las discontinuidades altitudinales se notarán los cambios en función de la temperatura y las lluvias (termoclima y ombroclima), generando de esta manera *pisos bioclimáticos* y *series de vegetación*.

Tipología Biogeográfica

Según este autor, los tramos alto y medio de la cuenca del río Serpis se ubican en:

- Reino Holártico
 - Región Mediterránea
 - Subregión Mediterránea-Occidental
 - Superprovincia Mediterráneo-Iberolevantina
 - Provincia Valenciano-Catalano-Provenzal
 - Sector Setabense
 - Subsector Alcoyano-Diánico

Pisos Bioclimáticos

Los *pisos bioclimáticos* son cada uno de los tipos o espacios termoclimáticos que se suceden en una cliserie altitudinal o latitudinal. Estas unidades se delimitan en función de aquellas comunidades vegetales que presentan evidentes correlaciones con determinados intervalos o zonas termoclimáticas (calculadas a partir de los índices de termicidad). De esta forma, cada región biogeográfica está caracterizada por pisos bioclimáticos que incluyen comunidades vegetales de estructura y composición florística particular, denominadas *pisos de vegetación*.

De acuerdo a esto, la divisoria en cuestión está contenida en el piso bioclimático **Mesomediterráneo** caracterizado por:

- Temperatura media anual (T) entre 13 y 17 °C.
- Temperatura media de las mínimas del mes más frío (m) de -1 a -4 °C.
- Temperatura media de las máximas del mes más frío (M) de 9 a 14 °C.
- Índice de termicidad ($It = (T + m + M) \times 10$) entre 210 y 350.

Series de Vegetación

Rivas Martínez (1987), define *serie de vegetación* como la unidad geobotánica sucesionista y paisajista que intenta expresar todo el grupo de comunidades vegetales que pueden encontrarse en espacios teselares afines (superficie geográfica

ecológicamente homogénea que presenta un único tipo de vegetación potencial y una sola secuencia de comunidades sustituyentes) producto del proceso de sucesión. Aquí se incluyen además los tipos de vegetación representativos de la etapa madura del ecosistema vegetal como las comunidades iniciales o subseriales que los reemplazan. Partiendo de esta clasificación, en la zona de estudio existen las siguientes series de vegetación (Figura 34), enumeradas según el porcentaje de distribución en la cuenca.

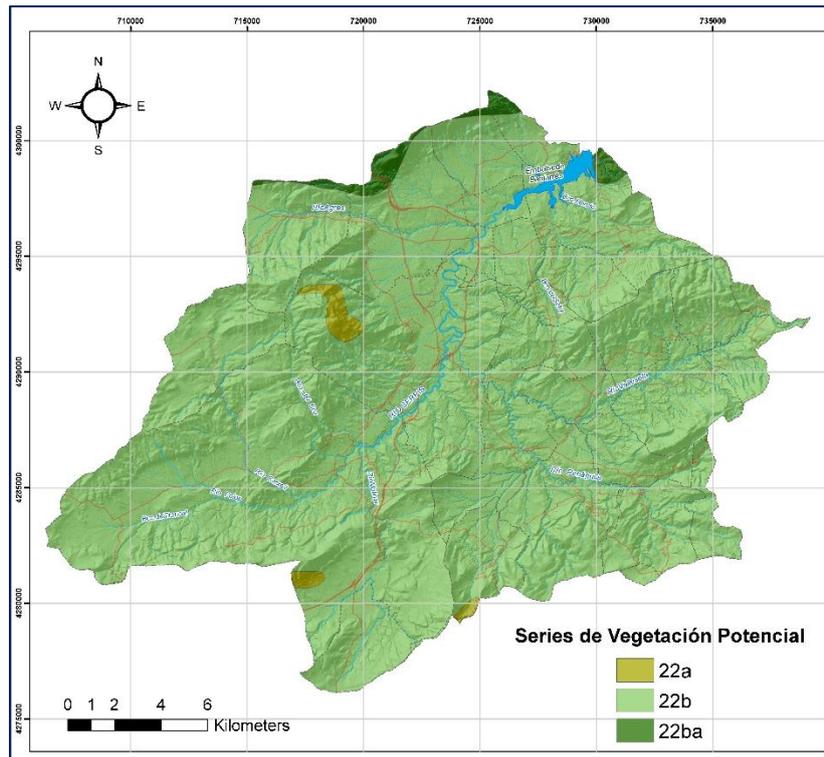


Figura 34. Series de vegetación potencial presentes en la cuenca del Serpis. Fuente: Elaborado a partir de Rivas-Martínez, 1987.

22b/22ba) Serie mesomediterránea castellano-aragonesa basófila de la carrasca (*Quercus rotundifolia*). *Blupeuro rigidi-Querceto rotundifoliae sigmetum*.

Esta serie es la de mayor extensión superficial de España, y en la cuenca estudiada se distribuye en 461 km² del total de su superficie (99 %). La facción típica (22b) domina claramente el territorio, sin embargo, la facción termófila (serie 22ba) está representada ligeramente en las cotas inferiores hacia el flanco sur de la sierra de Benicadell en 1,4 % (6.5 km²), siendo este subconjunto montañoso el que marca el límite entre ambas; otra pequeña zona correspondiente a 22ba se presenta en las cercanías a la presa de Beniarrés, en las Lomas del Cantalar por el barranco de la Cova de la Vila.

Sus principales características son un ombroclima de tipo seco y unos suelos ricos en carbonato de calcio. La etapa madura de la serie está representada por un carrascal con cierto número de arbustos esclerófilos en el sotobosque (*Quercus coccifera*, *Rhamnus alaternus var. Parvifolia*, *Rhamnus lycioides subsp. lycioides*, etc.) que tras la completa o parcial desaparición/destrucción de la encina aumentan su biomasa y permanecen como etapa de garriga en muchas de las estaciones fragosas de estos territorios. En esta serie tan vasta, los tomillares pueden ser muy diversos entre sí respecto a su composición florística (*Gypsophiletalia*, *Rosmarino-Ericion*, *Sideritido-Salvion lavandulifoliae*, etc.), y los estadios referentes a los suelos menos degradados son muy parecidos en el área. Algunos ejemplos de esto son las etapas de los coscojares o garrigas (*Rhamno-Quercetum cocciferae*), la de los espartales de atochas (*Fumano ericoidis-Stipetum tenacissimae*, *Arrhenathero albi-Stipetum tenacissimae*), la de los retamares (*Genisto scorpii-Retametum sphaerocarphae*) y en cierto modo la de los pastizales vivaces de *Brachypodium retusum* (*Ruto angustifoliae-Brachypodietum ramosi*).

Al ser una serie tan ampliamente extendida, dependiendo del lugar en que se halle mostrará variaciones geográficas; por esto, pueden reconocerse diversos tipos a modo de razas geográficas en base a la existencia de un conjunto de especies diferenciales; e incluso en la etapa de bosque.

Finalmente, el principal potencial de estas zonas radica en actividades de ganadería extensiva y agrícola, como cereales, viñedos y olivares. En cuanto a las repoblaciones de pinos deben basarse en pinos piñoneros (*Pinus pinea*) y especialmente en pinos carrascos (*Pinus halepensis*), sin embargo, esto sólo es recomendable en las etapas de intensa degradación edáfica (Rivas-Martínez, 1987).

22a) Serie supramediterránea castellano-maestrazgo-manchega basófila de la encina (*Quercus rotundifolia*). *Junipero thuriferae* –*Querceto rotundifoliae sigmetum*.

La serie 22a se presenta en menos del 1% de la cuenca (4,25 km²), apareciendo como parches en una zona próxima a Cocentaina sobre la sierra Mariola, y al sur de la Font Roja. Es característica de ombroclimas seco-subhúmedos y suelen aparecer frecuentemente enebros y sabinas albares (*Juniperus oxycedrus*, *J. hemisphaerica*, *J. thurifera*) en el bosque con la encina castellana (*Quercus rotundifolia*). En el

sotobosque son escasos los arbustos espinosos caducifolios y en situaciones de topografía favorable, el suelo no se descarbonata, por este motivo, en las etapas subseriales prosperan diversos tipos de tomillares, salviares y formaciones de caméfitos pluviformes (*Salvion lavandulifoliae*) en las que son comunes diversos endemismos de las parameras ibéricas (*Linum apressum*, *L. differens*, *Genista pumila*, *Sideritis pungens*, *Thymus godayanus*, *Satureja intricata* subsp. *Gracilis*, etc.).

En la tabla XXXIX se presentan las etapas de regresión y los bioindicadores de las dos series de vegetación descritas.

Serie	22b. Castellano-aragonesa de la encina	22a. Castellano-maestrazgo-manchega basófila de la encina
Arbol dominante	<i>Quercus rotundifolia</i>	<i>Quercus rotundifolia</i>
Nombre fitosociológico	<i>Bupleuro rigidi-Querceto rotundifoliae sigmetum</i>	<i>Junipero thuriferae-Querceto rotundifoliae sigmetum</i>
I. Bosque	<i>Quercus rotundifolia</i> <i>Bupleurum rigidum</i> <i>Teucrium pinnatifidum</i> <i>Thalictrum tuberosum</i>	<i>Quercus rotundifolia</i> <i>Juniperus thurifera</i> <i>Juniperus hemisphaerica</i> <i>Rhamnus infectoria</i>
II. Matorral denso	<i>Quercus coccifera</i> <i>Rhamnus lycioides</i> <i>Jasminum fruticans</i> <i>Retama sphaerocarpa</i>	<i>Rosa agrestis</i> <i>Rosa micrantha</i> <i>Rosa cariotii</i> <i>Crataegus monogyna</i>
III. Matorral degradado	<i>Genista scorpius</i> <i>Teucrium capitatum</i> <i>Lavandula latifolia</i> <i>Helianthemum rubellum</i>	<i>Genista pumila</i> <i>Linum apressum</i> <i>Fumana procumbens</i> <i>Globularia vulgaris</i>
IV. Pastizales	<i>Stipa tenacissima</i> <i>Brachypodium ramosum</i> <i>Brachypodium distachyon</i>	<i>Festuca hystrix</i> <i>Dactylis hispánica</i> <i>Koeleria vallesiana</i>

Tabla XXXIX. Etapas de regresión y bioindicadores de las series 22b. Castellano-aragonesa de la encina y 22a. Castellano-maestrazgo-manchega basófila de la encina. Fuente: Rivas-Martínez, 1987.

2.7.2 Vegetación Actual

Tanto la importante expansión de las superficies cultivadas, como los incendios ocurridos en el pasado reciente, han modificado de manera considerable la vegetación natural en la zona. Alrededor del 55 % (254,9 km²) de la superficie total de la cuenca, corresponde a zonas de uso forestal o con vegetación natural (ver anexo Mapa 12). De estas áreas, los espacios de vegetación arbustiva o herbácea son los dominantes ya que se distribuyen en 130,65 km², seguidos de los pinos presentes en 111,90 km² y por último, los espacios abiertos con vegetación escasa o ausente representados en 12,38 km² (Figura 35).

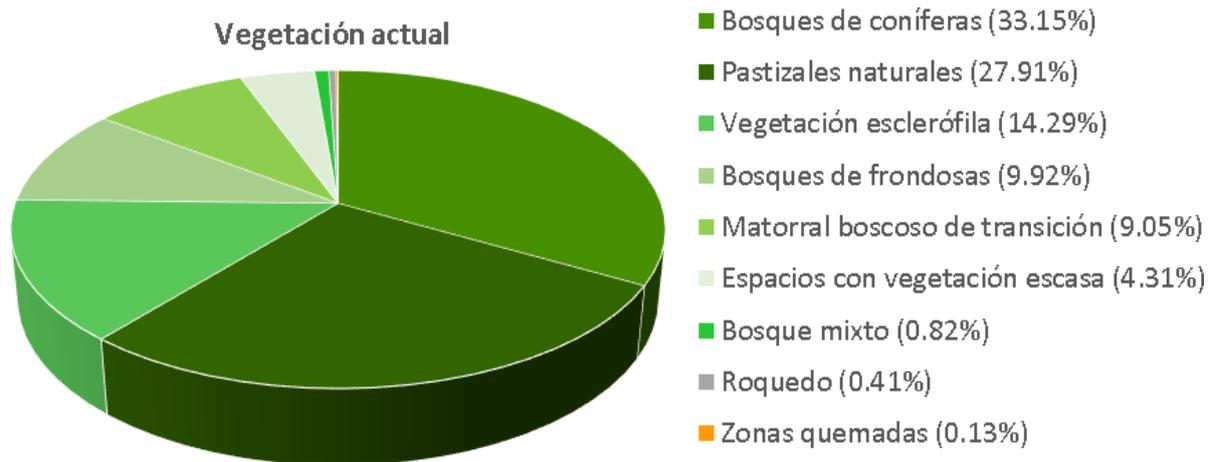


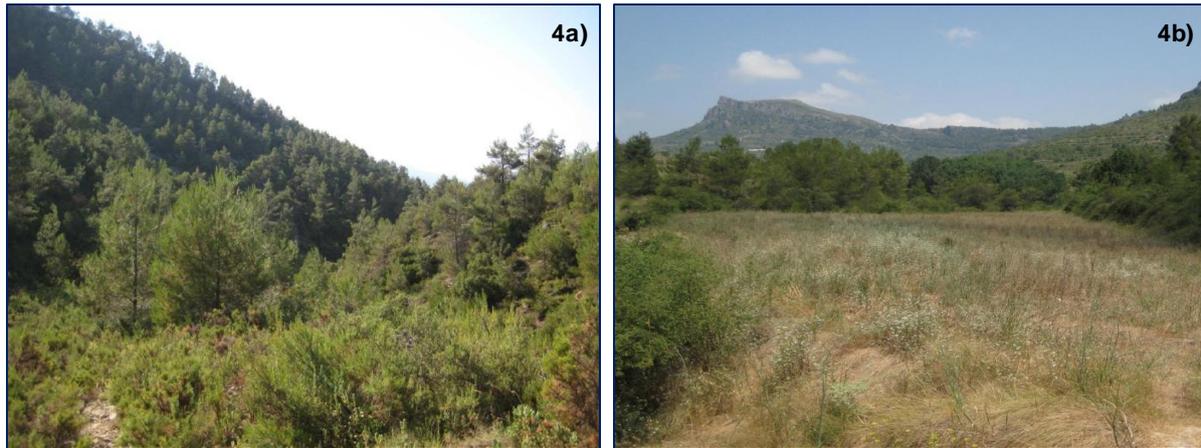
Figura 35. Superficie ocupada (%) por cada uno de los tipos de vegetación en la cuenca. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del Proyecto *CORINE*, 2012.

En el primer grupo (vegetación arbustiva o herbácea), los ***pastizales naturales*** son los de mayor extensión (71,15 km²) y están caracterizados por su baja productividad, a menudo ubicados en terrenos irregulares sobre zonas con vegetación herbácea (de alturas inferiores a 150 cm, con predominio de especies gramíneas) que cubren no menos del 75 % de superficies que han tenido una mínima interferencia antrópica (Fotografía 4b).

La ***vegetación esclerófila*** incluyendo maquia (arbustos termófilos) y garriga les siguen en proporción con 36,44 km², y los ***matorrales boscosos de transición*** están presentes en 23,07 km². Estos últimos, corresponden a vegetación herbácea con árboles dispersos, que bien puede ser debido a la degradación de los bosques o a la regeneración/recolonización forestal (EEA, 2000).

Con respecto al grupo de los pinos, los ***bosques de coníferas*** (Fotografía 4a) encabezan en cuanto a superficie abarcada, ya que se ubican a lo largo de 84,5 km², destacando en las sierras Mariola y Aitana. En la clase también se incluyen, además de los árboles, las plantaciones jóvenes, los arbustos y los matorrales donde las coníferas predominan. La comunidad vegetal arbórea (formación arbolada) de orden superior está representada fundamentalmente por pinares de pino carrasco (*Pinus halepensis*) con encinares (*Quercus rotundifolia*) y enebro oxicedro (*Juniperus Oxycedrus*) como especies secundarias presentes en la tesela.

En segundo orden, se ubican los ***bosques de frondosas*** o especies de hojas anchas, pero a excepción de los anteriores, que pueden encontrarse en todos los tramos del río, estos solo se disponen en las zonas más meridionales de la cuenca en 25,30 km².



Fotografías 4. Vegetación actual presenten en la cuenca del Serpis. **4a)** Pinares de pino carrasco (*Pinus halepensis*) en el T.M. Penáguila. **2b)** Matorrales, herbáceas y pinares, entre Almudaina y Balones. Fuente: Sánchez Serradilla (2010,2013).

La última clase del grupo de pinos está constituida por aquella vegetación donde no predominan ni las coníferas ni las frondosas, denominada **bosques mixtos**. Estos solo aparecen en 2,08 km² al sur y sureste de la divisoria.

Además de los grupos antes descritos, también existe una división para los espacios abiertos con muy poca vegetación, e incluso ausente. Destaca en la sierra de Almudaina una **zona de vegetación escasa** de 10 km², típica de lugares asociados a estepas y *badlands*; otros parches también aparecen en Cocentaina y Alcoy, por lo tanto, la serie tiene una extensión total de 10,98 km². Al suroeste, sobre la unidad oligocena formada por areniscas alternadas con margas (TO1), se presenta la única zona de **roquedo** o roca desnuda en toda la cuenca, ocupando sólo 1,1 km². Esta clase generalmente está representada por afloramientos de roca y acantilados que son el resultado de los intensos procesos erosivos. Finalmente, se presenta una zona denudada de 0,34 km² en el Municipio Penáguila a escasos metros del río, producto de los **incendios forestales**.

2.7.3 Cultivos

El segundo uso, en cuanto a extensión, está conformado por las tierras de cultivo, las cuales ocupan 189,39 km², es decir, el 40,70 % de la cuenca. Estas área se concentran fundamentalmente en las zonas llanas de los valles del Serpis y el Valleseta. Los municipios que presentan más hectáreas de cultivo son Alcoy, con 4148 ha; y Cocentaina con 3425 ha. Entre estas zonas agrícolas, se distinguen 4 principales grupos, en donde los cultivos permanentes son los más extendidos ya que se distribuyen en unas 8670 ha, seguidos de las áreas agrícolas heterogéneas en

7380 ha, las tierras de labor ocupan 2694 ha, y finalmente, las praderas ocupan una superficie de 193 ha (Figura 36).

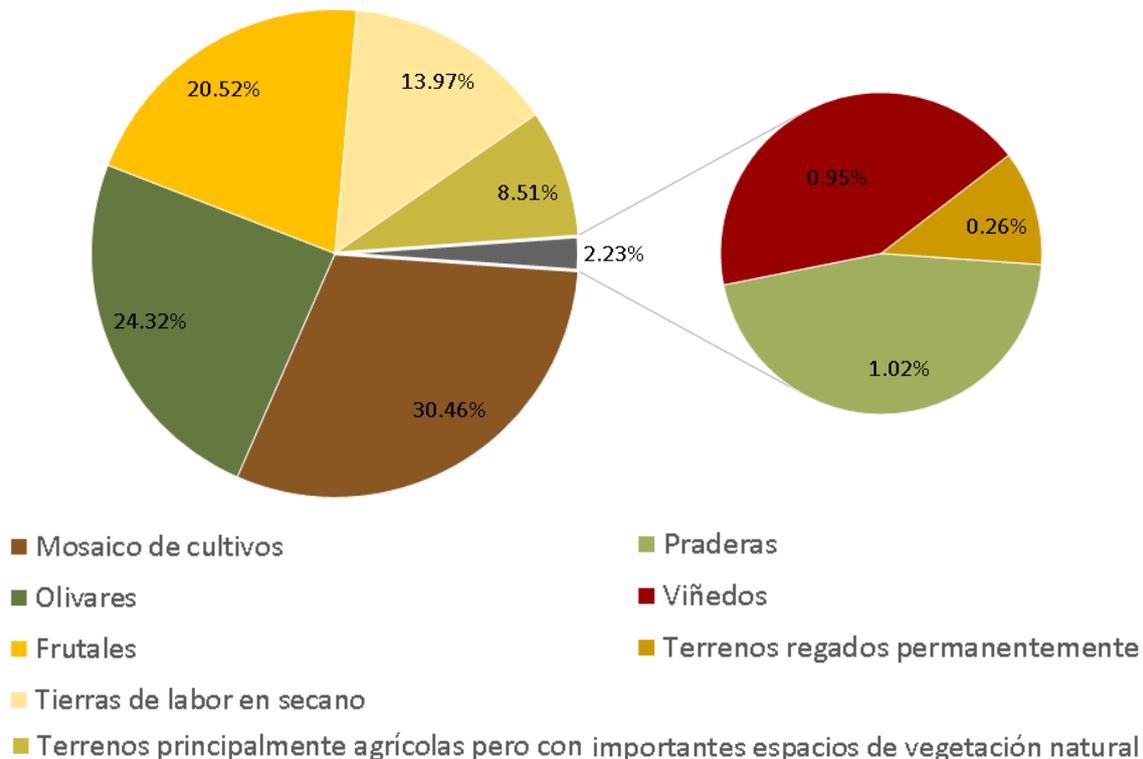


Figura 36. Distribución superficial de los diversos tipos de de cultivos presentes en los terrenos de la cuenca. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del Proyecto *CORINE*, 2012.

Entre los permanentes, los cultivos leñosos son los de mayor importancia (45,8 %) respecto del total de tierras de cultivo, destacando principalmente los **olivares** (4605 ha), representando el 24,3 %, seguido de los **frutales** (3886 ha) dominados por almendros y cítricos; y los **viñedos** en unas 180 ha; todos estos en seco, excepto los cítricos. Por otra parte, las zonas agrícolas heterogéneas presentes en el 39 % de la cuenca, incluyen **mosaicos de cultivos** (5768 ha) y **terrenos agrícolas con espacios de vegetación natural** (1611 ha). Este grupo corresponde a áreas con pequeñas parcelas de diversos cultivos anuales, pastos y/o cultivos permanentes yuxtapuestos, incluyendo viñedos, olivos y frutales. Los cultivos sembrados bajo árboles forestales, y los pastos mezclados con vegetación natural, también se agrupan en esta clasificación (EEA, 2000).

Las tierras de labor se distribuyen a lo largo de 2694 ha, en donde el **secano** ocupa 2645 ha (14 %) y los cultivos de **regadío** sólo 48,8 ha (0.26 %). De las primeras, destacan los herbáceos tales como la cebada, el trigo, el girasol, las leguminosas de grano y la avena; por otra parte, las hortalizas constituyen los principales cultivos de

regadío en la cuenca (Fernández González, 2011). El último grupo corresponde a los **praderas** presentes en una superficie de 193 ha (1 %).

2.7.4 Otros Usos del Suelo

Como se ha mencionado anteriormente, la vegetación y los cultivos ocupan un 95,5 % del suelo en la cuenca, por lo tanto, el 4,5 % restante está conformado por las superficies artificiales en un 4,12 % y por el embalse de Beniarrés en sólo 0,38 % (ver anexo Mapa 13).

Lás áreas artificiales ocupan 19,16 km² y engloban el tejido urbano, los lugares industriales, comerciales y de transporte; así como, las zonas de construcción (Figura 37). El primer grupo está ocupado por las viviendas y demás edificaciones de uso público o administrativo incluyendo sus conexiones en 13,46 km². Este se clasifica en tejido urbano **continuo**, presente en 4,96 km²; y **discontinuo** en una superficie total de 8,51 km². Las unidades industriales, comerciales y de transporte están ocupadas por actividades del tipo industrial de transformación y manufactura con sus instalaciones, financieras, comercios y servicios, así como la infraestructura de transporte y redes viarias. Estas se presentan 5,32 km², divididos en 5 km² para las **unidades industriales y comerciales**, y 0,32 km² para las **redes viarias y terrenos asociados**. Por último, las **zonas de construcción** sólo ocupan 0,38 km².

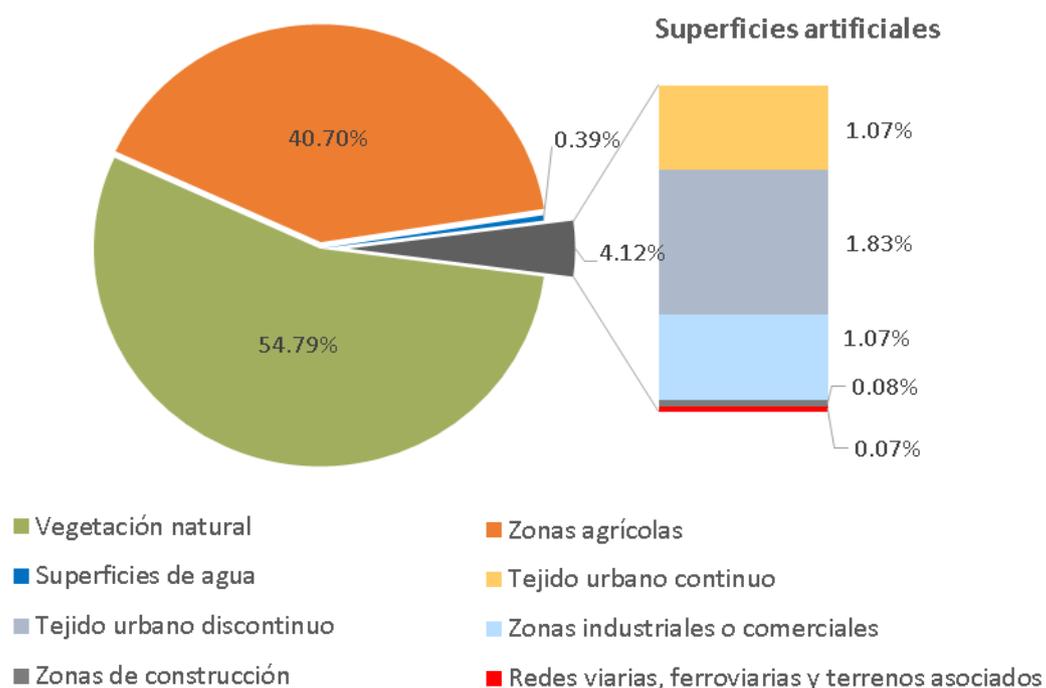


Figura 37. Área ocupada por las superficies artificiales en la cuenca. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del Proyecto CORINE, 2012.

3 HIDROLOGIA FORESTAL

El nacimiento del río Serpis (rio Blanco o Alcoy) se desarrolla en el Valle de Polop al pie del Carrascal de la Font Roja, a unos 4 km al suroeste de Alcoy al intersectar el río Polop con el barranco del Troncal. Según Sánchez Serradilla (2013), la zona de cabecera con altitudes medias entre 730 y 840 m, está caracterizada por tener poblaciones de coníferas y matorrales asentadas sobre unidades de calizas y margas con relieve abrupto y fuertes pendientes, las cuales exhiben una intensa erosión hídrica donde la vegetación está apenas presente.

En su curso alto no lleva agua excepto en épocas de lluvia, sin embargo, esto cesa al unirse por la margen izquierda el río Barxell o Riquer de corriente continua (alimentado en parte por el acuífero de Sierra Mariola). Dentro de Alcoy, se unen el afluente Uxola, el barranco del Cinc o Bou, ambos por la margen izquierda; y el río Molinar por la margen derecha, este último de poco caudal pero flujo continuo ya que mana de la Fuente del Molinar (Pellicer, 1997). Otros cursos que recibe el Serpis en este municipio son los barrancos de La Salut, La Canya, La Mina, Capenal y Baldis.

En dirección noreste, el Serpis atraviesa el municipio Cocentaina (Fotografía 5a) y a su paso recibe los barrancos de Vilanova, Formiña, Penella, Mossen Vicent y el río Valleseta por la margen derecha, el cual en el tramo medio es el afluente más grande del río ya que se une aguas arriba con el río Frainos o Penáguila. Antes de cruzar por l'Alqueria d'Asnar (Fotografía 5b), el Serpis pasa por los barrancos La Cova, Foia del Palet, Fontanelles, Caraita y Pontallar.



Fotografías 5. Vistas generales del río Serpis. **4a)** Serpis en T.M Cocentaina. **4b)** Serpis en T.M. de l'Alqueria d'Asnar. En ambas fotografías se puede observar la escollera en el cauce.

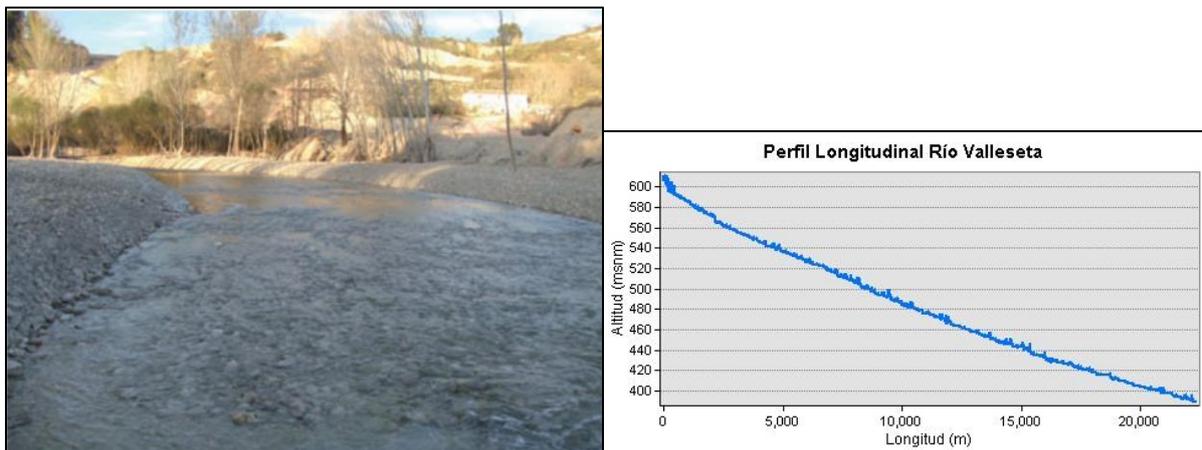
0,8 m). La primera sección de 0,6 km² incluye parte tanto del Serpis aguas abajo del Barxell, como del río Molinar en su confluencia con el barranco La Batalla. El segundo segmento de 0,4 km² cubre parte de L'Alqueria d'Asnar, y las zonas donde los barrancos de Pontallar, D'Abargues y La Alcachofa confluyen con el río.

3.1 Principales cursos de agua

3.1.1 Río Valleseta

El río Valleseta, de 22,3 km de longitud, 0,96 % de pendiente media del cauce y una cuenca de 140 km² de superficie, constituye el afluente más importante en los tramos alto y medio del Serpis (el río Vernisa es el mayor afluente del sistema Serpis con una cuenca de 150 km² de superficie y longitud 19,1 km, pero está en el tramo inferior).

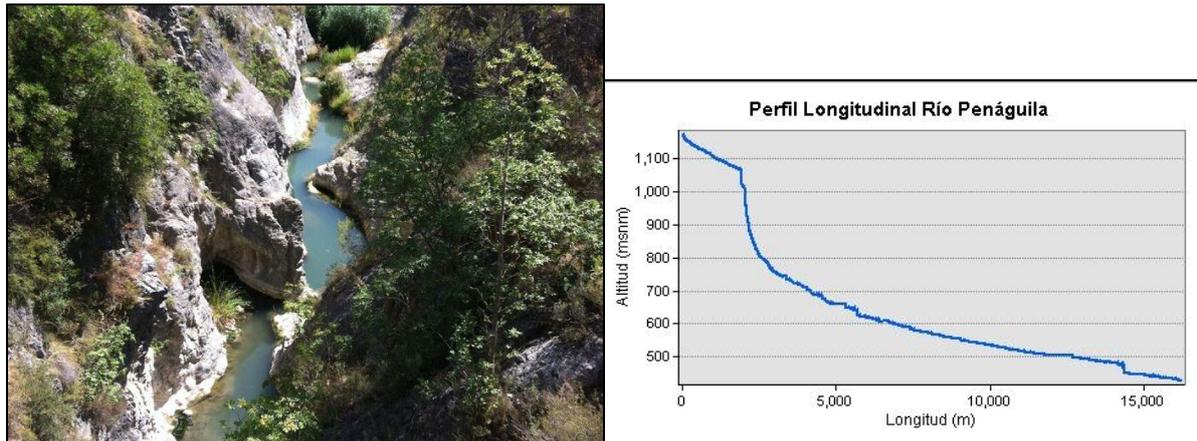
Nace a unos 605 msnm y discurre a lo largo de los TTMM Facheca, Quatretondeta, Gorga, Benilloba y Cocentaina, para finalmente desembocar en el Serpis (390 msnm) a unos 650 m de esta última localidad (Fotografía 6). A lo largo de su recorrido, a través de margas *Tap*, recibe las escorrentías superficiales de las sierras Serrella, Alfaro y La Almudaina. Si bien el río Penaguila (16,1 km) es el principal afluente, los barrancos del Cosi (4,6 km), Benadoch (4,4 km), Figuretes (3,7 km) y Las Cuevas (3,4 km) también destacan en el sistema de drenaje. Durante el verano al no recoger ninguna escorrentía subterránea, permanece seco.



Fotografía 6. Río Valleseta tras su paso por el T.M. Cocentaina previo a la confluencia con el río Serpis. A la derecha se presenta un perfil longitudinal del río.

3.1.2 Río Penáguila

El río Frainos o Penáguila nace en el Pla de la Carrasca (Municipio Confrides) a 1177 m de altitud y tras recorrer 16,1 km por los municipios Alcoleja y Penáguila, confluye con el río Valleseta a unos 430 msnm en el T.M. Benilloba (Fotografía 7).



Fotografía 7. Río Penáguila o Frainos tras su paso por el T.M. Benilloba. A la derecha se presenta un perfil longitudinal del río Penáguila donde se pueden ver los saltos bruscos al discurrir por las pendientes escarpadas.

Su cauce de pendiente media 4,6 %, atraviesa en un primer tramo materiales oligocenos (margas y areniscas flysch) que luego cambian, a facies *Tap* en el segundo segmento. Los principales cursos que recibe durante su recorrido son los barrancos del Pont (6,5 km), Torresena (5,7 km), D'Ares (3,8 km) y La Moleta (3,7 km).

3.1.3 Río Barxell

El río Barxell o también llamado Riquer, tiene una longitud de 17,2 km y pendiente media de 2,9 %. Este río a partir de la intersección con el Polop a unos 650 m al suroeste de Batoi, alimenta de forma continua la cabecera del Serpis, ya que aguas arriba del punto de confluencia, el flujo es intermitente únicamente produciéndose en los meses con precipitaciones.

Su nacimiento se desarrolla en la zona de la Sierra Mariola (Municipio Bocairent) a 1013 msnm, donde es alimentado por el acuífero del mismo nombre; para luego fluir aguas abajo por el Municipio Alcoy, lugar donde a unos 506 msnm (Fotografía 8) para a denominarse río Serpis.

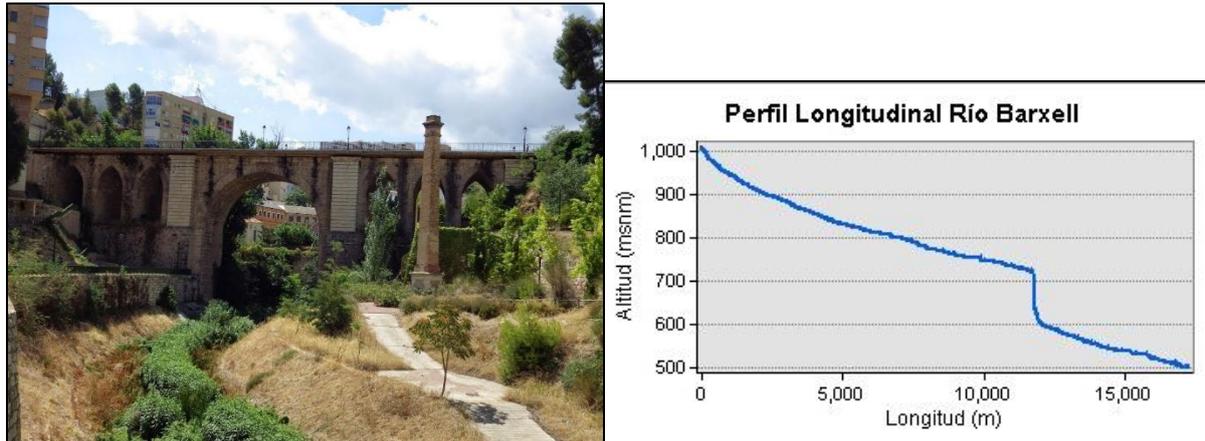
Los materiales que corta el cauce son calcáreos (calizas y dolomías) en las zonas más elevadas y margosos por debajo de los 800 m de altitud.

3.1.4 Río Agres

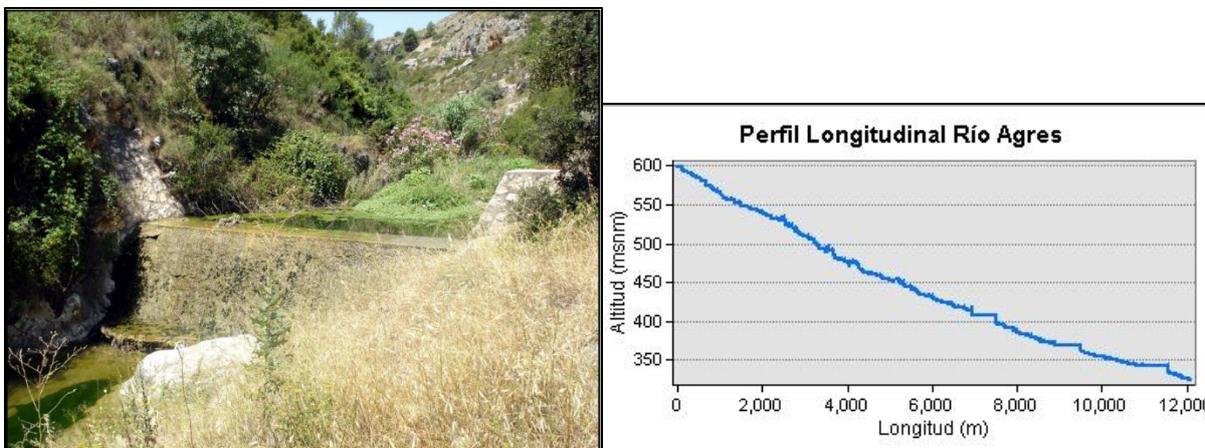
El río Agres ubicado entre las sierras Benicadell y Mariola, es una corriente de agua de poco caudal en dirección O - E que nace en el Municipio de Agres (Fotografía 9), recorre su valle (sobre margas *Tap*), y atraviesa los T.T.M.M. de Muro de

Alcoy y Alcocer de Planes, hasta desembocar finalmente en el río Serpis por su margen izquierda.

Tiene una longitud de 12 km y pendiente media de 2,3 %; sus cotas máximas y mínimas son de 600 y 324 msnm, respectivamente; y los barrancos de La Crebranta (4,3 km), Llop (4,1 km) y Moli (3,6 km), todos provenientes de la Sierra Mariola, sus principales afluentes.



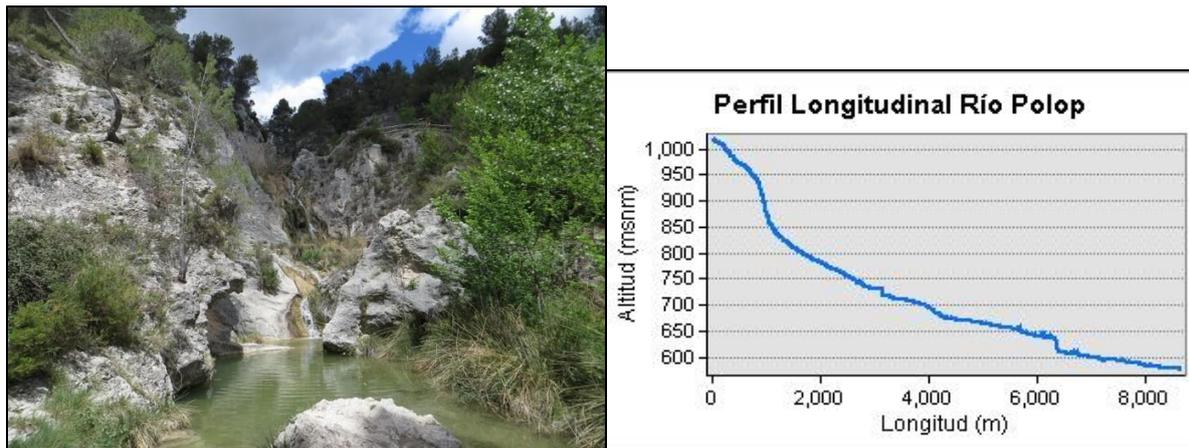
Fotografía 8. Río Barxell o Riquer tras su paso por el Puente de Cervantes en el T.M. Alcoy. A la derecha se presenta un perfil longitudinal del río.



Fotografía 9. Río Agres en el T.M. Agres. En la fotografía se observa uno de los diques de mampostería hidráulica presente en el río. A la derecha se representa un perfil longitudinal del Agres.

3.1.5 Río Polop

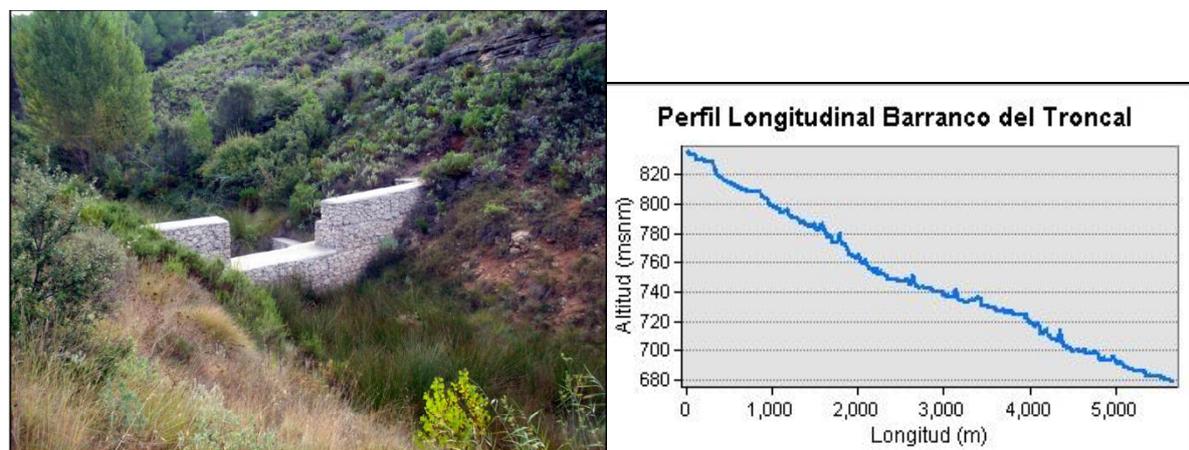
El río Polop nace en el valle del mismo nombre, en la Loma de La Fontfreda a unos 1020 m de altitud y tras recorrer 8,6 km por el T.M. de Alcoy, confluye con el río Barxell a unos 576 msnm (Fotografía 10). El cauce que discurre principalmente sobre margas tiene una pendiente media de 5,1 %; y su confluencia con el barranco del Troncal a 678 msnm, marca el nacimiento del río Serpis.



Fotografía 10. Río Polop en el T.M. de Alcoy. La zona presente en la fotografía constituye uno de los múltiples saltos que presenta el río a lo largo de su recorrido. A la derecha se presenta un perfil longitudinal del río.

3.1.6 Barranco del Troncal

El barranco del Troncal también se ubica sobre el Valle del Polop, a los pies de la Font Roja. Discurre únicamente por el T.M. de Alcoy a lo largo de 5,6 km y pendiente media del cauce de 2,8 %. Su cota máxima es de 836 msnm y la mínima, lugar donde desemboca en el río Polop y nace el Serpis, es de 679 msnm (Fotografía 11).

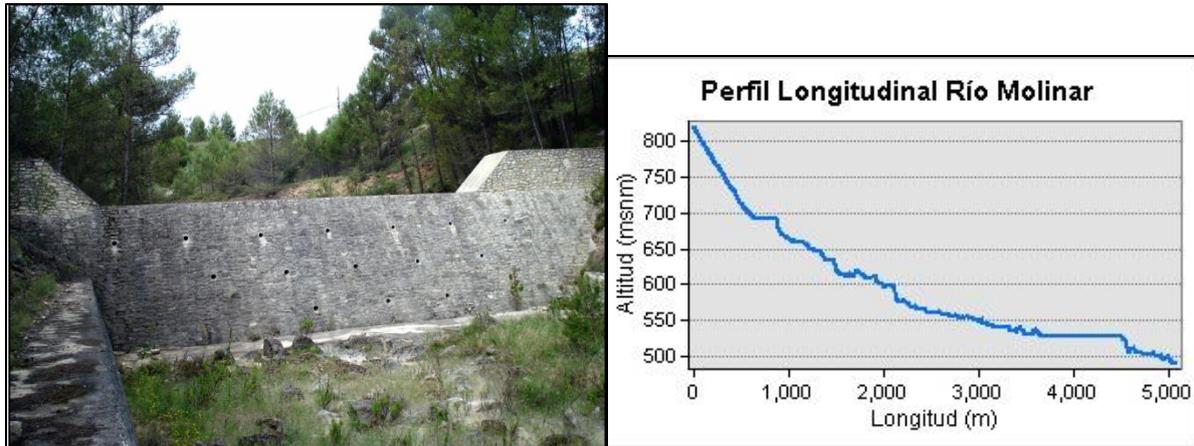


Fotografía 11. Barranco del Troncal en el T.M. de Alcoy. En la fotografía se observa un dique de gaviones construido sobre el lecho. A la derecha se presenta un perfil longitudinal del barranco.

3.1.7 Río Molinar

A pesar de ser una corriente de 5 km y pendiente media de 6,6 %, la importancia del río Molinar radica en su historia, ya que su caudal movía los molinos desde los primeros años de la fundación de Alcoy. Su cabecera a 820 msnm está en el valle de la Canal, para luego drenar por el barranco de La Batalla hasta encontrarse con el Serpis a 490 msnm. En la Cueva Xuliana se encuentra un manantial en materiales calcáreos y margosos que drena desde el acuífero Els Barracons, y alimenta al río.

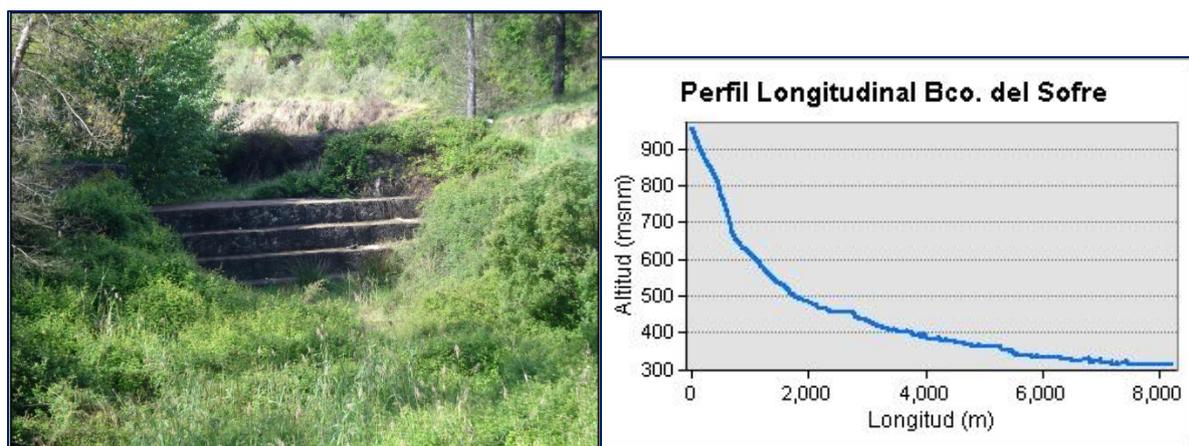
Aguas abajo, el Molinar discurre sobre sedimentos cuaternarios hasta su desembocadura en Alcoy (Fotografía 12).



Fotografía 12. Río Molinar en el T.M. de Alcoy. En la fotografía se muestra un dique de mampostería hidráulica construido en el cauce. A la derecha se presenta un perfil longitudinal del río.

3.1.8 Barranco del Sofre

El barranco del Sofre nace a unos 950 msnm en Loma Redonda (flanco norte de la sierra de Almudaina), Municipio Millena. Con una pendiente media de 8,9 %, recorre aproximadamente 7 km por los municipios Benillup, Almudaina y Planes, hasta llegar al embalse a unos 323 msnm. La importancia de este barranco radica en la presencia de tres diques transversales construidos en su cauce en el municipio Planes, próximos a la desembocadura (Fotografía 13). Las características de los diques mostrados en esta serie de fotografías se resumen en la tabla XLI del apartado 3.2.3 Hidrotecnias.



Fotografía 13. Barranco del Sofre próximo a la desembocadura al pantano de Beniarrés, en el Municipio Planes. En la fotografía se observa unos de los tres diques construidos en su curso. A la derecha se presenta un perfil longitudinal del barranco.

3.2 Infraestructuras hidráulicas

Sobre el río Serpis, además del embalse de Beniarrés, encargado de regular las aportaciones aguas abajo del sistema y separar su tramo superior (cabecera y sección intermedia) de la parte baja y desembocadura; también se presentan otros elementos hidráulicos capaces de modificar el régimen de caudales en la zona.

3.2.1 Embalse de Beniarrés

El embalse o pantano de Beniarrés ubicado al norte de la provincia de Alicante, es compartido por los TTMM Planes, Alcocer de Planes y Beniarrés; y gestionado por la Confederación Hidrográfica del Júcar.

Desde 1958, año en que finaliza su construcción (iniciada en la década de los 40), las aguas del pantano se destinan al riego de las huertas y cultivos de naranja presentes en la comarca de la Safor. Drena una superficie aproximada de 465 km² y ocupa 268,41 Ha. Su capacidad inicial era de 31 Hm³, sin embargo, según la última medición batimétrica realizada por el CEDEX (1993), la capacidad a NMN es de 27 Hm³. La presa de gravedad construida en 1971 tiene 53 m de altura con aliviadero de compuertas de 1003 m³/s de capacidad (Fotografías 14).

En la tabla XL y figura 39 se muestra la ficha técnica y dos planos con la información detallada del embalse y presa aportada por el SNCZI-IPE (Inventario de Presas y Embalses).

Aguas arriba del embalse no hay estaciones de aforo activas para la medición de caudales, ya que las de Muro y Alcocer de Planes funcionaron durante los años 1945-1952 y 1961-1966, respectivamente. Otro aforo en el cauce corresponde al de Villalonga, pero por estar aguas abajo del embalse, el caudal está muy modificado; además la serie registrada no está restituida a régimen natural. Por esto, el embalse de Beniarrés es el único punto donde se pueden determinar los caudales del Serpis.

Al analizar los datos obtenidos del SIA Júcar (CHJ), se observa que el volumen medio anual que entra al embalse es de 30,63 hm³, siendo los años hidrológicos 1977-78 y 1972-73, los periodos con mínimo (5,84 hm³) y máximo anual (117,93 hm³), respectivamente.

El volumen mínimo mensual de -0,92 hm³ se registró en el mes de agosto del A.H. 2008-2009 y el máximo mensual en febrero del A.H. 1992-1993 con volumen de

47,80. En la figura 40 se representan las entradas y salidas del embalse a partir del año inicial de la serie (1957-1958).

PRESA DE BENIARRÉS							
Datos Administrativos				Datos Geográficos			
Nombre	Fase vida	Titular de la Presa	Finalización de obras	Río regulado	Municipio	Cuenca Hidrográfica	Coordenadas UTM30-ED 50
Beniarrés	Explotación	Estado	01/04/1958	Serpis	Beniarrés	Júcar	729605-4299796
Datos Hidrológicos				Uso del Embalse			
Superficie cuenca hidrográfica (km ²)	Aportación media anual (hm ³)	Precipitación media anual (mm)	Caudal punta avenida del proyecto (m ³ /s)	Usuarios		Tipos	
465	83	650	1000	C-R. Canales altos del Serpis. C-R. Riegos Río Alcoy		Riego	
Datos del Embalse			Datos de la Presa				
Superficie del embalse a NMN (ha)	Capacidad a NMN (hm ³)	Cota del NMN (m)	Tipo de presa	Cota coronación (m)	Altura desde cimientos (m)	Longitud de coronación (m)	
268,41	27	318	Gravedad	321	53	395	
			Cota cimentación (m)	Cota del cauce en la presa (m)	Volumen del cuerpo presa (1000 m ³)		
			267,65	281,65	98,7		
Datos del Aliviadero			Datos del Desagüe				
Número total de aliviaderos en la presa	Regulación	Capacidad (m ³ /s)	Número total de desagües en la presa		Capacidad (m ³ /s)		
1	Compuerta TAINTOR	1003	1		10,6		

Tabla XL. Ficha técnica de la Presa de Beniarrés. Fuente: SNCZI-IPE.

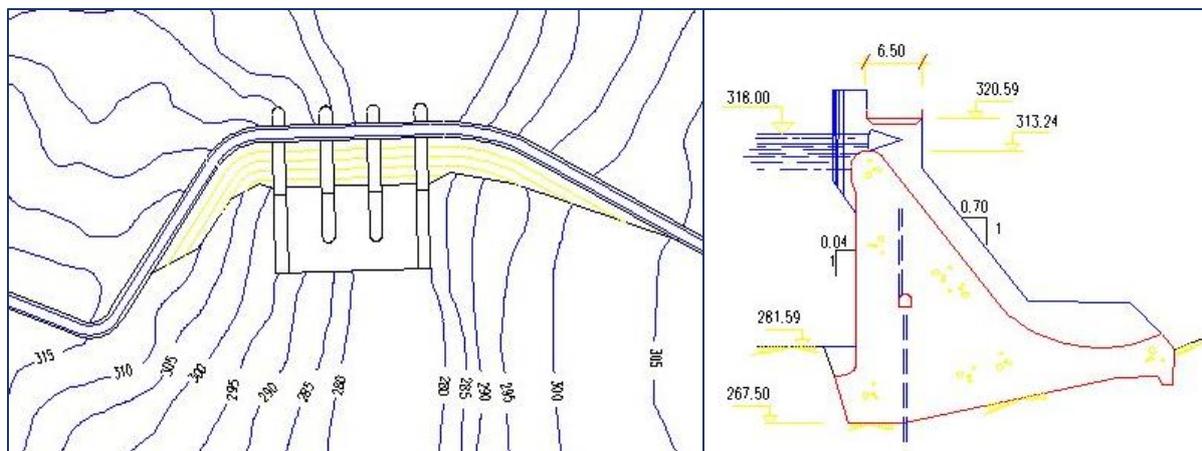
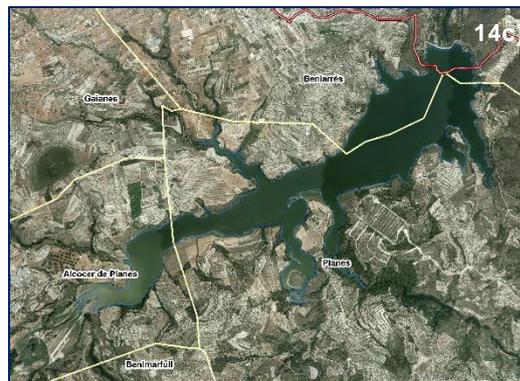
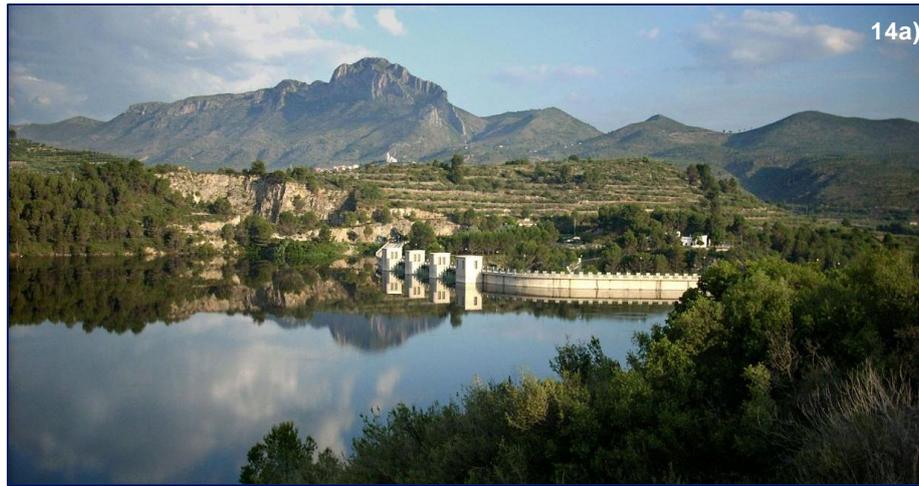


Figura 39. Planos de la Presa de Beniarrés. Fuente: SNCZI-IPE.

Con respecto a la reserva en el embalse, el volumen medio anual es de 14,11 hm³, con volumen mínimo de 3,73 hm³ en el A.H. 1963-64 y máximo anual de 27,77 hm³ registrado en el año 1972-1973. El volumen máximo mensual de 30,91 hm³ se determinó en diciembre del A.H. 1972-73, y el mínimo de 0,20 hm³ durante agosto de los años 1962-63 y 1963-64.

En la figura 41 se muestra la disminución progresiva de la capacidad del embalse asociada a los volúmenes acumulados en el fondo, los cuales según la batimetría realizada en el año 1993, están en el orden de 3,831 Hm³ (CEDEX, 1993).



Fotografía 14. Embalse y presa de Beniarrés. **14a)** Vista del embalse desde las Lomas del Cantalar. **14b)** Compuerta de descarga de la presa. **14c)** Vista aérea del embalse a escala 1/23.000.

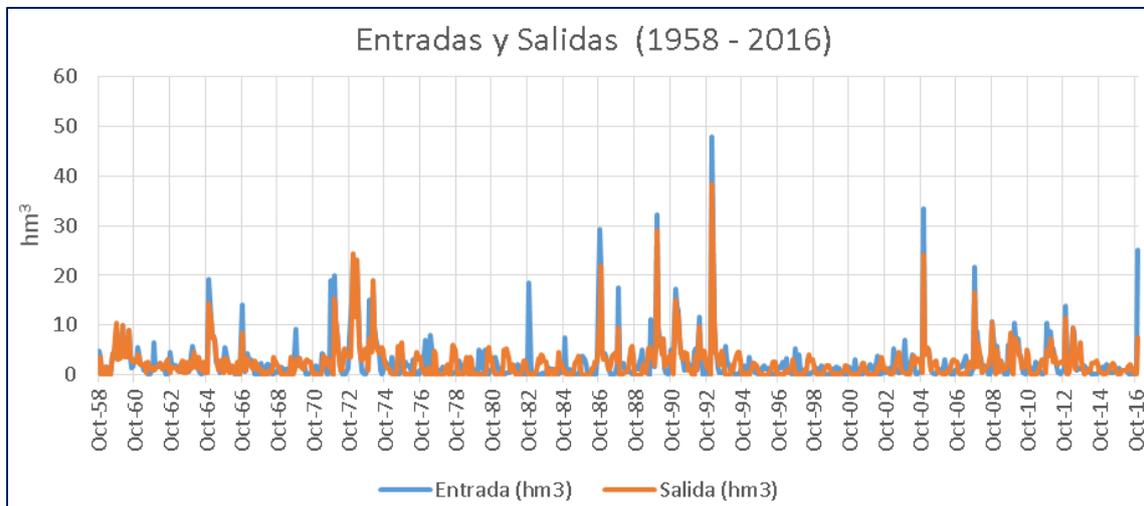


Figura 40. Entradas y salidas de agua al embalse de Beniarrés a partir de la fecha en que fue finalizada su construcción. Fuente: Elaborado a partir de los datos de SIA Júcar (CHJ).

3.2.2 Azudes

Sobre el río Serpis se han construido varios azudes encargados del desvío de agua hacia las acequias para el riego; no obstante, estas estructuras han tenido otros aprovechamientos en el pasado, como la canalización hacia centrales eléctricas.

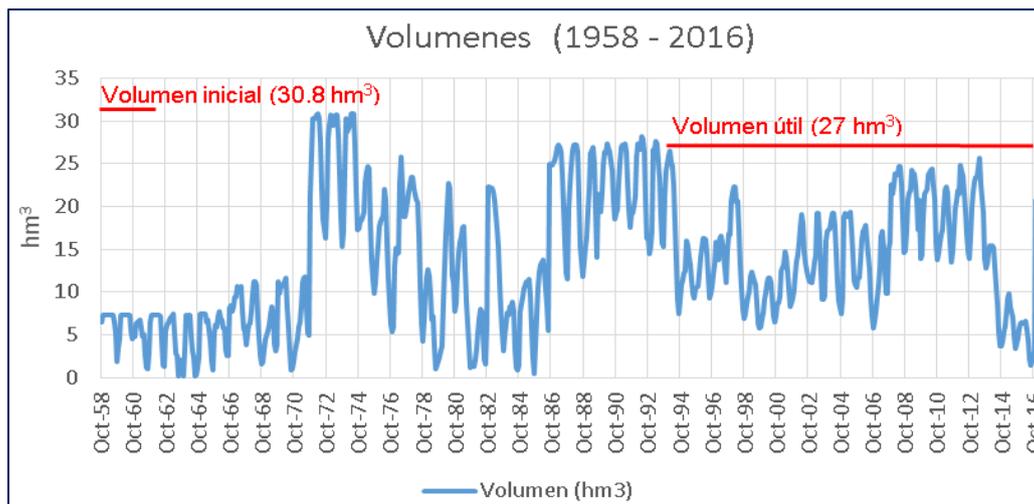


Figura 41. Volúmenes embalsado en el pantano de Beniarrés desde el año hidrológico 1957-58 hasta el 2015-16. Fuente: Elaborado a partir de los datos de SIA Júcar (CHJ).

En la actualidad un total de 15 azudes se conservan en la cuenca. De estos, 13 se disponen sobre el cauce del Serpis de la siguiente manera: cinco (5) en el municipio de Alcoy, siete (7) en Cocentaina y uno (1) l’Alqueria de Asnar (1). Los dos restantes están sobre el río Agres en Muro de Alcoy. En la figura 42, se muestra la ubicación de los azudes con sus respectivas coordenadas UTM.

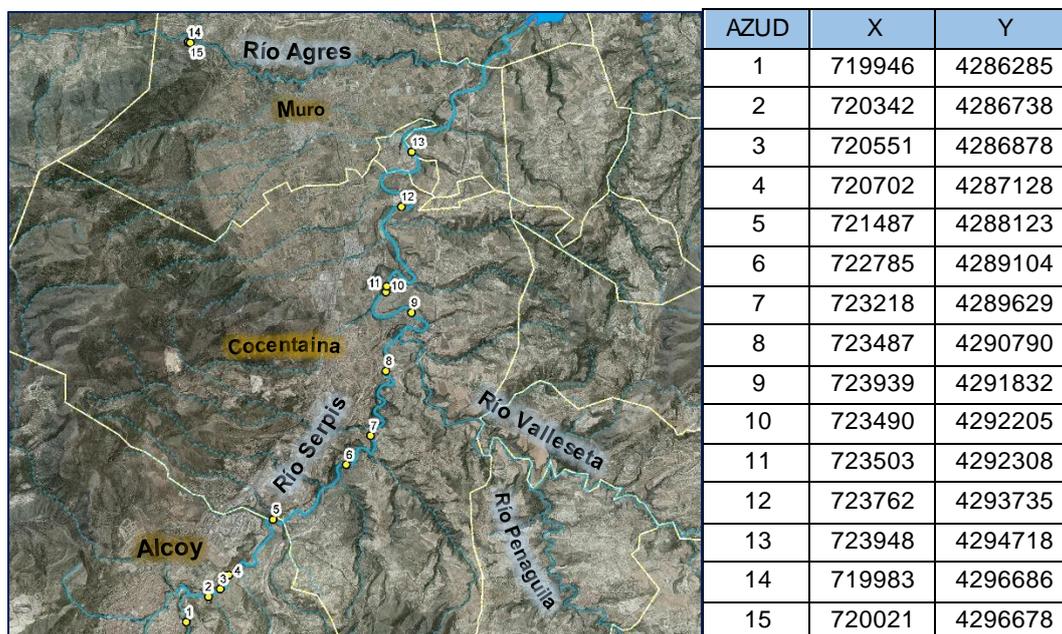


Figura 42. Ubicación de los azudes presentes en la zona. Fuente: Elaborado a partir de CHJ, 2014.

3.2.3 Hidrotecnias

La degradación de la cubierta vegetal y la torrencialidad de las precipitaciones, hacen de la cuenca del Serpis una zona altamente sensible a los procesos erosivos. Por esto, en el año 1988 el MAPAMA desarrolla el “Proyecto de Restauración Hidrológico

Forestal de la Cuenca del Río Serpis hasta la Desembocadura del Río Bernissa”, en el cual se ejecutaron un conjunto de medidas correctoras que incluyeron la construcción, en emplazamientos concretos, de obras de corrección transversales y longitudinales como diques, encauzamientos y escolleras, capaces de disminuir el aporte de sedimentos y reducir la velocidad de la lámina de agua durante avenidas; logrando así minimizar la pérdida del suelo, estabilizar laderas y controlar de manera general la erosión, retrasando el aterramiento del embalse de Beniarrés (Sánchez Serradilla, 2010).

Se ha revisado el Inventario de Infraestructuras Hidráulicas de Alicante a través del visor de Cartoweb (CHOPVT) para conocer la ubicación y características de las estructuras aguas arriba del embalse. De estas, se han construido un total de 15 diques dispuestos en los TT.MM. de Alcoy (2), Cocentaina (1), Muro de Alcoy (1), Agres (1), Planes (5), Beniarrés (1), Penáguila (1) y Benilloba (2) y Gorga (1). En la figura 43 se muestra el punto de emplazamiento de dichas estructuras en la zona de estudio.

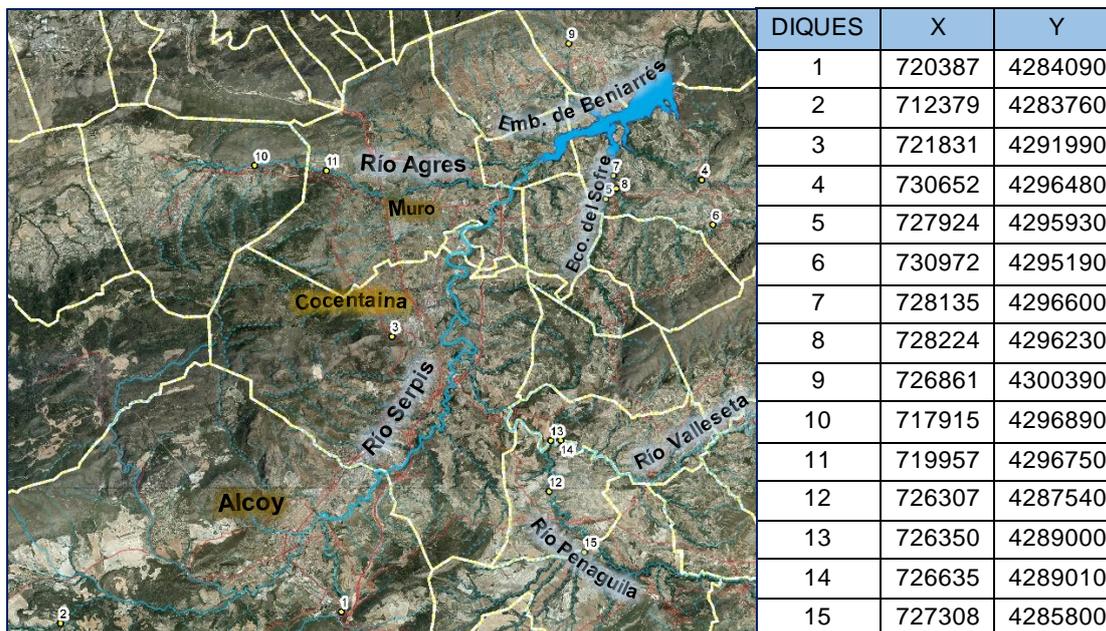


Figura 43. Ubicación de los diques transversales a los cauces. Fuente: CHOPVT.

Adicionalmente, también se han construido escolleras en el río Valleseta (desde su nacimiento y recorrido por los municipios Quatretondeta, Benilloba y Gorga) y sobre el Serpis tras su paso por Cocentaina y l'Alqueria de Asnar; y un encauzamiento en el barranco Fondo en Planes. En la tabla X se resumen las principales características de los diques construidos, como la longitud de coronación (**Lc**), altura útil al momento

de la medición (**Ha**), altura útil inicial (**Hu**), altura colmatada (**Hc**), altura del vertedero (**Hv**), longitud del vertedero (**Lv**), espesor de coronación (**e**) y el material empleado en su construcción. La figura 44 representa gráficamente estos parámetros.

Dique	Río / Barranco	Municipio	Lc	Ha	Hu	Hc	Hv	Lv	E	Material
1	Río Molinar	Alcoy	44,00 m	4,90 m	6,00 m (2008)	1,10 m	2,00 m	19,60 m	2,10 m	Mampostería Hidráulica
2	Bco del Troncal	Alcoy	18,00 m	2,30 m	3,00 m (2008)	0,70 m	1,90 m	4,60 m	1,90 m	Gaviones
3	Bco del Cementerio	Cocentaina	9,00 m	2,50 m	2,50 m (2008)	2,50 m	0,75 m	3,50 m	0,60 m	Mampostería hidráulica
4	Bco Fondo	Planes	4,30 m	1,30 m	0,50 m (2008)	0,80 m	0	0	0	Mampostería Hidráulica
5	Bco del Sofre	Planes	37,40 m	1,90 m	4,00 m (2008)	2,10 m	1,80 m	12,00 m	1,50 m	Gaviones
6	Bco d'Almudaina	Planes	25,40 m	2,40 m	3,00 m (2008)	0,60 m	1,90 m	5,80 m	1,90 m	Gaviones
7	Bco del Sofre	Planes	27,00 m	1,20 m	2,50 m (2008)	1,30 m	1,40 m	10,60 m	1,40 m	Gaviones
8	Bco del Sofre	Planes	No hay mediciones – Revisión 2009							
9	Bco del Mau o Port	Beniarrés	12,20 m	5,00 m	5,00 m (2008)	0	2,10 m	4,80 m	1,50 m	Mampostería hidráulica
10	Río Agres	Agres	14,60 m	1,20 m	2,00 m (2008)	0,80 m	1,50 m	9,60 m	1,00 m	Mampostería Hidráulica
11	Río Agres	Muro de Alcoy	20,30 m	3,00 m	2,80 m (2008)	0,20 m	1,60 m	7,30 m	1,50 m	Mampostería Hidráulica
12	Río Penáguila	Benilloba	33,60 m	5,00 m	5,00 m (2008)	0	3,10 m	11,86 m	2,44 m	Mampostería Hidráulica
13	Río Valleseta	Benilloba/Gorga	62,00 m	3,00 m	3,00 m (2008)	0	3,00 m	48,73 m	1,50 m	Mampostería Hidráulica
14	Río Valleseta	Benilloba/Gorga	53,00 m	7,00 m	7,00 m (2008)	0	7,00 m	28,70 m	4,10 m	Mampostería Hidráulica
15	Bco. del Pont	Penáguila	No hay mediciones – Revisión 2009							

Tabla XLI. Características de los diques construidos en la zona. Fuente: CHOPVT.

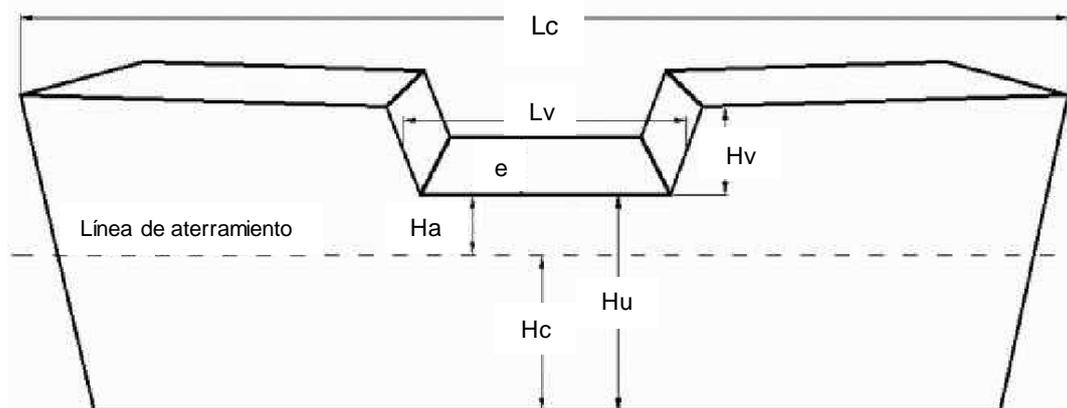


Figura 44. Características y datos medibles en diques. Fuente: CHOPVT.

Las fotografías 15 muestran los diques 3, 6, 12, 14 presentes en la cuenca del Serpis. Otros de estos diques pueden verse en las fotografías 9 (dique 10 sobre el río Agres), 11 (dique 2 en el Bco. del Troncal), 12 (dique 1 sobre el río Molinar) y 13 (dique 5 en el barranco del Sofre en el TTMM de Planes).



Fotografía 15. Diques construidos en la cuenca del Serpis, aguas arriba del embalse de Beniarrés. **15a)** Dique 3 sobre el Bco. del Cementerio en Cocentaina. **15b)** Dique 6 en el Bco. d'Almudaina, Municipio Planes. **15c)** Dique 14 sobre el río Valleseta en el límite de los TT.MM. de Benilloba y Gorga. **15d)** Dique 12, construido en el río Penaguila en el municipio del mismo nombre.

3.3 Características de la Cuenca Hidrográfica

En esta sección se abordarán aquellos rasgos y aspectos relacionados a la caracterización de la cuenca. Se incluyen datos generales relativos a su tamaño, perímetro y ancho, así como parámetros de relieve (altura y pendiente media de la cuenca, curva hipsométrica, etc.), de forma (coeficiente de Gravelius) y aquellos asociados a la red de drenaje.

3.3.1 Parámetros generales

Aquí se detallan los aspectos más básicos de la cuenca hidrográfica, incluyendo área, longitud, perímetro, ancho medio y desnivel longitudinal; con la finalidad de conocer la naturaleza y comportamiento de la cuenca.

3.3.1.1 Área de la cuenca (A)

Definida por el espacio delimitado por la curva del perímetro (P). Esta línea se ha determinado mediante un SIG (*ArcGIS*) partiendo de la base cartográfica digital del

IGN, y comparada con la definida por la CHJ para el Sistema de Explotación Serpis.. El valor es de $A = 465,33 \text{ Km}^2$.

3.3.1.2 Longitud del cauce principal (L), Perímetro (P) y Ancho (W)

La longitud de la cuenca está definida por la longitud del cauce del río Serpis, es decir, la distancia que recorre el río entre el punto situado a mayor distancia topográfica aguas arriba y el punto de desagüe aguas abajo (presa de Beniarrés). El valor de L es $33,6 \text{ km}$.

El perímetro (P) de $111,4 \text{ km}$ da información sobre la morfología de la cuenca, por lo tanto, esta puede concluirse como alargada. Finalmente, el ancho medio es la relación entre la superficie de la cuenca y su longitud;

$$W = A/L \quad W = 13,85 \text{ Km}$$

3.3.1.3 Desnivel altitudinal (DA)

Relacionado con la variabilidad climática y ecológica, el valor resulta de la diferencia entre la cota más alta y más baja de la cuenca.

$$DA = H_{max} - H_{min} \quad DA = 1465 - 314 = 1151 \text{ m}$$

3.3.2 Parámetros morfométricos

El comportamiento hidrológico de una cuenca en parte depende de su morfología, ya que en cuencas de igual tamaño ante una lámina de lluvia de la misma magnitud y desarrollo, presentarán respuestas (hidrológicas-hidrogramas) muy distintas.

3.3.2.1 Factor de Forma (F)

Relaciona el ancho medio (W) y la longitud del cauce principal (L). Una cuenca con F bajo estará menos sujeta a crecidas que una de igual área con mayor F.

$$F = \frac{W}{L} = \frac{A}{L^2} = 0,41$$

3.3.2.2 Coeficiente de Gravelius

Este valor también llamado Coeficiente de Compacidad, relaciona el perímetro de una cuenca con el perímetro de una circunferencia de igual área al de la cuenca, por lo tanto, estima la relación entre el ancho promedio del área de captación y la longitud de la cuenca.

$$Cg = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 1,45$$

El coeficiente siempre obtendrá un valor mayor que 1, alejándose en función de la irregularidad de la cuenca.

3.3.2.3 Rectángulo equivalente

Es un rectángulo de lados L y l, que tendría un comportamiento hidrológico semejante al de la cuenca, ya que su superficie, perímetro, coeficiente de Gravelius y distribución hipsométrica son iguales a la de esta. Así, las curvas de nivel son rectas paralelas a los lados menores del rectángulo (l).

$$L = \frac{Cg\sqrt{A}}{1.12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{Cg}\right)^2} \right] = 45,66 \text{ Km} \quad l = \frac{Cg\sqrt{A}}{1.12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{Cg}\right)^2} \right] = 10,19 \text{ Km}$$

3.3.3 Parámetros de relieve

Adicionalmente a la forma, el relieve es el factor con mayor influencia en la respuesta hidrológica de la forma. A modo general, se afirma que en las zonas con mayor relieve y pendiente, la escorrentía se produce en lapsos de tiempo menores.

3.3.3.1 Pendiente media del cauce (j)

Es la relación entre el desnivel altitudinal del cauce ($H_{\text{máx}} - H_{\text{mín}}$) y su longitud.

$$j = \frac{DA}{L} = 1,09 \%$$

3.3.3.2 Pendiente promedio de la cuenca (J)

Es la media ponderada de las pendientes de todas las superficies elementales de la cuenca en las que la línea de máxima pendiente se mantiene constante; es un índice de la velocidad media de la escorrentía y de su poder erosivo. Su valor se ha calculado a partir del histograma de frecuencia del *raster* de pendientes de la cuenca, resultando en **15,35 %** (Figura 45).

3.3.3.3 Curva hipsométrica

Curva que representa el área drenada variando con la altura de la superficie de la cuenca. Esta función describe la relación existente entre la propiedad altimétrica de la cuenca en un plano y su elevación.

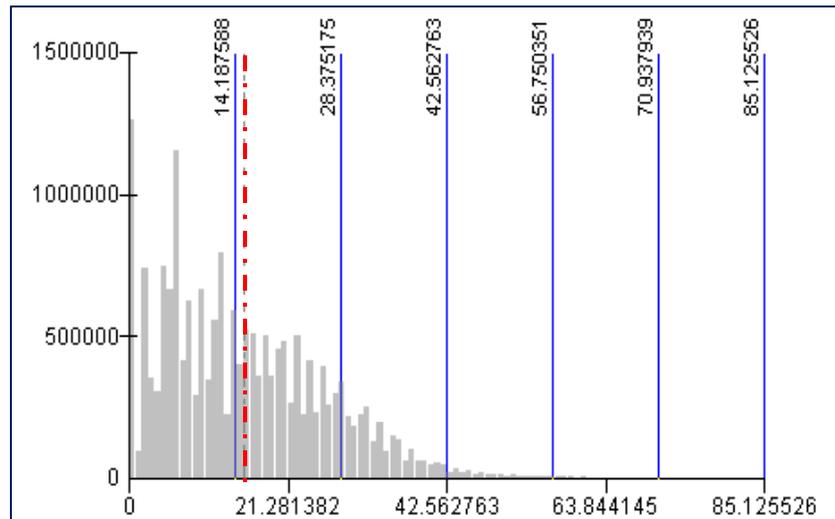


Figura 45. Histograma de frecuencias de las pendientes en la zona. La línea punteada roja representa el valor medio de la pendiente de 15,35 %. Fuente: Elaboración propia.

Además, las curvas se suelen asociar a la edad de los ríos, ya que el valor del área bajo dicha curva (integral hipsométrica) es indicativo del estado de desarrollo de la cuenca, de modo que, valores mayores al 60 % indican desequilibrio en su funcionamiento, entre 30 y 60 % una etapa de madurez, y los inferiores a 30 % la fase de vejez o senectud. En la tabla XLII se resumen los datos usados para realizar la curva.

Clase	Intervalo de Altitudes		Altitud media	Área parcial	Área acumulada	% Área total	% Altitudes
1	314	409.9	361.95	39.04	465.33	100.00	8.39
2	409.9	505.9	457.9	53.15	426.29	91.61	11.42
3	505.9	601.8	553.85	61.99	373.14	80.19	13.32
4	601.8	697.8	649.8	59.11	311.14	66.87	12.70
5	697.8	793.7	745.75	55.65	252.03	54.16	11.96
6	793.7	889.6	841.65	67.59	196.37	42.20	14.53
7	889.6	985.6	937.6	66.30	128.78	27.68	14.25
8	985.6	1081.5	1033.55	34.56	62.48	13.43	7.43
9	1081.5	1177.5	1129.5	17.02	27.92	6.00	3.66
10	1177.5	1273.4	1225.45	8.20	10.90	2.34	1.76
11	1273.4	1369.4	1321.4	2.42	2.70	0.58	0.52
12	1369.4	1465.3	1417.35	0.28	0.28	0.06	0.06

Tabla XLII. Datos usados para la elaboración de la curva hipsométrica. Fuente: Elaboración propia.

La integral se ha aproximado de una manera más simple a través de la siguiente ecuación:

$$H = \frac{H_{Med} - H_{min}}{H_{máx} - H_{min}} = \frac{728.6 - 314}{1465 - 314} = 36 \%$$

La forma de la curva hipsométrica obtenida (Figura 46), inicialmente con cierta concavidad hacia arriba y convexa al final, permite afirmar que la cuenca está en una etapa de madurez próxima a la vejez, con cumbres escarpadas que pasan a zonas más planas o llanas.

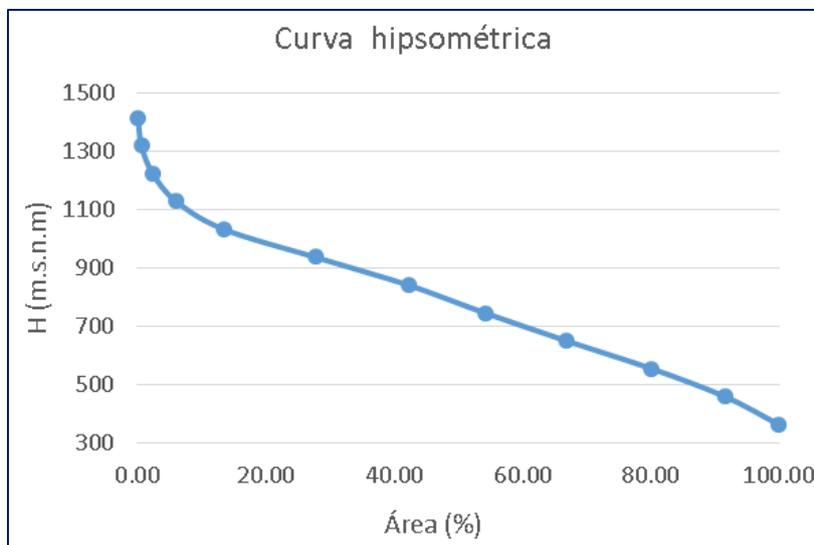


Figura 46. Curva hipsométrica de la cuenca del Serpis. Fuente: Elaboración propia.

3.3.3.4 Histograma de frecuencias altimétricas

A partir de los mismos datos de la curva hipsométrica se ha obtenido el histograma, el cual representa la superficie (km² o %) comprendida entre dos cotas, donde la marca de clase es el promedio de las elevaciones. De esta manera, tanto el histograma como la curva hipsométrica reflejan la misma información pero bajo una representación distinta, lo que da una idea probabilística de la variación de la altitud en la cuenca (Figura 47).

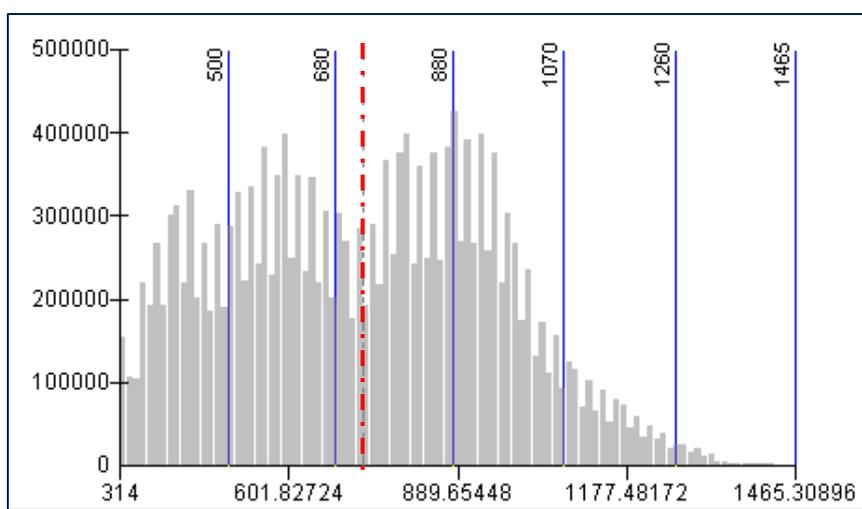


Figura 47. Histograma de frecuencias altimétricas. Altura media en rojo. Fuente: Elaboración propia.

3.3.3.5 Altura media (H)

La altura media (H) de una cuenca es el cociente entre el volumen de la cuenca (superficie comprendida entre la curva hipsométrica y los ejes coordenados) y su área.

$$H = \frac{V}{A} = 731,4 \text{ m}$$

La variación de altitudes en una cuenca al afectar de manera directa la distribución térmica, influye en los microclimas y hábitats dominantes de acuerdo a las condiciones puntuales presentes.

El valor de H, además de ser obtenido mediante herramientas SIG, puede calcularse con la curva hipsométrica hallando el cociente entre el área bajo la curva y la superficie total de la cuenca; en cambio, si se utiliza el histograma de frecuencias se debe estimar la media aritmética ponderada.

3.3.4 Características de la red de drenaje

El análisis de la red drenaje además de aportar información indirecta de los materiales subsuperficiales, vegetación y relieve, indica el comportamiento de la cuenca ante eventos de crecidas. Por lo tanto, una cuenca bien drenada impide la infiltración de la escorrentía superficial a los niveles subterráneos y, la eventual alimentación de los acuíferos.

De la misma manera, una cuenca con densidad de drenaje baja tendrá una respuesta hidrológica muy lenta, sugiriendo la existencia de materiales muy resistentes.

3.3.4.1 Perfil longitudinal del río Serpis

Al representarse las diversas alturas que recorre el Serpis desde Alcoy (final del río Barxell) hasta el nivel de base local (embalse y presa de Beniarrés), se obtiene su perfil longitudinal.

En el perfil adicionalmente se han representado los puntos de confluencia con los principales afluentes como el Valleseta y el Agres; y algunos azudes identificados (círculos amarillos) como zonas planas en el perfil, debido a los cambios súbitos que experimenta el canal por la construcción de los mismos (Figura 48).

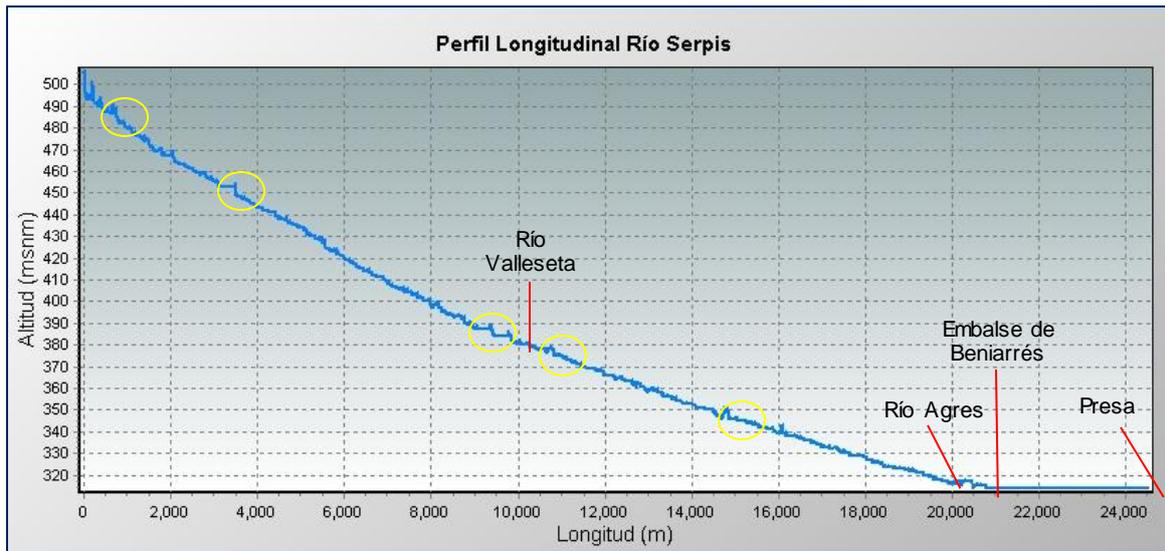


Figura 48. Perfil Longitudinal del río Serpis, hasta la presa de Beniarrés. Fuente: Elaboración propia.

3.3.4.2 Orden jerárquico de la red fluvial

Los órdenes de flujo se han hecho para tener un mayor conocimiento de la complejidad y desarrollo del sistema de drenaje de la cuenca. El sistema de jerarquización empleado ha sido el de Strahler (1952), el cual define una corriente o río en función de la jerarquía de sus tributarios. Según este método, en una red de drenaje cada segmento del río se trata como un nodo de un árbol, donde los siguientes segmentos aguas abajo serán superiores a este.

De esta forma, cuando dos corrientes de mismo orden convergen, se formará una nueva de orden superior, por ejemplo, si dos flujos de segundo orden se unen, formarán uno de tercer orden, y así sucesivamente; sin embargo, si un río de cierto orden se une con otro de orden superior se mantendrá el orden de este último, para el segmento aguas abajo. El valor obtenido para el río Serpis es de **5**, por lo tanto, este es el orden de la cuenca (Figura 49).

3.3.4.3 Densidad del drenaje

Este es uno de los parámetros más importantes en la caracterización de la cuenca y relaciona la longitud total de los flujos de la cuenca y su superficie. Una mayor densidad de escurrimientos es proporcional a una mayor estructuración de la red fluvial o un mayor potencial erosivo.

$$Dd = \frac{L}{A} = \frac{685.8 \text{ km}}{465.33 \text{ km}^2} = \mathbf{1,47 \text{ Km/Km}^2}$$

Según este dato, con valor entre 1 y 2 km/km², la densidad de drenaje es **Moderada**.

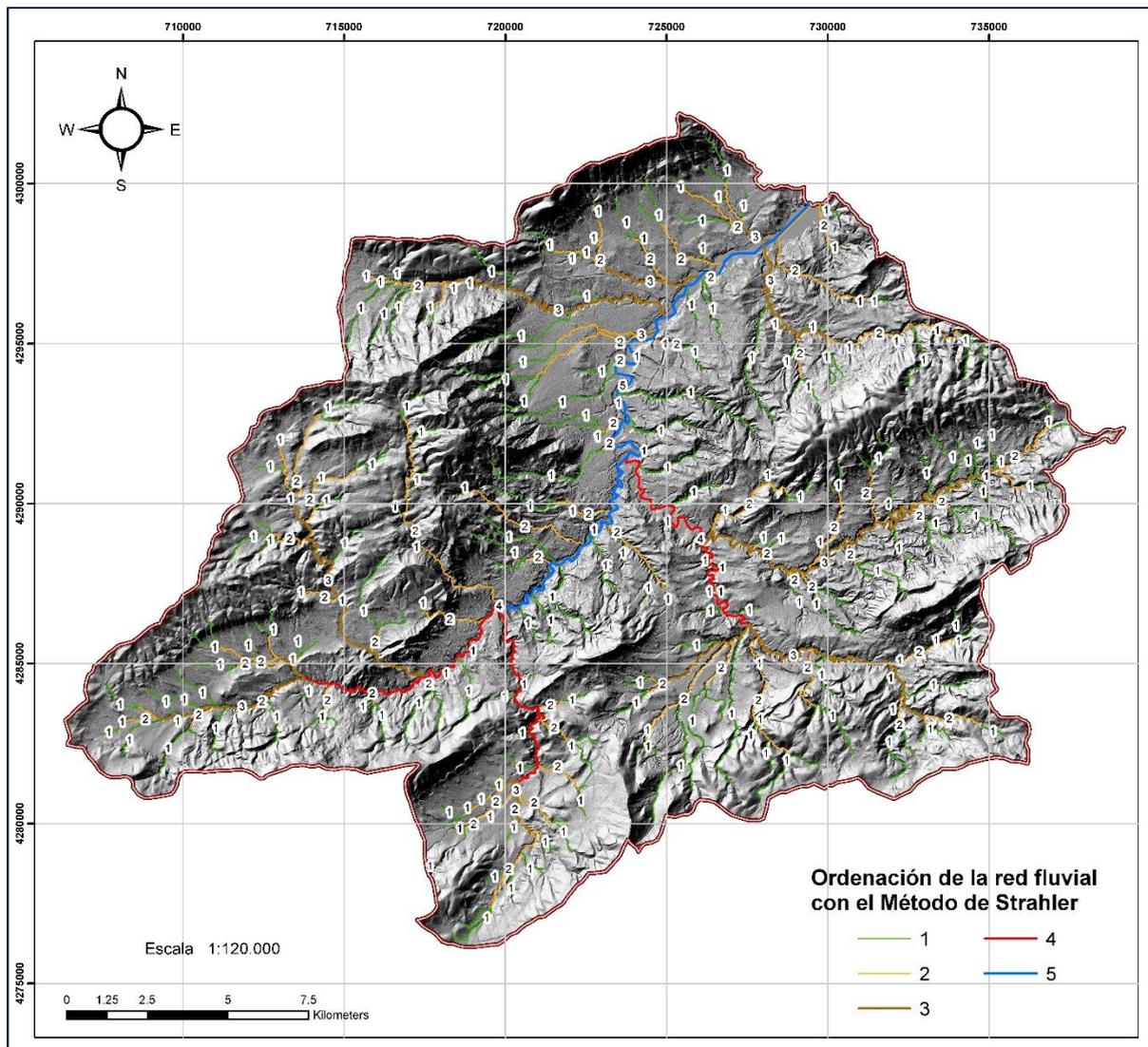


Figura 49. Orden de la red de drenaje según el sistema de Strahler. Fuente: Elaboración propia.

3.4 Unidades hidrológicas

La cuenca del río Serpis se ha dividido en 11 unidades hidrológicas (UH); 8 de estas corresponden a subcuencas de los principales cursos de agua y, las 3 restantes, son vertientes directas al Serpis por ambas márgenes, especialmente las formadas por escorrentías provenientes de las sierras Mariola y Benicadell.

Para la división en UH se han seguido criterios topográficos, litológicos y de usos de suelo (ver anexo Mapa 14). En la tabla XLIII se resumen las principales características de dichas unidades.

Unidad Hidrológica (U.H)	Superficie (km ²)	Característica definitoria	Límites (Norte en sentido horario)
I Río Polop	51,43	Cabecera del río Serpis	Límite al norte con la UH III, al este con la IV, al sur con el flanco norte del Carrascal de la Font Roja, El Serrat – Colado del Chocalater (979) – Alt de la Menora – Loma de Guillella.
II Río Molinar	46,01	Desemboca en el Serpis por su margen derecha	Alcoy (563) – Loma Ojo del Moro (1051) – Altet de Regadihuet (875) – Sierra del Plans (1332) – El Fondo – San Benet – Divisoria Molinar / Polop
III Río Barxell	36,24	Cabecera del río Serpis	Límite con la unidad IX al norte, al este con las UH IV y VII, y sur con I y al oeste con Valle de Albaida (1032) – Els Collets – Alto de la Cova – Alto de Errocorrals
IV Serpis alto	10,31	Vertientes al Serpis por su margen izquierda en Alcoy	Límite con la UH VII al norte, al este y sur con la unidad II y al oeste con las unidades I y III
V Río Penáguila	72,09	Desemboca en el río Valleseta por su margen izquierda	Alto de Gadea – Divisoria Bco, Benadoch / Bco. Ares – Loma de la Canal – Serrella (1359) – El Pinar – Loma de Farringo (1169) – Estribaciones Sierra Aitana – Límite sur de la cuenca del Serpis
VI Río Valleseta	67,96	Desemboca en el Serpis por su margen derecha	Solana (945) – Divisoria con la UH V – Límites de Beniloba – Loma de La Perrera – Loma Redonda (982) – Alto de La Caseta – Tosal del Rey
VII Serpis medio	67,04	Vertientes directas al río Serpis por ambas márgenes	Límite al norte con la unidad IX, al este con la XI, V, VI; al sur con la UH II y al este con las unidades IV y VIII
VIII Bco. del Cinc	15,59	Vertientes al Serpis por su margen izquierda	Morro del Contador – Montcabré (1390) – Loma de Cotas Altas – Faldas de Villaplana – Hoya de Alcoy – Tosal Redó – Loma Blanca
IX Río Agres	27,37	Vertientes al Serpis por su margen izquierda	Collado de Santa Ana – Cueva Alta (890) – Els Bocaors – Loma del Cotet – Alqueria Jordá – La Loma – Morro del Contador – Alto de La Caba
X Bco. de Almudaina	27,84	Desemboca directamente al embalse	Desembocadura en el embalse – El Arriscat – Sierra de Cantacuo – Los Coscones – Benillup (566) – El Pohuet – Alto del Llop
XI Beniárres	46,45	Vertientes al Serpis y al embalse de Beniarrés por ambas márgenes	Sierra de Benicadell – Sierra de Cantalar – Límites con las unidades X y VII – Límite al oeste con la unidad del río Agres (IX)

Tabla XLIII. Unidades hidrológicas definidas en la cuenca. Fuente: Elaboración propia.

4 METODOLOGÍA

En este apartado se describe la metodología utilizada durante la investigación para el logro de los objetivos planteados y generar los análisis y conclusiones. La figura 50 resume de manera esquematizada y sistematizada las diversas fases desarrolladas en este estudio.

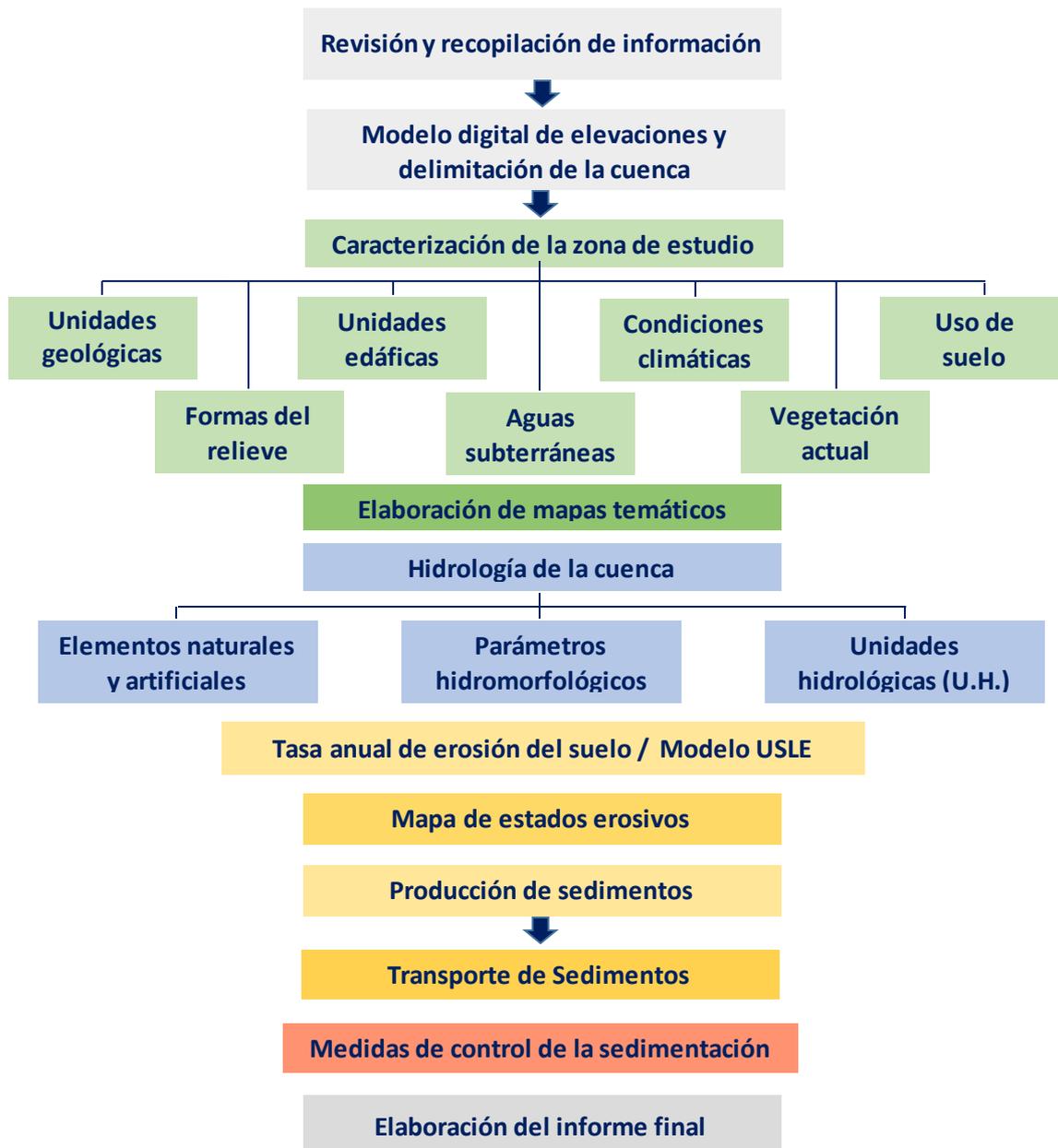


Figura 50. Esquema de la metodología aplicada en la investigación. Fuente: Elaboración propia.

4.1 Revisión y recopilación de información.

La etapa inicial consistió en la búsqueda, revisión y recopilación de toda la información científica del área de estudio, con énfasis sobre el tema tratado. En este sentido, se incluyen libros, informes técnicos, proyectos y memorias, trabajos de investigación

(grado y máster) y artículos científicos. Adicionalmente, fue necesaria la descarga de información cartográfica desde bancos de datos que disponen y ofrecen de manera gratuita algunos centros e instituciones públicas como el MAPAMA, IGN, CHJ, CHOPVT, entre otros.

Cabe destacar, que algunas veces cierta información no está disponible para la descarga, pero en la mayoría de casos, se da la posibilidad de manejarla desde Servicios Web Map (WMS) o desde visores fácilmente manejables, como el ofrecido por el IGME. No obstante, es abundante el material disponible a los usuarios por estos servicios para ser trabajado con herramientas SIG, destacando las ortofotografías, los MDT, las capas de usos de suelo (CORINE), erosión potencial (INES), etc.; los cuales han sido clave para el desarrollo de la presente investigación. Otros datos no menos importantes corresponden a los obtenidos en las estaciones climáticas y de aforos en forma de tablas.

- Modelo Digital del Terreno

El Instituto Geográfico Nacional dentro del marco del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) pone a la disposición el relieve del territorio nacional mediante los Modelos Digitales del Terreno MDT05, MDT25 y MDT200 con paso de malla de 5, 25 y 200 metros, respectivamente. Estos pueden ser descargados desde el Centro de Descargas del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG) en formato ASCII matriz ESRI (.asc), coordenadas UTM (Universal Transversal Mercator), sistema de referencia ETRS89. En el presente trabajo, la cartografía temática se realizó con base al MDT05.

- Delimitación de la cuenca vertiente

Para el desarrollo de las actividades necesarias en el estudio de la erosión del suelo y colmatación del embalse de Beniarrés, fue necesaria la delimitación de la cuenca vertiente del río Serpis aguas arriba de la presa mencionada. Para ello, mediante el Modelo Digital de Elevaciones, previamente corregido con el relleno de sumideros ("pits") capaces de afectar en el cálculo de la cuenca, se determinó la dirección de flujo y el subsiguiente mapa de flujo acumulado para el trazado del patrón de drenaje y el delineado final.

Todo esto se logró mediante el módulo de análisis hidrológico de ArcGIS v.10.3., no obstante, a efectos de obtener una divisoria óptima, también se delimitó la cuenca

mediante la extensión ArcSwat desarrollada por la Universidad de Texas A&M (2012) y comparada con la realizada por la CHJ para el Plan Hidrológico de cuenca, obtenida en formato *shapefile* desde su centro de descarga de datos y cartografía.

4.2 Caracterización de la zona

En esta fase se determinaron un conjunto de características útiles para describir y ampliar los conocimientos generales del lugar, así como para elaborar la cartografía temática utilizada en la determinación de los factores presentes en la ecuación USLE.

Como se ha dicho anteriormente, para la caracterización de la cuenca en función de la geología, climatología, edafología y demás variables; se ha revisado y recopilado información de fuentes bibliográficas y electrónicas. A continuación se detallan dichas fuentes:

- Geología: para el desarrollo de este punto se consultaron artículos científicos con el fin de conocer los cambios y procesos acontecidos en la zona a lo largo del tiempo geológico. La definición de las unidades litoestratigráficas aflorantes en la cuenca fueron posibles con el apoyo de los mapas elaborados por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME), específicamente el Mapa Geológico de España a 1:50.000.
- Geomorfología: las formas de relieve o geoformas se han definido haciendo un análisis morfológico del terreno a partir del Modelo Digital de Elevaciones (MDT05), y su consecuente mapa altimétrico. Mediante la aplicación *ArcScene* se ha representado dicho modelo en tres dimensiones para visualizar más a detalle la morfología de la cuenca. También ha sido de gran utilidad el Mapa Geomorfológico de España 1:1.000.000 (Martin Serrano, *et al.*, 2005), pero con mayor énfasis se ha revisado el mapa fisiográfico de la Comunitat Valenciana, realizado por la antigua COPUT en el año 1992, y actualmente disponible como WMS en la web del CHOPVT.
En este mismo apartado se ha realizado con la herramienta *ArcGIS* los mapas de pendientes y de orientación de las laderas, igualmente a partir del MDT05.
- Edafología: para conocer los tipos de suelo dominantes en la zona se ha revisado el Mapa de Suelos de España a 1:1.000.000 (Gómez-Miguel, 2005b)

clasificado según la metodología *Soil Taxonomy* desarrollada por la USDA, no obstante, también se ha revisado la clasificación FAO de la UNESCO comparando los tipos de suelos descritos y haciendo las respectivas equivalencias. Otra fuente valiosa para el conocimiento del suelo en Alicante, está presente en la Caracterización de las Comarcas Agrarias de la Provincia (Fernández-González, 2011).

En este punto también se ha consultado la información cartográfica del INES (2002-2012), donde se presentan un conjunto de mapas a escala 1:50.000, de los diversos procesos erosivos dominantes en España. Esto con el fin de contrastar los resultados y las tasas de erosión producidas en la actualidad.

- Hidrogeología: en complemento con la información suministrada por el IGME respecto a los mapas hidrogeológicos y de permeabilidades a 1:200.000, realizados de acuerdo a las características litológicas y petrofísicas de los materiales que configuran la cuenca; también se han revisado las masas de agua subterráneas delimitadas por la CHJ y disponibles en su web en formato *shapefile*. En este mismo sitio, existe abundante información con respecto a los recursos, demandas, aportaciones, fuentes de contaminación, etc.; que tiene cada una de estas masas de agua subterráneas.
- Climatología: se ha hecho especial énfasis en este apartado por la significativa influencia en el proceso de erosión que tiene la variable clima. En este contexto, los datos empleados para el desarrollo de este punto se han obtenido de la base de datos de diversas estaciones meteorológicas incluidas o cercanas a la divisoria de la cuenca, y suministrados por el Servidor de Cartografía del Sistema de Información Geográfico Agrario (SIGA).

Entre la información descargada se incluyen valores de precipitación, temperatura y vientos, los cuales permitieron realizar un análisis detallado y amplio de las condiciones climáticas en la cuenca del Serpis. Con estos datos se elaboró el mapa de precipitaciones medias anuales, se realizó un estudio de sequías mediante la determinación de algunos índices; y se construyeron diagramas ombrotérmicos de Gausson en algunas estaciones de interés. Otro punto a destacar fue la elaboración de balances hídricos para conocer la

dinámica e interacción del recurso agua con otros factores ambientales, y finalmente, se determinaron algunas clasificaciones climáticas como la de Papadakis, Thornthwaite, Rivas-Martínez, ente otras.

- Vegetación actual y usos de suelo: la última variable caracterizada corresponde al uso de suelo actual en la zona de estudio. Para ello, se revisó la clasificación y delimitación sobre los diversos usos y actividades llevadas a cabo en las parcelas de la zona, en la última actualización de Proyecto *Corine Land Cover* (2012), cuya cartografía puede ser descargada en formato *shapefile* desde la web de Instituto Geográfico Nacional.

4.3 Hidrología de la cuenca

Para el estudio hidrológico de la cuenca, además de recopilar información y datos del sistema de drenaje, se han realizado visitas y recorridos por el lugar con la respectiva toma de fotografías. Se ha realizado además un inventario de los principales cursos de agua permanentes e intermitentes, incluyendo la descripción y elaboración de sus perfiles longitudinales. Adicionalmente se ha revisado la información del PATRICOVA con el fin de conocer las zonas más propensas a presentar eventos de inundaciones, dichas capas están disponibles en la web del CHOPVT como archivo *shapefile* o en servicio WMS.

Por otra parte, con el objetivo de conocer las modificaciones en los cauces y alteraciones de los caudales, se ha inventariado todas las estructuras artificiales, con sus respectivos datos, construidas en la cuenca. De la misma forma, el CHOPVT mediante el Inventario de Infraestructuras Hidráulicas de Alicante es el encargado de suministrar la información de las hidrotecnias presentes en la cuenca; en cambio, los datos asociados a la presa han sido obtenidos del Inventario de Presas y Embalses (IPE) presentes en el Sistema Nacional de Cartografías de Zonas Inundables (SNCZI) desarrollado por el MAPAMA.

Para conocer los caudales circulantes del Serpis aguas arriba del embalse, se ha revisado el Sistema de Información del agua (SIA Júcar) de la CHJ, cuya base de datos dispone para la descarga, los datos arrojados por las estaciones de aforos. Por último se han definido un total de 11 unidades hidrológicas o subcuencas en la zona de estudio.

4.4 Tasa de erosión anual - Modelo USLE

Para determinar de una manera objetiva las pérdidas del suelo (tasa de erosión potencial o producción de sedimentos) en la cuenca del Serpis, se ha aplicado el modelo USLE (*Universal Soil Loss Equation*, Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo) de Wischmeier y Smith (1978), que conlleva a calcular un conjunto de factores involucrados en el fenómeno de erosión.

Este modelo cuya principal aplicación radica en la restauración medioambiental y conservación del suelo, continúa siendo en la actualidad, el mejor método para estimar los promedios anuales de pérdidas de suelo con una determinada topografía y bajo unas condiciones de uso y manejo del suelo específicas. Dada la riqueza de datos utilizados durante el desarrollo del modelo USLE, la metodología es ampliamente conocida y ha sido aplicada en la comunidad científica por más de 50 años en planes de ordenación, conservación y manejo tanto a escala regional como a escala de cuenca. Al ser un modelo empírico, su precisión depende del rigor con que los parámetros que componen la ecuación reproduzcan de manera adecuada la condiciones del medio, sin embargo, cabe destacar que el modelo no contempla los procesos físicos de separación, transporte y sedimentación de forma mecánica (Saldaña, *et al.*, 2014).

La ecuación básica del modelo USLE para estimar la tasa de erosión anual promedio del suelo (A), en toneladas métricas por hectáreas (t/ha-año), debido a la erosión hídrica viene dada por la expresión:

$$A = R \times K \times LS \times C \times P$$

A continuación se explican a detalle cada uno de los términos de la ecuación:

- Factor climático R. Erosividad de las precipitaciones

La energía e intensidad de la lluvia está estrechamente ligada a la pérdida de suelo, debido a la capacidad de desprendimiento que tienen las gotas al impactarlo y separarlo en partículas individuales que posteriormente serán transportadas aguas abajo por la escorrentía. El factor R representa la capacidad erosiva de una tormenta.

Según Wischmeier y Smith (1978) la pérdida de suelo, ya sea por salpicadura, flujo superficial y/o en regueros, se relaciona con un índice (R) expresado en unidades

MJ·mm/ha·h·año; y formado por el producto de la energía cinética con que las gotas de lluvia llegan al suelo (E) y, la máxima intensidad de precipitación registrada en períodos de 30 minutos (I_{30}). Por lo tanto, el término R o de erosividad de la lluvia anual queda definido por la sumatoria, para cada episodio de precipitación i , de los productos de E con I_{30} , en la expresión:

$$R = \sum_{\forall i} E \times I_{30}$$

En vista de que la medición directa de la erosividad es una labor muy compleja, ya que requiere de la medición en parcelas tipo durante varios años, para obviar los cambios temporales de la intensidad y frecuencia de los episodios de tormenta; se sugiere el uso del registro de precipitaciones de la zona de estudio hallar valores más representativos de R .

Además de las extrapolaciones, una alternativa ampliamente utilizada para la representación del factor de erosividad en un área específica corresponde a la aplicación de ecuaciones de regresión a partir de datos pluviométricos (INES, 2002-2012); de esta forma, el Índice de Fournier Modificado (IMF), adquiere gran importancia ya que únicamente requiere de valores de precipitaciones totales mensuales y anuales para su determinación.

La ecuación sugerida para el cálculo de R en la región sureste de España, consistente con los resultados del ICONA, a partir del IMF es la siguiente:

$$R = 2.56 \times \left(\sum_{1}^{12} \frac{pd^2}{P} \right)^{1.065} \times 0.56_{z2} \times 1.66_{z4}$$

Los términos pd y P corresponden a las máximas precipitaciones diarias mensuales de una serie de 20 años, y P es la precipitación media de dicha serie; los factores restantes están definidos por el ICONA (Zaragozí, *et al.*, 2007).

En trabajos más recientes, se ha demostrado que la ecuación USLE al aplicarse a pequeñas cuencas agrícolas estima valores de producción de sedimentos errados. Esto debido a que parte del material removido en una parcela es propenso a depositarse en la misma, en función de la relación entre el flujo de sedimentos de entrada y su capacidad de transporte. Esta relación puede variar en el tiempo dependiendo de algunos sistemas de manejo del suelo, por lo tanto, para la

representación de esta variación temporal, se replanteó el factor R en la ecuación de pérdida de suelo MUSLE, la cual requiere simulación hidrológica.

$$R = 11.8 \times (V \times Q_p)^{0.56}$$

Donde V es el volumen de escorrentía y Q_p el caudal punta descargado (Carvajal, *et al.*, 2000).

Desde el geoportal del MAPAMA se han obtenido los valores de R (J-cm/m²-ha) de las estaciones meteorológicas consideradas, con los cuales se ha elaborado el mapa de isoerodientes de la cuenca a través de la interpolación de los datos con el método de Kriging.

- Factor K. Erosionabilidad del suelo

Este valor expresa la pérdida de suelo por unidad de índice de erosividad pluvial, para un suelo determinado, medido en una parcela patrón unitaria de longitud de ladera de 72,6 ft (22,1 m), pendiente uniforme de 9%, con surcos mantenidos limpios y labrados por más de dos años, en el sentido de la pendiente (Wischmeier y Smith, 1978).

La susceptibilidad del suelo a ser erosionado depende de sus variables intrínsecas como el contenido en materia orgánica, textura, estructura y permeabilidad. Estos autores proponen la siguiente ecuación de regresión para el cálculo de la erosionabilidad K:

$$100 K = 2.1 \times M^{1.14} \times 10^{-4}(12 - a) + 3.25 \times (b - 2) + 2.5 \times (c - 3)$$

Donde a corresponde al contenido en materia orgánica del suelo, b es un índice de estructura (Granular muy fina =1; Granular fina =2; Granular gruesa =3; bloque-laminar-masiva =4), c es un índice de permeabilidad (Rápida =1; Moderada a rápida =2; Moderada =3; Lenta a moderada =4; Lenta =5 y muy lenta =6). M representa un parámetro dependiente de la textura (tamaño de la partícula) y se calcula mediante la expresión:

$$M = (\% \text{ Arena fina} + \% \text{ Limo}) \times (100 - \% \text{ Arcilla})$$

Las unidades de K son tn·h/J-cm·ha y para una condición dada, puede aproximarse a través de los nomogramas de erosionabilidad del suelo. Como es de esperarse, la obtención del factor requiere un trabajo de campo exhaustivo, con la posterior elaboración de perfiles de suelos y análisis en laboratorio. Por ello, en la zona de

estudio se ha optado por correlacionar los valores de K con las litologías, ya que de forma intrínseca, se incluyen aspectos como el grado de disgregación de la roca (tabla XLIV).

- Factor topográfico LS. Longitud y pendiente de la ladera

Mediante el factor combinado LS, se incluye en la ecuación USLE, el efecto de la variable topográfica para la cuantificación de la tasa de erosión hídrica. Este factor tiene en cuenta la longitud e inclinación de la ladera vertiente, ya que estos determinan la cantidad y velocidad de escurrimiento superficial generado por una tormenta dada.

Litología	K	Litología	K
Aluvión	0.24	Conglomerados y arcillas	0.22
Arcillas	0.28	Conglomerados y margas: caliche	0.18
Arcillas y conglomerados	0.28	Conglomerados, areniscas y arcillas	0.16
Arcillas, margas y yesos	0.30	Cuaternario indiferenciado, arena, gravas	0.22
Arenas	0.26	Detrítico cañadas	0.24
Areniscas	0.18	Dolomías	0.14
Areniscas calcomargosas y margas	0.24	Dunas	0.26
Calcarenitas	0.16	Lentejón detrítico intercalado	0.20
Calcáreas tobáceas	0.14	Limos y arcillas	0.28
Calcáreas y areniscas	0.14	Limos y arenas	0.28
Calcáreas y dolomías	0.14	Limos, arcillas rojas y caliche continental	0.30
Calcáreas y margas	0.22	Margas	0.32
Caliza zoógena	0.14	Margas abigarradas yesíferas	0.32
Cantos, gravas y limos	0.20	Margas ocre claro con niveles arenosos	0.32
Cantos, gravas, arenas y arcillas	0.20	Margas y areniscas	0.28
Cantos, gravas, arenas y limos	0.20	Margocalizas	0.16
Conglomerado arcilloso y arcillas	0.16	Terra rossa: dolinas	0.28
Conglomerado tramo regresivo	0.16		

Tabla XLIV. Factor K según las litologías. Fuente: Zaragoza, *et al.*, 2007.

La inclinación de la pendiente está directamente relacionada con la distancia horizontal en la que viaja una partícula de suelo desprendida al impactar una gota de lluvia, por lo tanto, un incremento en la pendiente de la ladera aumenta la velocidad de la escorrentía. Por otro lado, la longitud de la pendiente influye en la profundidad y, por ende, en la capacidad de arranque de partículas de suelo por parte flujo superficial. En las secciones más bajas de la ladera, estos dos parámetros son superiores a causa de una mayor área de contribución.

Según Terrence *et al.* (2002), en las tasas de erosión adicionalmente influye la forma de la pendiente, ya que cambia en función de la inclinación del terreno. La figura 51

muestra a partir de una pendiente dada, las variaciones en las tasas de erosión y depositación. En conclusión, en secciones altas con pendientes muy inclinadas existirá un dominio de la erosión (por el incremento en la velocidad de flujo) que disminuirá progresivamente a medida que la ladera tienda a ser plana en la sección inferior, dando lugar al depósito de los sedimentos.

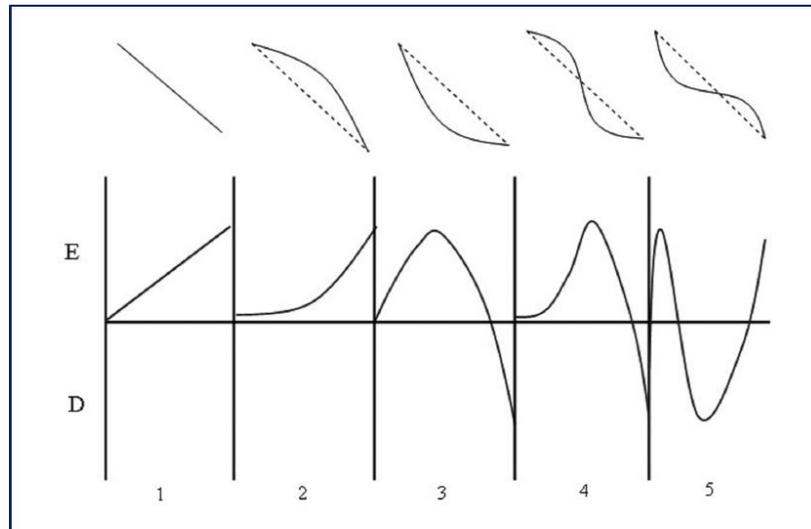


Figura 52. Cambios en la erosión (E) y sedimentación (D) en función de la morfología de la pendiente. Fuente: Terrence, *et al.*, 2002.

Wischmeier y Smith (1978), definen el factor adimensional LS como el valor de la pérdida de suelo por unidad de área desde un campo con pendiente referido a uno de 72,6 m de longitud de pendiente, con una inclinación uniforme del 9%, bajo las demás condiciones idénticas. De esta forma, plantean para su cálculo, la siguiente expresión:

$$LS = (\lambda/72.6)^m \times (65.41 \sin^2 \vartheta + 4.56 \sin \vartheta + 0.065)$$

Donde λ es la longitud de la ladera en metros, calculada como proyección horizontal, ϑ es el ángulo de la pendiente y m es el factor establecido en función de la pendiente del terreno (0,5 si la pendiente es $\geq 5\%$, 0,4 en pendientes entre 3 y 5%, 0,3 en pendientes de 1 a 3%, y 0,2 para pendiente menores a 1%).

En la actualidad, el cálculo del factor LS está implementado en varios programas informáticos, de forma tal que pueda hallarse directamente en formato *raster* a partir de un MDT, que deriva en la construcción de los mapas de pendientes y flujo acumulado. Para obtener el factor LS en la cuenca se aplicó la ecuación planteada por Moore y Burch (1986), donde sólo se requiere del *raster* de estos dos mapas, los cuales han sido realizados en ArcGis (ambos con la extensión *Spatial Analyst*), el de

pendientes con la herramienta *slope* mediante la técnica de promedio máximo de Burrough y McDonell (1998) y, el de flujo acumulado con la herramienta *Flow Accumulation* presente en el extensión *Hydrology*. Finalmente, con el uso de la calculadora *raster* se aplicó la ecuación en cada pixel (resolución 5 m) para obtener el *raster* de LS definitivo.

$$LS = \left(\frac{A_s}{22.13} \right)^{0.4} \times (\sin S / 0.0896)^{1.3}$$

Donde A_s (área específica de captación) es el producto entre el flujo acumulado y el valor del tamaño la celda, y S la pendiente en grados.

Factor C. Cobertura y manejo

La vegetación reduce de manera significativa la pérdida y erosión de los suelos, ya que al protegerlo del impacto de las gotas de lluvia y generar rugosidad en el terreno, influye tanto en la velocidad de escorrentía superficial como en la del viento, y en la infiltración; no obstante, la efectividad de la vegetación está condicionada por la altura, densidad y continuidad de la cobertura superficial. Por lo tanto, un suelo cubierto de vegetación natural por muy abrupto que sea el terreno, apenas sufrirá erosión.

En la expresión USLE se incluye esta condición mediante el factor C, el cual es definido como la relación entre la tasa de erosión potencial del suelo desde un área con cobertura y manejo específico, con respecto a la tasa de erosión correspondiente a un área idéntica en condiciones de barbecho (Wischmeier y Smith, 1978). Sus valores adimensionales oscilan entre 0 y 1, yendo desde suelos no susceptibles a la erosión (0) a suelos totalmente desnudos (1).

En la actualización RUSLE, el factor C se estima como una función de tres factores que representan el impacto del cultivo previo y su manejo, la reducción de la erosión por la cubierta vegetal y la rugosidad del suelo, y finalmente, la reducción de la escorrentía en precipitaciones de poca intensidad cuando es baja la humedad precedente del suelo (Carvajal, *et al.*, 2000).

En conclusión, este factor es de gran utilidad para comparar la repercusión que tienen las diferentes opciones y técnicas de manejo en los planes de conservación. Cabe destacar que los valores del factor C asignados por Wischmeier y Smith (1978) al ser determinados experimentalmente en cultivos y prácticas agrícolas habituales en

EEUU, no son apropiados ni para otros cultivos y manejos típicos de otras regiones, ni para coberturas naturales. Por ello, es necesario el uso de tablas validadas en zonas áridas y para aprovechamientos forestales.

La información del tipo de cobertura vegetal y uso del suelo que ocupa la zona de estudio se ha obtenido a partir de la interpretación del archivo vectorial del Proyecto *Corine Land Cover 2012*; y la asignación de valores de C para las clases del mencionado proyecto se ha realizado con las tablas planteadas por Panagos et al., (2015) (Tabla XLV).

Clase de suelo (CLC)	C	Clase de suelo (CLC)	C
Tierras de labor en secano	0.335	Bosque de frondosa, bosque de coníferas y bosque mixtos	0.0015
Terrenos en regadío	0.2	Pastizales naturales	0.0516
Viñedos	0.3963	Vegetación esclerófila	0.0623
Frutales	0.2188	Matorral boscoso de transición	0.0296
Olivares	0.2413	Roquedo	0
Mosaico de cultivos	0.1585	Espacios con vegetación escasa	0.3517
Terrenos agrícolas con vegetación natural	0.1457	Urbano, superficies artificiales y masa de agua	0

Tabla XLV. Factor C para los usos de suelo presentes en la zona de estudio según el Proyecto *Corine Land Cover*. Fuente: Panagos, et al., 2015.

Factor P. Prácticas de Conservación

El último parámetro a evaluar presente en el modelo USLE, es el factor P, asociado a las prácticas de conservación del suelo. Algunas medidas deben ser aplicadas para disminuir la escorrentía y la erosión, particularmente en áreas empinadas o destinadas a labores agrícolas, en donde el suelo está expuesto a técnicas de cultivo como la labranza y la formación de caballones y surcos en las zonas de cambio de pendiente.

Cuando no existen prácticas de control o hay ausencia de datos globales para la zona de trabajo, sugiere asignar un valor de $P=1$ para toda el área de estudio. Al asumir este factor como 1, se está determinando la erosión potencial de la cuenca mediante el cociente entre la pérdida media de suelo (A) y el factor de prácticas de conservación (P); con la expresión A/P . Esto representa independientemente de las técnicas de protección aplicadas, la cantidad de suelo propenso a ser erosionado. No obstante, partiendo igualmente del Proyecto *Corine*, Panagos et al., (2015b) plantea utilizar

0.9293 para el caso de España, por lo tanto, en la ecuación USLE, se multiplicará este valor de P con los demás factores presentes en la expresión.

En la figura 52, se muestra un esquema de los datos de entrada usados para la estimación de los factores incluidos en la pérdida de suelo.

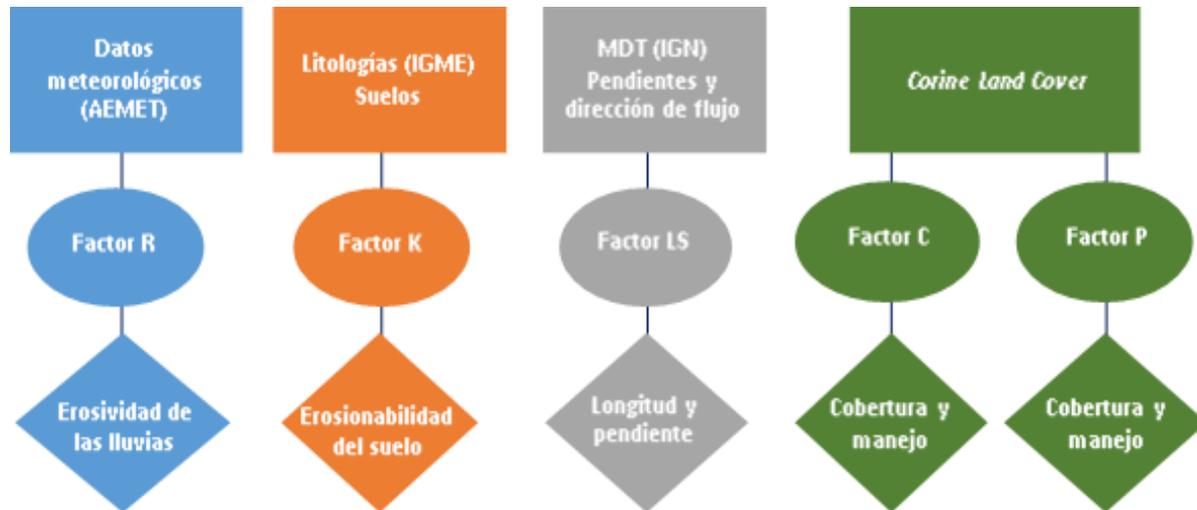


Figura 52. Datos de entrada del modelo USLE para la determinación de los factores de la ecuación. Fuente: Elaboración propia.

4.5 Producción y Transporte de sedimentos

En este caso, al no ser considerado el factor P en la ecuación USLE, realmente se está determinando la erosión potencial (cociente entre la pérdida media del suelo y el factor de prácticas de conservación A/P), la cual representa la cantidad de suelo que puede llegar a erosionarse, independientemente de las prácticas de protección que se empleen. Sin embargo, ciertas limitaciones del modelo (por ejemplo, las primeras versiones únicamente fueron desarrolladas en regiones de Norteamérica, además se genera una difícil extrapolación, en ciertos casos errónea, de los valores asignables a los parámetros en zonas donde no existen estudios previos similares) no permiten su total aceptación, lo que ha generado el planteamiento de alternativas, que adicionalmente contemplan los procesos de transporte (Carvajal, *et al.*, 2000).

En zonas planas o de pendientes suaves es posible que el suelo removido pueda permanecer en el lugar o muy próximos a la fuente (erosión limitada por la producción de suelo), sin embargo, cuando la erosión está limitada por el transporte, los sedimentos van quedando depositados a lo largo de su recorrido en elevaciones menores. Por lo tanto, la cantidad total producida en una cuenca (Y) será el resultado

de la cantidad inicial de pérdida de suelo (A) estimado y descrito en el punto anterior 4.4; pero modificada por un factor conocido como coeficiente de entrega o ratio de aportación *SDR* (*Sediment Delivery Ratio*).

$$Y = A \times D_R$$

Debido a la dificultad para obtener el coeficiente, ya que confluyen números factores, se han propuesto modelos simplificados como el de Williams (1975), que relaciona el tiempo de viaje del sedimento desde el origen T_V , con el tamaño representado por el diámetro de la mediana de los sedimentos D_{50} . Además se incluye un coeficiente empírico o de ajuste α .

$$D_R = \exp(-\alpha \times T_V \times D_{50}^{1/2})$$

De igual forma, otra propuesta planteada por Dickinson y Rudra (1990), manifiesta la dependencia del coeficiente con el tiempo de viaje de forma alternativa; ya que los parámetros γ y δ están definidos por la pendiente, disminuyendo el D_R cuando ésta aumenta, β es un coeficiente de ajuste empírico.

$$D_R = \beta \times \gamma \times T_V^{-\delta}$$

Las expresiones basadas en la superficie de la cuenca, S_p , son habitualmente las más usadas para determinar la cantidad de sedimento producido en una cuenca:

$$D_R = \varepsilon \times S_p^{-\lambda}$$

Siendo ε y λ dos coeficientes, que Roehl (1962) asigna valores de 0,36 y 0,2, respectivamente si S_p está expresada en km^2 ; sin embargo, en el presente trabajo serán determinados mediante una regresión potencial para obtener una mejor aproximación. Otros autores han destacado la influencia de la vegetación y la intensidad de las precipitaciones en el coeficiente de entrega. Jansson (1982) afirma que para estimar el tiempo de viaje T_V se debe incluir la velocidad del movimiento del agua en la cuenca. De aquí surge un modelo basado en la ecuación del flujo uniforme, aplicable a cada tramo, y obteniéndose el tiempo de viaje total como la sumatoria de los tiempos empleados en los distintos tramos, no obstante, al no ser en todos los casos, de régimen uniforme el flujo superficial del agua, Dickinson y Rudra (1990) plantean una ecuación dependiente de la ocurrencia de la lluvia, donde se sustituye el radio hidráulico por un factor hidrológico h_c , en la fórmula de la velocidad del

agua en un flujo uniforme (Formula de Manning). De este modo el tiempo de viaje en un tramo i cualquiera de la cuenca, Tv_i , es:

$$Tv_i = \frac{n_i \times L_i}{S_i^{\frac{1}{2}} \times hc_i}$$

en la que n_i es el coeficiente de Manning para el tramo, S_i su pendiente, L_i su longitud, y hc_i , el factor hidrológico. Para cualquier recorrido el tiempo de viaje será la suma de los correspondientes tramos (Carvajal, *et al.*, 2000). Los datos para el desarrollo del apartado dedicado a evaluar el transporte de sedimentos que finalmente llegan al embalse de Beniarrés han sido obtenidos de los siguientes informes elaborados por el Centro de Estudios Hidrográficos (CEDEX):

- Reconocimiento sedimentológico del embalse de Beniarrés (1991).
- Reconocimiento batimétrico del embalse de Beniarrés (1993).

4.6 Medidas de control de la erosión y sedimentación

Para el desarrollo de este apartado se revisaron y recopilaron publicaciones sobre medidas aplicadas en embalses con cuencas drenantes emisoras de altas tasas de sedimentos, y que han tenido resultados satisfactorios en prolongar los tiempos de vida útil de los embalses. Estas medidas se clasificaron en 1) directas, para evitar el aterramiento una vez ya este acumulado el sedimento en el fondo del embalse, e 2) indirectas o enfocadas a controlar la degradación de los suelos en las cuenca. Para estas últimas se ha planteado una ordenación hidrológica-forestal según el criterio de USLE, a partir de las pendientes, los usos del suelo y la degradación de la cuenca, sugiriendo un conjunto de medidas y actuaciones dependiendo de la vocación (forestal o agrícola) del terreno.

De acuerdo a los principios de la restauración hidrológico-forestal, se han señalado un conjunto de biotécnicas delimitando los montes a repoblar con las especies vegetales óptimas y, sugiriendo tratamiento selvícolas y de prevención de incendios. Además, se han ubicado los puntos en donde es conveniente la construcción de hidrotecnias de corrección de cauces. Finalmente, en la última etapa del estudio se procedió a corregir los mapas temáticos y a redactar la memoria final, integrando todos los resultados obtenidos en las fases previas, enumerando un conjunto de conclusiones y sugiriendo recomendaciones oportunas para futuras investigaciones.

5 EMISIÓN DE SEDIMENTOS

5.1 Modelos de erosión ajustados a SIG

En la actualidad hay numerosos modelos hidrológicos y erosivos aplicables de acuerdo a las condiciones particulares del sistema. La modelización de la rotura de los agregados del suelo, su transporte y depósito/sedimentación; define y caracteriza el proceso de erosión en una cuenca.

Uno de los primeros modelos que simularon este fenómeno fue el de Meyer y Wischmeier (1969), cuyos resultados permitieron observar el efecto tanto de la pendiente como de la susceptibilidad del suelo en la erosión; sin embargo, debido a su sencillez las etapas del proceso erosivo están limitadas al mínimo. Foster y Meyer (1975) basados en el método anterior, reformulan el modelo considerando que la intensidad de erosión en una cárcava es linealmente proporcional a la diferencia entre la capacidad de transporte del flujo de escorrentía y el flujo total de sedimentos, y la capacidad de erosión del flujo de escorrentía es proporcional a su capacidad de transporte. Durante los años ochenta, a través de las ecuaciones de transporte de agua de Saint-Venant, surgen otros modelos que estudiaron en conjunto el flujo de agua y de partículas sólidas, destacando entre estos, el de Rose (1985) caracterizado por suponer que la intensidad de desprendimientos de sólidos es una función potencial de la intensidad de lluvia, y la intensidad de depósito es proporcional a la concentración de partículas sólidas en el flujo de escorrentía.

Las simplificaciones en la ecuación de transporte, dieron a lugar a otros modelos como el de Govindaraju y Kavvas (1995) usando la expresión de onda difusa (despreciando en la ecuación los términos de aceleración local y convectiva), y el de Singh (1988) mediante la onda cinemática, donde adicionalmente se desprecia el término de presión.

Cabe destacar que el proceso de erosión está representada de manera adecuada en todos estos modelos mencionados, no obstante, al aplicarlos a nivel de escala general, la determinación de las condiciones de contorno necesarias puede tener una alta complejidad. Otros modelos basados en los anteriores y de solución numérica, simplifican las características de las cuencas. Entre estos se incluye el modelo KINEROS (1990), muy versátil aunque requiere de gran información sobre la cuenca y es útil para episodios aislados; se basa en fragmentar la cuenca en planos, canales

y embalses conectados en cascada en las que el agua y los sedimentos fluyen según la aproximación cinemática a las ecuaciones de transporte. Posteriormente, algunas mejoras a este se introdujeron en el modelo distribuido EUROSEM (1998), aplicable a parcelas y pequeñas cuencas, el cual simula de manera óptima la rotura de agregados, transporte y sedimentación, además de predecir la escorrentía y la pérdida de suelo, brindando hidrogramas y sedimentogramas de eventos de lluvia aislados. No obstante, en la actualidad la ecuación USLE planteada por el Servicio de Conservación de Suelos de Estados Unidos (USSCS), continúa siendo el modelo específico más utilizado para determinar la pérdida de suelo por erosión, ya que el USDA se ha encargado de actualizar paulatinamente la ecuación con otras versiones (MUSLE y RUSLE) o mediante el desarrollo de un nuevo modelo llamado WEPP (USDA, 1995 en Carvajal, *et al.*, 2000) aplicable a pequeñas cuencas vertientes a partir de los diferentes usos de suelo.

5.2 Aplicación del Modelo USLE

En este apartado se comentarán los resultados obtenidos en cada uno de los factores presentes en la ecuación USLE.

5.2.1 Factor R

El promedio de valores del factor R tiene un rango que va desde $102,4 \text{ MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ a $230,3 \text{ MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$. En el mapa de erosividad de las precipitaciones (Figura 53) destaca una evidente tendencia a la disminución del valor del factor R en dirección NE-SO.

Las zonas de la cuenca más sometidas al potencial erosivo de las lluvias se ubican en las sierras Alfaro, Cantalar y Almudaina al oeste; y en los terrenos cercanos a la cabecera del río Valleseta. Al norte, los valores más altos de R ($207,4$ y $230,3 \text{ MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$) se presentan en las estribaciones de la sierra Benicadell. Los municipios más afectados son Benimassot, Facheca, Planes, Beniarrés y Gaianes. Por otra parte, hacia el interior y sur, en los municipios de Ibi, Jijona y especialmente Alcoy, por donde fluye el Serpis en sus primeros kilómetros de recorrido, los valores del factor R oscilan entre $102,4$ y $123,2 \text{ MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$. En esta región de cabecera, el río tiene un comportamiento intermitente en algunos tramos. Otras zonas con valores bajos de R, dominan en la cuenca del río Molinar y en la sierra dels Plans. El mapa resultante se ha dividido en siete categorías de valores de R, las cuales se

distribuyen, en términos de proporción en la cuenca, de la siguiente manera: 102,4 a 123,19 MJ·mm·ha⁻¹·h⁻¹·año⁻¹ en 78,4 km² (16,8%), 123,2 a 140,9 MJ·mm·ha⁻¹·h⁻¹·año⁻¹ en 59,8 km² (12,9%), 140,9 a 157,8 MJ·mm·ha⁻¹·h⁻¹·año⁻¹ en 67,0 km² (14,4%), 157,8 a 175,1 MJ·mm·ha⁻¹·h⁻¹·año⁻¹ en 61,0 km² (13,1%), 175,1 a 191,9 MJ·mm·ha⁻¹·h⁻¹·año⁻¹ en 61,0 km² (13,1%), 191,9 a 207,4 MJ·mm·ha⁻¹·h⁻¹·año⁻¹ en 85,7 km² (18,4%) y finalmente, 207,4 a 230,3 MJ·mm·ha⁻¹·h⁻¹·año⁻¹ en 52,3 km² (11,2%).

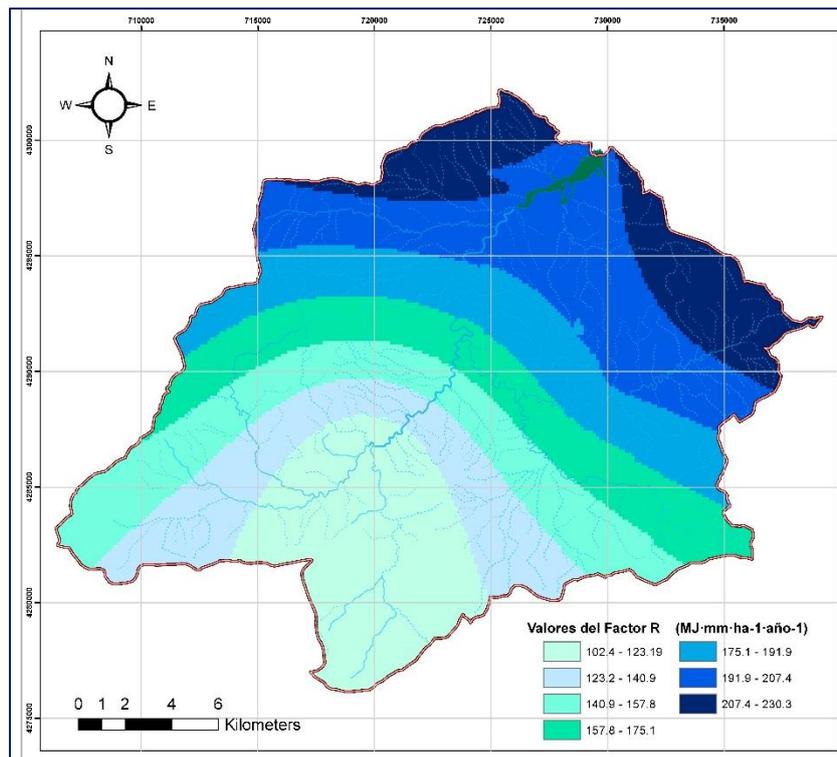


Figura 53. Mapa del Factor R del modelo USLE. Elaboración propia a partir de datos del SIGA.

5.2.2 Factor K

La figura 54 muestra que la cuenca del Serpis tiene una erosionabilidad del suelo (K) con rangos entre 0,14 t·h·MJ⁻¹·mm⁻¹ y 0,32 t·h·MJ⁻¹·mm⁻¹. Según este factor, aproximadamente el 50% de los suelos en la cuenca presenta alta susceptibilidad a ser erosionados, ya que el mayor rango establecido para los valores de K (entre 0,29 y 0,32 t·h·MJ⁻¹·mm⁻¹) domina en terrenos que suman en total 215,5 km² de superficie. Estos valores tan altos corresponden al material margoso que conforma gran parte de las unidades litológicas de la cuenca. Esta litología se compone de 2 tipos de materiales de acuerdo a su naturaleza; por una parte está aquel material calcáreo o carbonatado principalmente calcita, ya sea como grano, cemento diagenético precipitado o restos de microorganismos fósiles, generalmente asociados a eventos marinos transgresivos. Sin embargo, estos minerales suelen presentar estabilidad

ante a los procesos de meteorización y erosión cuando están expuestos al intemperismo, caso contrario, a la otra parte que constituye las margas, formada por minerales detríticos de granulometría arcillosa, limosa e incluso arenácea, los cuales son sensibles a la erosión, desfragmentándose en partículas cada vez más pequeñas de suelo residual. Adicionalmente a las margas, en esta categoría de R también se ubican arcillas, arenas, y yesos.

Por otra parte, al revisarse el suelo que cubre parte de estos materiales descritos (ver apartado 2.4 Edafología) se observa que dominan los inceptisoles caracterizados por su pobre desarrollo y baja madurez, hecho que incrementa la erosión en la zona. No obstante, las zonas montañosas, están formadas por calizas, dolomías, margocalizas, conglomerados y calcarenitas resistentes con valores inferiores a $0,17 \text{ t}\cdot\text{h}\cdot\text{MJ}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$, pero que igualmente pueden estar afectadas por otro factor de la expresión USLE.

En un total de seis clases se ha reclasificado el mapa de K. Estas se distribuyen en la cuenca como se describe a continuación: $0,14$ a $0,17 \text{ t}\cdot\text{h}\cdot\text{MJ}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$ en $75,6 \text{ km}^2$ (16,2%), de $0,17$ a $0,20 \text{ t}\cdot\text{h}\cdot\text{MJ}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$ en $61,6 \text{ km}^2$ (13,2%), de $0,20$ a $0,24 \text{ t}\cdot\text{h}\cdot\text{MJ}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$ en $92,0 \text{ km}^2$ (19,8%), de $0,24$ a $0,26 \text{ t}\cdot\text{h}\cdot\text{MJ}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$ en $7,2 \text{ km}^2$ (1,5%), de $0,26$ a $0,29 \text{ t}\cdot\text{h}\cdot\text{MJ}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$ en $13,3 \text{ km}^2$ (2,9%) y, de $0,29$ a $0,32 \text{ t}\cdot\text{h}\cdot\text{MJ}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$ en $215,5 \text{ km}^2$ (46,3%).

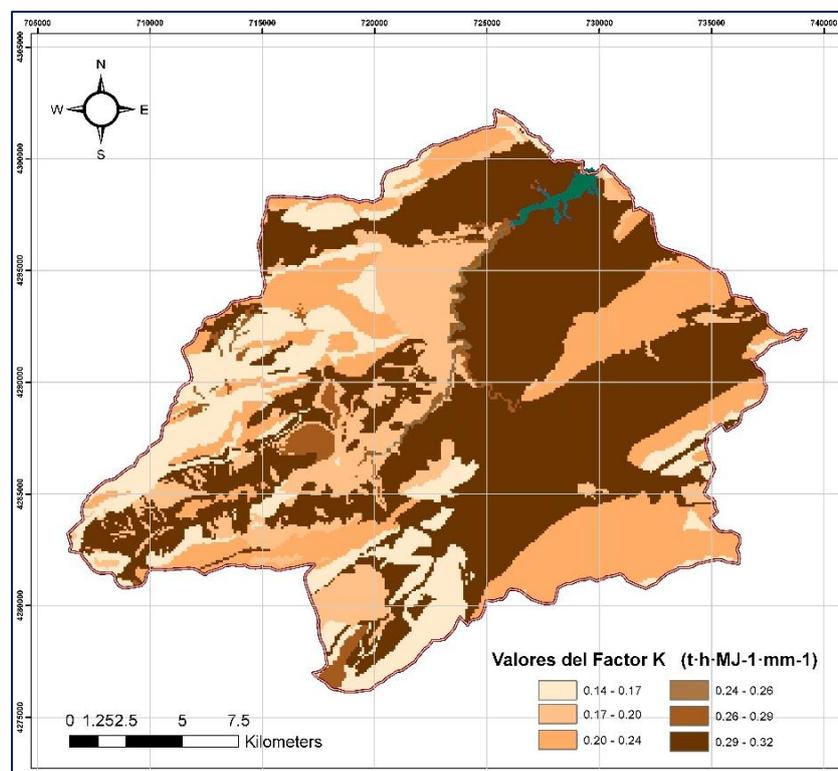


Figura 54. Mapa del Factor K del modelo USLE. Elaboración propia.

5.2.3 Factor LS

Los valores del factor longitud-pendiente de la ladera LS en el área de estudio varían en un rango entre 0 y 19,7 (Figura 55). El suavizado del MDT elegido juega un papel fundamental en el cálculo de este factor, debido a que se evitan errores significativos en la determinación de los mapas de pendientes y acumulación de flujo.

Los resultados obtenidos para el factor LS muestran la importancia de la inclinación y la longitud de la pendiente en la susceptibilidad a la erosión a lo largo de la cuenca estudiada. Los rangos de valores inferiores a 6,5 y superiores a 14,8, son los que predominan en toda la cuenca vertiente, debido a su carácter abrupto (laderas acentuadas y áreas fuertemente socavadas) alternado con zonas onduladas y planas. Se observa como a medida que el terreno se eleva se producen valores de LS oscilando entre 16 - 17, alcanzando en algunas zonas valores superiores a 19.

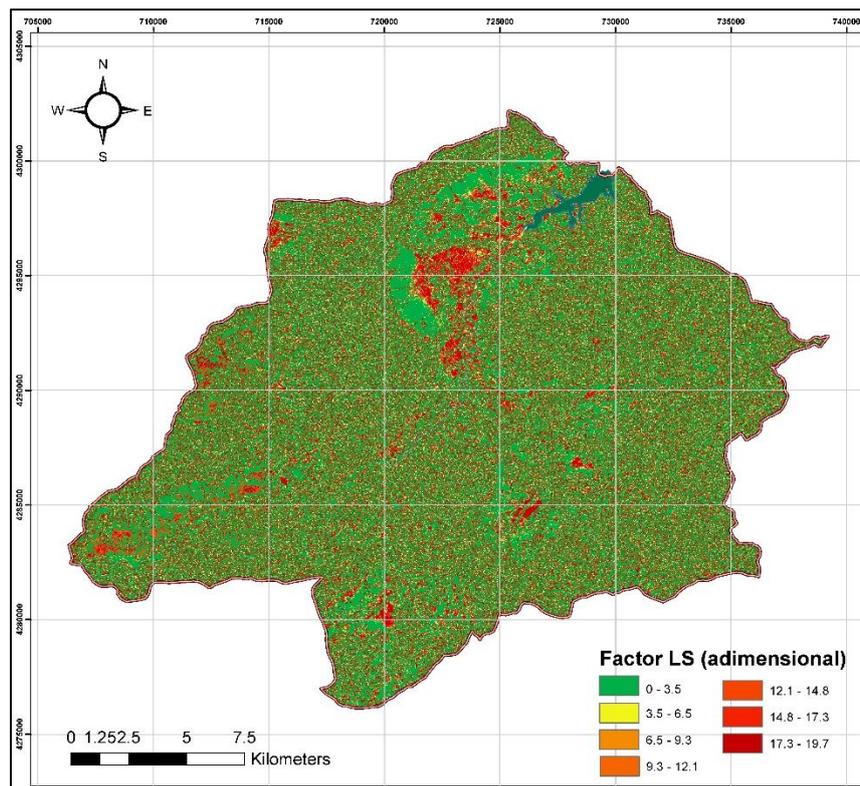


Figura 55. Mapa del Factor LS del modelo USLE. Elaboración propia.

5.2.4 Factor C

El procedimiento desarrollado para el cálculo del factor C (cobertura del suelo), ofrece una estimación global del efecto sobre la tasa de erosión de los usos del suelo predominantes en la cuenca del Serpis.

Tras el análisis de los datos disponibles para el cálculo de dicho factor y asignar los valores de C en función de la cobertura de suelo estimada (Proyecto CORINE, 2012) se ha obtenido el mapa de la figura 56, el cual muestra la sensibilidad de los diferentes tipos de suelos y los procesos erosivos.

Los valores varían entre 0 y 0,39. Las zonas con una alta vegetación, correspondientes a áreas de reforestación, bosques, pastizales y esclerófilas, presentan los menores coeficiente de C ($< 0,1$), ya que la erosión en áreas de mayor vegetación es menor que en otras cuya vegetación es escasa.

Por el contrario, en las zonas más intervenidas de la cuenca hidrográfica (cultivos, frutales, olivares y demás terrenos agrícolas) los valores de C aumentan ya que son terrenos más propensos a la erosión. Los mayores valores de C, superiores a 0,3 corresponden a espacios con escasa o nula vegetación, tierras de labor en seco y viñedos.

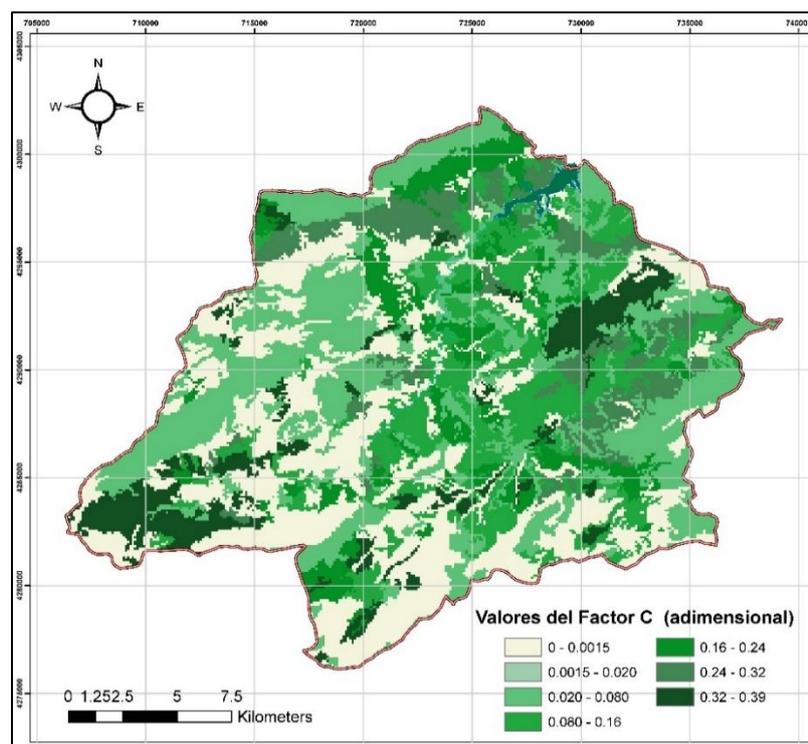
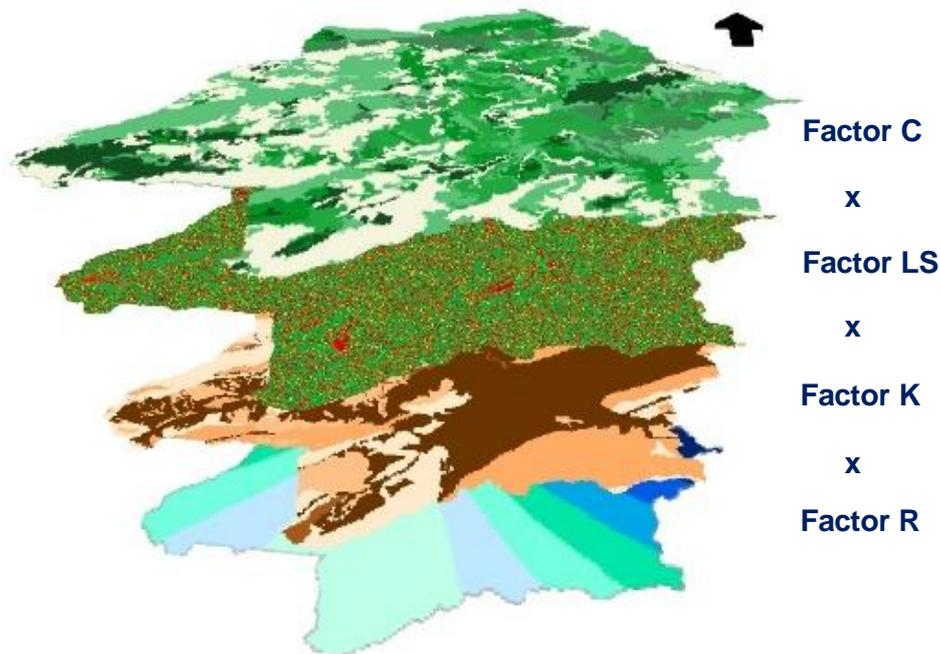


Figura 56. Mapa del Factor C del modelo USLE. Elaboración propia.

Una vez obtenidos los 4 mapas en formato *Raster* y a través de la herramienta *Raster Calculator* se ha realizado una operación de Álgebra de Mapas (figura 57), multiplicando los factores involucrados en la ecuación USLE, y obteniendo de esta manera el mapa definitivo de producción de sedimentos para cada celda de la cuenca.



$$A = R \times K \times LS \times C$$

Figura 57. Algebra de Mapas. Producto de los factores de la Ecuación USLE. El factor P incluido en la ecuación tiene un valor de 0,9293. Fuente: Elaboración propia.

5.3 Pérdida anual de suelo

El resultado del mapa de sedimentos emitidos en la cuenca, medido en términos de erosión media anual por unidad de superficie, señala que, generalmente, las áreas con mayor grado de erosión se localizan en zonas de relieve, en especial, al norte y este de la cuenca (ver anexo Mapa 15). En la tabla XLVI se presentan los umbrales establecidos del grado de erosión en la cuenca, los cuales han sido clasificados inicialmente en el Inventario Nacional de Erosión de Suelos y complementados por los planteados por el ICONA.

Pérdidas de suelo (A) tn/ha/año	Grado de erosión
0	Superficies artificiales
(0 – 5]	Prácticamente nulo
(5 – 10]	Muy bajo
(10 – 25]	Bajo
(25 – 50]	Moderado
(50 – 100]	Alto
(100 – 200]	Muy alto
> 200	Máximo o irreversible

Tabla XLVI. Umbrales y grados de erosión establecidos en el mapa de niveles erosivos. Fuente: Modificado de INES, 2002 - 2012.

Además de los aspectos naturales que conllevan a las pérdidas del suelo en el marco mediterráneo, tales como, condiciones climáticas con precipitaciones de carácter torrencial, escasez de cobertura vegetal, suelos poco maduros sobre materiales litológicos y geoformas inestables; por otra parte, el hombre (agricultor) actúa como elemento catalizador de los procesos erosivos, mediante incendios forestales, abandono de parcelas marginales, prácticas agrícolas deficientes, etc.

A modo general, las áreas con elevados niveles en pérdida de suelo (tasas superiores a 50 tn/ha/año) se presentan al margen derecho del río Serpis y en las proximidades del embalse, tanto al noroeste en las estribaciones de la sierra de Benicadell, como al suroeste en la región limitada entre las sierras Cantalar y Almudaina (flanco norte) que incluye principalmente la subcuenca del barranco de Almudaina.

La zona con mayor pérdida de suelo se ubican al este en el Sistema Valleseta – Penáguila, con sus respectivas subcuencas asociadas, las cuales están cerradas por la sierras Almudaia, Serrella, Aitana y Les Plans, comenzando desde el norte y en sentido horario. Cabe resaltar, que a lo largo y ancho de toda esta superficie la litología dominante son las margas facies *Tap* (Figura 58).



Figura 58. Modelo digital del terreno con la representación de los estados erosivos. Fuente: Elaboración propia.

Caso contrario, al margen derecho del Serpis, la cuenca del río tiene niveles de elevada erosión distribuidos de forma muy localizada, especialmente al noroeste en la cabecera del río Agres y al suroeste en el Valle de Albaida. Los valores más frecuentes en toda esta región son clasificados como nulos a muy bajos (0 y 10

tn/ha/año), en parte debido a la cobertura vegetal que protege las rocas carbonatadas que conforman la sierra Mariola.

A continuación se describe a detalle la erosión en cada una de las subcuencas vertientes al embalse de Beniarrés definidas en el apartado 3.5 (iniciando a partir de la UH con mayor tasa de erosión), caracterizando aspectos asociados a los factores de la ecuación universal de pérdida de suelo.

- Subcuenca del Río Valleseta

Al este de la cuenca del Serpis se produce la mayor emisión de sedimentos aguas arriba del embalse de Beniarrés. La unidad hidrológica VI o subcuenca del río Valleseta con una extensión de 67,95 km² emite alrededor de 149,482 tn/ha/año de sedimentos, concentrándose principalmente a lo largo del flanco sur de la sierra de la Almudaina (Secans del Dalt, La Decantada, Loma Redonda, La Fuente, Balones), donde los valores fluctúan entre 50 y 100 tn/ha/año.

De igual manera, a ambos márgenes del Valleseta los valores son similares a los mencionados; además, al sur y este de Millena (La Sort y Calvario, respectivamente), se distribuyen puntualmente zonas donde la tasa de erosión es extrema superándose los 200 tn/ha/año. Otras áreas consideradas con pérdidas irreversibles se presentan en Pla del Rafalet y Els Tossalets.

Al sur de la subcuenca, en La Llobera, El Realenc, Bco. de La Canal, Quatretondeta, La Vinyeta y Borreguero, el grado de erosión es alto (50 – 100 tn/ha/año), sin embargo, a lo largo de las estribaciones y ladera noroeste de la sierra Serrella los valores de erosión son muy bajos no superando las 25 tn/ha/año, con media entre 5 y 10 tn/ha/año (erosión muy baja).

En esta región de la cuenca, la elevada producción de sedimentos se asocia tanto a los altos valores de erosividad de las lluvias (superiores a 175 MJ·mm·ha⁻¹·h⁻¹·año⁻¹), como a las características intrínseca de los suelos, los cuales son claramente muy propensos a la erosionabilidad, ya que son poco profundos, tienen baja madurez, son principalmente arcillosos desarrollados sobre materiales margosos, y están altamente intervenidos por procesos de cultivo, dominando los frutales.

- Subcuenca de Beniarrés

La unidad hidrológica XI que incluye todas las corrientes y barrancos que desembocan directamente en el embalse, a excepción del Barranco de Almudaina (U.H. X), es la segunda subcuenca respecto a los volúmenes de sedimentos emitidos (97,768 tn/ha/año), principalmente los generados en las estribaciones del flanco sur de la sierra de Benicadell. En esta región de 46,45 km² dominan las zonas con pérdidas de suelo entre 50 – 100 tn/ha/año a lo largo de las cuencas drenantes de los barrancos Turballos, Castellet, Blanc y Mau, así como en las proximidades del Municipio Beniarrés. Adicionalmente, al sur (cercanía de Benimarfull) y sureste de la subcuenca (Planes y Catamarruc) también se producen estas tasas de erosión.

Con respecto a los valores extremos (superiores a las 200 tn/ha/año), estos se distribuyen como parches al sur del Bco. de la Perla, Bco. De la la Font, L'Ullal, Olivereta, Font de Planes y al sur del Bco. De Benicapsell. Por otra parte, las zonas con valores de bajos a muy bajos en la pérdida de suelo (inferiores a 25 tn/ha/año), se ubican en el flanco sur de la sierra Benicadell y al noroeste de la sierra Cantalar en el Bco de la Cova de la Vila, lomas del Cantalar y limite oeste de la subcuenca del Bco. de La Encantada.

En esta U.H., los valores de erosividad de las lluvias (factor R) alcanzan los valores punta entre 207,4 y 230,3 MJ·mm·ha⁻¹·h⁻¹·año⁻¹ (precipitaciones medias anuales superiores a los 600 mm). Igual que en el caso de la subcuenca del Valleseta, los suelos dominantes son del tipo *xerochrept* sobre materiales margosos del Mioceno fuertemente socavados, y con actividades de cultivos asociadas a frutales y olivares, las cuales presentan valores de C (factor de cobertura del suelo) altos entre 0,24 – 0,32. Las zonas más estables con menor producción de sedimentos están dominadas por calizas protegidas por vegetación esclerófila y pastizales naturales.

- Subcuenca del río Penáguila

En la Unidad hidrológica V definida por la subcuenca del río Penáguila, principal afluente del Valleseta, la tasa de erosión media anual presenta dos claras tendencias que suman en total 78,368 tn/ha/año de sedimento producido. Una zona al norte y noroeste con pérdida de suelo entre 25 y 50 tn/ha/año y otra al sur donde la emisión de sedimentos es prácticamente nula. Las zonas más erosionadas se distribuyen en

El Salt, Benilloba, Las Nieves, margen derecho del Penáguila (a excepción de la zona de cabecera), Benifallim, La Espioca, T.M. Penáguila, La Pedriza, además de la región muy socavada en dirección O-E por los barrancos de Grau, dels Horts (zona con erosión irreversible), Huertos de Marra y del Pont.

La parte sureste de la divisoria de la cuenca del Serpis (y a su vez del Penáguila) que limita con el flanco norte de la sierra Aitana (subcuenca del Bco. del Pont, El Paradet, Codina, Les Covetes, El Barranquet, Riola del Pla, Bco de Aitana) presenta una emisión de sedimentos despreciable (0 – 5 tn/ha/año), sin embargo, esta aumenta paulatinamente en dirección este (Arranc dels Esquiladors, Pla de la Carrasca, El Salt), lugar donde los valores medios están en el orden de 10 – 25 tn/ha/año. Estas tasas también se distribuyen en la ladera sur de la sierra Serrella por El Pilar, La Ombría y Alto de Camarell.

Igual que en los casos anteriores, la subcuenca está sobre materiales margosos miocenos con valores del factor K altos (0,29 – 0,32 tn·h·MJ⁻¹·mm⁻¹) que gradan al sur, en areniscas y margas oligocenas más competentes (0,17 – 0,20 tn·h·MJ⁻¹·mm⁻¹). Por otra parte, destacan los altos valores del factor LS en algunos barrancos (entre 14,8 y 19,7), asociados a pendientes que superan los 25° de inclinación. Finalmente, al norte de la subcuenca dominan los cultivos de frutales, olivares y viñedos, los cuales desaparecen al sur, donde no se desarrolla ninguna práctica de agricultura, exhibiéndose vegetación natural tipo bosques de coníferas y frondosas, esclerófilas y pastizales naturales que conllevan a valores del factor C muy bajos entre 0 y 0,020.

- Subcuenca del Serpis medio

En esta zona de la cuenca, a pesar de tener los asentamientos urbanos de Alcoy (zona norte), Cocentaina y Muro de Alcoy (zona sur) descritas como áreas no productivas de suelo erosionado, en sus proximidades sí se emiten importantes cantidades de sedimentos en torno a los 83,061 tn/ha/año. Los mayores volúmenes, entre 25 – 100 tn/ha/año, provienen del margen derecho del río; y se distribuyen al norte en Les Cabanyes, El Rontonar, valle de Tranadell, La Terraza, El Patot; y al sur en La Penella.

En el margen izquierdo del Serpis, la tasa de pérdida de suelo es inferior a las 10 tn/ha/año, (e incluso en algunos partes en prácticamente nula) y se asocia a los barrancos del Puig, Querola, Pontallar, La Cova, Mossen Vicent, Mastec, Vilanova,

Capenal y La Vila; los cuales provienen del flanco oeste de la sierra Mariola. Otras zonas donde la emisión de sedimentos está por debajo de las 5 tn/ha/año se ubican en el flanco norte de la sierra de Ondoxes, y las subcuencas de los barrancos de Formiña, Caraita y La Alcachofa.

Las zonas más competentes (margen izquierdo) se asocian a materiales con valores bajos del factor K entre 0,14 y 0,22 $\text{tn}\cdot\text{h}\cdot\text{MJ}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$ (calizas, dolomías y margas cretácicas), que aumentan en el margen derecho, debido a la presencia de margas miocenas donde alcanza los valores extremos de este factor (0,32 $\text{tn}\cdot\text{h}\cdot\text{MJ}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$). Los suelos que cubren las formaciones margosas que rellenan la cuenca están pobremente desarrollados, muy cultivados (mosaicos de cultivos y olivares), y además reciben de manera continua los aportes asociados a avenidas del río.

La vegetación natural presente en la sierra Mariola representada por bosques de coníferas, vegetación esclerófila y pastizales naturales conlleva a valores muy bajos del factor de cobertura vegetal C ($< 0,020$).

- Subcuenca del río Polop

La unidad hidrológica I asociada al río Polop, con una extensión de 51,43 km, tiene una tasa promedio de erosión anual de 65,815 tn/ha/año, y recibe las escorrentías que discurren tanto de la sierra Mariola al norte, como las provenientes de la Font Roja al sur, donde destaca el Bco. del Troncal.

A pesar de ser una zona con amplias regiones pobladas de vegetación natural (bosques de frondosas y coníferas) que cubren calizas y margas cretácicas, los mayores volúmenes de sedimento emitido, con valores medios entre 50 y 200 tn/ha/año; se originan al suroeste de la subcuenca, específicamente sobre el valle del Polop y entre la región limitada por las cuencas drenantes de los barrancos de Pardines y Vista Bella, en las estribaciones del flanco norte del Parque Natural del Carrascal de la Font Roja. Al norte, en las cercanías donde se intercepta la carretera CV-795 con CV-794 también hay porciones de terreno con alta – muy alta tasa de erosión, e incluso zonas con valores extremos.

En esta U.H., el efecto del factor R relacionado a las precipitaciones es despreciable ($< 140,9 \text{ MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$), sí se compara con las prácticas agrícolas intensivas desarrolladas a lo largo y ancho del Valle del Polop, ya que las altas cantidades de

suelo removido, se asocian a las tierras de labor en secano, viñedos y olivares presentes. Este aspecto es reflejado en el factor C, el cual presenta los valores más elevados (0,32 – 0,39). Además, en las zonas donde el grado de erosión es irreversible el factor LS también adquiere los valores extremos (17,3 – 19,7). Por último, el río Polop discurre sobre materiales margosos y acumulaciones de cantos, gravas y arenas, con suelos muy fértiles tipo aridisoles, los cuales están asignados con valores altos del factor C (0,29 – 0,32 $\text{tn}\cdot\text{h}\cdot\text{MJ}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$).

- Subcuenca del barranco de Almudaina

Esta subcuenca (U.H. X) a pesar de tener una extensión de 27,84 km², presenta elevadas cantidades medias de sedimento producido por erosión (59,615 tn/ha/año). A excepción de las elevaciones cubiertas por bosques de coníferas presentes al este (entre El Coscollar – Penyeles dels Alts de Benialfalqui y el Bco de Benialfaqui – Tossal del Rei – Malledetes dels Angels) donde la erosión puede considerarse despreciable (< 5 tn/ha/año); y bajo El Clot, la Foia Blanca, El Legañoso y La Sarch (todas próximas al Bco. del Mollo) lugares donde los valores de erosión son bajos (10 – 25 tn/ha/año); el resto de la subcuenca tiene valores moderados – altos en la tasa media de erosión (25 – 100 tn/ha/año).

Los fenómenos erosivos en esta región, al igual que en la U.H. XI, están asociados a la alta erosividad generada por las lluvias (191,9 y 230,3 $\text{MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$), a los inceptisoles que cubren formaciones margosas (Factor K entre 0,29 – 0,32 $\text{tn}\cdot\text{h}\cdot\text{MJ}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$) y a los mosaicos de cultivos, olivares y frutales que dominan las prácticas agrícolas; en el flanco norte de la sierra Almudaina a pesar de no presentarse ningún tipo de cultivo, los valores altos del factor C (0,32 – 0,39) se atribuyen a la escasa vegetación presente.

- Subcuenca del río Agres

La subcuenca del río Agres (Unidad Hidrológica IV) tiene una extensión de 27,37 km² y emite unas 48,214 tn/ha/año de sedimento, las cuales se distribuyen inicialmente por la margen derecha a partir del límite noroeste de la cuenca del Serpis hasta la Font del Taulaí, luego ocupan principalmente la margen izquierda del río hasta su confluencia con el río Serpis al este de Muro de Alcoy. Los valores medios en la tasa de erosión de suelo son altos (50 – 100 tn/ha/año) ubicándose de O-E en los barrancos del Moli, d'Els Quinyons, Font de l'Arriero y en la zona de Loma Carrera.

Los valores más altos (> 200 tn/ha/año) se presentan en el Olivar y Los Corrales, próximos al Bco. del Llop. Además de las superficies artificiales representadas en parte, por Muro de Alcoy, El Fontanar, Ceta de Nuñez y otros pequeños asentamientos; la zona también tiene espacios cuyas tasas en la pérdida de suelo son de bajas a muy bajas.

La región sur de la subcuenca (límite norte de la sierra Mariola) a pesar de tener pendientes muy abruptas, presenta unas pérdidas de suelo prácticamente nulas, debido a la litología dominante de calcarenitas, dolomías y margas, cubiertas por bosques de coníferas. De igual manera ocurre al norte (Olcina, La Solana, Pla de la Codolla, Banyest y Cueva Alta), lugar dominado por calizas pero cubierto con pastizales naturales y vegetación esclerófila, donde destaca un leve incremento en la erosión media (valores entre 5 y 10 tn/ha/año con algunas zonas de 10 – 25 tn/ha/año), asociado a la franja de valores extremos en el factor R.

Finalmente, las elevadas tasas en la pérdida de suelo son provocadas por las intensas actividades agrícolas, especialmente frutales, desarrolladas sobre suelos de baja competencia (*xerorthent*) en pendientes moderadas.

- Subcuenca del río Molinar

Con un total de 46,01 km², la U.H. II genera un total de 28,076 tn/ha/año de sedimentos. Las zonas con mayor producción se concentran al norte y oeste, respectivamente; sin embargo el rango dominante fluctúa entre 10 y 50 tn/ha/año (bajo-moderado). Toda la subcuenca está enmarcada en el menor rango del factor R (102,4 – 123,2 MJ·mm·ha⁻¹·h⁻¹·año⁻¹), sobre materiales calcáreos oligoceno-mioceno, excepto la zona oeste donde se explayan cantos, gravas y limos, asociados a mantos de arroyadas.

La mayor emisión de sedimentos se produce en las divisorias de los arroyos del Regal y de la Saria, en las subcuencas de los Bco. de La Batalla y la Salut y en las inmediaciones de la CV-70 al este de Alcoy, donde se presentan parcelas con mosaicos de cultivos y olivares.

En el resto de la subcuenca del Molinar y el flanco noroeste de la sierra dels Plans la emisión de sedimentos es muy baja a nula, debido a la cobertura protectora formada por bosques de coníferas y frondosas, que representan un factor C inferior a 0.0015.

- Subcuenca del río Barxell, Bco. del Cinc y Serpis Alto

Este conjunto de subcuencas comprenden las escorrentías menores provenientes de la sierra Mariola al oeste (U.H. III y VIII) y del límite oriental de la sierra de Menechaor (U.H. IV).

En la subcuenca del río Barxell o Riquer (36,24 km²) se producen 17,773 tn/ha/año principalmente en la zona de confluencia con el Serpis. El resto emite cantidades menores a 10 tn/ha/año ya que las calcarenitas, calizas y dolomías (litología dominante) están cubiertas por pastizales naturales y en menor proporción, por coníferas. Destaca adicionalmente, la urb. El Baradello donde la emisión es nula por tratarse de superficies artificiales.

Por otra parte, la subcuenca del Bco. del Cinc o Bou con una extensión de 12,60 Km², emite 4,026 tn/ha/año de sedimento directamente a la cabecera del Serpis. Generalmente la tasa de pérdida de suelo está entre valores de 0 y 25 tn/ha/año, excepto en la zona de confluencia en Alcoy, lugar donde la erosión es nula. Las características litológicas, edafológicas, cobertura vegetal y pendientes al ser muy similares a la subcuenca descrita anteriormente, los valores de los factores presentes en la ecuación USLE tienen un comportamiento relativamente igual.

La subcuenca del Serpis Alto, designada como U.H. IV, ocupa una superficie de 10,31 km², las cuales generan 4,440 tn/ha/año en pérdida de suelo. Estos valores son muy bajos, debido a que la subcuenca se extiende en gran parte, por todo el asentamiento urbano de Alcoy, y en laderas al oeste (sierra Mariola) y sureste, repobladas por bosques de frondosas y coníferas. Sin embargo, en la Umbría del Manco las parcelas tienen valores intermedios en la tasa de erosión, entre 25 – 50 tn/ha/año que pueden alcanzar puntualmente las 100 tn/ha/año, debido a los terrenos destinados a olivares.

5.4 Producción anual de sedimentos

La conversión del suelo perdido en sedimento no es inmediata. Una vez que es dividido el agregado del suelo en partículas cada vez más pequeñas, estas pueden permanecer en el sitio inicial que ocupaba el agregado, o desplazarse arrastradas aguas abajo por cualquier escorrentía superficial u otro agente de transporte (viento, hielo, etc.). En el primero de los casos se afirma que el proceso de erosión está limitado por la producción de sedimento, sin embargo, sí es perceptible y medible el

desplazamiento del suelo, se dice que la erosión está limitada por el transporte. Este último proceso será tratado a detalle en el siguiente apartado.

Al ya disponerse del mapa de niveles erosivos por unidad de superficie, se ha calculado la tasa promedio de erosión en cada una de las subcuencas vertientes o unidades hidrológicas (UH). A partir de la extensión de dichas subcuencas se ha determinado la tasa de producción, proporcionándose de esta manera, los valores de sedimentos emitidos anualmente. Los resultados de producción de sedimentos de las U.H. se presentan en la tabla XLVII en términos específicos y absolutos, es decir, en tn/ha/año y en tn/año, respectivamente.

Al observarse los valores de sedimentos emitidos en zona de estudio, resalta una mayor producción específica en los ríos cuyas cuencas abarcan parte de las áreas con mayores niveles de erosión. El río Valleseta y su cuenca drenante representan la zona con más fuerte producción específica, ya que la cabecera está dominada geomorfológicamente por relieves con pendientes abruptas (factor LS alto) y sobre suelos muy sensibles a los fenómenos erosivos, que se traduce en elevados valores del factor K.

Las subcuencas de Beniárres y Serpis Medio, le siguen en cuanto a sedimentos producidos; en la primera de estas, adicionalmente al tipo de suelo poco competente que domina la región, las precipitaciones son elevadas, hecho que conlleva a un alto valor del factor R. Por otra parte, en la cuenca del Serpis Medio la tasa de producción específica es alta porque la divisoria incluye zonas intensamente cultivadas, donde el factor C es elevado.

Respecto a las cuencas de menor producción específica, por lo general, son las que abarcan menor superficie y se ubican en la cabecera del río. En estas zonas, los valores de R son menores comparados con los presentes al este, y la vegetación natural cubre ampliamente las rocas calizas que conforman las partes más elevadas de la cuenca.

En resumen, la producción total de sedimentos es más elevada en cuencas de mayor extensión, por ejemplo las del Valleseta y el Penáguila, donde la producción es proporcional a la superficie drenada.

Unidad Hidrológica (U.H)	Superficie (km ²)	Producción específica (tn/ha/año)	Producción total (tn/año)
I Río Polop	51,43	65,815	338486,545
II Río Molinar	46,01	28,076	129177,676
III Río Barxell	36,24	17,773	64409,352
IV Serpis alto	10,31	4,440	4577,640
V Río Penáguila	72,09	78,368	564954,912
VI Río Valleseta	67,96	149,482	1015879,670
VII Serpis medio	67,04	83,061	556840,944
VIII Bco. del Cinc	12,59	4,026	6276,534
IX Río Agres	27,37	48,214	131961,718
X Bco. de Almudaina	27,84	59,615	165968,160
XI Beniárres	46,45	97,768	454312,360
TOTAL	465,33		3432665,51

Tabla XLVII. Producción específica y total de sedimentos en las U.H. Fuente: Elaboración propia.

Al aplicar el modelo USLE en la cuenca drenante al embalse de Beniarrés, se ha determinado una producción total de sedimentos de **3.432.666 tn/año**. Con respecto a la tasa o producción específica, esta tiene un valor de **7376,8 tn/km²/año**.

6 TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

A partir del movimiento de los sedimentos en las corrientes fluviales puede calcularse la pérdida de suelo en una cuenca, no obstante, este procedimiento debido a lo costoso y tiempo que lleva su realización, suele ser inviable. Además, su precisión puede ser baja a pesar de disponerse datos correctos sobre el movimiento de una corriente, ya que se desconoce en gran medida de dónde procede el suelo y cuándo se inició su desplazamiento. Sin embargo, las comparaciones del movimiento en diferentes corrientes, o en distintas épocas del año, o de cuencas en las que difieren los usos del suelo, puede resultar de gran utilidad.

La forma en que un río transporta su carga de sedimentos varía de acuerdo al tamaño de grano de estos. Por una parte, la carga constituida por los sólidos más finos o sedimentos en *suspensión* (arcillas, limos y arenas finas) está controlada por la velocidad del agua y por la velocidad de sedimentación (velocidad a la cual cae una partícula a través de un fluido inmóvil), es decir, cuánto más lenta sea esta última y más fuerte la turbulencia, más tiempo permanecerá un grano suspendido y más lejos será transportado aguas abajo por el flujo. Estos sedimentos sólo se asientan bajo unas condiciones de disminución de energía del medio, por ejemplo, cuando la velocidad de la corriente disminuye por pérdida de rugosidad del lecho o al desembocar en un lago o en un cuerpo de aguas más tranquilas.

La carga sedimentaria de mayor tamaño que al ser demasiado grande para ser transportada en suspensión, se mueve a lo largo del lecho de la corriente y recibe el nombre de *carga de fondo*. Estos granos se desplazan por rodamiento, deslizamiento y *saltación*. Las partículas más grandes o densas, según sus formas, ruedan o se deslizan por el fondo; pero otras viajan mediante saltos o rebotes, cuando los granos al colisionar son impulsados hacia arriba o levantados por la corriente y luego transportados cortas distancias corriente abajo en suspensión, hasta que la gravedad los atrae nuevamente hacia el lecho. Cabe destacar que la acción de molienda de la carga de fondo es de gran importancia en términos de trabajo erosivo realizado por las corrientes (Hudson, 1997).

Las cantidades relativas de sedimentos que avanzan suspendidos y como carga de fondo, varían considerablemente. Sí el sedimento procede de suelos de grano fino (limos depositados por el viento o arcillas aluviales), la carga será transportada casi

en su totalidad de manera suspendida, pero en caso un contrario, una corriente de rápidos montañosos suele tener cantidades insignificantes de material en suspensión y la totalidad del movimiento de la carga, constituida en parte por gravas y guijarros, se produce en el lecho de la corriente (arrastre de fondo).

El muestreo para calcular la carga en suspensión de una corriente es relativamente sencillo (muestreo al azar, toma continua de muestras y mediante muestreadores, como el de punto, de bombeo o integrador de profundidad) pero por otra parte, la toma de una muestra representativa del sedimento de fondo tiene mayor dificultad. Los principales métodos para determinar esta carga de arrastre son las mediciones directas, muestreadores, trazadores radioactivos, o en tal caso, estimaciones empíricas.

Como se ha dicho anteriormente, hay varias causas posibles de error cuando se intenta de relacionar la cantidad del sedimento medido en las corrientes y la erosión dentro de la cuenca hidrográfica (Hudson, 1997).

La primera causa posible, está asociada a la existencia de cantidades importantes de material erosionado que posteriormente se depositan sin llegar a la corriente, por lo tanto, no contribuyen al sedimento transportado aguas abajo. Esta proporción de sedimento que llega a la corriente comparada con la pérdida bruta de suelo dentro de una cuenca se denomina *relación de distribución*, y se estima en 1% en zonas donde existen depresiones y espesa vegetación en las que se retiene la mayor parte del material removido.

En segundo lugar está el factor tiempo. En una cuenca de gran tamaño, el sedimento puede sufrir varias etapas sucesivas de erosión y depósito, antes de que finalmente llegue a la corriente. De este modo, una muestra de dicho sedimento podría incluir material erosionado en su origen varios años antes.

Finalmente, la tercera dificultad radica en que la carga de la corriente incluye sedimentos provenientes de diversas fuentes, cada una con relaciones de distribución muy distintas. Por ejemplo, el sedimento emitido por derrumbes de las orillas de zanjas o en las riberas de los ríos, se incorporará inmediatamente al caudal de la corriente, mientras que el suelo en pequeñas áreas cultivadas o en zonas boscosas, podría tener tasas de erosión local elevadas, pero aportar poco a la carga total de sedimentos.

En el presente apartado se desarrolla un estudio de transporte de sedimentos a partir de los volúmenes acumulados en el embalse de Beniarrés, ya que previamente se realizó una batimetría de precisión con un mínimo de fiabilidad, cuyos análisis han permitido realizar una estimación de los volúmenes transportados desde la fecha de construcción y funcionamiento de la presa hasta el momento de cuantificación de dichos volúmenes. Se ha optado por aplicar esta metodología, ya que no existen registros históricos de aportes sedimentarios.

Todo el volumen acumulado puede estimarse siempre y cuando se conozcan al menos dos batimetrías del fondo del embalse, además de la densidad de los depósitos presenten en el fondo. Por otra parte, debido a que no toda la carga sedimentaria que circula por el embalse es depositada en el fondo (una fracción de sedimentos continua su transporte aguas abajo), se debe estimar la eficiencia que tiene la presa para retener los sedimentos.

6.1 Datos disponibles en el embalse

Como se ha descrito en el apartado 3.2.1; el embalse de Beniarrés drena una superficie de 465,33 km² desde abril de 1958, fecha en que inicia su funcionamiento destinado principalmente al riego de huertas y cultivos. Inicialmente se proyectó con una capacidad de 30,835 Hm³, pero en el año 1993, cuando el CEDEX realizó el último estudio de batimetría, su capacidad a NMN se ha visto reducida a 27 Hm³.

En otro contexto, el CEDEX (1991) también llevo a cabo un estudio sedimentológico al embalse aportando de esta manera datos granulométricos y de densidad aparente de los sedimentos, los cuales serán cotejados con valores estimados mediante modelos y formulaciones planteadas.

Cuando se valoren los resultados de sedimentos acumulados en el embalse, se tendrán presentes errores potenciales del método, como la presencia de carbonatos autóctonos en el embalse que pueden influir aumentando la tasa de degradación específica en la cuenca, o por lo contrario, las prácticas de gestión de sedimentos (vaciados, dragados, etc) pueden dar valores de degradación inferiores a los reales de no tenerse en cuenta. Finalmente, ya se ha evaluado la producción de sedimentos en la zona de estudio resultando en 3432665.5 tn/año con una tasa de producción específica de 7376,8 tn/km²/año.

6.2 Volúmenes acumulados. Medida del aterramiento

Mediante las batimetrías realizadas por el CEDEX se han estimado los volúmenes de sedimentos que anualmente se retienen en el embalse. Para el cálculo se han utilizado los datos resumidos en la tabla XLVIII.

Año de construcción	1958
Capacidad inicial a NMN (V_0)	30,835 Hm ³
Año de la batimetría	1993
Capacidad a la fecha de la batimetría (V_{bat})	27,004 Hm ³

Tabla XLVIII. Resultados del estudio batimétrico elaborado en el embalse de Beniarrés.
Fuente: CEDEX, 1993.

Se observa que desde los años 1958 hasta 1993 (35 años de funcionamiento), se ha acumulado un volumen total de 3,831 Hm³ de sedimentos.

$$Volumenes\ acumulados_{(35\ años)} = Volumen_0 - Volumen_{bat}$$

$$Volumenes\ acumulados_{(35\ años)} = 30,835\ Hm^3 - 27,004\ Hm^3$$

$$Volumenes\ acumulados_{(35\ años)} = \mathbf{3,831\ Hm^3}$$

Por lo tanto, anualmente se acumulan un total de 109457 m³/año.

$$Tasa\ anual\ de\ acumulación = \frac{Volumen\ acumulado}{años} = \frac{3,831\ Hm^3}{35\ años}$$

$$Tasa\ anual\ de\ acumulación = 0.109\ Hm^3/año = \mathbf{109457m^3/año}$$

6.3 Densidad de los depósitos acumulados en el embalse

Los criterios para estimar la densidad de los sedimentos depositados en una masa de agua son todos empíricos, por lo tanto, sus resultados deben tomarse con cierta reserva.

Para la determinación de la densidad (γ_T), se ha utilizado el modelo planteado por Lane y Koeltzer (1943), los cuales con base a mediciones en embalses, proponen una ecuación, tomando en cuenta el tamaño de las partículas o granulometría de los sedimentos, la forma de operación del vaso y el tiempo transcurrido en años.

$$\gamma_T = \gamma_0 + K \log (T - 1)$$

Esta fórmula sería modificada más tarde por Miller (1953), al integrar con respecto del tiempo e introduciendo la constante K para determinar dicha densidad después de un período T de operación del embalse (siempre y cuando los sedimentos se depositen de una manera uniforme), sin embargo, parte de los sedimentos que se depositarán en el vaso en cierto lapso de tiempo y los ya existentes en ese período, serán muy diferentes respecto a los tiempos de consolidación.

$$\gamma_T = \gamma_0 + 0.4343 K \left[\left(\frac{T}{T-1} \ln T \right) - 1 \right]$$

Siendo γ_0 la densidad (tn/m^3); K un parámetro de consolidación adimensional (constante basada en el tipo de operación del vaso y el tamaño del sedimento), y T el tiempo en años. Para determinar la γ_0 se emplea la siguiente ecuación:

$$\gamma_0 = \frac{(\gamma_{0(\text{arena})} \times \% \text{ arena}) + (\gamma_{0(\text{limo})} \times \% \text{ limo}) + (\gamma_{0(\text{arcilla})} \times \% \text{ arcilla})}{100}$$

De igual manera, para K se utiliza:

$$K = \frac{(K_{(\text{arena})} \times \% \text{ arena}) + (K_{(\text{limo})} \times \% \text{ limo}) + (K_{(\text{arcilla})} \times \% \text{ arcilla})}{100}$$

Los valores de γ_0 y K se han obtenido de la tabla II, mientras que los porcentajes de las diferentes granulometrías (tabla L) son el resultado del estudio hecho por el CEDEX (1991).

Estado del sedimento	Arena		Limo		Arcilla	
	γ_0 (tn/m^3)	K	γ_0 (tn/m^3)	K	γ_0 (tn/m^3)	K
Sedimentos siempre sumergidos o casi sumergidos	1.490	0	1.041	0.091	0.481	0.256
Sedimentos sumergidos excepto en raras ocasiones / disminución moderada del embalse	1.490	0	1.185	0.043	0.737	0.171
Sedimentos con cambios mojado – seco / disminución considerable del embalse	1.490	0	1.266	0.016	0.961	0.096
Sedimentos secos / embalse normalmente vacío	1.490	0	1.314	0	1.245	0

Tabla II. Valores de densidad inicial y K para diferentes estados de los sedimentos en embalses.
Fuente: Lane y Koeltzer, 1943.

% Arena	% Limo	% Arcilla
1,61	79,09	19,30

Tabla L. Porcentajes en las fracciones de arena, limo y arcillas de los sedimentos del embalse de Beniarrés. Fuente: CEDEX, 1991.

Para el cálculo de la densidad, se ha trabajado con los coeficientes γ_0 y K considerando los sedimentos como siempre sumergidos.

$$\gamma_0 = \frac{(1.490 \times 1.61) + (1.041 \times 79.09) + (0.481 \times 19.30)}{100} = \mathbf{0,94 \text{ tn/m}^3}$$

$$K = \frac{(0 \times 1.61) + (0.091 \times 79.09) + (0.256 \times 19.30)}{100} = \mathbf{0,12}$$

$$\gamma_T = 0.94 \frac{\text{tn}}{\text{m}^3} + 0.4343 \times 0.12 \left[\left(\frac{33}{33-1} \ln 33 \right) - 1 \right]$$

$$\gamma_T = \mathbf{1,078 \text{ tn/m}^3}$$

Según CEDEX (1991), la densidad aparente de los sedimentos del embalse de Beniarrés es de **1,022 tn/m³**. Dicho cifra además de ajustarse a los valores para masa de sedimentos constantemente sumergidos, es muy cercana a la calculada, por lo tanto, un valor comprendido entre un rango de 1,05 y 1,10 tn/m³ puede considerarse adecuado.

6.4 Eficiencia de retención de sedimentos

La eficiencia de retención es la relación entre el sedimento depositado y el flujo total durante un periodo dado, dentro del tiempo de vida útil de un embalse.

Los principales factores que influyen en la eficiencia de retención o captación del embalse son la velocidad de caída de las partículas en el agua, que a su vez está en función de las características de los sedimentos (textura y su estructura); y el tiempo de retención al interior del embalse. Este último depende del flujo entrante (volumen del evento de crecida, caudal pico, flujo base, etc.) y de algunas características del embalse tales como su capacidad, curva cota – superficie y curva cota – volumen, morfología del vaso, tipo, forma y ubicación de los aliviaderos, almacenamiento inicial, y métodos de operación.

Debido a que gran parte de los países en vías de desarrollo no disponen de datos de flujos de entrada aguas arriba de los embalses, por los elevados costos que conllevaría la instalación de estaciones de medición; se emplean métodos empíricos que relacionan la eficiencia de retención con variables asociadas tanto a la presa (capacidad) como al flujo (aportaciones líquidas en entrada a la presa). Uno de estos métodos, ampliamente alrededor del mundo, debido a su versatilidad y precisión, a

partir de datos disponibles fácilmente; es el planteado por Brune (1953), el cual relaciona la eficiencia de retención con el ratio (C/I) entre aportación líquida anual (m^3) y capacidad del embalse (m^3). Brune desarrolló la curva eficiencia de retención – ratio C/I , a partir de mediciones hechas en 44 embalses de Estados Unidos (Mulu y Dwarakish, 2015), partiendo de la ecuación:

$$Te = 1 - \frac{0.5}{\sqrt{\Delta\tau_r}}$$

Donde, Te es la eficiencia de retención en porcentaje y $\Delta\tau_r$, la variación de tiempo de residencia en años.

$$\Delta\tau_r = \sum_{i=1}^{nj} Vi / I$$

Siendo V la capacidad de almacenamiento del embalse en km^3 e I , las aportaciones en $km^3/día$.

En la figura 59 se muestra la curva estándar trazada en el gráfico eficiencia de retención (porcentaje de sedimentos capturados) y ratio capacidad-aportación. Las tres curvas (mediana, envolvente máxima y envolvente mínima) son producto de la dispersión de los puntos analizados que representan a las presas, y asociada a la textura de los sedimentos que entran al embalse. El SCS del USDA, sugiere que la curva superior sea utilizada en caso de predominar los sedimentos gruesos (arena), la mediana para sedimentos mixtos y la inferior para sedimentos finos (limos y arcillas).

Heinemann (1981), define el Te como la cantidad de sedimentos entrante depositado o atrapado en el embalse, mediante la expresión:

$$Te = \frac{V_i - V_o}{V_o} \times 100$$

Donde V_i es la carga de sedimentos entrante y V_o , la carga de salida.

A partir de este modelo se desarrolló el planteado inicialmente por Brune (1953) en:

$$Te = 100 \times \left[\frac{K}{0.012 + 1.02 K} \right]$$

Siendo K el producto entre el índice de sedimentación (SI) y aceleración de la gravedad. SI es calculado mediante la ecuación siguiente, siendo L la extensión del embalse.

$$SI = \left(\frac{C}{I}\right)^2 / L$$

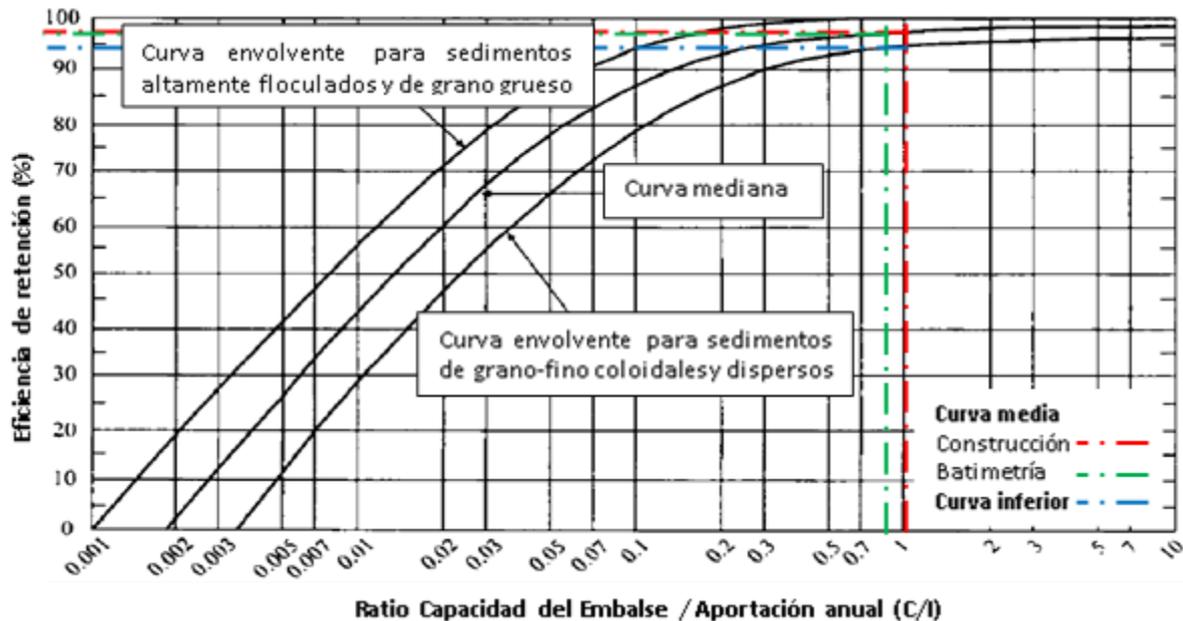


Figura 59. Eficiencia de retención de sedimentos. Fuente: Brune (1953).

Debido a que la capacidad del embalse varía con los años, es de esperarse que la eficiencia de retención también cambia con el tiempo. Esta variación se ve reflejada en las curvas con un cambio en el ratio capacidad/aportación. Si disminuye la capacidad del embalse, la eficiencia de retención también disminuirá de manera relativamente proporcional según la magnitud de dicha pérdida y el tipo de embalse.

En la tabla LI se resumen los datos del embalse útiles para determinar los ratios C/I y de esta forma hallar la eficiencia de retención de sedimentos a las fechas de construcción y batimetría, respectivamente.

$$\text{Ratio } \frac{C}{I} = \frac{\text{Capacidad}_{\text{construcción}}}{\text{Aportación}} = \frac{30.835}{30.63} = \mathbf{1.0054}$$

$$\text{Ratio } \frac{C}{I} = \frac{\text{Capacidad}_{\text{batimetría}}}{\text{Aportación}} = \frac{27.004}{30.63} = \mathbf{0,8816}$$

EMBALSE DE BENIARRÉS	
Aportación (Hm ³ /año)	30,63
Área (km ²)	465,33
Aportación (Hm ³ /km ² /año)	0,0658
Capacidad a la construcción (Hm ³)	30,835
Capacidad a la batimetría (Hm ³)	27,004
Ratio C/I Construcción	1,0054
Ratio C/I Batimetría	0,8816

Tabla LI. Datos para determinar los ratios C/I. Fuente: Elaboración propia (2018).

Con estos valores, la eficiencia de retención en el embalse está en el orden del **97%** tanto para el momento de su construcción como para la fecha de la batimetría, ya que la disminución es prácticamente imperceptible en la gráfica (Figura 59). No obstante, debido a los eventos de crecida con carácter torrencial que caracterizan la zona, es de esperarse que la eficiencia de retención en el embalse sea inferior a la media, por lo tanto, al realizarse el mismo análisis pero tomando en consideración la curva para sedimentos de grano fino, el resultado de T_e cambia a **94%**.

6.5 Degradación específica de la cuenca vertiente al embalse

6.5.1 Método de estimación directo

La medida del aterramiento del embalse de Beniarrés para el periodo de 1958 – 1993 estimó un volumen de bancos de sedimentos en el fondo del vaso de 3831000 m³. La eficiencia de retención de la presa según el método de Brune (1953) es 94 %, por lo tanto, el material aportado desde la cuenca vertiente al embalse en dicho periodo de tiempo, fue de 4075532 m³. Para transformar el dato de volumen a masa se utiliza el valor de la densidad, la cual par estos sedimentos es de 1,022 tn/m³.

Para el cálculo de la degradación específica media en la cuenca vertiente al embalse de Beniarrés estimada a partir de la medida directa del aterramiento, se ha utilizado la siguiente ecuación planteada por Avendaño, *et al.* (1993):

$$DE = \frac{SAE}{Tf \times (Ac - Ae)}$$

Donde, SAE es la degradación específica de la cuenca (tn/km²/año), Tf tiempo de funcionamiento del embalse, Ac y Ae superficies de la cuenca y del embalse (km²).

De esta manera, el valor resultante es de **257,23 tn/km²/año**.

$$DE = \frac{(4075532 \times 1.022) \text{ tn/km}^2/\text{año}}{35 \text{ años} \times (465.33 - 2.68) \text{ km}^2} = 257,23 \text{ tn/km}^2/\text{año}$$

6.5.2 Estimación indirecta. Coeficiente de entrega (*SDR*)

Una manera ampliamente aceptada para obtener la producción de sedimentos de una cuenca, radica en afectar la erosión promedio anual (E_s) multiplicándola por un factor o coeficiente de entrega (*SDR*) el cual está calibrado en función del área de las zonas estudiadas, hecho que implica de antemano una importante condición en lo que a su extrapolación se refiere (Wischmeier y Smith, 1978). En la figura se presenta el gráfico para la obtención de este coeficiente.

$$\text{Producción Anual de Sedimentos} = E_s \times SDR$$

Este factor es un parámetro concentrado, es decir, la producción de sedimentos está definida a la salida de la cuenca, no pudiendo visualizarse como se redeposita el sedimento en las zonas planas.

En la figura 60 se presenta el gráfico para la obtención del factor de entrega, en función del área de la cuenca en km². El resultado obtenido es de **0,068**.

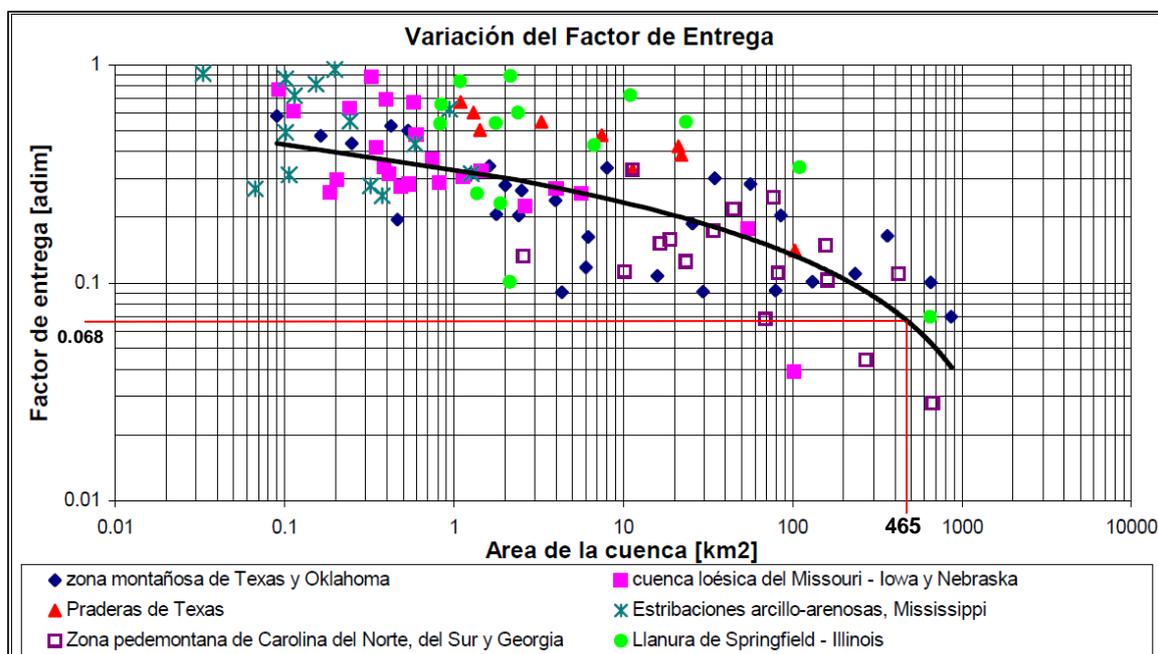


Figura 60. Factor de entrega (F_E) en función del área de la cuenca en km² (465.33 km²). El valor del coeficiente obtenido es de 0.068. Fuente: Wischmeier y Smith, 1978.

El coeficiente de entrega representa la cantidad total de sedimentos que alcanzan una determinada sección de un cauce, o, en general, en el desagüe de la cuenca, en un intervalo de tiempo específico. La predicción del *SDR* es de gran interés en la gestión de arroyos y cuencas debido a las crecientes preocupaciones en aspectos como, calidad del agua, hábitats acuáticos, biodiversidad y vida de las estructuras artificiales (presas, puentes puertos y sistemas de suministro de agua). El *SDR* (*Standard Delievery Ratio*) se define como la relación entre la aportación de sedimentos en un punto de la cuenca (*SD*) y la tasa de erosión bruta de esta, aguas arriba de dicho punto (*SY*). De esta forma, se proporciona de manera conveniente una estimación sobre la producción de sedimentos en cualquier punto de interés.

$$SDR = SD / SY$$

Se afirma que si la relación entre el *SDR* y los factores influyentes está bien establecida, la ecuación sería de gran ayuda para estimar la producción de sedimentos en lugares no contaminados. Debido a la simplicidad en el concepto y la capacidad de vincular la erosión en el sitio con la producción de sedimentos río abajo, los estudios del ratio de aportación han recibido especial atención. El *SDR* se ve afectado por procesos fluviales que operan en una variedad de escalas espaciales, desde pendientes a canales.

Los factores que afectan al coeficiente de entrega incluyen casi todas las variables que representan al régimen hidrológico (por ejemplo, inundaciones y precipitaciones) y las propiedades de las cuencas hidrográficas (topografía, vegetación y uso del suelo). Debido a la multitud de factores que influyen y sus interacciones, es difícil identificar los controles dominantes en el *SDR*; además las relaciones establecidas entre ellos son en parte empíricas y difícilmente extrapolables.

Estos factores pueden agruparse en tres categorías: factores de precipitación (*P* profundidad de la precipitación, *I*₃₀ máxima intensidad de precipitación registrada en 30 minutos, *E* energía cinética de la lluvia, *T_p* duración de la lluvia en minutos), factores asociados a una inundación (profundidad de la escorrentía en una inundación, descarga de flujo máximo durante el evento, concentración máxima de sedimentos, duración, entre otros) y factores de la superficie terrestre anteriores a la inundación (humedad del suelo, cobertura vegetal, etc.). El *SDR* no solo se relaciona

con la descarga del flujo sino también con las propiedades reológicas e hidráulicas de estos, que dependen en gran medida de la carga suspendida.

La aportación de sedimentos en el embalse (SD) se ha determinado con los datos de la batimetría del CEDEX, mediante:

$$SD = [V_{\text{sedimentos acumulados por año}} \times \text{densidad de los sedimentos}] \text{ Coef. retención}$$

$$SD = 109457 \text{ m}^3/\text{año} \times 1.022 \text{ tn/m}^3 = 111865,1 \text{ tn/año}$$

Esta aportación equivale al 94 % de los sedimentos retenidos en el embalse, por lo tanto, la aportación total es de 119005,4 tn/año.

El SY es la tasa de producción bruta de sedimentos en la cuenca drenante, determinada mediante USLE resultando en 3432665.51 tn/año.

$$SDR = 119005,4 / 3432665,51 = \mathbf{0,034}$$

Finalmente, la degradación específica (DE) determinada mediante el coeficiente de entrega SDR es de **255.74 tn/km²/año**.

$$DE = \left(\frac{3432665,51}{465,33} \right) \times 0,034 = \mathbf{255,74 \text{ tn/km}^2/\text{año}}$$

Los resultados de las tasas de degradación específica obtenidas para la cuenca vertiente al embalse de Beniarrés mediante un método indirecto (coeficiente de entrega), muestra un mínima desviación con respecto al valor obtenido a partir del volumen acumulado. Bajo estas circunstancias, es posible aplicar con cierto grado de fiabilidad, los métodos indirectos a otras cuencas hidrográficas siempre y cuando, tengan características fisiográficas similares.

6.6 Vida útil del embalse

El concepto de tiempo de vida para embalses (*life expectancy*), es un término económico y describe el tiempo en el cual se estima que el embalse este completamente colmatado de sedimentos. Su evaluación comprende la observación de aspectos tales como, formaciones geológicas, deforestación por tala o quema de la maleza y los bosques, pastoreo intensivo en pastizales y praderas, así como, las amenazas naturales incluyendo deslizamientos e inundaciones; y los cambios en el uso del suelo. Todos estos factores son capaces de modificar tanto el funcionamiento

del embalse, como el tiempo de vida previsto inicialmente. Este periodo de tiempo dependiente de la aportación anual de sedimentos proveniente de la cuenca drenante (los caudales sólidos medios anuales son útiles para estimaciones a largo plazo), representa una duración promedio donde la explotación del embalse es considerada factible económicamente. A pesar de esto, el análisis de eventos extremos es de vital importancia en casos de embalses con tiempos cortos de vida útil y grandes variabilidades en la tasa de sedimentos descargados anualmente.

La probabilidad de ocurrencia de uno o varios de estos eventos podrían alterar el aterramiento del embalse disminuyendo de esta manera, los tiempos de duración esperados.

Para determinar el tiempo de vida del embalse de Beniarrés se ha utilizado la expresión planteada por Julien (2010), en la cual los datos de entrada son la capacidad de almacenamiento o volumen inicial del embalse (V_0), la aportación media anual de sedimentos en el punto de interés (SD), la distribución granulométrica (Δp_i) y la densidad (γ_T) de dichos sedimentos, y la eficiencia de retención del embalse (T_E). La distribución de los tamaños de las partículas aparecen en la tabla L (apartado 6.3).

$$T_R = \frac{V_0 \times \gamma_T}{\sum T_E \times \Delta p_i \times SD}$$

$$T_R = \frac{30835000 \text{ m}^3 \times 1,022 \text{ tn/m}^3}{(0,94 \times 0,016 \times 119005 \frac{\text{tn}}{\text{año}}) + (0,94 \times 0,79 \times 119005 \frac{\text{tn}}{\text{año}}) + (0,94 \times 0,19 \times 119005 \frac{\text{tn}}{\text{año}})}$$

$$T_R = \mathbf{281,7 \text{ años}}$$

Según este modelo, el embalse de Beniarrés se proyectó con un tiempo de vida de 281,7 años. Este valor corresponde a un aterramiento total del vaso del embalse. Por lo tanto, desde que inició su funcionamiento (1958) hasta la actualidad, han transcurrido un total de 60 años; restando **221,7** años para su colmatación en caso de no realizarse ninguna medida de control ya sea en la cuenca o directamente en el propio embalse. Al aplicar nuevamente la ecuación, pero reduciendo la capacidad del embalse en un 80% (24668000 m³), ya que por encima de este valor se considera que la explotación de los embalses ya no es factible económicamente, se obtiene un tiempo de vida útil de 225,4 años; de los cuales resta a día de hoy, **165,4 años**.

7 MEDIDAS DE CONTROL DE LA SEDIMENTACIÓN

Para enfrentar la problemática asociada a la acumulación de sedimentos en embalses, existen diversas alternativas, pero es conveniente señalar que la solución no está en la aplicación de una sola técnica, sino en la combinación de acuerdo con cada problema específico.

7.1 Soluciones directas

Las soluciones directas son aquellas en las que se extrae el sedimento depositado dentro del vaso, ya sea mediante dragado o vaciado del embalse.

- Dragado

Este procedimiento tiene como finalidad el mantenimiento de la capacidad de uso del embalse al máximo rendimiento posible mediante la socavación del fondo. A pesar de ser una técnica costosa, el incremento en la demanda de agua acompañada con la falta de sitios óptimos para ubicar nuevos embalses, hacen que el dragado, capaz de aumentar la profundidad / volumen del embalse, continúe siendo una solución muy ejecutada en la actualidad.

Al ser el embalse de Beniarrés un sistema de gran capacidad, es conveniente por motivos operacionales (navegación, reparación de compuertas, etc.), el dragado sólo en ciertas zonas; ya que la cantidad de sedimentos retirados puede ocasionar problemas de almacenamiento en otros lugares; teniendo en cuenta que los intentos de reutilizar este material para la regeneración de suelos, han sido poco exitosos, en parte por el predominio de materiales arcillosos que impermeabilizan y disminuyen la textura del suelo.

Adicionalmente, otra causa para dragar el embalse radica en el control de nutrientes ya que una porción del sedimento es orgánico y contiene nitrógeno amoniacal y fósforo; de igual forma, también el mecanismo permite la retirada de otras sustancias, como metales o materia orgánica tóxica, caso de pesticidas. A pesar de esto, hay que tener en cuenta que el efecto del dragado puede tener un carácter potencialmente negativo por la movilización o liberación parcial de los nutrientes y materiales tóxicos acumulados a lo largo del tiempo y que hasta el momento no representaban ningún efecto negativo. Otra consecuencia es el aumento de la turbidez y de los sólidos en suspensión (Armengol, 1998).

Finalmente, una causa de gran importancia que determina el dragado parcial del embalse es la erradicación de los macrófitos enraizados. Debido a las grandes fluctuaciones de nivel que experimentan los embalses en España e imposibilitan la proliferación y desarrollo de macrófitos, este fenómeno no es frecuente; más bien se estimula el crecimiento de esos organismos para que actúen como filtros biológicos y zonas de sedimentación.

- Vaciado

El vaciado consiste en arrastrar a través de la fuerza tractiva o de corte del agua, el material depositado en el fondo del vaso, haciendo descender el nivel del agua en el embalse hasta vaciarlo. El procedimiento, muy eficiente en muchos casos, implica necesariamente que el vaso no tenga una superficie tan grande, que exista una toma profunda de gran capacidad y que sea posible perder un volumen importante de agua para efectuar el lavado. Por otra parte, hay que tener en cuenta que siempre que se llevan a cabo los desembalses, estos representan una clara afección al medio, dando lugar a problemas ambientales difíciles de solventar. Debido a esto, es básico seguir un protocolo de actuación y control para minimizar los efectos negativos ocasionados por el vaciado, actuado así a nivel de conservación de la cuenca (Palau, 1998).

Los motivos que conducen a la necesidad de realizar vaciados completos de embalses aunque pueden resumirse en 1) seguridad y operatividad de los mecanismos de regulación de las presas y, 2) de los desagües de fondo. El nivel de aterramiento, el grado de eutrofia del embalse y las características hidrológico-hidráulicas del río aguas abajo, condicionan los efectos sobre el ecosistema fluvial de estas actuaciones. Entre las principales condicionantes que podrían alterar la elaboración y planificación del vaciado total del embalse se incluyen:

- El suministro de agua; ya que la interrupción en el abastecimiento de los recursos hídricos durante el período de inactividad del embalse, afecta a usuarios directos e indirectos (siendo los más sensibles, los núcleos de población y el suministro destinado al riego), cuyo calendario de uso puede o no ser compatible en las necesidades de agua.
- El régimen hidrológico del río; el vaciado debe tener en cuenta dicho régimen debido a las aportaciones entrantes al embalse (duración del vaciado), al riesgo de avenidas

y a la disponibilidad de caudales requeridos para llenar nuevamente embalse en el menor tiempo posible y restableciendo el suministro normal de agua.

- El estado trófico del embalse; es conveniente estudiar la mezcla y estratificación del agua embalsada en la medida que influyen en la calidad de las aguas salientes (específicamente, las de fondo o hipolimnéticas) y aguas abajo del río.
- Las características de la presa y el estado de los desagües de fondo; el éxito de un proyecto de vaciado depende de un conjunto de condicionantes como, volumen de agua embalsada, dispositivos de vaciado (tipo, número y localización), capacidad de los desagües, compuerta y mecanismo de cierre, etc.
- Usos del agua y valor ambiental de conservación tanto en el embalse como aguas abajo. La calidad y cantidad del agua en las captaciones aguas abajo del río con derecho a disponer del recurso para diversos fines, pueden ser afectadas durante un vaciado, por lo tanto, se deben tomar previsiones y propuestas alternativas.
- Estado de aterramiento del embalse y calidad del sedimento. La carga de sedimentos, su distribución en el vaso y su estructura física, son características que influyen en la movilidad del mismo desde el embalse hacia el río aguas abajo, así como el comportamiento una vez en el cauce. La composición química y el volumen de sedimento movilizado, son los factores directos en la calidad del agua, tanto durante el procedimiento como en los días siguientes.

Por todo lo antes explicado, con el fin de reducir al máximo las afecciones ambientales derivadas del vaciado completo del embalse existen medidas preventivas y correctoras (Palau, 1998). Las preventivas tienen como objeto disminuir la magnitud, frecuencia y alcance de las afecciones, a través de actuaciones ejecutadas previamente a que se produzca tal efecto. Entre ellas destacan 1) la adecuada selección de la fecha de vaciado; 2) la modelización físico-química del vaciado, con el fin de estimar la dinámica de transferencia y comportamiento de los sedimentos en el río; 3) el dragado previo, para retirar material acumulado en las cercanías de la presa facilitando la apertura de los desagües de fondo y reduciendo la punta de sólidos suspendidos producidos después de dicha apertura; 4) el rescate de peces para disminuir su mortalidad o la construcción aguas abajo de sistemas de captura y salvamento; 5) selección de la velocidad de vaciado, regulando los caudales saliente se reduce considerablemente las afecciones ambientales; 6) sueltas preliminares de

agua, útiles tanto para evitar la unión entre la carga suspendida proveniente del embalse y la ya resuspendida desde el cauce; como para avisar a las comunidades acuáticas del cambio en el medio; 7) disponibilidad de embalses en serie o en paralelo, capaces de diluir o reducir la dispersión de las aguas salientes; 8) abastecimientos alternativos de agua, para evitar las perturbaciones temporales ocasionadas por el vaciado en los usuarios aguas abajo del embalse; 9) decantación de las aguas salientes, mediante espacios riparios degradados que puedan ser inundados y permitan así, la acumulación de los sedimentos finos que aportan un sustrato óptimo para la recuperación natural.

Respecto a las medidas correctoras, cuyo objetivo es restaurar el estado inicial del medio mediante actuaciones desarrolladas una vez producida la afectación, destacan las siguientes, 1) remoción de peces (muertos y vivos) retenidos en el vaso; 2) retirada de restos inertes como plásticos, troncos, etc.; que pueden conformar un volumen importante afectando desde el punto de vista paisajístico y en captaciones de agua; 3) sueltas de limpieza desde el embalse una vez recuperado el nivel de explotación normal, para movilizar posibles excesos locales de fracciones finas acumuladas en el cauce; 4) acondicionamiento del cauce y las riberas, en caso de notarse afectaciones en las comunidades existentes previas al vaciado; 5) repoblación del embalse y del tramo de río afectado, reocupando con comunidades piscícolas y la revegetación de ribera en zonas puntuales; 6) reposición de los abastecimientos de agua.

7.2 Soluciones indirectas

Las diversas fuentes coinciden en que el mejor procedimiento para evitar la disminución de la capacidad de los embalses y su consecuente aterramiento, radica en el control de la degradación de los suelos en las cuencas. De esta manera, no solo se mitiga el efecto de la sedimentación en los embalses, ya que también se actúa en la pérdida de suelo útil para fines forestales y agrícolas. Sin embargo, debido a lo difícilmente ejecutables a corto plazo, costos elevados y que requieren de cierto tiempo para revertir los beneficios sobre los usuarios; los trabajos de conservación de suelos en casos de grandes cuencas, son una solución que en la práctica presenta limitaciones.

Las principales medidas estructurales aplicables son aquellas que se asocian a una menor demanda hídrica, implantación de una cubierta vegetal protectora capaz de

fijar el suelo, tolerante a condiciones extremas de aridez y, tensiones ecológicas derivadas de los cambios relacionados con el calentamiento global. Entre estas podemos señalar:

- Los tratamientos silvícolas óptimos para mejorar la calidad/diversidad de las masas forestales protectoras garantizando tanto su estabilidad biológica, como su resistencia y funcionalidad edafogenética en un entorno cambiante.
- Infraestructuras hidrológicas adecuadas en la estabilización y corrección de cauces torrenciales en subcuencas con altos índices de erosionabilidad y problemas de desestabilización de lechos.
- La realización de prácticas de conservación de suelos capaces de controlar el fenómeno de la erosión.
- La instauración y el mantenimiento de una infraestructura forestal adecuada, o en tal caso, la conservación, mejora y gestión de pastizales en áreas susceptibles y la fijación de suelos inestables.

Los factores que intervienen en un proyecto de este tipo son principalmente los ligados a la topografía, a la silvicultura a aplicar y a los de naturaleza hidrológica (caudales de avenida relacionados con las precipitaciones torrenciales y demandas hídricas en la cuenca).

Con respecto a la parte silvícola, esta constituye la base de la restauración de la cuenca y exige el análisis de los parámetros climáticos, edáficos y fisiológicos. A su vez, en la aplicación de las tecnologías operativas se debe contar con el relieve de las diferentes regiones de la cuenca. Por otra parte, la comprensión de las cubiertas vegetales dominantes en la cuenca al momento de ejecutar la restauración, es un indicador para la interpretación de futuras previsiones de protección esperadas al incorporar las nuevas especies vegetales permanentes. Dichas estimaciones también afectan a los caudales líquidos y a los sólidos.

7.2.1 Ordenación de la cuenca

La ordenación hidrológico-forestal de la cuenca aguas arriba del embalse constituye una medida no estructural que incluye los aprovechamientos de los suelos y asignación racional de sus usos, de acuerdo a las características del territorio y a los intereses generales de las comunidades. Esto posibilitará paulatinamente la

productividad de la cuenca. Para realizar dicha ordenación o adaptación de los usos de suelo actual a usos futuros, se han considerado los siguientes criterios:

1. Pendientes: a partir del mapa de pendientes de la cuenca (ver anexo Mapa 7) expresado en porcentaje, según los rangos planteados por García Nájera (1943, 1962). Estos se han reclasificado a partir de la tabla LII, obteniéndose el mapa de la figura 61.

Pendiente (%)	Vocación del suelo
≤ 10 – 12% (inicio de erosión, arrastre de suelo de partículas discretas)	Agrícola
Entre 10 – 12% (inicio de erosión) y 18 – 24% (arrastre total)	Agrícola pero conveniente realizar prácticas de conservación de suelo
> 18 – 24% < 30% > 30%	Forestal Pastizales Arbolado

Tabla LII. Vocación del suelo a partir del % de la pendiente. Fuente: García Nájera (1943, 1962).

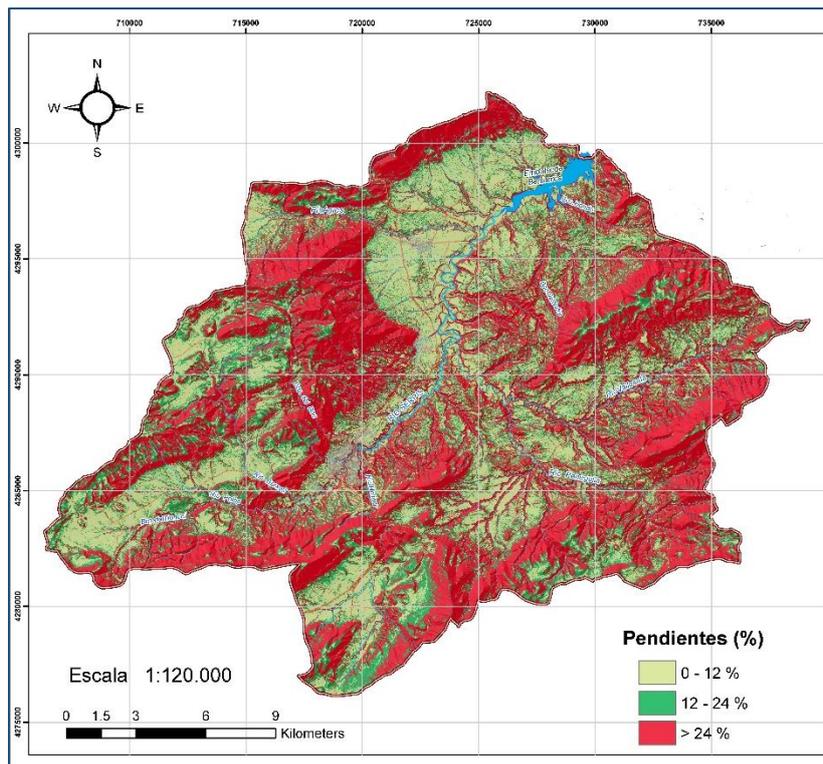


Figura 61. Mapa reclasificado de pendientes (%). Fuente: Elaboración propia.

2. Vegetación actual y usos del suelo: reclasificado a partir de los anexos Mapa 12 y 13, que a su vez se han elaborado tomando la cartografía del Proyecto Corine (2012). La pendiente y erosión media en la cuenca determinarán la vocación del suelo, por lo tanto, si el uso actual es compatible se conserva la vegetación actual; en caso contrario, se adapta al futuro uso. El nuevo mapa

(Figura 62) se ha obtenido al reclasificar en arbolado, matorral, cultivos y demás superficies sin vegetación.

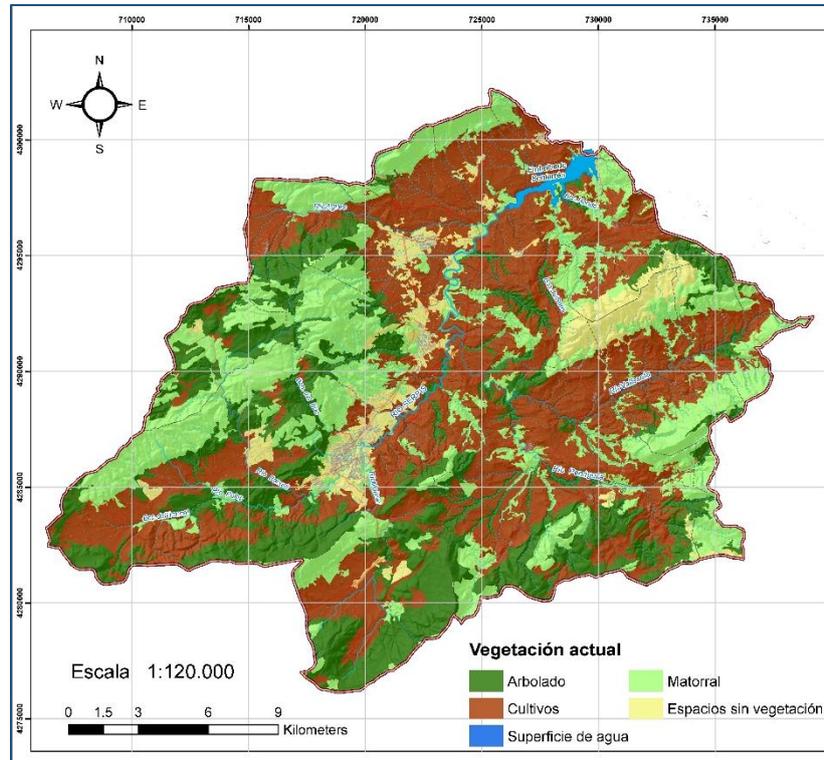


Figura 62. Mapa reclasificado de vegetación. Fuente: Elaboración propia.

3. Degradación de la cuenca: en el anexo mapa 15 (Estados erosivos) se han reclasificado los niveles de pérdidas de suelo (A_i). El límite de pérdidas tolerables (A_t) se ha definido en 10 tn/ha/año, por lo tanto, se mantienen los usos actuales del suelo si las parcelas tienen valores inferiores a dicho límite. En áreas donde se superen estas pérdidas, se plantean prácticas de mejora o sustitución o en tal caso, prácticas de conservación (B_i), para cada uso en particular, dependiendo la vocación del suelo establecida en la tabla LIII.

Vocación del suelo	Condición a cumplir	Tolerancia a la erosión
Forestal	$A_i < A_t$	Uso actual compatible
	$A_i > A_t$	Uso actual incompatible (sustituir o mejorar)
Agrícola	$A_i < A_t$	Uso actual compatible
	$A_i > A_t$ $A_i * B_i < A_t$	Uso actual compatible
	$A_i > A_t$ $A_i * B_i > A_t$	Uso actual incompatible
Improductivo	-	-

Tabla LIII. Modelo Usle para la ordenación de cuencas. Fuente: Rodríguez (2011).

Los nuevos umbrales partiendo de los presentes en la tabla XLVI, son los siguientes: [0 – 10] tn/ha/año; [10 – 50] tn/ha/año; [> 50] tn/ha/año (Figura 63).

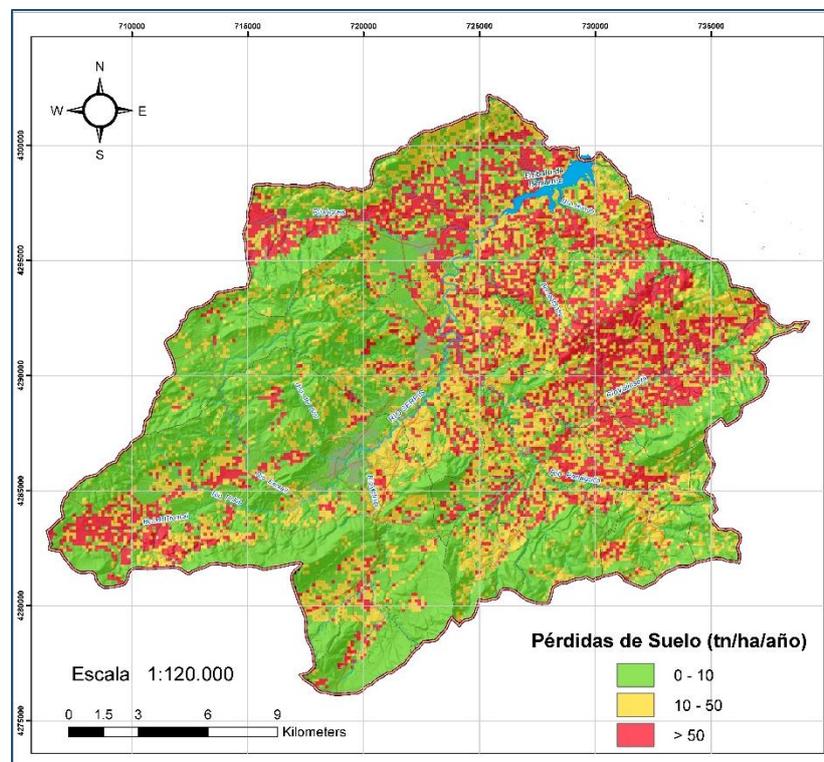


Figura 63. Mapa reclasificado de estados erosivos. Fuente: Elaboración propia.

El establecer una serie de actuaciones y medidas para adecuar los suelos a usos más idóneos, según su vocación, es la principal finalidad de la ordenación hidrológico-forestal. En la tabla LIV se muestran las condiciones seguidas para llevar a cabo la ordenación de la cuenca del Serpis, cruzando la información presente en los 3 mapas reclasificados anteriormente (pendientes, niveles erosivos y vegetación actual). En resumen, las actuaciones planteadas en la presente investigación, una vez ordenada la cuenca son:

- Repoblación forestal siempre y cuando sea viable.
- Mantenimiento y/o mejora de la masa forestal, incluyendo la reforestación, la disminución en la densidad de pies arbóreos y los tratamientos selvícolas de la vegetación.
- Mantenimiento de cultivos activos y abancalados. En caso de estar abandonados, se recuperan como terrenos forestales.
- Mantenimiento del matorral.

PÉRDIDAS DE SUELO (T/ha/a)	VOCACIÓN	PENDIENTE (%)	USO DEL SUELO (VEGETACIÓN ACTUAL)	ACTUACIONES / MEDIDAS
<10	AGRÍCOLA	<12	CULTIVOS	- Mantener cultivos
			MATORRAL	- Mantener el matorral
	FORESTAL	>12	ARBOLADO	- Mantener la masa forestal
			MATORRAL	- Repoblación
10-50	AGRÍCOLA, CON PRÁCTICAS CONSERVACIÓN	12-24	CULTIVOS	- Mantener cultivos abancalados
			MATORRAL	- Repoblación
			ARBOLADO	- Mantener y mejorar la masa forestal (Reforestar, Trat. Selvícolas,...etc.)
			SIN CUBIERTA VEGETAL	- Repoblación, siempre y cuando sea viable
>50	FORESTAL	>24	CULTIVOS	- Mantener cultivos si están abancalados y activos. - Si están abancalados pero abandonados, se recuperarán como terrenos forestales (actuaciones: Repoblación Forestal).
		24 - 30	MATORRAL	- Repoblación
		> 30	ARBOLADO	- Mantener y mejorar la masa forestal (Reforestar, Trat. selvícolas,...etc.)
		>24	SIN CUBIERTA VEGETAL	- Repoblar (siempre y cuando sea viable) con las técnicas necesarias para reducir la pendiente, y con ello la fuerte erosión.

Tabla LIV. Ordenación hidrológico-forestal de la cuenca. Fuente: Rodríguez (2011).

El mapa obtenido de actuaciones y medidas propuestas (ver anexo Mapa 16) producto de la ordenación hidrológico-forestal de la cuenca, tiene la siguiente distribución (Figura 64):

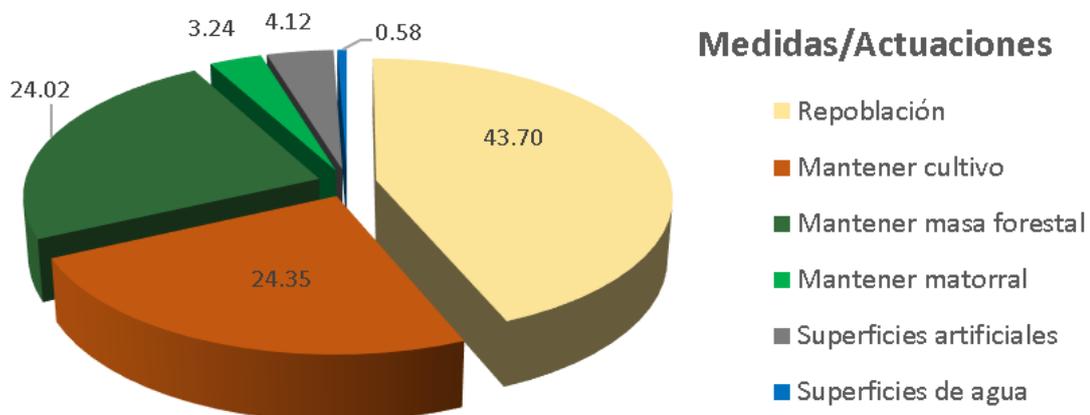


Figura 64. Distribución superficial de las medidas/actuaciones planteadas en la ordenación hidrológico forestal de la cuenca. Fuente: Elaboración propia.

La repoblación forestal ocupa 203,34 Km², es decir, el 43,70% de la cuenca. Esta superficie incluye zonas con vocación forestal y agrícola. En el primer caso, si los matorrales actuales están sobre terrenos con pendientes superiores al 12% sin importar la magnitud de la degradación anual del suelo, se sugiere como medida prioritaria repoblar; de igual manera, para suelos con escasa o nula cubierta vegetal que presentan pérdidas de suelo superiores a 10 tn/ha/año. Con respecto a las zonas con vocación agrícola también se plantea la repoblación en los suelos con matorrales

y en aquellas sin cubierta. Las zonas en las que se propone mantener los cultivos se distribuyen a lo largo de 113,33 Km² (24,35%). Se incluyen los terrenos con vocación agrícola de pendiente y pérdida de suelo inferiores a 12% y 10 tn/ha/año, respectivamente. Si las pérdidas están entre 10 y 50 tn/ha/año y el rango de pendientes entre 12 y 25%, se deben mantener los cultivos abancalados. En caso de superarse los valores de los rango antes menciones, los cultivos actuales unicamente se mantendrán sí están abancalado y activos, caso contrario, se propone la repoblación forestal.

El mantenimiento y la mejora de la masa forestal es prioritario en zonas actuales dominadas por arbolado sin importar la vocación del terreno. En la cuenca estas actuaciones, que involucran los tratamientos selvícolas, se disponen en unos 111,75 Km² o el 24,02% del total de la cuenca.

Finalmente, se propone mantener las zonas dominadas por matorrales, sí la tasa de erosión en inferior a 10 tn/ha/año y la pendiente no supera el 12%, en cualquiera de los otros casos, la actuación recomendada es la repoblación forestal. El manteniendo de matorrales, unicamente es zonas con vocación agrícola ocupan unos 15,08 Km² (3,24%). El 4,69% restante corresponde a los espacios ocupados por las zonas artificiales (19,16 Km²) y por el embalse de Beniarrés (2,68 Km²).

7.2.2 Restauración hidrológico-forestal

En dos grupos se dividen las actuaciones de restauración hidrológico-forestal propuestas en el presente estudio. Biotecnias de restauración e hidrotecnias de corrección de cauces.

Biotecnias de restauración

Estas operaciones tienen como objetivo formar una masa vegetal, principalmente arbórea y permanente, en zonas con vegetación escasa o nula; para evitar los fenómenos causantes de la deforestación, de los cuales los incendios forestales adquieren mayor peso. Aquí se incluye tanto 1) la repoblación forestal con especies autóctonas y protectoras del suelo como, 2) la ejecución de tratamientos selvícolas sobre la masa forestal presente.

En el primero de los casos, se busca una mayor capacidad del suelo para retener agua, lo que conlleva a un menor efecto de la erosión en la separación de partículas.

Por otra parte, los tratamientos selvícolas (limpias, claras, podas, desbroces, rozas, etc.) reducen el riesgo ante incendios forestales así como su propagación, además facilitan las plantaciones y mejoran las condiciones previas a la repoblación, minimizan los riesgos asociados a plagas y enfermedades, evitan competencia entre las especies vegetales, entre otras.

Para definir las zonas donde ejecutar dichas actuaciones, se han cartografiado los montes gestionados por la Conselleria de Agricultura, Medio Ambiente, Cambio Climático y Desarrollo Rural de la Generalitat Valenciana y cruzado dicha información, con la obtenida en el mapa de actuaciones según la Ordenación Hidrológico-Forestal planteada (anexo Mapa 16). De esta manera, las actuaciones de restauración forestal y tratamientos biológicos, se extienden en una superficie total de 48,80 Km² (Figura 65).

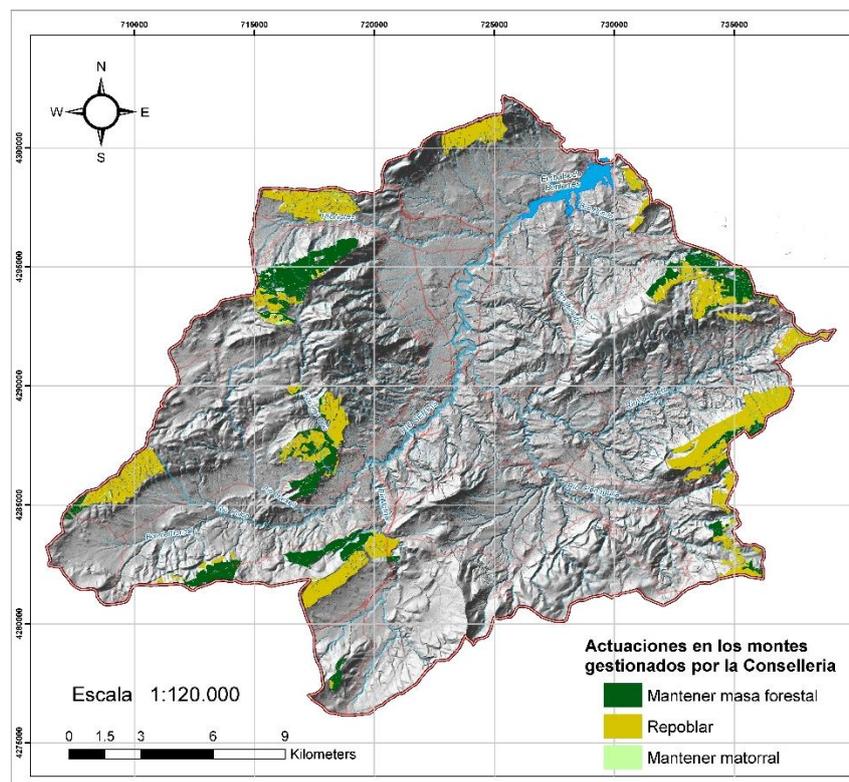


Figura 65. Actuaciones y medidas en los montes gestionados por la Administración.
Fuente: Elaboración propia.

Respecto a las especies vegetales elegidas, según la Orden de 3 de mayo de 1995 de la Conselleria de Medio Ambiente, donde se dan las directrices técnicas básicas para la repoblación forestal en la Comunidad Valenciana; en las comarcas de El Comtat y L'Alcoià se sugieren las siguientes especies forestales admisibles (DOGV,1995):

- El Comtat: *Acer opalus ssp granatense*, *Arbutus unedo*, *Celtis australis*, *Fraxinus ornus*, *Juglans regia*, *Juniperus oxycedrus*, *Juniperus phoenicea*, *Phillyrea angustifolia*, *Pinus halepensis*, *Pinus nigra*, *Pinus pinaster*, *Pinus pinea*, *Pistacia lentiscus*, *Pistacia terebinthus*, *Populus alba*, *Populus nigra*, *Quercus coccifera*, *Quercus faginea*, *Quercus ilex*, *Rhamnus alaternus*, *Sorbus aria*, *Taxus baccata*, *Viburnum tinus*.

- L'Alcoià: *Acer opalus ssp granatense*, *Arbutus unedo*, *Celtis australis*, *Fraxinus ornus*, *Juglans regia*, *Juniperus oxycedrus*, *Juniperus phoenicea*, *Phillyrea angustifolia*, *Pinus halepensis*, *Pinus pinaster*, *Pinus pinea*, *Pistacia lentiscus*, *Pistacia terebinthus*, *Populus alba*, *Populus nigra*, *Quercus coccifera*, *Quercus faginea*, *Quercus ilex*, *Rhamnus alaternus*, *Sorbus aria*, *Taxus baccata*, *Viburnum tinus*.

Tratamientos selvícolas

Para impedir la competencia generada entre las plántulas recién establecidas con la vegetación existente se sugiere el desbroce combinado; de igual manera, mediante la roza selectiva se evitará la competencia de pies con cierto interés de conservación. En zonas con vegetación densa elevada es conveniente, si la inclinación del terreno lo permite, la apertura de calles (siguiendo las curvas de nivel) entre 2 y 1.5 metros de ancho; esto con el fin de facilitar el acordonado, recogida y traslado de los restos forestales. No obstante, para tal fin se debe evitar las zonas dominadas por pis de pino, carrasca y matorrales.

Por otra parte, el resalveo de encina, además de sanear los mejores pies, remover las partes secas y disminuir la competencia; fomenta el desarrollo de los ejemplares potencialmente más vigorosos. De acuerdo al destino de aprovechamiento del resalvo, producción de madera/leña y frutos, la poda deberá adecuarse a cada caso. De igual forma se plantean las aperturas de calles en campos densos y elevados de encinas. Otra operación que puede ser aplicada con fines similares al anterior, es el clareo de la masa forestal.

Para favorecer el crecimiento de los árboles, lograr una copa equilibrada y un estado adecuado del fuste, se deben eliminar las ramas inferiores o en pie, mediante poda, logrando de esta manera el desarrollo de una cubierta protectora adulta. La prevención de incendios por interrupción en la continuidad de las ramas de árboles y

matorrales, es otra de las principales ventajas conseguidas al realizar la poda. Finalmente, la recogida, acumulación y remoción de los residuos forestales, incluyendo restos de incendios, es de las últimas actividades a ejecutar durante toda esta fase. Esto es sumamente importante, ya que en caso de incendios, la no presencia de material combustible (madera), será determinante en la propagación del fuego. Además, de esta forma se facilitará la incorporación de mayor materia vegetal al suelo e impedirá la formación de plagas.

Prevención contra incendios

Este aspecto es fundamental debido a la presencia de especies pirófitas que conforman la vegetación en la zona.

Se sugieren labores de repaso y mantenimiento de cortafuegos y demás fajas auxiliares, constituidas principalmente por matorrales. De esta manera, en caso de manifestarse algún incendio forestal, se reduce su expansión por ruptura en la continuidad de la vegetación y eliminación de material combustible remanente. Esta actividad puede realizarse con motodesbrozadora y desbrozadoras de cadenas. En fajas delineadas en actuaciones previas, es necesario el desbroce en franjas de 15 a 20 metros (a ambos lados de los caminos) respetando las especies con mayor interés de conservación producto de las repoblaciones. De igual manera, en estas zonas se requieren los tratamientos selvícolas antes mencionados, para garantizar la mejora y mantenimiento de la masa forestal.

Hidrotecnias de corrección de cauces

Como complemento a las biotecnias, el otro grupo de acciones dentro de la restauración hidrológico-forestal, está constituido por las hidrotecnias. Estas son imprescindibles para controlar el carácter torrencial de cuencas en cuyos cauces se originan caudales líquidos con picos muy elevados producto de las crecidas repentinas y violentas. En el mismo contexto, los diques constituyen una solución efectiva para el control de caudales sólidos, ya que retienen los materiales incorporados, ya sean en suspensión (finos) o como acarreos (gruesos), originados por la erosión de laderas, márgenes y lechos.

En el presente estudio se plantea la construcción de diques de retención capaces de impedir el transporte de los sedimentos hacia el embalse, o en su defecto, de la menor

cantidad posible. Estos se sitúan aguas arriba de zonas propensas a sufrir daños por crecidas, y emplazados como cierre de garganta en los torrentes. Adicionalmente, tendrán un efecto de laminación de caudales punta y retención/almacenamiento de caudales líquidos que recargarán los acuíferos.

Aguas arriba de los diques, también se proyecta la construcción en zonas de cabecera, de un conjunto de albarradas transversales de menor altura, cuya principal finalidad es servir de apoyo a los primeros; y en menor medida, estabilizar cárcavas y otras funciones biológicas.

En esta memoria sólo está contemplada la ubicación de diques y albarradas, ya que el diseño de las mismas es parte de un estudio más detallado pero complementario a la restauración. Respecto a los materiales de construcción se sugiere la mampostería hidráulica para diques de retención, y la gavionada para las albarradas.

En el apartado 3.2.3 se detallan las hidrotecnicas construidas en la cuenca del río Serpis aguas arriba del embalse, contempladas en el Proyecto de Restauración Hidrológico Forestal de la Cuenca del Río Serpis hasta la Desembocadura del Río Bernissa, del año 1988, no obstante en el anexo Mapa 17 se representan tanto los diques construidos como los propuestos, estos últimos ubicándose dentro del Dominio Público Hidráulico.

Para emplazar los diques y albarradas en lugares adecuados, se ha tenido en cuenta las zonas con mayores tasas de erosión de la cuenca, las más susceptibles a ser inundadas según el PATRICOVA, así como la presencia de diques aún activos.

8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- La geología de la cuenca está dominada por dos principales grupos litológicos: 1) materiales de naturaleza margosa-calcárea que van desde el Cretácico hasta el Neógeno formando los relieves de la zona, tales como las sierras Benicadell y Mariola y, 2) los sedimentos aluviales asociados al Serpis de edad Plioceno-Cuaternario. El primer grupo está en su mayoría constituido por margas miocenas indiferenciadas; los asentamientos urbanos están asentados sobre materiales cuaternarios en forma de terrazas, abanicos aluviales y demás depósitos de ladera.
- La topografía de la cuenca está representada en la cabecera por el típico relieve montañoso, con largas crestas, estrechos valles y laderas estructurales caracterizadas por fuertes pendientes, que producto de la escorrentía superficial e inestabilidad de taludes, sufren una importante erosión. En los tramos medios los terrenos son principalmente ondulados-colinados, excepto de la fuerte socavación que muestran las margas terciarias por la acción erosiva de ríos y barrancos.
- Los suelos que ocupan mayor extensión en la cuenca con un 47% del total son los entisoles, seguido de los inceptisoles en 38,5% y finalmente, los aridisoles distribuidos en 14,5%. Los primeros, depositados sobre deslizamientos o asociados a avenidas, son suelos áridos muy jóvenes y poco evolucionados que exhiben intensas labores de cultivo. Los inceptisoles cubren ampliamente las facies *Tap*, y por último, al sur de la cuenca se exponen aridisoles de escasa humedad y alto contenido de carbonato.
- En la cuenca se presentan varios matices climáticos debido a la influencia del relieve y la altitud en cada uno de ellos. Al norte de la cuenca (altitudes entre 630 y 245 m), las precipitaciones superan los 550 mm, en la zona del embalse fluctúa entre 600 y 650 mm y puntualmente en algunas partes se alcanzan los 700 mm. Por otra parte, al sur donde están las mayores altitudes (superiores a 730 m) destaca un descenso progresivo de la precipitación media anual con valores inferiores a 550 mm que pueden disminuir a 400 mm; este fenómeno se asocia al efecto de barrera climática que divide los regímenes de pluviosidad en la zona Mediterránea.
- Al analizar mediante climogramas los períodos de sequías, los meses de aridez o en los que se produce el déficit hídrico, generalmente son junio, julio, agosto y los

primeros días de septiembre. El mes de julio representa el período de mayor riesgo de déficit hídrico para las plantas, ya que en los diagramas ombrotérmicos, la curva de temperatura está más separada de las barras de precipitación.

- Según los balances hídricos realizados, la recarga de humedad del suelo inicia durante septiembre-octubre, ya que a partir de este momento la precipitación es superior a la evapotranspiración potencial. La saturación ocurre en diciembre-enero, meses donde el agua almacenada iguala a la capacidad de campo, para dar inicio a la etapa de escorrentía superficial de unos cinco meses hasta el mes de abril. A partir de entonces, inicia el período de déficit coincidiendo con la época estival, donde el suelo gasta progresivamente su reserva hasta iniciar nuevamente el año hidrológico.

- Con respecto a los usos del suelo, la vegetación natural ocupa el 54,8% de la superficie total de la cuenca, los cultivos representan el 40,7%; y el 4,5% restante está conformado tanto por las superficies artificiales en 4,12% (tejido urbano continuo y discontinuo, zonas industriales y comerciales, áreas de construcción y redes de transporte) como por el embalse de Beniarrés en 0,38%.

- Entre las zonas de uso forestal, el grupo de vegetación arbustiva o herbácea es la que mayormente se distribuye con un 51,3%, por encima del grupo de los pinos que ocupa el 43,9%. Del primer grupo, los pastizales naturales ocupan un 28%, seguido de la vegetación esclerófila en 14,3% y los matorrales boscosos de transición en 9%. Respecto al grupo de los pinos, los bosques de coníferas representan el 33,2%, seguido de los bosques de frondosas 9,9% y los bosques mixtos en sólo 0,8%. Los otros grupos restantes están conformados por los espacios de vegetación escasa en 4,31%, las zonas quemadas en 0,13% y el roquedo 0,41%.

- De los cultivos, aquellos que son permanentes, tales como olivares, frutales y viñedos son los que ocupan mayor extensión con un 45,79%; seguido por las áreas agrícolas heterogéneas, incluyendo los mosaicos de cultivos y otros terrenos agrícolas con zonas de vegetación natural, en 38,94%. Las tierras de labor, secano (cebada, trigo, girasol, leguminosas y avena) y regadío (hortalizas), ocupan 14,2%; y finalmente, las praderas 1%.

- La aportación media anual al embalse es de 30,63 hm³ con mínimo de 5,84 hm³ y máximo anual de 117,93 hm³. Respecto a la reserva, el volumen medio anual es de 14,11 hm³ con volumen mínimo y máximo de 3,73 hm³ y 27,77 hm³, respectivamente.

- Tras la aplicación del modelo USLE en la cuenca, el comportamiento de los factores involucrados en la ecuación fue el siguiente:

- El factor R de erosividad de las precipitaciones fluctúa entre $102,4 \text{ MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ y $230,3 \text{ MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$; con los valores más elevados al NE de la cuenca (sierras Benicadell, Cantalar, Almudaina, Alfaro, cabecera del Valleseta) y disminución en sentido SO.
- El factor de erosionabilidad del suelo (K) tiene valores entre $0,14 \text{ t}\cdot\text{h}\cdot\text{MJ}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$ y $0,32 \text{ t}\cdot\text{h}\cdot\text{MJ}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$; las margas cubiertas por inceptisoles presentan el intervalo de K más elevado, por lo tanto, alrededor del 50% de la cuenca es muy susceptible a ser erosionada.
- El factor LS presenta 2 tendencias con respecto a los datos obtenidos, esto debido al carácter abrupto de la zona alternado con superficies más onduladas y planas. Los valores más comunes en la cuenca son los inferiores a 6,5 y los mayores a 14,8.
- El factor de cobertura y manejo C muestra valores bajos y altos distribuidos aleatoriamente. Las zonas más intervenidas por actividades agrícolas presentan intervalos intermedios entre 0,16 – 0,24 y valores extremos superiores a 0,3 asociados a zonas con vegetación escasa o nula, así como en tierra de labor y viñedos. Los menores valores ($< 0,1$) corresponden a las áreas de reforestación, pastizales, bosques y demás vegetación natural.

- Las zonas con niveles elevados en pérdida de suelo, mayores a 50 tn/ha/año , se ubican al margen derecho del Serpis y en las cercanías al embalse, en las laderas de la sierra de Benicadell y en el barranco de Almudaina. La subcuenca del río Valleseta es la que mayor cantidad de sedimentos emite al sistema con un total de $149,5 \text{ tn/ha/año}$. Le siguen las subcuencas de Beniarrés y Penáguila con erosión media anual de $97,8 \text{ tn/ha/año}$ y $78,4 \text{ tn/ha/año}$, respectivamente. Por otra parte, al margen derecho del Serpis los niveles de erosión son generalmente de bajos a nulos ($0 - 10 \text{ tn/ha/año}$) con algunas zonas puntuales donde la erosión es alta.

- La emisión total de sedimentos en la cuenca drenante al embalse de Beniarrés, obtenida al aplicar el modelo USLE, es de $3.432.665,51 \text{ tn/año}$. La tasa o producción específica es de $7376,8 \text{ tn/km}^2/\text{año}$.

- El embalse de Beniarrés acumula un total de 111865,1 tn/año de sedimento (en términos de volumen 109457 m³/año), ya que al medir el aterramiento tras 35 años de funcionamiento, ha reducido su capacidad inicial de 30,835 Hm³ a 27,004 Hm³. No obstante, al tener el cuerpo de agua una eficiencia de retención del 94%, la entrada de sedimentos real al vaso del embalse es de 119005,4 tn/año.
- La determinación de la tasa de degradación específica obtenida para la cuenca, mediante el método directo (volumen acumulado) es de 257,23 tn/km²/año; este valor muestra una mínima desviación con respecto al resultado de 255,74 tn/km²/año obtenido de manera indirecta con el coeficiente de entrega. Por lo tanto, el modelo USLE puede ser aplicado con cierto grado de fiabilidad, para determinar la erosión en otras cuencas hidrográficas que tengan características fisiográficas e hidrológicas similares.
- El tiempo de vida útil del embalse de Beniarrés, en caso de no realizarse ninguna medida de control, es de 221,7 años, sin embargo, si se considera que la explotación del embalse deja de ser factible cuando se ha reducido más del 80% de su capacidad, el tiempo de vida útil se reduce a 165,4 años. La pérdida anual en la capacidad del embalse respecto a su volumen inicial está en torno a 0,35%, muy superior a la pérdida media anual de 0,16%, planteada en el Libro Blanco del Agua para embalses españoles.
- Respecto a las medidas directas a ejecutar en el embalse, es conveniente el dragado en ciertas zonas, iniciativa ya planteada por los Ayuntamientos de Beniarrés y Planes; ya que el vaciado no sería viable, por las grandes dimensiones del embalse y los impactos que generaría este procedimiento.
- Según la ordenación hidrológico-forestal planteada, se proponen las siguientes actuaciones en la superficie de la cuenca: repoblación (43,7%), mantener los cultivos actuales (24,4%), mantener la masa forestal (24%) y mantener los matorrales (3,2%).
- La construcción de 7 nuevos hidrotecnias (diques de retención) en la cuenca y los sistemas de albarradas asociados a estos, además de sustituir o reforzar los antiguos diques, también retendrían cantidades importantes de sedimentos emitidos en las subcuencas de los ríos Valleseta y Penáguila, y de otros barrancos presentes en la sierra de Benicadell. Por otra parte, las albarradas cumplirían la función de laminar caudales durante crecidas.

RECOMENDACIONES

- Se han asignado valores del factor de erodabilidad K a las litofacies de acuerdo a su capacidad para resistir la erosión y basándose en el mapa geológico y edáfico de la cuenca. No obstante se sugieren estudios cuantitativos de dicho factor a través de la toma de muestras en campo, que permitan determinar la textura, estructura, permeabilidad y contenido de materia orgánica de los suelos, y aplicar las ecuaciones planteadas por la USLE directamente; ya que los valores de K obtenidos ya sea con las fórmulas establecidas por Wischmeier o con los nomogramas, no dará más que unos datos comparativos, por el hecho de no estar calibrados en las regiones mediterráneas donde las condiciones ambientales son muy distintas a las que dominan lo suelos donde se desarrolló el modelo USLE.
- En la actualidad el uso de imágenes LandSat permite estimar de manera indirecta la densidad de la vegetación, mediante el índice NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) que mide cuantitativamente la biomasa vegetal a través de las propiedades espectrales de la vegetación. El factor C (cobertura y manejo) puede igualmente ser determinado mediante una regresión que relaciona a este con el NDVI; ya que el mapa de vegetación y usos de suelo ha sido elaborado con los datos de *Corine* del año 2012.
- La elaboración de una cartografía actualizable a tiempo real del factor de prácticas de conservación de suelo P, permitiría incluirlo en la ecuación para futuras investigaciones, ya que en este trabajo se ha determinado la erosión en bruto, sin tener en cuenta dichas prácticas capaces de disminuir significativamente la erosión en los terrenos. De esta manera, se pueden planificar acciones como la disposición de la vegetación siguiendo el trazado de las curvas de nivel, en terrazas o en fajas con el fin de cortar la escorrentía, diseño correcto de las terrazas y disminuir la longitud del declive efectivo de la escorrentía.
- Para evaluar la degradación de la cuenca en situaciones futuras, pueden ser modificados los valores de precipitación y cobertura vegetal (expansión de actividades agrícolas) de acuerdo a los escenarios de cambio climático previstos. Esto afectaría directamente a los factores R y C de la ecuación USLE, generando así unos nuevos valores en las tasa medias de pérdida de suelo, igualmente sujetas a análisis para la toma de medidas estructurales y no estructurales necesarias.

- A pesar de ser una medida costosa y con resultados a largo plazo, es conveniente implementar un sistema de estaciones de medición de aforo para caudales sólidos, ya sean en suspensión o como carga de fondo. De esta forma, se evaluaría el volumen de sedimento arrastrado en la cuenca, el tiempo de concentración de dicho sedimento y grado de transporte de los flujos, el depósito de los materiales en la red de drenaje, la aportación y granulometría de los sedimentos que entran al embalse y la relación calidad del agua – sedimento. Las curvas de caudales sólidos (Q_s) pueden extrapolarse a los datos de caudales líquidos (Q_l) medidos a diario.
- Como complemento a una nueva medición batimétrica y demás estudios hidromorfológicos del embalse que permitan determinar cual es el volumen útil de este en la actualidad, también sería conveniente realizar un conjunto de estudios en sus aguas, tales como, nivel de contaminación y estado trófico, caracterización físico-química, espesor y contaminación del sedimento, inventario de comunidades piscícolas, entre otros.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allué Andrade J. L. (1990). Atlas fitoclimático de España. Taxonomías. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias. Departamento de Sistemas Forestales. Madrid.
- Almela, A., Gómez, E., Quintero, I. y Mansilla, H. (1975). Mapa geológico y Memoria de la Hoja nº 821 (Alcoy). Mapa geológico de España 1/50.000. Segunda Serie (MAGNA), Primera edición. IGME. Depósito legal: M-9396-1973.
- Armengol, J. (1998). Efectos ecológicos del dragado y vaciado del embalse de Barasona. *Limnetica* 14: 17-33.
- Avendaño, C., Calvo, J.P., Cobo, R. & Sanz, M.E. (1993). La modelización matemática, ajuste y contraste del coeficiente de entrega de sedimentos a los embalses. Aplicación al cálculo de la erosión de cuencas fluviales. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), Madrid, 1, 210 pp.
- Belda Miró, D. (2014). Plan local de prevención de incendios forestales. Término Municipal de Cocentaina. Ajuntament de Cocentaina.
- Brune, G.M. (1953). Trap Efficiency of Reservoirs. *Transaction - American Geophysical Union*, 34 (3), 407-418.
- Carvajal, F. y Giráldez, J. (2000). Análisis de la producción de sedimentos en la cuenca con un sistema de información geográfica. El sistema Cubillas-Colomera. *Ingeniería del agua*, ISSN 1134-2196, Vol. 7, Nº. 3, 2000, págs. 225-236.
- CEDEX (Centro de Estudios Hidrográficos). (1991). Reconocimiento sedimentológico del embalse de Beniarrés. Dirección General de Obras Hidráulicas, Madrid.
- CEDEX (Centro de Estudios Hidrográficos). (1993). Reconocimiento batimétrico del embalse de Beniarrés. Dirección General de Obras Hidráulicas, Madrid.
- Cobo, R. (2008). Los sedimentos de los embalses españoles. *Revista de Ingeniería del Agua*, Vol. 15, Nº 4, Diciembre 2008.
- Colodrón, I., Ruiz, V., Núñez, A., Cabañas, I., Uralde, M.A. y Muñoz, M. (1980). Mapa geológico y Memoria de la Hoja nº 847 (Villajoyosa). Mapa geológico de España

1/50.000. Segunda Serie (MAGNA), Primera edición. IGME. Depósito legal: M-6791-1978.

Confederación Hidrográfica del Júcar (2014). Propuesta de Proyecto de Revisión del Plan Hidrológico. Memoria – Anejo 6. Sistemas de Explotación y Balances. Ciclo de planificación hidrológica 2015-2021.

Confederación Hidrográfica del Júcar (2014b). Propuesta de Proyecto de Revisión del Plan Hidrológico. Memoria – Anejo 7. Inventario de Presiones. Ciclo de planificación hidrológica 2015-2021.

Confederación Hidrográfica del Júcar (2015). Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar. Memoria – Anejo 2. Inventario de Recursos Hídricos. Ciclo de planificación hidrológica 2015-2021.

COPUT, Consellería d'Obres Públiques, Urbanisme i Transports (1992): Fisiografía. Serie Cartografía Temática. En visor temático de la Conselleria d'Habitatge, Obres Públiques i Vertebració del Territori (CHOPVT). Generalitat Valenciana.

Cuenca, A. y Walker, M.J. (1995): Terrazas fluviales en la zona bética de la Comunidad Valenciana. En: El Cuaternario del País Valenciano (Asociación Española para el Estudio del Cuaternario Ed.). Universidad de Valencia, Valencia. 105-114.

Delgado, J.; Peláez, J.A.; Tomás, R.; Estévez, A.; López Casado, C.; Doménech, C. y Cuenca, A. (2006). Evaluación de la susceptibilidad de las laderas a sufrir inestabilidades inducidas por terremotos. Aplicación a la cuenca de drenaje del río Serpis (provincia de Alicante). Revista de la Sociedad Geológica de España, 19(3-4), 197-218 .

DOGV (1995). Orden, de 03 de mayo de 1995, de la Conselleria de Medio Ambiente por la que se aprueban directrices técnicas básicas para las actuaciones de forestación o repoblación forestal en la Comunidad Valenciana. [1154/1995] (DOGV núm. 2511 de 19.05.1995)

DOCV (2015). Decreto 201/2015, de 29 de octubre del Consell, por el que se aprueba el Plan de acción territorial sobre prevención del riesgo de inundación en la Comunitat Valenciana. [2015/8835] (DOCV núm. 7649 de 03.11.2015).

EEA (2000). CORINE Land Cover technical guide – Addendum 2000. In Technical report, No 40. European Environment Agency. 105 pp.

Fernández-González, J. (2011). Caracterización de las Comarcas Agrarias de España. Tomo 5 Provincia de Alicante. Ministerio de Agricultura, Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. Secretaria General Técnica. Centro de Publicaciones.

García Nájera J. M. (1943, 1962) Principios de Hidráulica Torrencial y sus aplicaciones a la corrección de torrentes, I.F.I.E., pp. 297, Madrid.

Gómez-Miguel, V. (2005). Atlas Nacional de España. Sección II: Edafología. 56 pp.

Gómez-Miguel, V. (2005b). Mapa de Suelos de España. Atlas Nacional de España. Instituto Geográfico Nacional, Madrid.

Gómez-Miguel, V. y Badía-Villas, D. (2016). Soil Distribution and Classification. En Gallardo, J.F. (Ed.). The Soils of Spain, World Soils Book Series (11-48). Springer. Switzerland.

Goy, J.L., Zazo C., Silva P. y Bardají, T. (1989). Actividad neotectónica cuaternaria en la cuenca neógena de Alcoy (España). Aplicación de criterios geomorfológicos. En 2ª Reunión sobre el Cuaternario Ibérico. Resúmenes, 53 pp.

García-Mayordomo, J. (1998). Riesgo Sísmico en la Cuenca de Alcoy (Alicante). Aproximación a una zonificación sísmica. Tesis Master de Ingeniería Geológica. Universidad Complutense de Madrid, 100 pp.

Guerra, J. y López-Vera, F. (1985). Análisis y aplicación del factor climático de Fournier en la estimación de la erosión específica en la región de Madrid. Cuadernos de Investigación. Geográfica. I Coloquio sobre Procesos Actuales en Geomorfología. vol. XI (1-2):149-159.

Herrero, R. (2016). Sedimentación de embalses ¿un tema de poco interés? [Blog] Es el agua. Disponible en <http://eselagua.com/2016/02/29/sedimentacion-de-embalses-un-tema-de-poco-interes/> [Acceso 18 Nov. 2017].

Hudson N.W. (1997). Medición sobre el terreno de la erosión del suelo y de la escorrentía. Boletín de suelos de la FAO - 68. Roma, Italia

IGME (1985): Mapa geotécnico y de riesgos geológicos para la ordenación urbana de Alcoy. Mapa de riesgos geológicos E:1/25.000, 1/2.500 y 1/1.000. Memoria. Ministerio de Industria y Energía. Madrid. 3 Vols.

IGME (1988). Las aguas subterráneas en la Comunidad Valenciana. Uso, calidad y perspectivas de utilización.

IGME (2000). Unidades hidrogeológicas de España. Mapa y datos básicos.

IGME-DGA (2010). Trabajos de la Actividad 4 “Identificación y caracterización de la interrelación entre aguas subterráneas, cursos fluviales, descargas por manantiales, zonas húmedas y otros ecosistemas naturales de especial interés hídrico.” Encomienda de gestión para la realización de trabajos científico-técnicos de apoyo a la sostenibilidad y protección de las aguas subterráneas. Demarcación Hidrográfica del Júcar. Instituto Geológico y Minero de España (Ministerio de Ciencia e Innovación) y Dirección General del Agua (Ministerio de Medio y Medio Rural y Marino).

IGN (2012). Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA). <http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp>

IGN (2016). Fichero vectorial de CORINE *LandCover* 2012 del Centro de Descargas del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG) (consulta: 02/08/2017).

INES – Inventario Nacional de Erosión de Suelos (2002 - 2012). Provincias de Alicante (2006) y Valencia (2009). Dirección General de Desarrollo Rural y Política Forestal. Ministerio de Agricultura, Pesca, Alimentación y Medio Ambiente.

IPCC (2013). The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge and New York.

IUSS Working Group WRB (2015). Base referencial mundial del recurso suelo 2014, Actualización 2015. Sistema internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos. Informes sobre recursos mundiales de suelos 106. FAO, Roma.

Julien, P.Y. (2010). Reservoir Sedimentation. En: P. Julien, ed., Erosion and Sedimentation, 2nd ed. Cambridge University Press, pp.327-328.

Lane, E.W. and V.A. Koelzer (1943). Density of Sediments Deposited in Reservoirs. Report No. 9, A Study of Methods Used in Measurements and Analysis of Sediment Loads in Streams, Hydraulic Laboratory. University of Iowa City, Iowa.

La Roca, N. (1990). Evolución de laderas en la montaña meridional valenciana. Tesis doctoral. Universidad de Valencia, 381 pp.

Martínez Salvador, A.; Conesa García, C.; García Lorenzo R.; y Pérez Cutillas, P. (2015). Estimación de aportes sedimentarios a embalses de pequeñas cuencas mediterráneas mediante GEOWEPP. Ensayo en la cuenca vertiente del río Mula al embalse de la Cierva (cuenca del río Segura). *Limnetica*, 34(1): 41-56.

Martín-Serrano, A., Maestro, A., Nozal, F., Salazar, A. y Suarez, A. (2005). Mapa Geomorfológico de España y del margen continental a escala 1/1.000.000. IGME. Depósito legal: M-33034-2005.

Martínez del Olmo, W. y Benzaquen, M. (1973). Mapa geológico y Memoria de la Hoja nº 820 (Onteniente). Mapa geológico de España 1/50.000. Segunda Serie (MAGNA), Primera edición. IGME. Depósito legal: M-9396-1973.

Martínez del Olmo, W., Colodrón, I. y Núñez, A. (1977). Mapa geológico y Memoria de la Hoja nº 846 (Castalla). Mapa geológico de España 1/50.000. Segunda Serie (MAGNA), Primera edición. IGME. Depósito legal: M-6791-1978.

Miller, C.R. (1953). Determination of the Unit Weight of Sediment for use in Sediment Volume Compaction. In: Reservoir Sedimentation: technical guideline for Bureau of Reclamation, Strand, R.I. and Penibertori, E.L. (Eds). USBR, Denver, USA.

Miralles, L. (2005). Principales características ambientales de la Comunidad Valenciana. En: Agentes Medioambientales de la Generalitat Valenciana. Temario Volumen I. Editorial Mad. 430 pp.

Moore, I.D. y Burch, G.J. (1986). Physical Basis of the Length Slope Factor in the Universal Soil Loss Equation. *Soil Science Society of America*, 50, 1294-1298.

Mulu, A., and Dwarakish, G. S. (2015). Different Approach for Using Trap Efficiency for Estimation of Reservoir Sedimentation. An Overview. *Aquatic. Procedia* 4 (847-852). ICWRCOE 2015.

Muñoz Del Prado, F.J. (2016). Actualización y mejora del modelo hidrológico PATRICAL en la demarcación Hidrográfica del Júcar. Cuencas del Cenia, Mijares, Palancia, Turia, Marinas y Vinalopó. (Trabajo Final de Grado). Universidad Politécnica de Valencia, España.

Pagney, P. (1982). Introducción a la Climatología. Barcelona: Oikos-Tau. 144 pp.

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

Panagos, P.; Borrelli P.; Meusburger, K.; Alewell C.; Lugato, E.; y Montanarella, L. (2015). Estimating the soil erosion cover-management factor at the European scale. *Land Use Policy*, Elsevier 48:38-50.

Panagos, P.; Borrelli, P.; Meusburger, K.; van der Zanden, E. H.; Poesen, J.; y Alewell, C. (2015b) Modelling the effect of support practices (P-factor) on the reduction of soil erosion by water at European scale. *Environmental Science & Policy*, Elsevier 51:23-34.

Pellicer i Bataller (1997). De la Mariola a la Mar. Viatge pel riu Serpis. *Collectiu de Mestres de la Safor*, Bellreguard.

Pérez Cueva, A.J. (1994): "Atlas Climático de la Comunidad Valenciana (1961-1990)". Edición en castellano. Valencia, Generalitat Valenciana, COPUT, 205 pp.

Pérez, M.A. (2005). Modelo distribuido de simulación del ciclo hidrológico y de la calidad del agua, integrado en sistemas de información geográfica, para las grandes cuencas. Aportación al análisis de presiones e impactos de la Directiva Marco del Agua. Tesis Doctoral. Dto. De Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente. Universidad Politécnica de Valencia. Junio 2005.

Peris Gisbert, J.B.; Stübing, G. y Roselló, R. (1996). Bosques y matorrales de la Comunidad Valenciana. Diputació de Castelló, Castelló de la Plana, 167 pp.

Pirson d'Autrey, L. (1987): Sédimentation et structuration synsédimentaire dans le basin néogène d'Alcoy (Cordillères bétiques externes orientales, Espagne). Thèse, Université de Paris - Sud, 314 pp.

Pulido Bosch, A. (1979). Contribución al conocimiento de la hidrogeología del Prebético Nororiental (Provincias de Alicante y Valencia). Tesis doctoral. Madrid.

Memoria del Instituto Geológico y Minero de España. Servicio de publicaciones Ministerio de Industria y Energía. 410 pp.

Quinto, F. (2015). Plan municipal de prevención frente a incendios forestales. Término Municipal de Alcoy. Ajuntament d' Alcoi.

Ríos, R. (2017). Análisis de la implementación del modelo hidrológico distribuido TETIS en el ámbito regional de la demarcación hidrográfica del Júcar utilizando información estándar (Trabajo Final de Máster). Universidad Politécnica de Valencia, España.

Rivas-Martínez, S. (1987). Memoria del mapa de series de vegetación de España 1/400.000. 268 pp. ICONA. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid. ISBN 84-85496-25-6.

Rivas-Martínez, S. y Rivas-Sáenz, S. (1996-2009). Sistema de Clasificación Bioclimática Mundial. Centro de Investigaciones Fitosociológicas, España. <http://www.ucm.es/info/cif>.

Rivas-Martínez, S. (2007). Mapa de series, geoserias y geopermaseries de vegetación de España. Itinera Geobotánica. 17: 5-436.

Rodríguez, M. (2011). Ordenación y propuesta de restauración de la cuenca del río Jalón (Alicante). (Trabajo Final de Master). Universidad Politécnica de Valencia, España.

Saldaña, M.; Nemmaoui, A.; Cantón, Y.; Aguilar, M. y Aguilar, F. (2014). Estimación de la erosión potencial en la cuenca del río Moulouya aguas arriba de la presa Mohamed V. Mapping, 168, 4-16.

Sánchez Serradilla, A. (2010). Estudio de las hidrotecnias de corrección de la cuenca del río Serpis hasta la desembocadura del río Vernisa (Trabajo Final de Grado). Universidad Politécnica de Valencia, España.

Sánchez Serradilla, A. (2013). Análisis, comparación y propuesta de mejoras en metodologías de ordenación de cuencas. Aplicación de la cuenca del río Serpis en la provincia de Alicante (Trabajo Final de Master). Universidad Politécnica de Valencia, España.

Soil Survey Staff (2014). Claves para la Taxonomía de Suelos. Décima segunda Edición. USDA – NRCS, Washington, DC.

Terrence, J.; Foster, G. y Renard, K. (2002). Soil erosion: processes, prediction, measurement, and control. John Wiley and Sons, New York, NY. 338 pp.

Thornthwaite, C. W. y Mather, J. R. (1955). The Water Balance. Publications in Climatology. Centerton, New Jersey: Laboratory of Climatology, Drexel Institute of Technology.

Thornthwaite, C. W. y Mather, J. R. (1957). Instructions and Tables for Computing Potential Evapotranspiration and the Water Balance. Publications in Climatology. Centerton, New Jersey: Laboratory of Climatology, Drexel Institute of Technology.

Tormo, J. (2008): “Depuración, reutilización y abastecimiento hídrico en el interior septentrional de Alicante”, en Investigaciones geográficas. Alicante, Instituto Universitario de Geografía, pp. 123-138.

Viseras, C., Soria, J.M. y Fernández, J. (2004): Cuencas Neógenas postorogénicas de la Cordillera Bética. En: Geología de España (J.A. Vera, Ed.). SGE-IGME, Madrid, 576-581.

Wischmeier, W.H.; y Smith, D.D. (1978). Predicting Rainfall Erosion Losses: A guide to conservation planning. Agriculture Handbook, nº 537. USDA - SEA, US. Government Printing Office, Washington, DC. 58 pp.

Zaragozí, B.; Díez, L. y Fernández, M. (2007). Tratamiento espacial de los desprendimientos de laderas en ambientes semiáridos mediante Sistemas de Información Geográfica. Universidad de Alicante, 24 pp.

REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

Agencia Estatal de Meteorología (AEMET).

<<http://agroclimap.aemet.es/>> [Consulta: 2017].

Confederación Hidrográfica del Júcar CHJ. SIA Júcar (Sistema de Información del Agua) <<http://aps.chj.es/idejucar/>> [Consulta: 2017].

Conselleria d'Habitatge, Obres Públiques i Vertebració del Territori (CHOPVT).

<<http://cartoweb.cma.gva.es/visor/>> [Consulta: 2017].

Infraestructura de Datos Espaciales de España (IDEE)

<<http://www.idee.es>> [Consulta: 2017].

Infraestructura de Datos Espaciales de la Comunidad Valenciana IDECV. Portal

Terrasit <<http://terrasit.gva.es/>> [Consulta: 2017].

Instituto Geológico Minero de España IGME

<<http://info.igme.es/visorweb/>> [Consulta: 2017].

Instituto Nacional de Estadística <www.ine.es> [Consulta: 2017].

Sistema de Información Geográfico Nacional (SignA)

<<http://signa.ign.es/signa/Pege.aspx>> [Consulta: 2017].

Sistema de Información Geográfica de datos Agrarios (SIGA)

<<http://sig.mapa.es/siga/>> [Consulta: 2017].

Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables-Inventario de Presas y
Embalses (SNCZI-IPE)

<<http://sig.magrama.es/snczi/visor.html?herramienta=Presas>> [Consulta: 2017].