



Título del Trabajo Fin de Máster:

***RESTAURACIÓN HIDROLÓGICO-  
FORESTAL DE LA CABECERA DE  
CUENCA DEL RÍO BUÑOL***

Intensificación:

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

Autor:

***NAVARRO LÓPEZ, LORENA***

Director/es:

***ALBERTO GARCÍA PRATS***

Fecha: **SEPTIEMBRE, 2013**





Título del Trabajo Fin de Máster:  
**RESTAURACIÓN HIDROLÓGICO-FORESTAL DE LA CABECERA DE CUENCA DEL RÍO BUÑOL**

Autor: **NAVARRO LÓPEZ, LORENA**

|             |  |                      |                    |
|-------------|--|----------------------|--------------------|
| Tipo        | A <input checked="" type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> | Lugar de Realización | VALENCIA           |
| Director    | <b>ALBERTO GARCÍA PRATS</b>                                      | Fecha de Lectura     | <b>SEPT., 2013</b> |
| Codirector1 |  |                      |                    |
| Codirector2 |  |                      |                    |
| Tutor       |  |                      |                    |

**Resumen:**

*En el presente trabajo se estudia la parte alta de la cuenca del río Buñol, desde el término municipal de Siete Aguas hasta el de Buñol, donde está situado el punto de cierre. Está ubicada en la comarca de la Hoya de Buñol, en la provincia de Valencia. La parte alta de la cuenca se caracteriza principalmente por encontrarse muy degradada y sin estrato arbóreo establecido, debido a talas continuadas y repetidos incendios a lo largo de la historia. Además, el área de estudio se encuentra enmarcada en el ámbito mediterráneo, donde las crecidas violentas corresponden a un tipo de sucesos bastante corrientes en este ámbito. Esto da lugar a una situación en la que cuando se producen lluvias intensas, ocasionan escorrentías superficiales rápidas debido a la ausencia de vegetación y a la fuerte orografía, causando además un aumento de la erosión del suelo y del caudal punta.*

*El objetivo general es la corrección de la cuenca de cabecera. Para cumplir este objetivo general el proyecto persigue los siguientes objetivos específicos: la protección del suelo frente a la erosión, la regulación hídrica, el control de avenidas y la planificación dinámica de la cuenca hidrográfica en el transcurso del tiempo.*

*La metodología empleada se basa en dos ejes de desarrollo y actuación bien marcados. Por una parte se ha realizado el estudio descriptivo de la cuenca (geomorfología, red de drenaje, vegetación y suelo), a partir del cual se obtiene la erosión existente. El software utilizado para llevar a cabo este estudio es el Sistema de Información Geográfica ArcGIS 10.0. Por otra parte, se estudia y analizan los datos extremos de precipitación para obtener caudales punta asociados a diferentes periodos de retorno. El programa utilizado ha sido el Sistema de Modelación Hidrológica HEC-HMS V.3.5., diseñado por el Cuerpo de Ingenieros de los EE.UU.*

*Mediante la combinación de estos dos ejes se realiza la Ordenación Agrohidrológica de los usos del suelo de la cuenca, según criterios de Mintegui (1990). A partir de dicha ordenación, basada en los estados erosivos de la cuenca, se proponen, describen y localizan las medidas de Restauración Hidrológico-Forestal necesarias para llevar a cabo la corrección de la cabecera de cuenca del río Buñol. Dichas medidas se diferencian en tres grandes grupos: hidrotecnias (obras de ingeniería), biotecnias (replantaciones y tratamientos selviculturales) y prácticas de conservación de suelos en terrenos agrícolas.*

**Abstract:**

*This project studies the top of the Buñol River watershed, from the town of Siete Aguas to Buñol, where is the sink. Is located in the region "Hoya de Buñol", in Valencia province. The upper part of the basin is mainly characterized by highly degraded forest without established tree layer due to repeated logging and fires continued throughout history. In addition, the study area is located in the Mediterranean, where violent floods are quite frequent events in this area. Therefore, when there are heavy rains, causing rapid surface runoff due to the absence of vegetation and strong relief, as well as causing increased soil erosion and peak flow.*

*The overall objective is to correct the watershed. To meet this objective the project has the following specific objectives: the protection of soil against erosion, water regulation, flood control and dynamic scheduling in the watershed over time.*

*The methodology is based on two lines of action development and well marked. On one hand it has the descriptive study of the watershed (geomorphology, drainage, vegetation and soil), from which is obtained the existing erosion. The software used to do this study is the Geographic Information System ArcGIS 10.0. Moreover, studies and analyzes data for extreme precipitation peak flows associated with different recurrence. The program used is the Hydrologic Modeling System HEC-HMS V.3.5., Designed by the Corps of Engineers of the U.S.*

*By combining these two axes are the agro-hydrological management of land use in the watershed, as Mintegui criteria (1990). From this arrangement, based on basin erosive states, are proposed, describe and locate measures Hydrological-Forest Restoration needed to carry out the correction of the top of Buñol River watershed. These measures differ in three main groups: hydrotechnical actions (engineering works), biotechnical actions (reforestation and silvicultural treatments) and soil conservation practices on agricultural land*

**Resum:**

*En el present treball s'estudiala part alta de la conca delriu Buñol, des del terme municipal de Siete Aguas fins al de Buñol, on està situat el punt de tancament. Està ubicada en la comarca de la Foia de Buñol, en la província de València. La part alta de la conca e caracteritza principalment per trobar-se molt degradada i sense estrat arbori establít, a causa de tales continuades i repetits incendís al llarg de la història. A més, l'àrea d'estudies troba enmarcada çoen l'àmbit mediterrani, on les crescudes vilentes corresponen a un tipus de successos prou corrents en este àmbit. Açò crea una situació en què quan esproduïxen pluges intenses, ocasionen escolaments superficial ràpides a causa de l'absència de vegetació y a la forta orografia, causant a més un augment de l'erosió del sòl y de cabal punta.*

*L'objectiu general és la correcció de la conca de capçalera. Per a complir este objectiu general el projecte persegueix els següents objectius específics: la protecció del sòl enfront de l'erosió, la regulació hídrica, el control d'avingudes i la planificació dinàmica de la conca hidrogràfica en el transcurs del temps.*

*La metodologia empleada es basa en dos eixos de desenvolupament i actuació ben marcats. D'una banda s'ha realitzat l'estudi descriptiu de la conca (geomorgologia, xarxa de drenatge, vegetació i sòl) , a partir del qual s'obté l'erosió existent. El software utilitzat per a dur a terme este estudi és el Sistema d'Informació Geogràfica ArcGIS 10.0. D'altra banda, s'estudia i analitzen les dades extremes de precipitació per a obtindre cabals punta associats a diferents períodes de retorn. El programa utilitzat ha sigut el Sistema de Modelació Hidrològica HEC-HMS V.3.5., dissenyat pel Cos d'Enginyers dels EE.UU.*

*Combinant estos dos eixos es realitza l'Ordenació Agrohidrològica dels usos del sòl de la conca, segons criteris de Mintegui (1990) . A partir de la ordenació, basada en els estats erosius de la conca, es proposen, descriuen i localitzen les mesures de Restauració Hidrológico-Forestal necessàries per a dur a terme la correcció de la capçalera de conca del riu Buñol. Les mesures es diferencien en tres grans grups: hidrotècnies (obres d'enginyeria) , biotècnies (repoblacions i tractaments selviculturals) i pràctiques de conservació de sòls en terrenys agrícoles.*

**Palabras clave:**

*Cuenca hidrogràfica; Erosión; Caudales máximos; Restauración; Repoblación; Sistemas de Información Geográfica; HEC-HMS.*

**Keywords:**

*Watershed; Erosion; Peak flows; Restoation; Reforestation; Geographic Information System; HEC-HMS.*

**Paraules clau:**

*Conca hidrogràfica; Erosió; Cabals màxims; Restauració; Repoblació; Sistemes d'Informació Geogràfica; HEC-HMS.*



# TABLA DE CONTENIDO

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 1.     | INFORMACIÓN GENERAL .....                              | 1  |
| 1.1.   | Introducción .....                                     | 1  |
| 1.2.   | Antecedentes .....                                     | 3  |
| 1.3.   | Justificación .....                                    | 9  |
| 1.3.1  | Técnica.....   | 9  |
| 1.3.2  | Social .....   | 9  |
| 1.3.3  | Económica .....  | 9  |
| 1.4.   | Objetivos .....  | 10 |
| 1.5.   | Esquema de una Restauración Hidrológico-Forestal ..... | 11 |
| 2.     | DESCRIPCIÓN DE LA ZONA .....                           | 13 |
| 2.1.   | Situación.....   | 13 |
| 2.1.1. | Administrativa .....                                   | 13 |
| 2.1.2. | Geográfica .....                                       | 13 |
| 2.2.   | Litofacies y suelo .....                               | 14 |
| 2.2.1. | Características geológicas .....                       | 14 |
| 2.2.2. | Recursos geológicos .....                              | 16 |
| 2.2.3. | Edafología.....  | 18 |
| 2.3.   | Clima.....   | 20 |
| 2.3.1. | Peculiaridades .....                                   | 20 |
| 2.3.2. | Datos disponibles .....                                | 20 |
| 2.3.3. | Características termopluviométricas .....              | 21 |
| 2.3.4. | Clasificación climática .....                          | 23 |
| 2.3.5. | Índices climáticos .....                               | 25 |
| 2.4.   | Vegetación y usos del suelo .....                      | 30 |
| 2.4.1. | Vegetación potencial.....                              | 30 |
| 2.4.2. | Vegetación actual .....                                | 35 |
| 2.4.3. | Figuras de protección .....                            | 39 |
| 2.4.4. | Titularidad de los montes.....                         | 40 |
| 2.5.   | Características socioeconómicas.....                   | 41 |

|        |  |     |
|--------|--|-----|
| 3.     | HIDROLOGÍA.....  | 45  |
| 3.1.   | Reseña hidrológica.....  | 45  |
| 3.2.   | Morfología de la cuenca.....   | 47  |
| 3.2.1. | Parámetros de forma.....   | 47  |
| 3.2.2. | Parámetros de relieve.....   | 48  |
| 3.2.3. | Parámetros relativos a la red de drenaje.....                            | 50  |
| 3.3.   | Descripción de las unidades hidrológicas.....                            | 52  |
| 3.4.   | Cálculo de caudales líquidos instantáneos.....                           | 54  |
| 3.4.1. | Precipitación Diaria Máxima Anual (PdMA).....                            | 55  |
| 3.4.2. | Método Racional Modificado de Témez.....                                 | 56  |
| 3.4.3. | Cálculo de caudales punta mediante el método HEC-HMS.....                | 61  |
| 3.5.   | Cálculo de caudales sólidos.....   | 75  |
| 3.5.1. | Determinación de la erosión. Aplicación del modelo RUSLE.....            | 76  |
| 3.5.2. | Obtención de la degradación específica. Aplicación del modelo MUSLE..... | 86  |
| 4.     | ORDENACIÓN DE LA CUENCA.....   | 89  |
| 4.1.   | Concepto.....  | 89  |
| 4.2.   | Definición de objetivos.....   | 90  |
| 4.3.   | Metodología.....   | 90  |
| 4.4.   | Distribución y usos del suelo.....                                       | 93  |
| 5.     | MEDIDAS DE RESTAURACIÓN HIDROLÓGICO FORESTAL.....                        | 99  |
| 5.1.   | Hidrotecnias de corrección de cauces.....                                | 100 |
| 5.1.1. | Descripción de la obra.....  | 100 |
| 5.1.2. | Justificación.....   | 102 |
| 5.2.   | Biotecnicas de restauración de cuencas.....                              | 104 |
| 5.2.1. | Definición de unidades de actuación.....                                 | 105 |
| 5.2.2. | Análisis de factores ecológicos.....                                     | 105 |
| 5.2.3. | Análisis de factores biológicos.....                                     | 107 |
| 5.2.4. | Elección de especies.....  | 111 |
| 5.2.5. | Replantaciones protectoras.....  | 114 |
| 5.2.6. | Tratamientos selvícolas.....   | 129 |
| 5.3.   | Medidas de conservación de suelos.....                                   | 134 |

|   |     |
|---|-----|
| 6. MAPAS.....   | 137 |
| Mapa 1-Hoja 1: Localización administrativa .....                                      | 139 |
| Mapa 1-Hoja 2: Localización geográfica.....   | 141 |
| Mapa 2: Topografía .....  | 143 |
| Mapa 3: Geología .....  | 145 |
| Mapa 4: Edafología.....   | 147 |
| Mapa 5: Vegetación .....  | 149 |
| Mapa 6: Cuenca vertiente .....  | 151 |
| Mapa 7: Altitudes .....   | 153 |
| Mapa 8: Pendientes .....  | 155 |
| Mapa 9: Unidades hidrológicas.....  | 157 |
| Mapa 10: Usos del suelo .....   | 159 |
| Mapa 11: Estados erosivos.....  | 161 |
| Mapa 12: Ordenación Agrohidrológica.....  | 163 |
| Mapa 13-Hoja 1: Restauración Hidrológico-Forestal. Hidrotecnias.....                  | 165 |
| Mapa 13-Hoja 2: Restauración Hidrológico-Forestal. Repoblaciones .....                | 167 |
| Mapa 13-Hoja 3: Restauración Hidrológico-Forestal. Tratamientos selviculturales ..... | 169 |
| Mapa 13-Hoja 4: Restauración Hidrológico-Forestal. Prácticas de conservación .....    | 171 |
| <br>  |     |
| 7. BIBLIOGRAFÍA.....  | 173 |
| <br>  |     |
| ANEXOS .....  | 179 |
| ANEXO 1: Climatología .....   | 181 |
| ANEXO 2: Parámetros calculados para el caudal punta.....                              | 191 |
| ANEXO 3: Estados erosivos (R.U.S.L.E.).....   | 211 |
| ANEXO 4: Fichas de repoblación .....  | 217 |
| ANEXO 5: Reportaje fotográfico.....   | 227 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabla 2-1.</b> Coordenadas UTM del rectángulo de menor superficie que engloban la cabecera de cuenca del río Buñol.....   | 13 |
| <b>Tabla 2-2.</b> Clasificación de zonas climáticas en función del Índice de aridez o de Martonne. ....  | 28 |
| <b>Tabla 2-3.</b> Tipos, subtipos y niveles de continentalidad simple (Ic) que se reconocen en la Tierra. ....   | 29 |
| <b>Tabla 2-4.</b> Clasificación fitoclimática de Allué.....  | 31 |
| <b>Tabla 2-5.</b> Etapas de regresión y bioindicadores de la serie 24b de Rivas Martínez. ....   | 34 |
| <b>Tabla 2-6.</b> Serie de regresión de Luis Ceballos para el óptimo de vegetación forestal de la encina ( <i>Quercus ilex</i> ). ....   | 35 |
| <b>Tabla 2-7.</b> Área correspondiente a los diferentes usos y especies forestales de la cabecera de cuenca del río Buñol.....   | 36 |
| <b>Tabla 2-8.</b> Montes de Utilidad Pública de la Cabecera de cuenca del río Buñol.....   | 40 |
| <b>Tabla 3-1.</b> Ramblas y barrancos de la cabecera de cuenca del río Buñol. ....   | 46 |
| <b>Tabla 3-2.</b> Clasificación de cuencas en función del coeficiente de Gravelius. ....   | 48 |
| <b>Tabla 3-3.</b> Relación área-elevación de la cabecera de cuenca del río Buñol para representar la curva hipsométrica.....   | 49 |
| <b>Tabla 3-4.</b> Clasificación del suelo en función de distintos gradientes de pendiente. ....  | 50 |
| <b>Tabla 3-5.</b> Parámetros de forma, relieve y red de drenaje de las diferentes unidades hidrológicas y de la cuenca completa. ....  | 53 |
| <b>Tabla 3-6.</b> Precipitación Diaria Máxima Anual (PdMA) del área de estudio para la cuenca y subcuencas de estudio y asociada a diferentes periodos de retorno (T). ....  | 55 |
| <b>Tabla 3-7.</b> Precipitación Diaria Máxima Anual promedio areal, considerando las tres unidades hidrológicas de estudio y para la cuenca considerada como única unidad hidrológica, y asociada a los periodos de retorno de 10, 25, 50 y 100 años. .... | 57 |
| <b>Tabla 3-8.</b> Precipitación Diaria Máxima Anual promedio areal corregida para los periodos de retorno de 10, 25, 50 y 100 años, considerando las tres unidades hidrológicas y la cuenca como única unidad.....   | 58 |
| <b>Tabla 3-9.</b> Intensidad de lluvia correspondiente al tiempo de concentración de cada unidad hidrológica y asociada a los periodos de retorno de 10, 25, 50 y 100 años. ....   | 59 |
| <b>Tabla 3-10.</b> Coeficiente de escorrentía corregido ( $P_0'$ ) de las unidades hidrológicas y de la cabecera de cuenca del río Buñol. ....   | 60 |
| <b>Tabla 3-11.</b> Coeficiente de escorrentía de las unidades hidrológicas de la cabecera de cuenca del río Buñol. ....  | 60 |
| <b>Tabla 3-12.</b> Coeficiente de uniformidad temporal (K) de las unidades hidrológicas de la cabecera de cuenca del río Buñol. ....   | 61 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Tabla 3-13.</b> Caudal máximo obtenido mediante el Método Racional Modificado de Témez para la cabecera de cuenca del río Buñol y sus unidades hidrológicas.....                     | 61  |
| <b>Tabla 3-14.</b> Descripción de los elementos hidrológicos utilizados para el Modelo de cuenca del área de estudio.....   | 66  |
| <b>Tabla 3-15.</b> Tormentas de diseño asociadas a los periodos de retorno de 10, 25, 50 y 100 años, para simular el hidrograma de avenida de la cabecera de cuenca del río Buñol ..... | 68  |
| <b>Tabla 3-16.</b> Caudales máximos obtenidos en la Cabecera de cuenca del río Buñol con el software HEC-HMS.....   | 70  |
| <b>Tabla 3-17.</b> Relación precipitación-exceso en la cabecera de cuenca del río Buñol. Fuente: elaboración propia. ....   | 72  |
| <b>Tabla 3-18.</b> Relación entre el caudal máximo y la superficie de cada unidad hidrológica de la Cabecera de cuenca del río Buñol y de cada periodo de retorno.....                  | 72  |
| <b>Tabla 3-19.</b> Análisis de sensibilidad de los parámetros de los cauces y de las subcuencas en el modelo hidrológico de la Cabecera de cuenca del río Buñol.....                    | 73  |
| <b>Tabla 3-20.</b> Comparación de caudales obtenidos mediante el Método Racional Modificado de Témez y con el software HEC-HMS. ....  | 74  |
| <b>Tabla 3-21.</b> Factor K o de erosionabilidad del suelo. ....  | 78  |
| <b>Tabla 3-22.</b> Factor C o cobertura del suelo en función del tipo de cubierta. ....   | 80  |
| <b>Tabla 3-23.</b> Factor C o cobertura del suelo en función del porcentaje de cobertura.....   | 81  |
| <b>Tabla 3-24.</b> Asignación del factor C o de cobertura del suelo para los usos de la Cabecera de cuenca del río Buñol.....   | 81  |
| <b>Tabla 3-25.</b> Factor P o prácticas de conservación de suelos.....  | 82  |
| <b>Tabla 3-26.</b> Clasificación de FAO-PNUMA y UNESCO para pérdidas de suelo.....  | 84  |
| <b>Tabla 3-27.</b> Erosión media de las distintas unidades hidrológicas y de la cuenca completa en función de los usos del suelo. ....  | 85  |
| <b>Tabla 3-28.</b> Cálculo de degradación específica mediante el modelo de la MUSLE.....  | 88  |
| <b>Tabla 4-1.</b> Ordenación de usos del suelo según el modelo USLE.....  | 91  |
| <b>Tabla 4-2.</b> Criterios para la ordenación Agrohídrológica de una cuenca alimentadora. ....   | 92  |
| <b>Tabla 4-3.</b> Ordenación Agrohídrológica de la Cabecera de cuenca del río de Buñol según criterios de Mintegui (1990).....  | 94  |
| <b>Tabla 4-4</b> Resumen de la ordenación agrohídrológica de la parte alta de la cuenca del río Buñol según los criterios de Mintegui (1990).....                                       | 95  |
| <b>Tabla 4-5.</b> Descripción de los usos asociados a cada ordenación.....  | 97  |
| <b>Tabla 5-1.</b> Factores fitogeográficos de los Montes V066 y V068 de la Cabecera de cuenca del río Buñol. ....   | 106 |
| <b>Tabla 5-2.</b> Factores climáticos de los Montes V066 y V068 de la Cabecera de cuenca del río Buñol. ....  | 106 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Tabla 5-3.</b> Factores edafológicos de los Montes V066 y V068 de la Cabecera de cuenca del río Buñol. ....   | 107 |
| <b>Tabla 5-4.</b> Vegetación potencial en la Cabecera de cuenca del río Buñol según Allué. ....  | 108 |
| <b>Tabla 5-5.</b> Vegetación potencial en la cabecera de cuenca del río Buñol según Rivas Martínez .....   | 108 |
| <b>Tabla 5-6.</b> Tabla de juicio biológicas de Rivas Martínez la serie de la encina 22b (Siete Aguas). .....  | 109 |
| <b>Tabla 5-7.</b> Tabla de juicio biológicas de Rivas Martínez la serie de la encina 22ba (Buñol). ....  | 109 |
| <b>Tabla 5-8.</b> Tabla de juicio ecológica de Rivas Martínez la serie de la encina 22b (Siete Aguas)  | 109 |
| <b>Tabla 5-9.</b> Tabla de juicio ecológica de Rivas Martínez la serie de la encina 22ba (Buñol). ....   | 109 |
| <b>Tabla 5-10.</b> Especies potencial según Luis Ceballos. ....  | 110 |
| <b>Tabla 5-11.</b> Especies actuales en la cabecera de cuenca del río Buñol. ....  | 111 |
| <b>Tabla 5-12.</b> Lista de especies definitivas para la repoblación y parámetros ecológicos asociados. Fuente: elaboración propia. ....                 | 114 |
| <b>Tabla 5-13.</b> Especies de repoblación en el Monte V068 correspondiente al término municipal de Siete Aguas. ....                                    | 117 |
| <b>Tabla 5-14.</b> Especies de repoblación en el Monte V066 correspondiente al término municipal de Buñol. ....  | 118 |
| <b>Tabla 5-15.</b> Densidad de plantación en el Monte V068 correspondiente al término municipal de Siete Aguas. ....                                     | 121 |
| <b>Tabla 5-16.</b> Tratamientos selviculturales en el Monte V066 (Buñol) de la Cabecera de cuenca del río Buñol. ....                                    | 134 |
| <b>Tabla 5-17.</b> Densidad de plantación en el Monte V068 correspondiente al término municipal de Buñol. ....   | 121 |
| <b>Tabla 5-18.</b> Tratamientos selviculturales en el Monte V068 (Siete Aguas) de la Cabecera de cuenca del río Buñol. ....                              | 134 |
| <b>Tabla 5-19.</b> Superficie ocupada por prácticas de conservación de suelos en el Monte V068 y Monte V066 de la Cabecera de cuenca del río Buñol. .... | 135 |

## ÍNDICE DE TABLAS DE LOS ANEJOS

|   |     |
|---|-----|
| <b>Tabla A.1 - 1.</b> Datos termopuviométricos de la estación Chiva “Agro” .....  | 183 |
| <b>Tabla A.1 - 2.</b> Datos termopuviométricos de la estación Requena “Rebollar” .....  | 185 |
| <b>Tabla A.1 - 3.</b> Capacidad de Retención de Agua máxima Potencial en función de la roca madre engendradora de suelo. ....   | 188 |
| <b>Tabla A.1 - 4.</b> Balance hídrico de la estación Requena “Rebollar” .....   | 189 |
| <b>Tabla A.1 - 5.</b> Balance hídrico de la estación Chiva “Agro” .....   | 190 |
| <b>Tabla A.2 - 1.</b> PdMA de la cuenca y subcuencas de estudio y asociada a diferentes periodos de retorno (T) .....   | 194 |
| <b>Tabla A.2 - 2.</b> Valores del umbral de escorrentía en función del uso del suelo, la pendiente y del tipo de suelo.....   | 195 |
| <b>Tabla A.2 - 3.</b> Equivalencias entre la leyenda del Mapa de cultivos y aprovechamientos y la leyenda del Umbral de escorrentía.....  | 196 |
| <b>Tabla A.2 - 4.</b> Valores medios de umbral de escorrentía.....  | 198 |
| <b>Tabla A.2 - 5.</b> Tormenta de diseño para un periodo de retorno de 10 años y una PdMA promedio areal de 87,8 mm.....  | 200 |
| <b>Tabla A.2 - 6.</b> Tormenta de diseño para un periodo de retorno de 25 años y una PdMA promedio areal de 112,2 mm.....   | 201 |
| <b>Tabla A.2 - 7.</b> Tormenta de diseño para un periodo de retorno de 50 años y una PdMA promedio areal de 132,8 mm.....   | 202 |
| <b>Tabla A.2 - 8.</b> Tormenta de diseño para un periodo de retorno de 100 años y una PdMA promedio areal de 152,8 mm.....  | 203 |
| <b>Tabla A.2 - 9.</b> Parámetros introducidos en el Modelo de cuenca.....   | 204 |
| <b>Tabla A.2 - 10.</b> Parámetros introducidos en el Método del Número de Curva del SCS para calcular las pérdidas .....  | 204 |
| <b>Tabla A.2 - 11.</b> Parámetros introducidos para el cálculo de la transformación del hietograma neto en hidrograma de escorrentía superficial mediante el Método del hidrograma adimensional del SCS. .... | 205 |
| <b>Tabla A.2 - 12.</b> Tabla 1: Coeficientes de rugosidad de Manning.....   | 206 |
| <b>Tabla A.2 - 13.</b> Valores de corrección para la determinación del coeficiente de Manning.....  | 207 |
| <b>Tabla A.2 - 14.</b> Valores de x e y para caracterizar las secciones de los cauces y cálculo del número de Manning.....  | 208 |
| <b>Tabla A.2 - 15.</b> Tabla resumen de los parámetros introducidos para el cálculo de propagación de caudales mediante el Método de Muskingun-Cunge. ....  | 209 |
| <b>Tabla A.3 - 1.</b> Erosión media de la cabecera de cuenca del río Buñol .....  | 213 |
| <b>Tabla A.3 - 2.</b> Erosión media de la subcuenca 1, en toneladas por hectárea y año y en función de los diferentes usos .....  | 214 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Tabla A.3 - 3.</b> Erosión media de la subcuenca 2 en toneladas por hectárea y año y en función de los diferentes usos. ....   | 214 |
| <b>Tabla A.3 - 4.</b> Erosión media de la subcuenca 3 en toneladas por hectárea y año y en función de los diferentes usos .....   | 215 |
| <b>Tabla A.4 - 1.</b> Ficha de repoblación en el Monte V68 (Siete Aguas) correspondiente a Repoblación bajo cubierta de <i>Pinus halepensis</i> en orientación sur (solana). ....   | 219 |
| <b>Tabla A.4 - 2.</b> Ficha de repoblación en el Monte V68 (Siete Aguas) correspondiente a Repoblación bajo cubierta de <i>Pinus halepensis</i> en orientación norte (umbría). .... | 220 |
| <b>Tabla A.4 - 3.</b> Ficha de repoblación en el Monte V66 (Buñol) correspondiente a Repoblación bajo cubierta de <i>Pinus halepensis</i> en orientación sur (solana). ....         | 221 |
| <b>Tabla A.4 - 4.</b> Ficha de repoblación en el Monte V66 (Buñol) correspondiente a Repoblación bajo cubierta de <i>Pinus halepensis</i> en orientación norte (umbría). ....       | 222 |
| <b>Tabla A.4 - 5.</b> Ficha de repoblación en el Monte V68 (Siete Aguas) correspondiente a en zonas de matorral sin arbolado con orientación sur (solana). ....                     | 223 |
| <b>Tabla A.4 - 6.</b> Ficha de repoblación en el Monte V68 (Siete Aguas) correspondiente a en zonas de matorral sin arbolado con orientación norte (umbría). ....                   | 224 |
| <b>Tabla A.4 - 7.</b> Ficha de repoblación en el Monte V66 (Buñol) correspondiente a en zonas de matorral sin arbolado con orientación sur (solana). ....                           | 225 |
| <b>Tabla A.4 - 8.</b> Ficha de repoblación en el Monte V66 (Buñol) correspondiente a en zonas de matorral sin arbolado con orientación norte (umbría). ....                         | 226 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 1-1.</b> Riada del 14 de octubre del 1947 en el río Buñol.....  | 6  |
| <b>Figura 1-2.</b> Casa de la calle de San Luís en la población de Buñol. ....  | 7  |
| <b>Figura 1-3.</b> Tramo final cercano al punto de cierre de la cuenca.....   | 7  |
| <b>Figura 1-4.</b> Dique de Carcalín en el cauce del río Buñol.....   | 8  |
| <b>Figura 1-5.</b> Parte alta de la cuenca de estudio.....  | 8  |
| <b>Figura 1-6.</b> Esquema de una Restauración Hidrológico-Forestal.....  | 12 |
| <b>Figura 2-1.</b> Áreas de influencia de las dos estaciones meteorológicas seleccionadas, calculadas mediante el método de interpolación de datos de los Polígonos de Thiessen. ....                               | 21 |
| <b>Figura 2-2.</b> Comparación del diagrama ombroclimático de la estación de Chiva “Agro” y de la estación de Requena “Rebollar”. ....  | 23 |
| <b>Figura 2-3.</b> Balance hídrico para la estación de Requena “Rebollar”.....  | 27 |
| <b>Figura 2-4.</b> Balance hídrico para la estación de Chiva “Agro”.....  | 27 |
| <b>Figura 2-5.</b> Series de vegetación de Rivas Marínez en la cabecera de cuenca del río Buñol.....  | 32 |
| <b>Figura 2-6.</b> Figuras de la RED NATURA 2000 en la cabecera de cuenca del río Buñol.....  | 39 |
| <b>Figura 2-7.</b> Titularidad de los Montes de la cabecera de cuenca del río Buñol.....  | 40 |
| <b>Figura 3-1.</b> Curva hipsométrica.....  | 49 |
| <b>Figura 3-2.</b> Mapa de isocotas $I_1/I_d$ de la Instrucción 5,2-IC de Drenaje Superficial.....  | 58 |
| <b>Figura 3-3.</b> Hidrograma triangular del SCS.....   | 63 |
| <b>Figura 3-4.</b> Hidrograma adimensional y coordenadas del SCS.....   | 63 |
| <b>Figura 3-5.</b> Modelo de almacenamiento en cuña y prisma. Donde “I” es la entrada y “O” es la salida.....   | 65 |
| <b>Figura 3-6.</b> Esquema del Modelo de cuenca de la Cabecera de cuenca del río Buñol.....   | 67 |
| <b>Figura 3-7.</b> Hidrograma de la cabecera de cuenca del río Buñol en el punto de desagüe para una tormenta de 24 horas y un periodo de retorno de 10 años.....   | 70 |
| <b>Figura 3-8.</b> Efecto del retardo y laminación del hidrograma mediante la representación de las entradas y las salidas en la subcuenca 3, para una tormenta de 24 horas y un periodo de retorno de 10 años..... | 71 |
| <b>Figura 3-9.</b> Factor R o erosividad de la lluvia de la RUSLE en la cabecera de cuenca del río Buñol.....   | 77 |
| <b>Figura 3-10.</b> Factor K o erosionabilidad del suelo de la RUSLE en la cabecera de cuenca del río Buñol. ....   | 77 |
| <b>Figura 3-11.</b> Factor LS o de longitud e inclinación de la pendiente de la RUSLE en la cabecera de cuenca del río Buñol.....   | 80 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Figura 3-12.</b> Factor C o de cobertura del suelo de la RUSLE en la cabecera de cuenca del río Buñol .....   | 82  |
| <b>Figura 3-13.</b> Factor P o de prácticas de conservación de suelos de la RUSLE en la cabecera de cuenca del río Buñol.....  | 83  |
| <b>Figura 3-14.</b> Erosión de la cabecera de cuenca del río Buñol en función de los usos del suelo.   | 84  |
| <b>Figura 3-15.</b> Gráfico de la degradación específica (tn/km <sup>2</sup> ·año) de cada unidad hidrológica y periodo de retorno asociado, mediante la metodología de la MUSLE ..... | 88  |
| <b>Figura 5-1.</b> Perfil trapecial de un dique de gravedad.....   | 101 |
| <b>Figura 5-2.</b> Emplazamiento del dique en la unidad hidrológica 1 de la Cabecera de cuenca del río Buñol, en el término municipal de Siete Aguas .....                             | 103 |
| <b>Figura 5-3.</b> Modelo para la restauración de la vegetación en el piso de la encina ( <i>Quercus ilex rotundifolia</i> ).....  | 104 |
| <b>Figura 5-4.</b> Tubo protector y castillete de piedras.....   | 128 |
| <b>Figura 5-5.</b> Tratamientos silviculturales de claras y podas en pinos en el Monte el Viejo de Palencia. ....  | 132 |
| <b>Figura 5-6.</b> Tratamientos silviculturales de resalveos en encinas en el Monte el Viejo de Palencia. ....   | 133 |

## ÍNDICE DE FIGURAS DE LOS ANEJOS

|   |     |
|---|-----|
| <b>Figura A.2-1.</b> Malla de puntos generada para el cálculo de la PdMA.....   | 193 |
| <b>Figura A.2-2.</b> Modelo Digital de Precipitaciones máximas para un periodo de retorno de 100 años.....  | 194 |
| <b>Figura A.2-3.</b> Usos del suelo de la cabecera de cuenca del río Buñol.....   | 197 |
| <b>Figura A.2-4.</b> Mapa de pendientes de la cabecera de cuenca del río Buñol.....   | 197 |
| <b>Figura A.2-5.</b> Mapa de permeabilidad de la cabecera de cuenca del río Buñol.....  | 198 |
| <b>Figura A.2-5.</b> Mapa del umbral de escorrentía de la cabecera de cuenca del río Buñol.....   | 198 |
| <b>Figura A.2-6.</b> Yetograma asociado a un periodo de retorno de 10 años.....   | 200 |
| <b>Figura A.2-7.</b> Yetograma asociado a un periodo de retorno de 25 años.....   | 201 |
| <b>Figura A.2-8.</b> Yetograma asociado a un periodo de retorno de 50 años.....   | 202 |
| <b>Figura A.2-9.</b> Yetograma asociado a un periodo de retorno de 100 años.....  | 203 |
| <b>Figura A.5-1.</b> Para alta de la Unidad Hidrológica 1 donde se aprecia el estado degradado del monte y la roca existente.....                             | 228 |
| <b>Figura A.5-2.</b> Parte alta de la Unidad Hidrológica 1. Matorral degradado dominado principalmente por coscoja ( <i>Quercus coccifera</i> ).....          | 228 |
| <b>Figura A.5-3.</b> Presencia de matas de encinas ( <i>Quercus ilex subsp. ballota</i> ) en la Unidad Hidrológica 1.....                                     | 228 |
| <b>Figura A.5-4.</b> Cultivo predominante en Siete Aguas. Vid en la Unidad Hidrológica 1.....   | 228 |
| <b>Figura A.5-5.</b> Detalle de campo labrado sin cultivar en campo agrícola en la Unidad Hidrológica 1. En el fondo se observan las montañas degradadas..... | 228 |
| <b>Figura A.5-6.</b> Presencia de cárcavas en la Unidad Hidrológica 1.....  | 228 |
| <b>Figura A.5-7.</b> Cultivos con y sin bancales en la parte baja de la Unidad Hidrológica 1.....   | 229 |
| <b>Figura A.5-8.</b> Municipio de Siete Aguas visto hacia aguas arriba.....   | 229 |
| <b>Figura A.5-9.</b> Unidad Hidrológica 2 vista cercana a la divisoria de aguas norte.....  | 229 |
| <b>Figura A.5-10.</b> Deterioro de bancale en la Unidad Hidrológica 2.....  | 229 |
| <b>Figura A.5-11.</b> Unidad hidrológica 3 con detalle de cantera al fondo.....   | 229 |
| <b>Figura A.5-12.</b> Dique existente en la Unidad Hidrológica 3 en zona de barranco encajonado.....  | 229 |
| <b>Figura A.5-13.</b> Dique visto desde aguas abajo hacia aguas arriba.....   | 230 |
| <b>Figura A.5-14.</b> Vista desde el dique hacia aguas arriba.....  | 230 |
| <b>Figura A.5-15.</b> Parte media de la Unidad Hidrológica 3 mirando hacia aguas arriba.....  | 230 |
| <b>Figura A.5-16.</b> Vista aguas abajo en la Unidad Hidrológica 3. Se aprecia el municipio de Buñol al fondo.....  | 230 |
| <b>Figura A.5-17.</b> Vista desde Buñol hacia el cierre de la cuenca (fondo de la fotografía).....  | 230 |



## **1. INFORMACIÓN GENERAL**

### **1.1. Introducción**

El suelo es un sistema complejo, en equilibrio dinámico y, a la vez, un recurso natural no renovable y frágil que puede ser degradado fácilmente por la acción humana. Esta degradación es extrema en el caso de la erosión, la cual hay que considerar prioritaria en el momento de la lucha, legislación y cuantificación del impacto ambiental.

La erosión es el problema medioambiental de mayor impacto que sufren los suelos, tanto forestales como agrícolas, del mundo en general y de un clima tal como el mediterráneo en particular. En concreto, para el sector agrícola, se ha estimado que un 30% de la superficie cultivada mundial está afectada por este fenómeno (Díaz A., M. C. 1988). Un fenómeno que perjudica, no sólo en cuanto a las pérdidas de suelo, sino también en cuanto a la emisión de sedimentos que contaminan a otros sectores: urbanismo, obras civiles (embalses, carreteras, etc.); por lo que la erosión puede generar graves perjuicios ambientales y económicos.

En concreto, España está reconocido por organismos internacionales tales como FAO o UE, como el país europeo con mayor índice de erosión hídrica, así como el país europeo con mayor riesgo de desertificación. Por lo que la necesidad de llevar a cabo medidas para la conservación de suelos es de extrema urgencia.

El fenómeno de la erosión está ligado a otros conceptos como son la desertificación y la desertización. Según el Convenio Mundial de la Lucha contra la Erosión y Desertificación (celebrado en París en 1994), se entiende por desertificación a la degradación de las tierras de las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas, con una relación P/ETP entre 0,05 y 0,065, resultantes de la acción humana y de las variaciones climáticas. Mientras que el término degradación puede interpretarse como la pérdida o disminución de la calidad de producción de un espacio, recurso o del medio ambiente en general, como consecuencia del deterioro del medio físico, químico y biológico. Así pues, la degradación de un suelo puede traer consigo la desertificación del mismo y como consecuencia última puede llegarse a la desertización del territorio por el deterioro del recurso suelo, entendiéndose como desertización un proceso

evolutivo natural de una región hacia unas condiciones morfológicas, climáticas y ambientales conocidas como desierto.

Se puede adelantar que, entre los factores que intervienen en la erosión causada por el agua, las variables de mayor peso son: **el clima, las características físicas del suelo, la vegetación y la topografía del terreno**. Así pues, las causas de que los problemas de erosión en España sean tan importantes hay que buscarlas en el hecho de que en la mayor parte de nuestro país confluyan una serie de factores que favorecen los fenómenos erosivos.

Por un lado, la mayoría del territorio español está afectado por el clima mediterráneo más o menos continentalizado, el cual se traduce en un régimen de precipitaciones escasas o mal distribuidas, ya que éstas caen en periodos muy cortos de tiempo, llegando en muchas zonas, como es el caso de la cuenca de estudio, situada en la Comunidad Valenciana, donde se producen procesos tormentosos estivales o incluso procesos torrenciales en otoño, conocidos como gota fría. Este fenómeno impide una buena infiltración en el terreno y favorece una gran pérdida por escorrentía superficial, que le confieren al clima mediterráneo el carácter de árido. Además, dicho clima también está dotado de un régimen de temperaturas medias extremas muy irregular en ciertas zonas, de tal forma que las medias máximas, desde 12 °C hasta 40 °C, o las medias mínimas, desde -4 °C hasta -10°C, condicionan considerablemente cualquier actuación que pretenda llevarse a cabo, sobre todo aquellas consistentes en revegetación de zonas degradadas. Por otro lado, la accidentada topografía que caracteriza a nuestro país favorece los procesos de erosión hídrica.

Pero además, a estas condiciones naturales de fragilidad se le suma el **factor antrópico**. No hay que olvidar que España es un país muy modificado por las actuaciones del hombre en gran parte del territorio como consecuencia de su particular historia. Y es que esta acción antrópica ha ido modelando el paisaje a lo largo de una larga historia de impactos humanos, como la práctica de técnicas y labores agrícolas inadecuadas y abusivas, la disminución o desaparición de la cubierta vegetal, como consecuencia de un aprovechamiento maderero ancestral sin reposición y el mal aprovechamiento de los recursos hídricos.

De todos estos factores expuestos, los climáticos y topográficos están fuera del control del hombre. Por lo cual, ante circunstancias climáticas y topográficas desfavorables, la actuación sobre las comunidades vegetales del suelo (definido por sus propiedades topográficas e intrínsecas, textura, estructura y cantidad de materia orgánica) juega un papel importante en la prevención de la erosión.

## **1.2. Antecedentes**

- **Generales**

La semilla que dio lugar a la **Restauración Hidrológico Forestal (R.H.F.)** española fue plantada en la Europa alpina, donde se acuñó el término: Restauración de Montañas, nombre con el que empezaron los primeros trabajos de la ingeniería forestal durante el siglo XIX. En aquella época la población se encontraba menos concentrada y se sucedían numerosos pueblos y villas diseminada entre los valles de las cuencas vertientes de los macizos alpinos. Esta población al ser menos numerosa ejercía una presión casi inapreciable sobre el medio natural. La sociedad no era consciente del deterioro que se iba produciendo paulatinamente con el paso del tiempo, por aquel entonces no se tenía una conciencia ecológica que pudiera alertar de los graves cambios que se iban produciendo en las laderas de las cuencas de montaña.

Las causas del sucesivo deterioro hay que encontrarlas en las talas abusivas de las masas forestales con fines orientados a la construcción, las roturaciones de extensas áreas forestales y el consiguiente cambio de uso, las explotaciones indiscriminadas, etc.

Las laderas poco a poco se fueron quedando sin la protección que ofrece la cubierta vegetal y las laderas desnudas se vieron incapaces de controlar los escurrimientos naturales producidos tras las sucesivas lluvias orográficas que se concentran en este tipo de terrenos. La acción erosiva combinada de la disgregación y el transporte fue provocando el cambio paulatino de laderas vertientes y, como consecuencia, un aumento de la emisión de sedimentos a las redes de drenaje. Esta carga de materiales procedentes del lavado superficial, iba poniendo al descubierto otros materiales más gruesos que finalmente acababan incorporándose al cauce, lo que suponía un

incremento importante en el caudal sólido al que había que añadir la tasa de los materiales más gruesos del cauce denominados acarreos.

Un efecto llevaba al otro, las laderas desprotegidas eran más vulnerables a los procesos erosivos, porque los primeros técnicos tenían que hacer las veces de repobladores e hidrólogos. Por una parte, tenían que poner en práctica sus conocimientos silvícolas en la repoblación forestal y la realización de obras en cauces con el fin de controlar los efectos torrenciales de las corrientes de estas zonas de cabecera de cuenca, sin olvidar las actuaciones orientadas al control de aludes y avalanchas. De estas actuaciones se puede deducir primero la vinculación y, después, la vocación que muchos forestales adquirieron por el mero hecho de desarrollar el ejercicio de su profesión con la Hidrología en general y la Hidráulica Torrencial en particular.

Con el paso del tiempo las diferentes experiencias basadas en hechos reales fueron forjando un cuerpo de doctrina, una forma de actuar en este tipo de escenarios, se estaba creando una metodología de trabajo.

Los más estudiosos fueron aplicando sus conocimientos en teorías y diseños constructivos, pero siempre sin olvidar que la verdadera función de la restauración, es decir, el volver a su ser, requería fundamentalmente la restauración de la cubierta vegetal de las laderas. Una frase atribuida a los pioneros de la Restauración de Montañas dice:

*“No se puede corregir un torrente, si previamente no se ha restaurado su cuenca alimentadora”*. Esta filosofía de trabajo fue la que llevo al profesor García Nájera (1962) a decir: *“...la repoblación forestal es, fuera de toda duda, el remedio soberano de tanto mal; remedio cierto, seguro, que corrige el daño y crea al mismo tiempo inmensas riquezas,...”*. Esta filosofía de trabajo es que prevaleció desde el principio y se fue materializando en la ejecución de numerosos proyectos con un fin claro, la restauración del medio natural, ofreciendo además una faceta importante como en todo proyecto de ingeniería, el establecimiento de una serie de documentos que integraran los estudios temáticos de la cuenca, los cálculos de los caudales, los

trabajos de repoblación, las obras en cauces, los presupuestos, los pliegos de prescripciones, etc.

La planificación de los trabajos se fue desarrollando con el paso del tiempo y se fue acomodando a las nuevas técnicas, maquinarias y diseños, de tal manera que el esquema de la R.H.F. iba tomando cuerpo.

El resultado después de una serie de años es la constatación de que aquellos predecesores tenían razón, de ahí que hoy en día se pueda contar con la recuperación de escenarios, en los que el definitivo bosque es suficiente por sí mismo para retener las tierras y dominar el torrente, en la mayoría de los casos, además de ofrecer una serie de valores como la calidad de las aguas, los espacios naturales, la biodiversidad generada, etc.

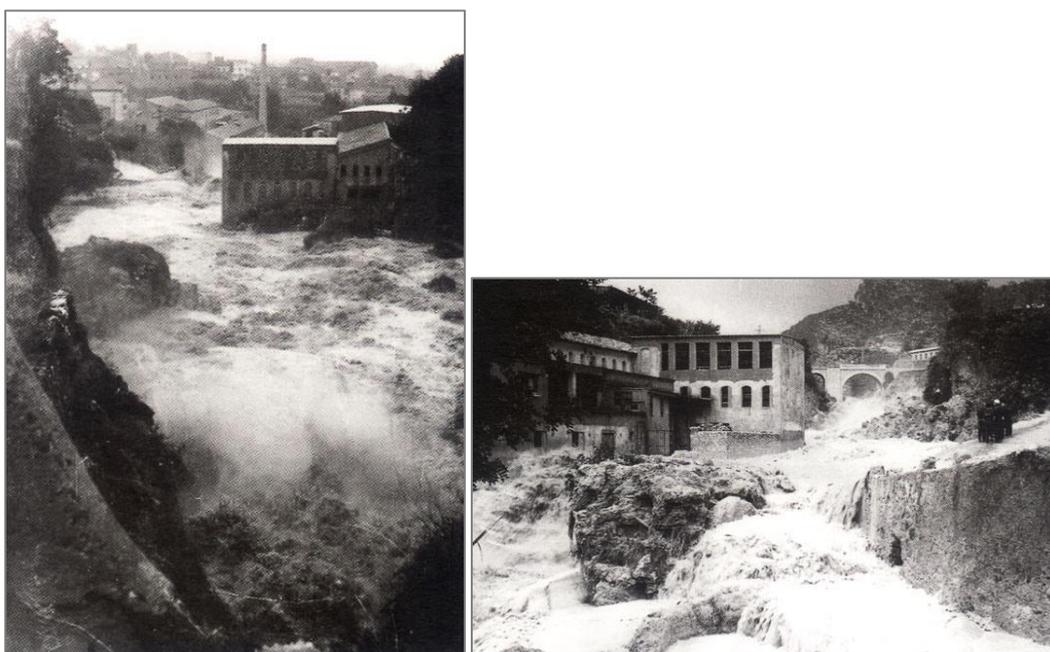
Como antecedente histórico se puede decir que en España la preocupación por la restauración forestal de las áreas de montaña, surgió, afortunadamente, en la misma época que en Europa, por lo que hoy en día se pueden contemplar en numerosas y variadas zonas de la geografía española, desde las correcciones pirenaicas en las cuencas de los torrentes de cabecera de los ríos Aragón, Gallego, Noguera Ribagorzana, Noguera Pallaresa, etc, hasta las cuencas de los torrentes-ramblas levantinos, pasando por innumerables actuaciones en otros paisajes forestales no menos interesantes como el Valle del Lozoya, las cuencas de los ríos Jalón y Jiloca, Sierra Espuña, Sierra Nevada, etc.

- **Antecedentes de la cabecera de cuenca del río Buñol**

En el presente trabajo se va a estudiar la parte alta de la cuenca del río Buñol, desde el término municipal de Siete Aguas hasta el de Buñol, donde está situado el punto de cierre de la cuenca de estudio (Ver Mapa 1). El área de estudio se encuentra enmarcada en el ámbito mediterráneo, donde, como se ha comentado en el apartado anterior, las crecidas violentas corresponden a un tipo de sucesos bastante corrientes en este ámbito. Históricamente han ocurrido crecidas importantes del río Buñol. Cronológicamente son las siguientes:

- 17 agosto 1357. Crecen los ríos, derribando casas y pereciendo personas.

- 27 septiembre 1517. Inundación de molinos, destruyendo gran cantidad de ellos.
- 7 abril 1651. Crece el río, sin daños elevados.
- 13 agosto 1672. Se repiten las inundaciones de los bajos de los molinos.
- 16 septiembre 1731. No sólo en la Hoya de Buñol, sino también en numerosas poblaciones de la Comunidad Valenciana se producen inundaciones.
- 17 septiembre de 1875. Desde las 10 de la mañana hasta la una de la tarde, estalló una furiosa tempestad de truenos, cayendo durante 3 horas consecutivas un aguacero torrencial, que desbordó ríos y barrancos y arrastró cuanto encontraba a su paso. El agua del barranco de Ripoll (afluente del río Buñol) rompió el dique, llevándose la ermita de San Luis y la antigua imagen del santo, que se encontró en el término del pueblo de Alfarp.
- 12 octubre 1878. Crece el río sin daños elevados.
- 14 octubre 1957. Llovió ininterrumpidamente durante más de 8 horas, alcanzando las aguas un nivel de 5,6 metros, rompiendo puentes, acequias, penetrando en los molinos, arrastrando maquinaria y materiales (**Figura 1-1**).

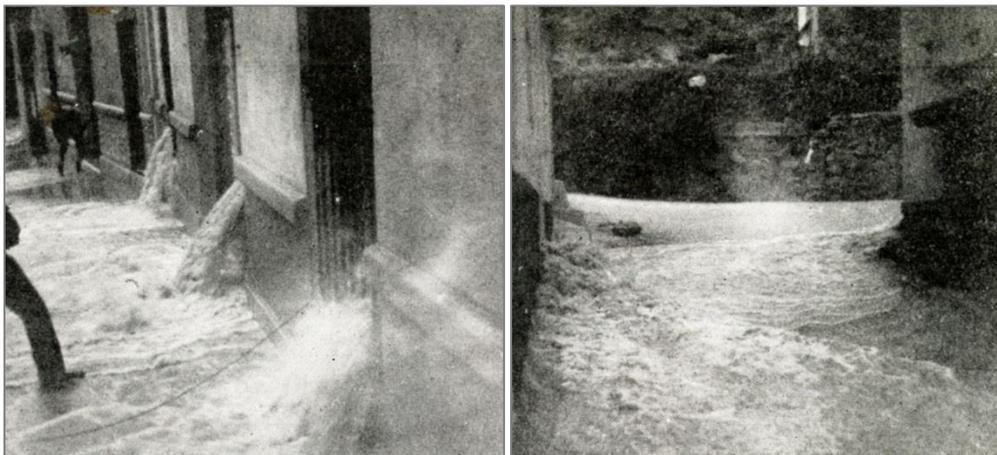


**Figura 1-1.** Riada del 14 de octubre del 1947 en el río Buñol.

Fuente: <http://bunyul.com/crecidas-del-rio-bunol/>

- 6 OCTUBRE DE 1969: Durante unos días, estuvo lloviendo sobre Buñol con bastante insistencia, con la culminación del lunes 6 de octubre, en que la lluvia

tomó caracteres de verdadera tormenta, desde el 57 no se había visto llover con tanta intensidad. Afortunadamente sólo hubo pérdidas materiales (**Figura 1-2**).



**Figura 1-2.** Izquierda: Casa de la calle de San Luís en la población de Buñol.

Derecha: Calle Goya hacia la calle de San Luís

Fuente: <http://bunyul.com/crecidas-del-rio-bunol/>

Durante los años posteriores ha habido crecidas del río como la anterior, que se pueden ver en la **Figura 1-3**.



**Figura 1-3.** Tramo final cercano al punto de cierre de la cuenca.

Izquierda: Salida del Puente Natural. Derecha: camino de la Jarra.

Fuente: <http://bunyul.com/crecidas-del-rio-bunol/>

Pero tras la construcción del dique de Carcalín en el propio cauce del río Buñol, no se han vuelto a observar estas crecidas tan importantes (**Figura 1-4**).

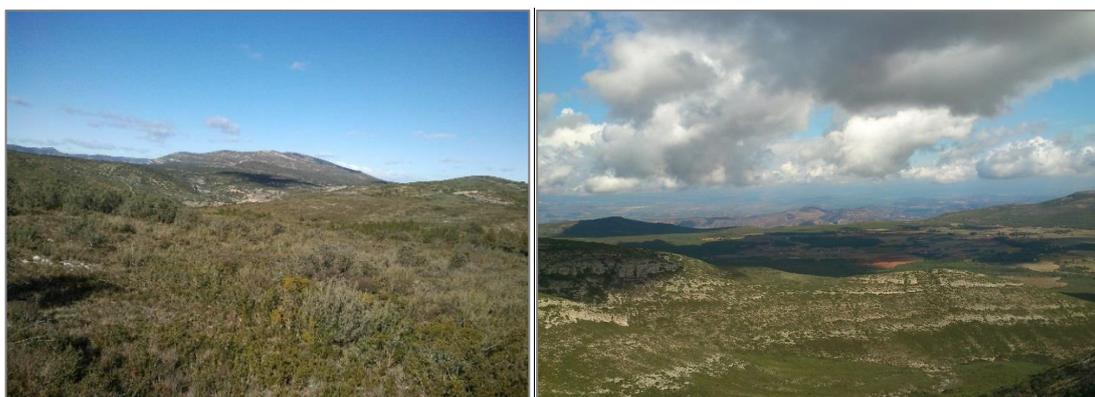


**Figura 1-4.** Dique de Carcalín en el cauce del río Buñol.

Fuente: <http://bunyul.com/crecidas-del-rio-bunol/>

El principal problema reside en el término de Siete Aguas. La Subcuenca 1, correspondiente a la zona más alta de la cuenca de estudio y cuyo punto de desagüe se encuentra a la entrada de dicha población. Tras talas continuadas y repetidos incendios a lo largo de la historia, la parte alta se encuentra muy degradada y sin estrato arbóreo establecido como se puede observar en la **Figura 1-5**.

Esto da lugar a una situación en la que cuando se producen lluvias intensas, ocasionan escorrentías superficiales rápidas debido a la ausencia de vegetación y a la fuerte orografía, causando además un aumento de la erosión del suelo y del caudal punta. Esta misma situación se puede extrapolar a otras zonas de la cuenca, las cuales también se estudiarán, junto a esta, a lo largo del proyecto.



**Figura 1-5.** Parte alta de la cuenca de estudio. Fuente: elaboración propia.

### **1.3. Justificación**

#### **1.3.1 Técnica**

El Proyecto de Restauración Hidrológico-Forestal de la cabecera de cuenca del río Buñol queda técnicamente justificado especialmente por la protección del suelo frente a la erosión y el control de avenidas. A su vez, se consigue la reducción de la tasa de emisión de sedimentos, mejorando la calidad de las aguas.

La regularización de los cursos evita, en la medida de lo posible, la generación de súbitos caudales de avenida que dan lugar a inundaciones. Cabe señalar, que mediante la implementación de este proyecto también se consigue alargar la vida útil del único dique existente en la cuenca.

#### **1.3.2 Social**

Bajo el punto de vista social, el proyecto aporta una serie de externalidades. Las actuaciones diseñadas en el proyecto favorecerán la calidad de vida de los habitantes de la zona, su entorno e incluso la posibilidad de una mayor afluencia de visitantes a la cuenca como consecuencia del auge de turismo de fin de semana.

#### **1.3.3 Económica**

En lo referente a los aspectos económicos, este proyecto supone evidentes beneficios para la economía de la zona. Por un lado, establece una serie de actuaciones para las que será necesario la contratación de mano de obra durante las fases de ejecución y mantenimiento. Esta contratación repercutirá de forma relevante en la economía de la zona.

Por otra parte, las zonas de actuación quedarán protegidas de los procesos erosivos, de especial interés los cultivos, que actualmente tienen grandes pérdidas de suelo por este motivo. Corrigiendo este problema, los agricultores podrán mejorar la situación actual: aumento de infiltración y disponibilidad de agua para la planta, disminución de erosión, mejora del horizonte superficial, etc.

#### 1.4. Objetivos

El **objetivo general** de la Restauración Hidrológico-Forestal es la corrección de una cuenca de cabecera, es decir, regular los cursos de agua del río y la fijación del suelo mediante una serie de acciones de tipo biológico y sobre cauces a través del diseño y uso de obras civiles que regulen y controlen los procesos de erosión, transporte y sedimentación de los materiales que circulan por los mismos.

Para cumplir este objetivo general, el proyecto persigue los siguientes **objetivos específicos**:

- La protección del suelo frente a la erosión, tratando al mismo tiempo aprovechar este recurso.
- La regulación hídrica.
- El control de avenidas.
- La planificación dinámica de la cuenca hidrográfica en el transcurso del tiempo.

La Cabecera de cuenca del río Buñol presenta una serie de particularidades que se han de considerar para llevar a cabo del cumplimiento de los objetivos de un Proyecto de Restauración Hidrológico Forestal. Los **objetivos específicos adicionales** para el área de estudio son los siguientes:

- Alargar la vida útil del dique.
- Reconstrucción de bancales y mejora de la situación de los cultivos existentes.
- Repoblar la parte más alta de la cuenca, aguas arriba de la población de Siete Aguas, ya que es la zona claramente más erosionada.
- Favorecer el desarrollo de las especies forestales potenciales, como la encina y el fresno en flor en los lugares más húmedos.
- Mejora de la calidad ambiental y biodiversidad.

### **1.5. Esquema de una Restauración Hidrológico-Forestal**

El esquema que se sigue en este estudio se puede observar en la **Figura 1-6**. El esquema se basa en dos ejes de desarrollo y actuación bien marcados. El de la izquierda responde al estudio descriptivo de la cuenca, desde el estudio más detallado de campo a la elaboración de cálculos y cartografía en gabinete.

En este estudio descriptivo inicial no sólo se observarán las geoformas, si no la red de drenaje, la vegetación y el suelo. En estos dos últimos apartados, se trabaja a fondo con unos inventarios lo más rigurosos posibles, con el fin de suministrar al proyecto la información más veraz que se pueda contrastar con otros estudios anteriores. Todo ello facilitará la posterior Ordenación Agrohidrológica de la cuenca, teniendo en cuenta tanto sus posibilidades físicas, como los objetivos que se pretenden alcanzar con las obras y trabajos propuestos en el proyecto.

En el eje de la derecha se puede observar todo el estudio y análisis de los datos pluviométricos y, en especial de los datos extremos de precipitación, es decir, los que finalmente darán como resultado final la obtención de los caudales punta asociados a diferentes períodos de retorno.

La unión de estos dos ejes se produce cuando es necesario proponer actuaciones tanto en laderas como en cauces. El paso previo es la Ordenación Agrohidrológica de la cuenca que propondrá la selección de alternativas que se deben desarrollar y dónde se deben acometer.

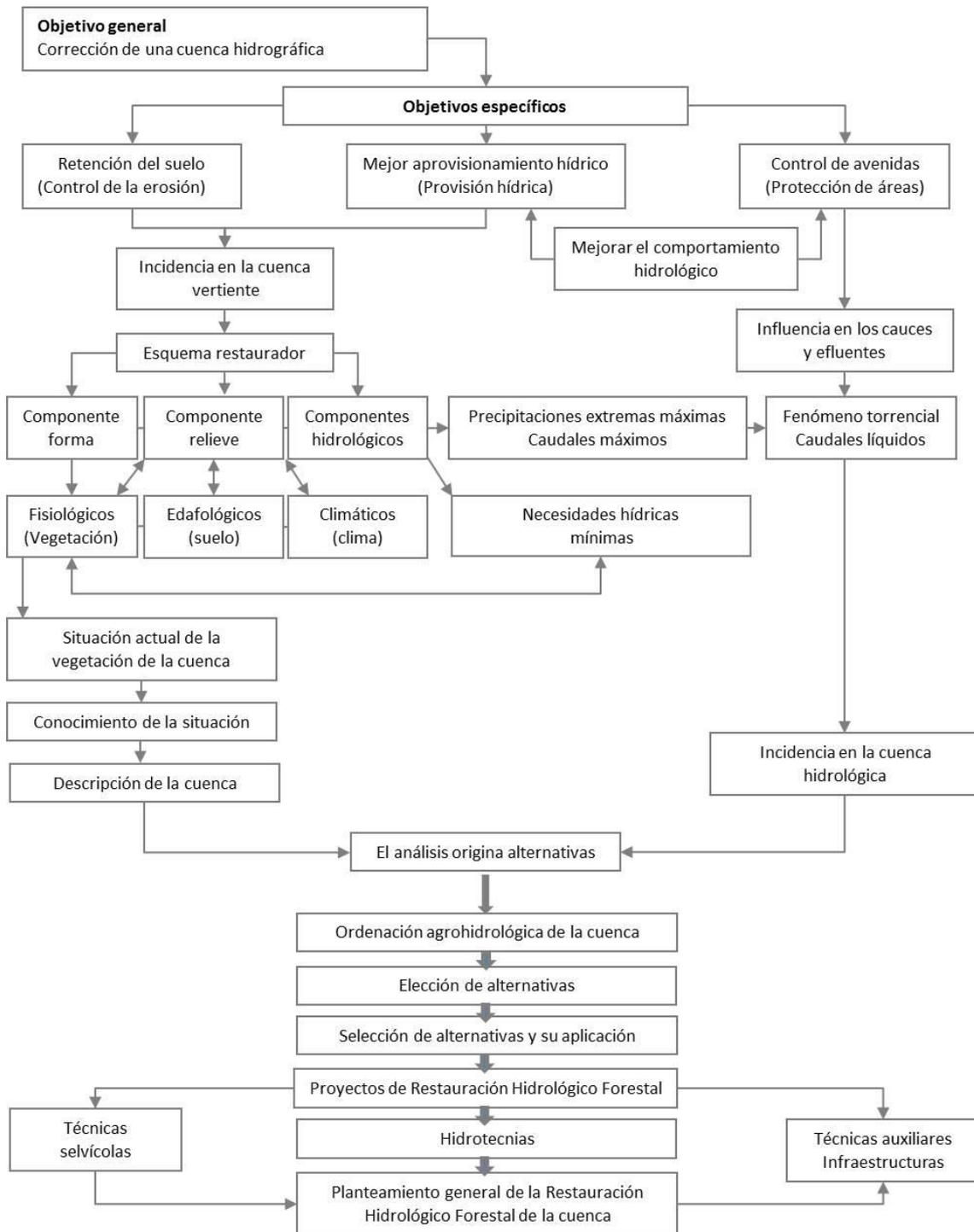


Figura 1-6. Esquema de una Restauración Hidrológico-Forestal. Fuente: elaboración propia a partir del informe de Serrada, R. *et al.* (2004).

## 2. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA

### 2.1. Situación

#### 2.1.1. Administrativa

La cuenca de estudio se encuentra en la Comunidad Valenciana, en la provincia de Valencia. Forma parte de la comarca de *La hoya de Buñol*, y abarca los términos municipales de Siete Aguas (69,8%), Buñol (28,9%), Chiva (0,9%) y Yátova (0,4%). Ver

**Mapa 1: Localización, Hoja 1.**

#### 2.1.2. Geográfica

La cuenca del río Buñol tiene una superficie de 191,43 Km<sup>2</sup>. En este proyecto se va a estudiar únicamente la cabecera de cuenca, con una superficie de 94,61 Km<sup>2</sup>, aproximadamente el 50% del total. El área de estudio tiene una altitud máxima de 1.117 metros y una altitud mínima de 309 metros, por tanto, un desnivel altitudinal de 808 metros. El perímetro correspondiente es de 59,59 Kilómetros.

Las coordenadas del rectángulo de menor superficie que engloban la cuenca hidrográfica de estudio se pueden observar en la **Tabla 2-1**.

| PUNTOS CARDINALES | COORDENADAS UTM (X) | COORDENADAS UTM (Y) |
|-------------------|---------------------|---------------------|
| Noroeste          | 676.062,625         | 4.378.032,743       |
| Noreste           | 690.545,718         | 4.378.032,743       |
| Sureste           | 690.545,718         | 4.364.141,417       |
| Suroeste          | 676.062,625         | 4.364.141,417       |

**Tabla 2-1.** Coordenadas UTM del rectángulo de menor superficie que engloban la cabecera de cuenca del río Buñol. Fuente: elaboración propia.

Los límites geográficos que señalan la cuenca de estudio son los siguientes (Ver **Mapa 1: Localización, Hoja 2**):

- Norte: con el Parque Natural de Chera y el Parque Umbría las Carrasquillas.
- Sur: con el Pico de la Nevera y Barranco de la Peñuela.
- Este: con la Sierra de Chiva.
- Sureste: con el Barranco de la Peñuela.
- Oeste: con el Parque de las Callejuelas.

## 2.2. Litofacies y suelo

En este apartado se describen las principales características geológicas así como los recursos geológicos. También se comentan los principales tipos de suelo existentes.

### 2.2.1. Características geológicas

La información se ha obtenido del mapa de suelos de España, escala 1:1.000.000, elaborado por el Instituto Geográfico Nacional (IGN) y consultado a través de la Infraestructura de datos Espaciales de España, perteneciente al Ministerio de Fomento. Ver **Mapa 3-Geología**.

Las unidades geológicas establecidas para la cuenca de estudio, están enclavadas en la zona de unión de dos grandes unidades Geológicas: El Dominio Ibérico de La Cordillera Ibérica y La Zona de Transición Ibérico-Bética. La línea divisoria vendría marcada la prolongación hacia el este hasta Buñol a través del Corredor Terciario de Siete Aguas. Sin embargo, las diferencias geológicas entre ambos dentro de la misma no son muy importantes. En el Dominio Ibérico los materiales Jurásicos predominan sobre el resto de materiales Mesozoicos a diferencia de la Zona de Transición donde hay un claro predominio de materiales Cretácicos. También en el Dominio Ibérico son mucho más abundantes los materiales Cenozoicos que se encuentran colmatando las depresiones terciarias que sirven de límite a los dos dominios. Por contra, en toda la Zona de Transición predominan las alineaciones diapíricas de materiales triásicos, fundamentalmente del Keuper.

- **Paleozoico**

Debido a que no se ha localizado ningún afloramiento de materiales Paleozoicos en esta zona, se desconoce cuáles deben ser las características.

- **Mesozoico**

Son sin duda los materiales más importantes en la zona, tanto por la superficie como por el espesor de sus afloramientos y determinan sin lugar a dudas su geología. Están bien representados sus tres Sistemas: Triásico, Jurásico y Cretácico.

Las divisiones clásicas del **Triásico germánico** son Buntsandstein, Muschelkalk y Keuper, para dividir al Triásico del Levante español. No hay afloramientos del

Buntsandstein y los escasos afloramientos de Muschelkalk están limitados a una secuencia de dolomías, calizas dolomíticas, calizas y margas muy fosilíferas, cuyo peculiar modo de aparición está condicionado por la tectónica diapírica triásica en la que los materiales arcillosos-evaporíticos del Keuper han favorecido la formación de manifestaciones diapíricas. Así, encontramos estos paquetes calizos dolomíticos totalmente despegados de su posición original en forma de láminas rotas y desgajadas de disposición más o menos vertical incluidas entre los materiales del Keuper, o bien cabalgándolos ampliamente.

El **Jurásico** que aflora en la Comarca está constituido básicamente por rocas carbonáticas (calizas y dolomías) y margas, principalmente en el Barranco de la Vallesa en el término de Siete Aguas.

El registro sedimentario **Cretácico** que aflora comprende gran parte un periodo de tiempo que abarca desde unos 140 m.a hasta hace 65 m.a. Está representado por materiales carbonáticos (calizas y dolomías), margas y areniscas poco cementadas.

- **Cenozoico**

Incluye a los materiales más modernos. En la zona de estudio están bien representados sus dos Sistemas: el Terciario y el Cuaternario.

Los materiales **Terciarios** que afloran presentan un rango que va desde el Oligoceno superior (25 m.a) hasta el Mioceno superior (5 m.a). Se pueden diferenciar dos tramos, el primero Aragoniense-Vallesiense y el segundo Turolense y tal vez Plioceno.

Los depósitos del primer tramo afloran en el Portillo de Buñol. Fueron depositados en varias cuencas continentales controladas por fallas lítricas normales. Consisten en: yesos laminados y yesos lenticulares, conglomerados, arcillas y areniscas rojas, y margas y calizas grises con materia orgánica. El conocido yacimiento paleontológico del Cerro de La Cruz en Buñol está situado en depósitos lacustres de esta última unidad. Los márgenes de estas cuencas pueden reconocerse por la presencia de coluviones tectónicos asociados a las fallas normales y por numerosas discordancias intraformacionales (Barranco de Requenella), evidencias de una actividad tectónica sinsedimentaria.

Los depósitos del segundo tramo se presentan en disposición subhorizontal, en discordancia angular sobre los materiales del Terciario inferior-medio, o sobre los carbonatos Cretácico-Jurásicos o sobre los yesos y rocas detríticas del Triásico. Consisten en más de 150 metros de margas amarillentas, conglomerados y calizas.

Los depósitos **cuaternarios** más frecuentes son:

- Sedimentos transportados: fluviales (terrazas, abanicos aluviales, conos de deyección) y gravedad (coluviones).
- Sedimentos poco transportados: lacustres (limos), Kársticos (tobas y arcillas de descalcificación).
- Sin transporte: edáficos.

A pesar de la anómala actividad sísmica registrada en la Comarca de la Hoya de Buñol en los últimos años, con terremotos que casi han alcanzado la magnitud 4 en la escala de Richter, ésta se encuentra dentro de un área de bajo o nulo riesgo sísmico. Esta actividad sísmica puede estar asociada a algún sistema de fallas profundas existente en la zona.

### **2.2.2. Recursos geológicos**

Después de describir brevemente la historia geológica del área de estudio, es necesario destacar los recursos geológicos presentes, ya que constituyen un sector económico importante en la zona.

Cuando hablamos de recursos geológicos inmediatamente asociamos éstos a la minería de minerales metálicos. Sin embargo, el concepto es mucho más amplio pues comprende, además de aquellos, a las rocas industriales, minerales no metálicos, recursos energéticos y, por supuesto, el agua.

- **Rocas industriales**

Por rocas industriales entendemos una amplia gama de rocas con diferentes campos de aplicación y con incidencia en diferentes sectores económicos que son aprovechables directamente de la litosfera o una vez sometidas a procesos de preparación más o menos sencillos. Las más explotadas son los mármoles, yesos y lignitos. En algunos casos ésta se remonta, al menos, al siglo XVIII. Posiblemente desde

entonces, esta actividad que ha ido ampliándose a otros materiales, ha continuado de una forma casi ininterrumpida hasta la actualidad, en la que la explotación de rocas industriales es una de las industrias más importantes en la economía de la Comarca de la Hoya de Buñol.

La existencia de afloramientos de rocas de interés industrial que por su extensión y volumen son aptos para su explotación, junto a la proximidad con Valencia con la que se encuentra bien comunicada, han favorecido desde siempre las actividades extractivas en la Comarca. De hecho, las principales canteras junto a sus fábricas de manufacturación se sitúan junto a la autovía Madrid-Valencia en el término de Buñol.

- **Rocas carbonáticas (calizas y dolomías)**

Son las rocas más abundantes y objeto de una intensa explotación para fines muy diversos. En las canteras de La Rebosera, situadas a 2 Km al norte de Buñol, la Compañía Valenciana de Cementos S.A extrae calizas del Jurásico medio y superior para la fabricación de cementos en las instalaciones ubicadas junto a las canteras. La demanda de materia prima para la fábrica de cemento ha favorecido las explotaciones de otros afloramientos de calizas jurásicas en los términos de Buñol, Alborache y Yátova e incluso en la Serretilla, en Buñol, se han explotado las calizas cretácicas del Santoniense.

En la ladera norte del Macizo del Portillo y en el Barranco de la Venta, ambos entre la NIII y la Sierra de la Cabrera existen varias canteras, algunas inactivas, en las que se explotan algunos tramos del Jurásico superior (Kimmeridgiense medio) para la obtención de bloques de mármol. A este mármol se le denomina comercialmente "Mármol Emperador" siendo de tonos marrones con veteados de calcita blanca. Está muy introducido tanto en los mercados nacionales como internacionales, destinándose una gran parte de la producción a la exportación. Litológicamente el yacimiento consiste en unas calizas esparíticas muy recristalizadas con un sistema de fracturación de pequeña intensidad que permite la extracción de bloques de buen tamaño.

Las calizas y dolomías, trituradas artificialmente, se utilizan como áridos para la construcción. En la actualidad en el término de Buñol existe junto a la NIII una cantera cuyo material se destina a este fin.

- **Gravas y arenas**

Las gravas y arenas se utilizan como áridos naturales para la construcción, como es el caso de la fabricación de hormigones. De gran importancia son las explotaciones de materiales cuaternarios utilizados para este fin, como las graveras del río Buñol. También se explotan en las arenas del Cretácico inferior.

- **Minerales energéticos**

Existen referencias (sin especificar) de la existencia de minerales radioactivos impregnando las arcillas terciarias ricas en materia orgánica del Cerro de La Cruz en Buñol.

- **Aguas subterráneas**

Dentro de los acuíferos identificados en la Comunidad Valenciana, la Comarca se sitúa en el acuífero número 53 (Sistema del Medio Turia. Mesozoico Septentrional Valenciano), un importante acuífero excedentario que presenta algunas sobreexplotaciones zonales. Los acuíferos están constituidos por los niveles carbonatados del Mesozoico y los detríticos del Terciario, siendo sus aguas bicarbonatadas cálcicas. Químicamente el agua tiene una dureza importante y ocasionalmente, en las zonas de cultivos intensivos, elevados contenidos en nitratos.

### **2.2.3. Edafología**

La información se ha obtenido del mapa de suelos de España, escala 1:1.000.000, elaborado por el Instituto Geográfico Nacional (IGN) y consultado a través de la Infraestructura de datos Espaciales de España, perteneciente al Ministerio de Fomento.

La taxonomía de suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) o Soil Taxonomy, da una clasificación de suelos acorde a varios parámetros (y propiedades) y se desarrolla en niveles: Orden, Suborden, Gran Grupo, Subgrupo,

Familia y Serie. En la zona de estudio existen dos órdenes: inceptisol y entisol. Ver **Mapa 4-Edafología**.

En la parte alta y media predomina el suelo de orden *Inceptisol*. Es un suelo que está empezando a mostrar el desarrollo de los horizontes, ya que es bastante joven en evolución. Es por ello, que en este orden existen suelos con uno o más horizontes de diagnóstico cuya génesis es de rápida formación, con procesos de translocación de materiales o meteorización extrema. Los inceptisoles se clasifican a nivel de suborden por los regímenes de temperatura y de humedad principalmente. El suborden al que pertenece el área de estudio es *Xerept*. Tiene un régimen de humedad xérico, con clima mediterráneo caracterizado por un invierno húmedo y un verano seco y caluroso. En la parte alta y media existen dos grupos:

- grupo Calcixerept: con un horizonte cálcico o petrocálcico y además, el resto de horizontes del suelo presentan grandes concentraciones de piedra caliza ( $\text{CaCO}_3$ );
- grupo Haploxeralf: también son calcáreos, pero no como al nivel de Calcixerept, ya que no todos los horizontes tienen acumulaciones de carbonato de calcio y además es difícil observar un horizonte cálcico o petrocálcico.

Finalmente, en la parte alta predomina la asociación haploxeralf (suelos profundos con colores pardos, con poca materia orgánica y un límite gradual hacia un horizonte argílico de espesor moderado) y en la parte media rhodoxeralf (colores más rojos que haploxeralf y se presentan en posiciones de terraza alta).

En la parte baja de la cuenca predomina el suelo de orden *Entisol*. Son los suelos más jóvenes según la Soil Taxonomy. No tienen evidencias de desarrollo de horizontes pedogenéticos, o de tenerlas, son escasas. Sus propiedades están por ello fuertemente determinadas por el material original. Por tanto, son suelos desarrollados sobre material parental no consolidado y que en general no presentan horizontes genéticos (excepto un horizonte A), ni de diagnóstico. Pertenece al suborden *Orthents*, el cual se ha formado sobre superficies erosionadas recientemente y que no han evolucionado más debido a que su posición fisiográfica conlleva gran inestabilidad del material parental. Los suelos formados por material transportado por el hombre para disminuir las pendientes del lugar realizando abanalamientos o terrazas para poder cultivar en

laderas son clasificados dentro de este suborden. Pertenece al grupo *Xerorthent* debido a su régimen de humedad xérico, ya comentado anteriormente. Además, también presenta inclusiones y *Rhodoxeralf* como en el caso de los inceptisoles.

## 2.3. Clima

### 2.3.1. Peculiaridades

La orientación y altitud del área de estudio determinan la influencia de dos ambientes climáticos propios de estas latitudes: por un lado la banda occidental, en la que predominan los otoños y primaveras lluviosos, con veranos húmedos y fríos, ambiente que se va haciendo más continental respecto a las temperaturas. Por otro lado, la banda oriental posee un clima más influenciado por el mar, con inviernos fríos y veranos más secos y calurosos.

### 2.3.2. Datos disponibles

Para realizar la caracterización climática de la cabecera de cuenca del río Buñol se ha empleado como base los datos climáticos de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). Dentro del área de estudio no se encuentra ninguna estación, por ello se han seleccionado dos observatorios meteorológicos, prácticamente equidistantes al área de estudio y de forma que se puedan contemplar los dos ambientes climáticos comentados anteriormente. La estación que tiene influencia por el oeste es la correspondiente al término de requena, llamada *REQUENA "Rebollar"* a 720 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.). La que tiene influencia por el este se encuentra en el término municipal de Chiva, denominada *CHIVA "Agro"*, situada 315 m.s.n.m..

En la **Figura 2-1** se observa el área de influencia de cada estación sobre el área de estudio, calculada mediante el método de interpolación de los Polígonos de Thiessen, un método muy utilizado para el análisis de datos meteorológicos.

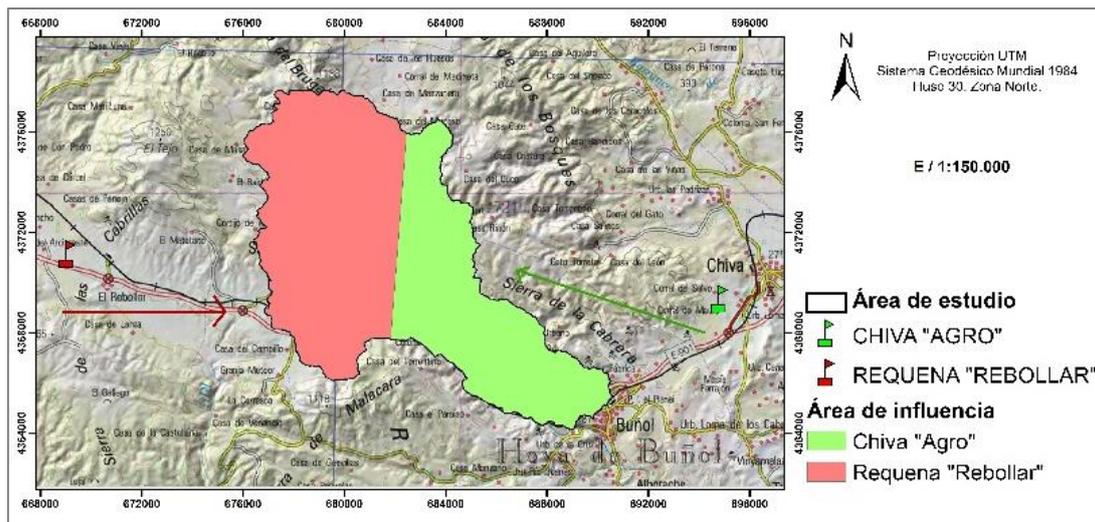


Figura 2-1. Áreas de influencia de las dos estaciones meteorológicas seleccionadas, Chiva "Agro" y Requena "Rebollar", calculadas mediante el método de interpolación de datos de los Polígonos de Thiessen. Fuente: elaboración propia.

### 2.3.3. Características termoplumiométricas

En el **Anejo 1** se detallan las características de las estaciones termoplumiométricas.

En ambas estaciones la época de mayor precipitación es el otoño, con más de un tercio de la lluvia caída, siguiéndole la primavera, con prácticamente la misma cantidad que el invierno (un 24% de la precipitación). Como es lógico, el verano resulta la estación más seca, donde cae entre un 10 y un 12% de la precipitación total.

Un fenómeno muy general en el clima mediterráneo es el de la torrencialidad de las precipitaciones, según el cual la lluvia cae concentrada en pocos días de lluvias intensas, lo que constituye un fenómeno muy desfavorable para las plantas, que en lugar de tener un aporte hídrico más o menos repartido, deben adaptarse a largos periodos de sequía y periodos más cortos de abundancia de agua, incluso de inundación.

Para describir mejor los dos ambientes climáticos, se van a comentar las dos estaciones de forma independiente:

- El área de la cuenca de estudio influenciada por la **estación de Requena "Rebollar"** es de 41 Km<sup>2</sup>, el 43% de la cuenca, corresponde a la parte occidental. La temperatura media anual es de 13 °C, que corresponde a un clima

mediterráneo más continentalizado que el de la estación de Chiva. El mes caluroso es agosto, con temperatura media de 22 °C. El mes más frío es enero, cuya temperatura alcanza los 5 °C. Los valores más elevados de temperatura media de las máximas corresponden al mes de agosto con 36 °C y los valores más bajos de la media de las mínimas corresponden al mes de enero con -3 °C. Durante 6 meses las temperaturas bajan de 0 °C, por lo que existe riesgo de heladas y son: noviembre, diciembre, enero, febrero, marzo y abril. La precipitación media obtenida es de 524 mm anuales, donde el mes más seco corresponde a julio, con 15 mm, y el más lluvioso a octubre con 73 mm.

- La superficie influenciada por la **estación de Chiva “Agro”** es de 54 Km<sup>2</sup>, el 57% restante, correspondiente a la parte oriental. La temperatura media anual es de 16 °C, que corresponde a un clima mediterráneo suave, con mayor influencia marítima. Los meses calurosos son julio y agosto, con temperaturas medias entre 23 y 24 °C. El mes más frío es enero, cuya temperatura alcanza los 9 °C, que es un valor moderado, no excesivamente bajo y bastante suave. Los valores más elevados de temperatura media de las máximas corresponden al mes de agosto con 38 °C y los valores más bajos de la media de las mínimas corresponden al mes enero de -3 °C. Durante 4 meses las temperaturas bajan de 0 °C, por lo que existe riesgo de heladas y son: diciembre, enero, febrero y marzo. La precipitación media obtenida es de 586 mm anuales, donde el mes más seco corresponde a agosto, con 7 mm, y el más lluvioso a octubre con 99 mm.

En la **Figura 2-2** se puede observar el diagrama ombroclimático donde se comparan ambas estaciones. Como es de esperar, la temperatura de la estación de Chiva es mayor debido a la influencia del mar, y la de Requena es menor ya que el clima es más continentalizado. Asimismo, las precipitaciones en la estación de Chiva (586 mm medios anuales) son mayores que en la de Requena (524 mm medios anuales).

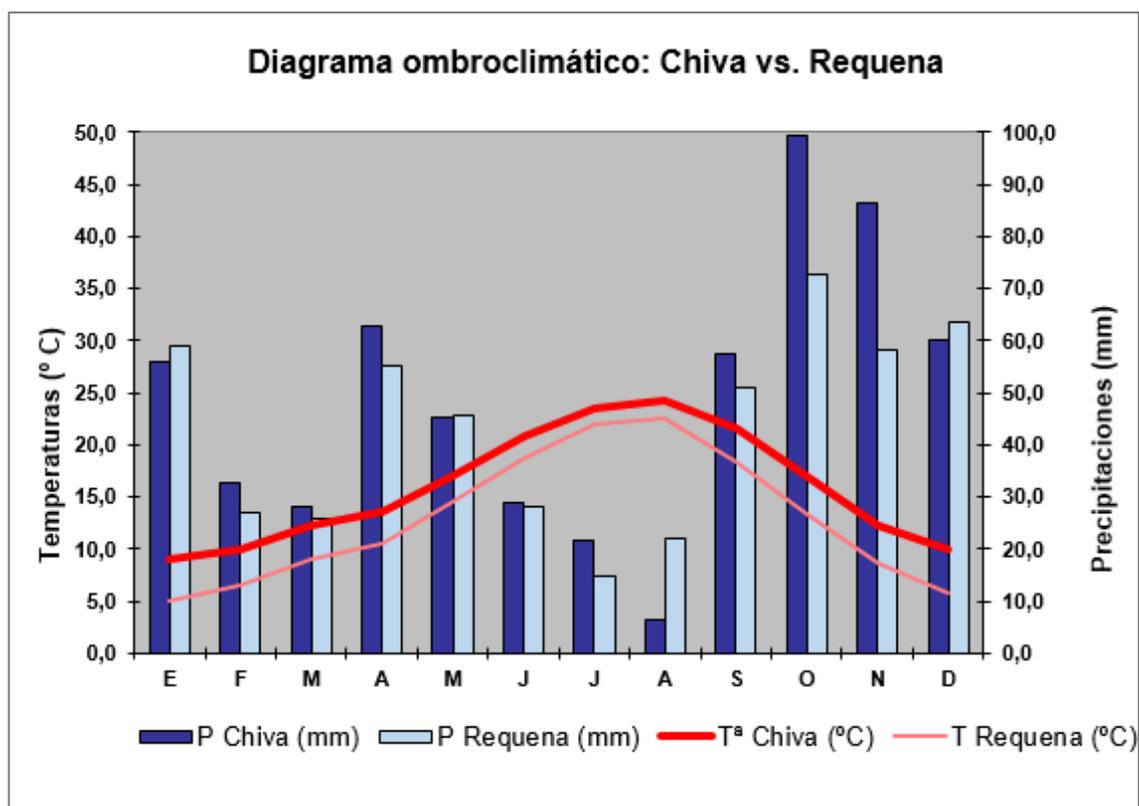


Figura 2-2. Comparación del diagrama ombroclimático de la estación de Chiva “Agro” y de la estación de Requena “Rebollar”. Fuente: elaboración propia.

Así pues, nos encontramos en un ambiente típicamente mediterráneo, caracterizado de forma general por el hecho de que las precipitaciones caen básicamente en otoño-invierno. En invierno las borrascas traen precipitaciones y en verano el anticiclón de las Azores determina un tiempo caliente y seco. El periodo más favorable para el crecimiento vegetal es la primavera, cuando el suelo está húmedo y las temperaturas suben, pero también es una estación de crecimiento muy favorable el otoño, que pese a ser la estación de más lluvia, gran parte de ella la utilizan los vegetales para paliar la sequía estival (de junio a agosto), empleando el resto para crecer. El invierno, sin embargo, ya es demasiado frío para que los vegetales puedan crecer. El verano es la estación más desfavorable debido a la fuerte sequía que reina, pero si las plantas tienen disponibilidad de agua, también crecen en ese periodo.

#### 2.3.4. Clasificación climática

El estudio del clima de un área reducida requiere realizar en ella una clasificación climática. El clima de la España peninsular ha sido objeto de estudio y clasificación por

numerosos autores, destacando los trabajos realizados por José Luís Allué Andrade (clasificación de 1966 y 1990) y por Rivas Martínez (1981-1987).

- **Clasificación climática de Papadakis**

La clasificación desarrollada por Papadakis se basa en el establecimiento de un régimen térmico y un régimen hídrico que sirven para determinar las distintas unidades climáticas, incluyendo factores de alta relevancia para los cultivos tales como la severidad estival e invernal. Su régimen térmico está definido por el tipo de verano y de invierno, y el régimen hídrico por el de precipitación y de las necesidades hídricas de los suelos.

La parte alta del área de estudio, influenciada por la estación de Requena, posee un clima **mediterráneo templado**. Tiene un invierno tipo avena o fresco (temperatura media de las mínimas absolutas del mes más frío mayor de  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) y un verano tipo maíz (duración de la estación libre de heladas mayor a 4,5 meses y temperatura media de la media máximas del único mes caracterizado como cálido, mayor a  $21^{\circ}\text{C}$ ).

La parte baja del área de estudio, influenciada por la estación de Chiva, posee un clima **mediterráneo marítimo**. Tiene un invierno tipo citrus (temperatura media de las mínimas absolutas del mes más frío mayor de  $7\text{ a }-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) y un verano tipo arroz (duración de la estación libre de heladas mayor a 4 meses y temperatura media de la media máximas de los dos meses caracterizados como cálidos, entre  $21\text{ y }25^{\circ}\text{C}$ ).

- **Clasificación fitoclimática de Allué**

En 1990 José Luis Allué establece una nueva versión de la clasificación fitoclimática de España basándose esencialmente en el diagrama ombrotérmico de Gaussen para la definición del clima mediterráneo excluyendo de este tipo de clima las cumbres ibéricas, carpetanas y penibéticas en las que la media de las mínimas del mes más frío es menor o igual a  $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Según esta clasificación, el área de estudio pertenece a:

- **IV<sub>4</sub>**: Mediterráneo genuino. Corresponde a la parte influenciada por la estación de Chiva "Agro", con una precipitación mayor de 500 mm y con la temperatura media mensual más baja menor a  $9,51\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

- VI(IV)<sub>1</sub>: Nemomediterráneo genuino. Perteneciente a la parte influenciada por la estación de Requena “Rebollar”, con una precipitación anual total menor a 725 mm y con la temperatura media mensual más baja menor a 7,5 °C.

- **Clasificación bioclimática de Rivas Martínez**

Según esta clasificación, existen cinco macrobioclimas (tropical, mediterráneo, templado, boreal y polar), cada uno de ellos representado por un conjunto de formaciones vegetales llamados bioclimas. En cada bioclima, a su vez, se ha reconocido un cierto número de variaciones en los ritmos estacionales de la precipitación (variantes bioclimáticas) y en los valores térmicos y ombrotérmicos (pisos bioclimáticos: termotipos y ombrotipos), lo que supone se eleve a más de trescientos el número de bioclimas básicos que tienen representación territorial en la geobiosfera.

Según esta clasificación, el área de estudio se caracteriza de la siguiente forma:

- **Macroclima mediterráneo:** principalmente corresponde a los territorios extratropicales de la Tierra pertenecientes a las cinturas subtropical y eutemplada (23º a 52º N & S) en los que existen al menos dos meses consecutivos con aridez durante el periodo más cálido del año. Tiene su mayor representación territorial en el centro y en el occidente de todos los continentes excepto en la Antártida.
- **Piso bioclimático mesomediterráneo seco:** caracterizado por una temperatura media anual menor de 16 °C, una temperatura media de las máximas del mes más frío menor a 13, una temperatura media de las mínimas del mes más frío menor a 5, una temperatura media del mes más frío menor a 9 °C y entre 4 y 9 meses en los que estadísticamente son posibles las heladas. Además es seco por tener una precipitación media anual entre 350 y 600 mm.

### 2.3.5. Índices climáticos

Los índices más importantes para este proyecto son los relacionados con el clima y la forma en la que puede incidir sobre la masa forestal, ya que una de las propuestas restauradoras de la cuenca será las repoblaciones forestales. Los índices calculados son los siguientes: evapotranspiración potencial (junto con la precipitación

se determina cuál va a ser el déficit o el exceso de agua en la cuenca de estudio), el índice de Aridez y el índice de continentalidad.

- **Evapotranspiración potencial**

El concepto de evapotranspiración potencial fue introducido por Thornthwaite en 1948 y se define como la cantidad máxima de agua devuelta a la atmósfera por evaporación y transpiración en un suelo totalmente cubierto de vegetación y en el supuesto de que no exista ningún déficit de agua. Una de las más utilizadas es la que halló Thornthwaite en 1955 basándose en experiencias con lisímetros. La ETP media anual obtenida para el área de estudio es la siguiente (Ver los resultados completos en el **Anexo 1-1**):

- Estación Requena “Rebollar”: 716,5 mm medios anuales.
- Estación Chiva “Agro”: 814,80 mm medios anuales.

- **Balance hídrico**

Se ha calculado el balance hídrico según el método de Thornthwaite-Mather (detalles en **Anexo 1-2**). El balance hídrico contabiliza las ganancias de agua por lluvia o riego y las pérdidas por evaporación, escorrentía, drenaje profundo y la variación del almacenamiento de aguas en el suelo. Conocer el balance hídrico de una localidad permite determinar la duración y la magnitud a nivel macroclimático de los periodos con exceso o deficiencia de agua.

En la **Figura 2-3** se puede observar el balance de la Estación de Requena, donde a partir de una precipitación media anual (PPT) de 524 mm, una evapotranspiración potencial (ETP) de 717 y una capacidad de campo de 150 mm, se obtiene una evapotranspiración real (ETR) de 487 mm, ocasionando una escorrentía o exceso de 30 mm. Es claramente visible el déficit hídrico durante el verano o el periodo seco que caracteriza el clima mediterráneo (ETR mayor que PPT), y el exceso o recarga hídrica durante el otoño e invierno (PPT mayor que ETR).

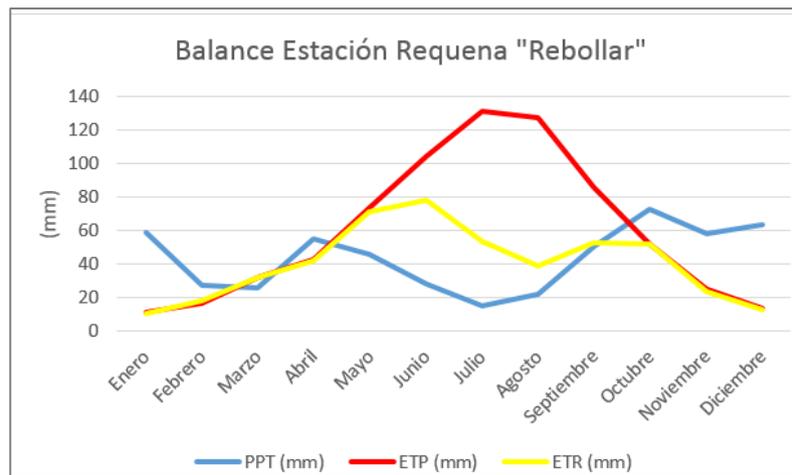


Figura 2-3. Balance hídrico para la estación de Requena "Rebollar". Fuente: elaboración propia.

En la **Figura 2-4** se presenta el balance de la Estación de Chiva. La forma del gráfico es prácticamente, el déficit se produce en verano y el exceso en otoño e invierno. La precipitación media anual de 586 mm, la evapotranspiración potencial de 815 mm y la capacidad de campo de 150 mm, dan lugar a una evapotranspiración real de 541mm, ocasionando una escorrentía o exceso de 39 mm. Es claramente visible el déficit hídrico durante el verano o el periodo seco que caracteriza el clima mediterráneo, y el exceso o recarga hídrica durante el otoño e invierno.

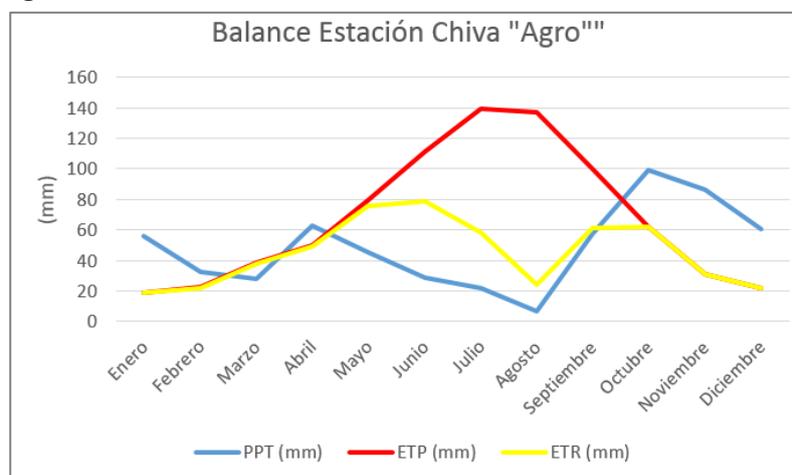


Figura 2-4. Balance hídrico para la estación de Chiva "Agro". Fuente: elaboración propia.

- **Índice de aridez (Índice de Martonne)**

El índice de aridez o Martonne es un valor por el que se mide la escasez de agua o humedad en el aire y en el suelo. La fórmula que emplea es función de la temperatura y la precipitación:

$$I_a = \frac{P}{T + 10}$$

Donde: P: precipitación media anual → Chiva = 585 mm  
 → Siete Aguas = 524 mm  
 T: temperatura media anual → Chiva = 16 °C  
 → Siete Aguas = 12,9 °C

Mediante esta fórmula se obtiene un índice de aridez de 22 para la estación de Chiva y 23 para la de Siete Aguas. Según la clasificación de la **Tabla 2-2**, el clima de ambas estaciones queda clasificado como zona subhúmeda. Sin embargo, está muy cerca de la zona semiárida de tipo mediterráneo.

| Valor del Índice de aridez | Zona                           |
|----------------------------|--------------------------------|
| 0 - 5                      | Desierto (Hiperárido)          |
| 5 - 10                     | Semidesierto (Árido)           |
| 10 - 20                    | Semiárido de tipo mediterráneo |
| 20 - 30                    | Subhúmeda                      |
| 30 - 60                    | Húmeda                         |
| >60                        | Perhúmeda                      |

Tabla 2-2. Clasificación de zonas climáticas en función del Índice de aridez o de Martonne.

Fuente: Mintegui *et al.*, 1993.

- **Déficit de escorrentía según Turc**

Fue obtenida considerando observaciones realizadas en 254 cuencas, distribuidas por todos los climas del mundo. Esta fórmula permite definir también el clima de la cuenca, siguiendo criterios de balance de humedad. Así establece que:

Cuando  $P > 6,632 L$  el clima es húmedo  
 Si  $0,316 L < P < 0,632$  el clima es semiárido  
 Cuando  $P < 0,316$  el clima es árido

Donde: P: precipitación media anual (mm)  
 L:  $300 + 25T + 0,05T^3$ ; (T: temperatura media anual, °C)

Mediante este índice se obtiene una clasificación de clima semiárido para la estación de Chiva, con un valor de 0,6, y un clima húmedo para Siete Aguas, con un índice de 0,7.

Se ha calculado tanto el índice de Martonne como el de Turc para contrastar las clasificaciones obtenidas. Por lo tanto, se puede concluir que la zona de estudio se encuentra en el límite entre zona semiárida y zona subhúmeda. Estos datos serán útiles para la elección de especies de repoblación, que se detallará en el **Apartado 5- Restauración Hidrológico-Forestal**.

- **Índice de continentalidad**

Los índices de continentalidad tratan de expresar la amplitud de la oscilación anual de la temperatura. Este índice expresa en grados centígrados la diferencia u oscilación entre la temperatura media del mes más cálido (Tmax) y la del mes más frío (Tmin).

$I_c = T_{max} - T_{min}$  → Chiva:  $30,5 - 4,5 = 26$

→ Siete Aguas:  $30,2 - 0,2 = 30$

Ambos son de tipo continental, diferenciando a Siete Aguas con mayor índice (eucontinental), ya que no tiene la influencia marítima que posee Chiva (subcontinental). Ver **Tabla 2-3**.

| Tipos                       | Subtipos                          | Valores   |
|-----------------------------|-----------------------------------|-----------|
| 1. Hiperocéánico<br>(0-11)  | 1.1a. Ultrahiperocéánico acusado  | 0-2.0     |
|                             | 1.1b. Ultrahiperocéánico atenuado | 2.0-4.0   |
|                             | 1.2a. Euhiperocéánico acusado     | 4.0-6.0   |
|                             | 1.2b. Euhiperocéánico atenuado    | 6.0-8.0   |
|                             | 1.3a. Subhiperocéánico acusado    | 8.0-10.0  |
|                             | 1.3b. Subhiperocéánico atenuado   | 10.0-11.0 |
| 2. Oceánico<br>(11 - 21)    | 2.1a. Semihiperocéánico acusado   | 11.0-13.0 |
|                             | 2.1a. Semihiperocéánico atenuado  | 13.0-14.0 |
|                             | 2.2a. Euoceánico acusado          | 14.0-16.0 |
|                             | 2.2b. Euoceánico atenuado         | 16.0-17.0 |
|                             | 2.3a. Semicontinental atenuado    | 17.0-19.0 |
|                             | 2.3b. Semicontinental acusado     | 19.0-21.0 |
| 3. Continental<br>(21 - 66) | 3.1a. Subcontinental atenuado     | 21.0-24.0 |
|                             | 3.1b. Subcontinental acusado      | 24.0-28.0 |
|                             | 3.2a. Eucontinental atenuado      | 28.0-37.0 |
|                             | 3.2b. Eucontinental acusado       | 37.0-46.0 |
|                             | 3.3a. Hipercontinental atenuado   | 46.0-56.0 |
|                             | 3.2b. Hipercontinental acusado    | 56.0-66.0 |

Tabla 2-3. Tipos, subtipos y niveles de continentalidad simple ( $I_c$ ) que se reconocen en la Tierra. Fuente: <http://www.globalbioclimatics.org/>. Rivas Martínez.

## 2.4. Vegetación y usos del suelo

En este apartado se va a describir en primer lugar la vegetación potencial del área de estudio basándose en diversos autores (Allué, Rivas Martínez, Luis Ceballos). A continuación se describe la vegetación actual de la zona según los datos del Inventario Forestal Nacional del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, consulta de bibliográfica y el trabajo de campo realizado.

### 2.4.1. Vegetación potencial

Se va a describir la vegetación potencial de la zona mediante tres criterios. Por una parte, se caracteriza a nivel de ecorregión mediante la clasificación fitoclimática de Allué, por otra, se especifica a nivel de cuenca según el Mapa de Series de Vegetación de España de Rivas Martínez y finalmente se emplea las series de regresión Luis Ceballos donde se incluyen los pinares.

- **Clasificación fitoclimática de Allué**

Según la Clasificación fitoclimática de Allué definida en el **Apartado 2.3.4**, la zona de estudio se caracteriza a nivel de ecorregión en dos tipos, y cada uno de ellos está asociado a una asociación de vegetación potencial (ver **Tabla 2-4**):

- Zona alta y media: la parte oeste del área de estudio está influenciada por la estación de Requena y según esta clasificación pertenece al tipo VI(IV)<sub>1</sub>. Corresponde al tipo fitoclimático Nemoral, el cual está caracterizado por la asociación potencial de vegetación de quejigares, melojares o rebollares, encinares alsinares, robledales pubescens y pedunculados y hayedos.
- Zona media y baja: El área influenciada por la estación de Chiva, situada al este, pertenece al tipo IV<sub>4</sub>. Corresponde al tipo fitoclimático mediterráneo y concretamente a la asociación potencial de vegetación de lentiscares, coscojares, acebuchales, encinares (*Quercus ulex subsp. Rotundifolia*) y encinares alsinares (*Quercus ilex subsp. Ilex*).

Como se puede observar, la zona más alta de la cuenca está en el primer orden dentro del tipo fitoclimático Nemoral. Por tanto se encuentra en el límite entre el tipo mediterráneo y el nemoral. Las asociación de especies está por tanto relacionada con

zonas de mayor altitud y más húmedas. No obstante, aunque según los datos de las estaciones se haya obtenido esta clasificación para el área oeste (Requena), es evidente que en esta zona no corresponden los hayedos, ya que corresponden a zonas de mayor altitud.

| TIPO FITOCLIMÁTICO | ASOCIACIONES POTENCIALES DE VEGETACIÓN  | ALLUÉ                | ORDEN |
|--------------------|---|----------------------|-------|
| ÁRIDO              | Espinales de azufaifo, Cornicales   | III (IV)             | 1     |
| MEDITERRÁNEOS      | Lentiscares, Coscojares, Acebuchales, Encinares ( <i>Quercus ilex</i> subsp. <i>Rotundifolia</i> ) y Encinares alsinares ( <i>Quercus ilex</i> subsp. <i>Ilex</i> ) | IV (III)             | 2     |
|                    |   | IV (VII)             | 3     |
|                    |   | IV <sub>1</sub>      | 3     |
|                    |   | IV <sub>2</sub>      | 4     |
|                    |   | IV <sub>3</sub>      | 5     |
|                    |   | IV <sub>4</sub>      | 6     |
|                    |   | IV (VI) <sub>1</sub> | 7     |
|                    |   | IV (VI) <sub>2</sub> | 8     |
| NEMORALES          | Quejigares, Melojares o Rebollares, Encinaresalsinares, Robledales pubescens y pedunculados, Hayedos  | VI (IV) <sub>1</sub> | 9     |
|                    |   | VI (IV) <sub>2</sub> | 10    |
|                    |   | VI (IV) <sub>3</sub> | 11    |
|                    |   | VI (IV) <sub>4</sub> | 12    |
|                    |   | VI (VII)             | 13    |
|                    |   | VI (V)               | 14    |
|                    |   | VI                   | 15    |
| OROBOREALOIDES     | Pinares de silvestre, Pinares moros, Robledales oubescens, Hayedos, Pastos alpinos y alpinoideos  | VIII (VI)            | 16    |
|                    |   | X (VIII)             | 17    |
|                    |   | X (IX) <sub>1</sub>  | 18    |
|                    |   | X (IX) <sub>2</sub>  | 18    |

Tabla 2-4. Clasificación fitoclimática de Allué. Fuente: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

- **Series de Vegetación de Rivas Martínez**

A continuación se va a describir la clasificación de Rivas Martínez, a partir del Mapa de Series de Vegetación de España, y editado por la Dirección General de Medio Natural y Política Forestal, del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, en conjunto con el libro de Rivas M., *et al.* (1987). A diferencia de la anterior, esta clasificación corresponde a nivel de cuenca y está basada en la clasificación bioclimática comentada en el **Apartado 2.3.4**. Estudia la relación entre el clima y la distribución de los seres vivos y comunidades en la Tierra. Se relaciona los valores

medios del clima (temperatura y precipitación) con los areales de las plantas y de sus formaciones vegetales.

Según Rivas Martínez (1987), en la cabecera de cuenca del río Buñol la vegetación potencial es arbolada y esclerófila, estando presidida por un elemento genuinamente mediterráneo que es la carrasca. El área de estudio corresponde a la serie mesomediterránea manchega y aragonesa basófila de *Quercus rotundifolia* o encina (*Bupleuro rigidi-Querceto rotundifoliae signetum*). Tiene dos facies, Siete Aguas pertenece a la típica (22b) y Buñol a la termófila murciano-manchego-aragonesa con *Pistacia lentiscus* (22ba). Ver **Figura 2-4** y **Tabla 2-5**.

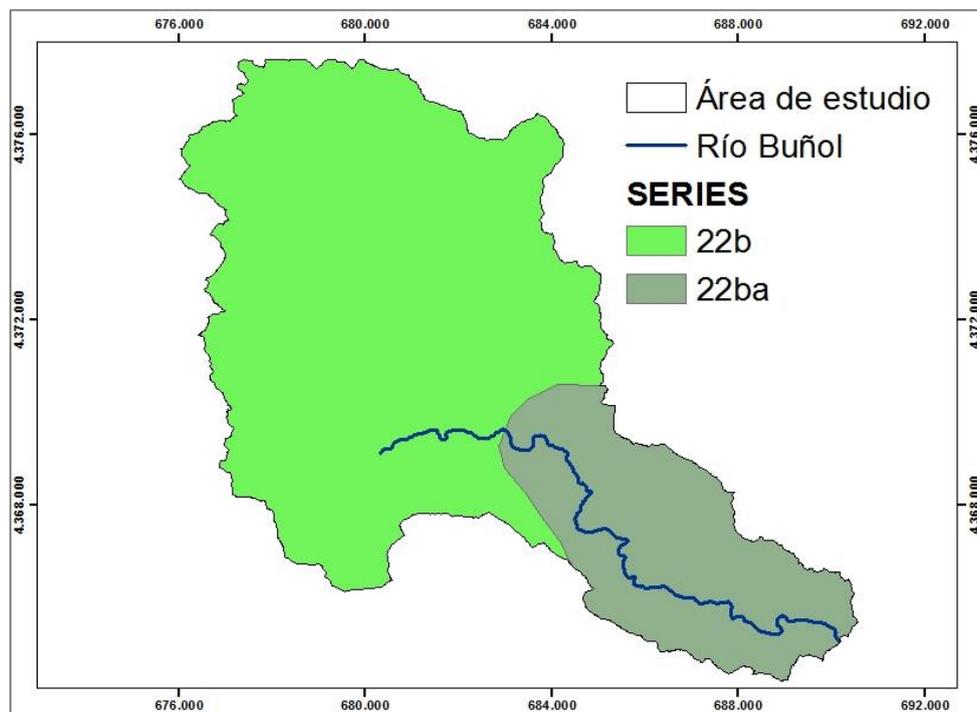


Figura 2-4. Series de vegetación de Rivas Martínez en la cabecera de cuenca del río Buñol. Fuente: elaboración propia a partir de los Metadatos del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

Está bien representada en La Rioja, Navarra, Aragón, Cataluña, Valencia, Castilla-La Mancha, Andalucía oriental y Murcia. Su denominador común es un ombroclima de tipo seco y unos suelos ricos de carbonato cálcico. El carrascal o encinar (*Quercus rotundifolia*) representa la etapa madura de la serie.

Cuando el carrascal se degrada, aparecen formaciones dominadas por una especie muy próxima a la carrasca, la coscoja (*Quercus coccifera*). Son formaciones arbustivas

esclerófilas que se desarrollan tanto en suelos calizos como en los yesíferos, que tras la total o parcial desaparición o destrucción de la encina aumentan su biomasa. Domina la coscoja y está acompañada del aladierno (*Rhamnus alaternus*), el espino negro (*Rhamnus lycioides*), el lentisco (*Pistacea lentiscus*), el palmito (*Chamaerops humilis*), labiérnago (*Phillyrea angustifolia*), zarzaparrilla (*Smilax aspera*), espárrago triguero (*Asparagus acutifolius*). Debido a que el área de estudio se sitúa justo en el límite de las formaciones más termófilas con las formaciones de interior, en el matorral se observan también de forma abundante plantas como, el enebro (*Juniperus oxycedrus*) o la retama loca (*Osyris alba*).

En esta amplia serie las etapas extremas de degradación son los tomillares y romillares, que pueden ser muy diversos entre sí en su composición florística. En estas formaciones son muy abundantes especies propias de ambientes térmicos como la coronilla de fraile (*Globularia alypum*), el romero macho (*Cistus clusii*), el romero (*Rosmarinus officinalis*), la albaida (*Anthyllis citisoides*), el brezo de flor (*Erica multiflora*) o plantas de menor porte como el tomillo (*Thymus vulgaris*) o los *Helianthemum*. También aparecen especies menos termófilas, propias de ambientes de interior como la aliaga parda (*Genista scorpius*) o un interesante endemismo de la Comunidad Valenciana como es la pebrella (*Thymus piperella*).

La última etapa de recesión corresponde al pastizal, donde las especies características son el lastón (*Brachypodium phoenociodes*), esparto (*Stipa bromoides*), la margarita (*Astericus aquaticus*).

La vocación de estos territorios es agrícola (cereal, viñedo, olivar) y ganadera extensiva. Las repoblaciones de pinos, sólo recomendables en las etapas de extrema degradación del suelo como cultivos protectores, deben basarse en pinos piñoneros (*Pinus pinea*) y sobre todo en pinos carrascos (*Pinus halepensis*).

| Etapa de la sucesión | Especies forestales   |
|----------------------|---|
| Bosque               | <i>Quercus rotundifolia</i>   |
| Matorral denso       | <i>Quercus coccifera</i><br><i>Rhamnus alaternus</i><br><i>Retama sphaerocarpa</i><br><i>Genista speciosa</i> |
| Matorral degradado   | <i>Echinopartum boissieri</i><br><i>Phlomis crinita</i><br><i>Thymus baeticus</i><br><i>Digitalis obscura</i> |
| Pastizales           | <i>Brachypodium phoenicoides</i><br><i>Stipa bromoides</i><br><i>Asteriscus aquaticus</i>                     |

Tabla 2-5. Etapas de regresión y bioindicadores de la serie 24b de Rivas Martínez. Fuente: Rivas Martínez (1987).

- **Series de regresión de Luis Ceballos**

Finalmente, las **Series de regresión de Luis Ceballos** parten del óptimo de vegetación que representa el bosque denso de frondosas, presentando una etapa intermedia de los pinares como paso necesario para alcanzar el clímax.

El óptimo de la vegetación potencial de la zona de estudio es el bosque de la encina (*Quercus ilex*). Para este tipo de bosque Ceballos establece una serie de regresión climática similar a Rivas Martínez, pero en este caso incluye una etapa intermedia de pinares. La primera fase corresponde al óptimo denso; la segunda a bosque aclarado con intervención de arbustos y sotobosques con numerosas plantas leguminosas; en la tercera fase aparecen los pinos como invasión heliófila, acompañado de la invasión de matorral, principalmente ericáceas o cistáceas; la cuarta fase se refiere al matorral en estado avanzado de degradación; la quinta es el último estado de regresión, con predominio de asociaciones de herbáceas. Después de esta etapa se considera desierto.

En ambos casos (Rivas Martínez y Luis Ceballos) la dinámica de la vegetación se reduce a lo mismo: encinares, lentiscares, romerales, coscojares y jarales. En la **Tabla 2-6** se detallan las especies específicas de cada etapa de la serie de regresión para la encina.

| tapas   | Especies  |
|---|---|
| I<br>Óptimo<br>Bosque denso   | ENCINA ( <i>Quercus ilex</i> )<br>Sobre terreno calizo  |
| II<br>Bosque aclarado con abundante intervención de arbustos<br><br>Sotobosques con numerosas plantas leguminosas     | <i>Ceratonia siliqua</i><br><i>Celtis australis</i><br><i>Juniperus phoenicia</i><br><i>Pistacia terebinthus</i><br><i>Coronilla glauca</i><br><i>Anthyllis cytisoides</i><br><i>Jasminum fruticosum</i><br><i>Smilax aspera</i><br><i>Spartium junceum</i>     |
| III<br>Invasión heliófila<br>Etapa de los pinares<br>Invasión de matorral colonizados a base de Ericáceas o Cistáceas | LENTISCARES<br>( <i>Pistacia lentiscus</i> )<br>ROMERALES<br>( <i>Rosmarinus officinalis</i> )<br>COSCOJARES<br>( <i>Quercus coccifera</i> )<br><i>Pinus halepensis</i><br><i>Pinus pinaster</i><br>JARALES<br><i>Cistus libanotis</i><br><i>Cistus albidus</i> |
| IV<br>Matorral en estado avanzado de degradación<br>Frecuencia de plantas espinosas<br>Predominio de labiadas         | <i>Phlomis lychnites purpurea</i><br><i>Teucrium capitatum</i><br><i>Lavandula vera</i><br><i>Rhamnus lycioides</i><br><i>Ruta bractosa</i>   |
| V<br>Asociaciones de herbáceas del último estado de regresión   | Pseudo-estepas de gramíneas<br><i>Euphorbia-plantago</i><br><i>Brachypodium ramosum</i><br><i>Stipa tenacissima</i>   |
| VI Desierto   | <i>Roquedo, arenales</i>  |

Tabla 2-6. Serie de regresión de Luis Ceballos para el óptimo de vegetación forestal de la encina (*Quercus ilex*). Fuente: Serrada, 2002.

#### 2.4.2. Vegetación actual

Los datos de la vegetación actual se han obtenido a partir de la cartografía del Inventario Forestal Nacional, descargada a través de la página web del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Esta información se ha procesado y

filtrado para poder obtener los diferentes usos y especies forestales que se describen a continuación.

Como se comentó en los antecedentes, tras talas continuadas y repetidos incendios a lo largo de la historia, la parte alta de la cabecera de cuenca del río Buñol se encuentra muy degradada y sin estrato arbóreo establecido. Le sigue la parte media de la cuenca, la cual también tiene gran parte del territorio con matorral degradado, sobre todo en las zonas más altas, coincidiendo con las divisorias de la cuenca. Finalmente, la parte baja del área de estudio es la que mejor situación presenta, donde únicamente la superficie correspondiente a la divisoria norte está afectada por este proceso. Se puede ver en el **Mapa 5-Vegetación**.

En la **Tabla 2-7** se observa la superficie de cada uso, así como las especies forestales existentes.

| Especies   | AREA (Km <sup>2</sup> ) | AREA (%)    |
|--|-------------------------|-------------|
| Matorral   | 37,79                   | 39,9%       |
| <i>Pinus halepensis</i>                                    | 17,26                   | 18,2%       |
| Agrícola   | 12,28                   | 13,0%       |
| <i>Pinus halepensis, Quercus ilex, Juniperus oxycedrus</i> | 10,24                   | 10,8%       |
| <i>Quercus ilex, Pinus halepensis, Juniperus oxycedrus</i> | 5,15                    | 5,4%        |
| <i>Pinus halepensis, Juniperus oxycedrus</i>               | 2,98                    | 3,1%        |
| Artificial   | 2,83                    | 3,0%        |
| <i>Pinus halepensis, Quercus ilex</i>                      | 2,08                    | 2,2%        |
| <i>Quercus ilex</i>  | 1,46                    | 1,5%        |
| <i>Quercus ilex, Juniperus oxycedrus</i>                   | 0,90                    | 1,0%        |
| <i>Quercus ilex, Pinus halepensis</i>                      | 0,80                    | 0,8%        |
| <i>Populus x canadiensis, Populus alba, Populus nigra</i>  | 0,32                    | 0,3%        |
| <i>Pinus halepensis, Ceratonia siliqua</i>                 | 0,30                    | 0,3%        |
| Incendios  | 0,14                    | 0,1%        |
| <i>Pinus halepensis, Populus nigra</i>                     | 0,08                    | 0,1%        |
| <i>Populus nigra, Celtis australis</i>                     | 0,01                    | 0,0%        |
| <b>TOTAL</b>   | <b>94,61</b>            | <b>100%</b> |

Tabla 2-7. Área correspondiente a los diferentes usos y especies forestales de la cabecera de cuenca del río Buñol. Fuente: elaboración propia.

En primer lugar destacar la superficie ocupada por matorral sin estrato arbóreo establecido, es la correspondiente al 40%. Generalmente se da una formación de matorral mediterráneo de baja altura (hasta un metro de altura) compuesto por

coscoja (*Quercus coccifera*), romero (*Rosmarinus officinalis*), tomillo (*Tymus vulgaris*), brezos (*Erica sp.*), palmito (*Chamaerops humillis*), lentisco (*Pistacia lentiscus*), aliaga (*Ulex parviflorus*), etc. En las zonas de orientación sur este matorral tiene baja densidad (recubrimiento a lo sumo de un 50%) y frecuentemente se dan afloraciones rocosas, lo que hace pensar que la recuperación será difícil. La solana u orientación sur es un ejemplo de degradación que nos avisa de lo que puede ocurrir si se repiten los incendios con alta frecuencia, que si se unen a las elevadas pendientes que se dan en la zona, dejan vía libre para que la fuerza erosiva de las lluvias torrenciales actúen en toda su amplitud. Muchas áreas de solana están constituidas por una ladera con escasísima vegetación de matorral de menos de un metro de altura y con extensas zonas en que sólo se observa roca viva. Sin embargo existen algunas zonas dispersas compuestas de una buena regeneración de encinas.

En las zonas de umbría el matorral tiene mejor aspecto, es más denso (más de un 50 % de recubrimiento y a veces llegando al 100 %) y además está más crecido en altura.

Respecto a las especies arbóreas, se van a comentar por separado:

- hay un evidente dominio del pino carrasco (*Pinus halepensis*), como única especie en una superficie del 18%.
- con un 11% se encuentra el *Pinus halepensis* como especie principal y la encina (*Quercus ilex*) como especie secundaria y el enebro (*Juniperus oxycedrus*) como tercera especie.
- La encina como especie principal sólo ocupa un 5,4 % del área de estudio, siendo esta especie la potencial de la zona. Está acompañada nuevamente el pino carrasco como especie secundaria y del enebro como terciaria.
- Con un 3,1% aparece el pino carrasco acompañado de enebro.
- El pino carrasco como especie principal y la encina como secundaria, sin estrato arbustivo, ocupan un 2,2%.
- La encina como especie principal, pero en este caso acompañada de enebro o de pino, ocupa un 3% aproximadamente.
- Las especies de ribera como los chopos (*Populus canadienses*, *Populus alba* o *nigra*) o aladoneros (*Celtis australis*) ocupan en total un 0,5% aproximadamente.

- También es de destacar la combinación del pino carrasco con el algarrobo (*Ceratonia siliqua*) ocupando un 0,3%, debido a cultivos abandonados básicamente.

Respecto a los usos no forestales se encuentra lo siguiente:

- La agricultura ocupa una superficie importante, un 13%.
- El uso artificial o suelo urbanizado constituye el 3%.
- El área de incendios recientes es del 0,3%.

Se ha combinado esta información junto con el trabajo de campo y diversa bibliografía (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente y Ayuntamientos de Siete Aguas y Buñol entre otros) para determinar la vegetación actual. Resumiendo, la mayoría del territorio está dominado por el matorral, generalmente degradado y sin vegetación arbórea establecida y formado principalmente por coscoja, romero, tomillo, brezos, palmito, lentisco, aliaga y ericáceas. En los bosques existentes predomina claramente el pino carrasco, acompañado en algunas zonas con encina, enebro, matorral o especies de ribera, y en otras, aparece como especie única. Pero existen manchas importantes de encina en el territorio de la cabecera de cuenca del río Buñol, lo que es un buen dato para una posible progresión hacia la serie potencial a la que pertenece, en la que la especie principal es la encina. Añadir también que en los lugares más sombríos en la Sierra de Malacara de Buñol, crecen algunos tejos (*Taxus baccata*), arces (*acer sp.*) así como la sabina negral (*Juniperus phoenicia*). En algunos lugares, junto a los ríos, se encuentran chopos (*Populus sp.*), sauces (*Salix sp.*) y adelfas (*Nerium oleander*). Como matorral asociado, como en las profundidades de la Sierra Malacara, también podemos encontrar el labiérnago (*Phillyrea angustifolia*) y lianas como hiedra (*Hedera hélix*) y zarzaparrilla (*Smilax aspera*).

En el apartado número 4, correspondiente a la ordenación de la cuenca, se analizará con mayor nivel de detalle los diferentes usos existentes en la cuenca, así como el establecimiento de una ordenación y cambios de usos necesarios para restaurar y tratar de revertir la situación actual, con el fin de mejorar las condiciones existentes de la zona de estudio.

### 2.4.3. Figuras de protección

La parte sur de la cuenca (**Figura 2-5**), en el término municipal de Buñol, pertenece a la RED NATURA 2000, bajo las figuras de Lugar de Importancia Comunitaria (LIC) y Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA). Esta zona pertenece a la Sierra de Malacara del término municipal de Buñol, cualificada como LIC en el 2001 y como ZEPA en el 2009.

Como se ha comentado en la descripción de la vegetación actual, en el término de Buñol existen algunos retazos forestales de gran calor en interés. Estos lugares pertenecen a la superficie que tiene estas figuras de protección. Alberga así mismo grandes barrancos colonizados por bosquetes de fresnos y encinas.

Además alberga poblaciones nidificantes de 15 especies de aves incluidas en el Anexo I de la Directiva 79/409/CEE. La zona es importante para la conservación de rapaces rupícolas. Acoge tres territorios de Águila-azor Perdicera (3 parejas nidificantes en el censo de 2003) y una pareja de Águila Real. Nidifica también el Búho Real, Aguililla Calzada, Halcón peregrino y la Culebrera Europea.

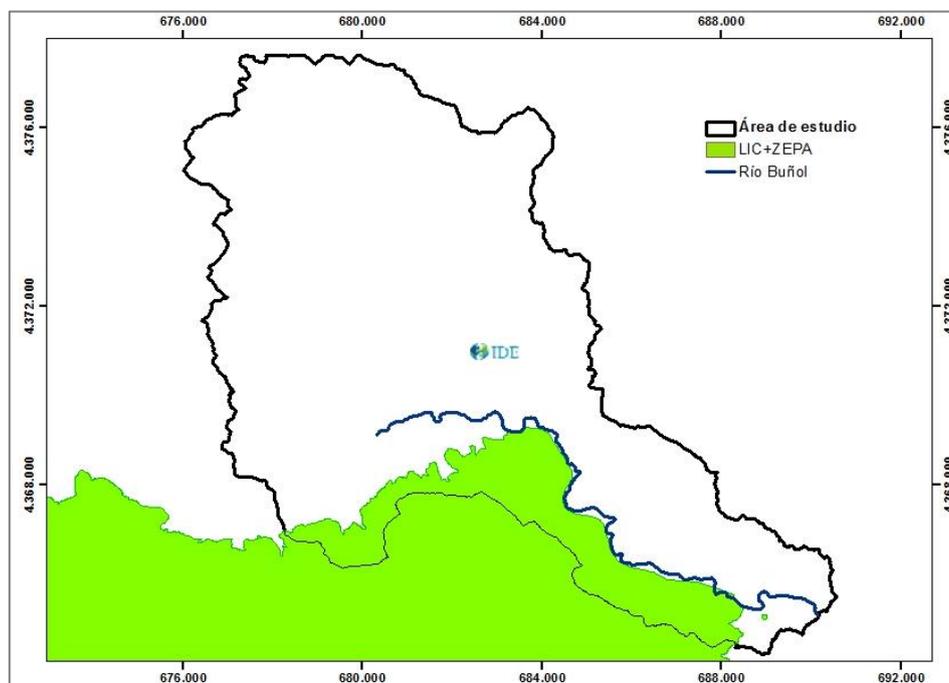


Figura 2-5. Figuras de la RED NATURA 2000 en la cabecera de cuenca del río Buñol. Fuente: elaboración propia a partir de los Metadatos del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente

#### 2.4.4. Titularidad de los montes

El 61% del área de estudio pertenece a Montes de Utilidad Pública, concretamente a las entidades locales de los propios municipios. El 47% de monte público está situado en el término de Siete Aguas (Monte V068); el 13% está situado en Buñol (Monte V066); el 1% en Chiva (V067); y prácticamente nada, sólo 0,3 Km<sup>2</sup>, en Yátova (Monte V069) (Tabla 2-8). En la Figura 2-6 se representan la distribución de los montes en el el área de estudio.

| Municipio   | MUP  | Superficie (Km <sup>2</sup> ) | Superficie (%) |
|-------------|------|-------------------------------|----------------|
| Siete Aguas | V068 | 44,2                          | 47%            |
| Buñol       | V066 | 12,6                          | 13%            |
| Chiva       | V067 | 0,9                           | 1%             |
| Yátova      | V069 | 0,3                           | 0,3%           |
| TOTAL       |      | 58,0                          | 61%            |

Tabla 2-8. Montes de Utilidad Pública de la Cabecera de cuenca del río Buñol. Fuente: elaboración propia.

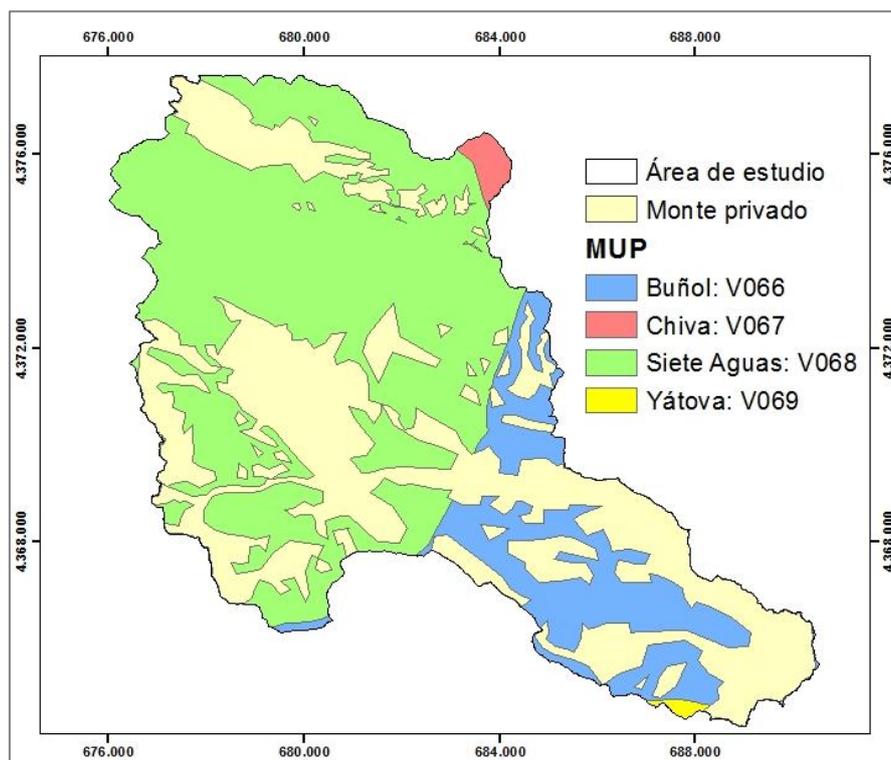


Figura 2-6. Titularidad de los Montes de la cabecera de cuenca del río Buñol. Fuente: elaboración propia a partir de los Metadatos del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

## **2.5. Características socioeconómicas**

El término municipal de Siete Aguas tiene una superficie de 111 Km<sup>2</sup>. Según el censo municipal del Instituto Nacional de Estadística (INE) del año 2012, la localidad de Siete Aguas cuenta con una población de 1.476 habitantes, 780 de ellos varones y 696 mujeres. Su economía está basada tradicionalmente en la agricultura, la complejidad de su orografía hace que sólo unas 2.500 hectáreas sean cultivables en secano y unas 32 en regadío. El clima y la escasez de lluvias permiten una producción agrícola muy diversificada. En secano predomina el cultivo de la vid, con variedades Bobal, Macabeo, Merseguera y Malvasía que dan lugar a la obtención de extraordinarios vinos tintos y rosados bajo la denominación de origen Utiel-Requena. También destacan las especialidades de aguja natural, vinos blancos y rosados.

El turismo rural también tiene un importante papel en Siete Aguas. Es un buen lugar para emprender gran variedad de rutas y paseos. Entre sus parajes y variedad de paisajes se puede ir de los 750 metro de altitud del núcleo urbano hasta los 1.118 metros del Pico de la Nevera, en el corazón de la Sierra de Malacara, o a los 1.250 m. del vecino Pico del Tejo.

Para visitar los manantiales más cercanos al municipio existe la "Ruta de las Fuentes" donde se pasa por la Fuente del Retiro, de la Tejería, de la Gota o del Papán. Especialmente importancia tuvo en el siglo XIX el manantial situado a media legua de la carretera de Madrid que surtía de agua al pueblo de Siete Aguas. El agua era abundante de manera que servía para beber a una población de 300 vecinos y el exceso sobrante se utilizaba para el riego de una considerable extensión de terreno. Situado en el centro del pueblo actualmente es una fuente pública llamada la fuente de los Siete Caños. Según Marco Torres (2002), la Comisión Central de Medicina y Cirugía dictaminó que las aguas termales de Siete Aguas tenían aplicaciones terapéuticas digestivas, neurológicas, urinarias, dermatológicas, hematológicas y ginecológicas.

También dispone de dos museos: el Museo Arqueológico Municipal y el Museo Parroquial San Juan Bautista.

El término municipal de **Buñol** tiene una superficie de 111 Km<sup>2</sup>. Según el INE la población del año 2012 se censó en 9.927 habitantes, 5.007 varones y 4.920 mujeres.

Buñol es una de las poblaciones de la Hoya de Buñol que cuenta con los mejores accesos y gracias a los cuales se ha llevado a cabo un mayor desarrollo. Ha pasado de una economía tradicional agrícola, a una economía en la que la industria junto con los servicios, han adquirido gran notoriedad.

El sector agrícola ha sufrido importantes cambios, con la caída de la población activa y el volumen de superficie cultivada. El sector se encuentra hoy en día sumido en la transformación de la superficie de secano a regadío. Actualmente predominan los cultivos de secano, especialmente cereales, vid, olivos y algarrobos. En los terrenos de regadío se cultivan cereales, maíz y árboles frutales; regados a partir del río Buñol y diversas fuentes, aprovechadas mediante balsas.

El sector industrial posee un número de activos muy importante. Al final del siglo XX se produjo una gran expansión económica derivada de la mejora de las vías de comunicación y hoy en día es uno de los municipios con más tradición industrial, de hecho hay registros del año 1.937 en el que ya reflejaba la existencia de molinos papeleros y telares. Actualmente existen varias fábricas de papel y una de cemento, la empresa “Valenciana de Cementos”. Se ha comentado en el apartado de geología los diferentes recursos geológicos existentes en el término de Buñol, como son las diversas canteras y graveras. También existe un parque eólico que contribuye al desarrollo económico.

En cuanto al sector terciario, los servicios y el comercial, se está consiguiendo un desarrollo social y económico notable. La población está trabajando activamente en la promoción del sector como fuerte principal de desarrollo económico y representa ya uno de los puntales de la economía de Buñol. Cada vez es mayor el grado de interés turístico que despiertan sus fiestas, monumentos, gastronomía e historia. Su Castillo del siglo XIII alberga hoy el Museo Arqueológico Municipal. Pero si Buñol es conocida entodo el mundo es por la fiesta de La Tomatina. En la mañana del 25 de agosto, miles de personas de todos los rincones del planeta acuden a la localidad para vivir la famosa batalla del tomate. Una fiesta tan popular que la han declarado Fiesta de Interés

Turístico Internacional. Entre las fiestas populares del municipio destaca “La Tomatina”, la cual es mundialmente conocida.

También cuenta con diversos lugares de interés para realizar turismo rural, como parajes naturales y diversas rutas: la Cueva del Turche, la Cueva de las Palomas, Covalta, Camino de Carcalín, el Río Juanes o el Collado Umán.



### 3. HIDROLOGÍA

En este apartado se van a describir los principales barrancos que transcurren por la cabecera de cuenca del río Buñol. A continuación se va a comentar la división en unidades hidrológicas realizada, donde se va a describir los diferentes parámetros que caracterizan las subcuencas. A partir de esta información y con datos de precipitaciones máximas se van a comentar los caudales obtenidos por diversos métodos.

#### 3.1. Reseña hidrológica

El río Buñol transcurre de oeste a este, desde el término de Siete Aguas hasta el término de Alborache. La cabecera de cuenca del río Buñol, área de estudio del presente trabajo, tiene su punto de cierre en la población de Buñol.

Generalmente el estudio de los recursos hídricos de una zona se centra en el aprovechamiento de éstos por el sector agrícola. Pero a lo largo de la historia se han generado otros usos del agua en el río Buñol y en sus afluentes, como lo fue la molinería, en sus vertientes harinera y papelera, con un rol relevante en el pasado y testimonial en la actualidad.

En el **Mapa 6 - Cuenca vertiente**, se puede observar la ubicación de las principales ramblas y barrancos, así como el número de orden de Strahler, el sistema más utilizado actualmente en hidrología. Se considera que la cuenca tiene una única salida o punto de desagüe; los puntos en los que se unen dos segmentos de canal son los nudos internos y, los nudos externos, son aquellos a partir de los cuales se origina un segmento de canal (es decir, la cabecera de todos los tributarios de la cuenca). Según Strahler una corriente puede tener uno o más segmentos y, un canal, es una unión arbitraria de segmentos. Según este método las corrientes se ordenan de acuerdo a los siguientes criterios (Mantilla, R.; 2007):

1. Los segmentos que se originan en un nudo externo son definidos como tramos de primer orden. Los segmentos que están unidos a una fuente (los que no tienen tributarios), son definidos como de primer orden.

2. Cuando dos segmentos del mismo orden,  $i$ , se unen en un nudo interior dan lugar a un segmento de orden superior,  $i+1$ , aguas abajo. Cuando se unen dos corrientes de orden  $w$ , crean una corriente de orden  $w+1$ .
3. Cuando se unen dos tramos de distinto orden en un nudo interior dan lugar a un tramo que conserva el mayor de los órdenes. Cuando se unen dos tramos de distinto orden el orden del segmento resultante es el máximo orden de los segmentos que la preceden. Cuando a una corriente se le une otra de menor orden, la primera continúa y conserva su número de orden.
4. El orden de la cuenca,  $w$ , es el de la corriente de mayor orden.

En la Tabla 3-1 se muestra un cuadro resumen de las principales ramblas y barrancos, así como el número de orden según Strahler, el cual aporta información preliminar sobre la importancia cuantitativa de caudal dentro de la cuenca, es decir, a mayor número de orden, mayor caudal.

| Nombre                     | Longitud (Km) | Nº Strahler | Término Municipal   |
|----------------------------|---------------|-------------|---------------------|
| Barranco de la Coneja      | 4,5           | 2 y 3       | Siete Aguas         |
| Rambla de la Vallesa       | 3,9           | 2, 3 y 4    | Siete Aguas         |
| Arroyo de los Barrancos    | 3,9           | 1 y 2       | Siete Aguas         |
| Barranco del Pantano       | 2,7           | 1 y 2       | Siete Aguas         |
| Rambla del Papán           | 3,1           | 4           | Siete Aguas         |
| Rambla de los Ríos         | 4,3           | 1, 2 y 3    | Siete Aguas         |
| Barranco Hondo del Masegar | 6,8           | 1 y 2       | Siete Aguas         |
| Barranco de Famesa         | 6,6           | 1 y 2       | Siete Aguas         |
| Barranco de Moneri         | 10,7          | 1, 2 y 3    | Siete Aguas         |
| Barranco de la Gamacha     | 2             | 1 y 2       | Buñol               |
| Barranco Agrio             | 2,9           | 1           | Buñol               |
| Barranco de la Tejería     | 6,3           | 1 y 2       | Buñol               |
| Río Buñol                  | 1,7           | 4           | Siete Aguas y Buñol |

Tabla 3-1. Ramblas y barrancos de la cabecera de cuenca del río Buñol. Fuente: elaboración propia.

### 3.2. Morfología de la cuenca

La caracterización de la morfología de la cuenca se ha llevado a cabo mediante el cálculo de una serie de índices con el fin de obtener una mínima información morfométrica de la cabecera de cuenca del río Buñol.

Para la delimitación de la cuenca y sus correspondientes subcuencas se ha recurrido a los Sistemas de Información Geográfica, concretamente al ArcGIS 10.0, y a la herramienta de ArcHydro. El estudio se ha iniciado a partir de un Modelo Digital de Elevaciones (MDE), obtenido con tecnología LIDAR y con 5 metros de tamaño de pixel. Se trata de un sistema Laser aerotransportado que se utiliza para la obtención de posición y altura de los elementos. Por lo tanto, los datos de partida para el presente estudio cuentan con una resolución muy elevada (5x5 metros). Se ha descargado de la página oficial del Instituto Geográfico Nacional (IGN).

La morfología de cualquier cuenca hidrográfica queda definida por tres tipos de parámetros, los relativos a la forma, al relieve y la red de drenaje.

#### 3.2.1. Parámetros de forma

Se entiende como forma de una cuenca a la proyección horizontal de ésta sobre un plano. La forma de la cuenca influye sobre los escurrimientos y sobre la distribución del hidrograma en el tiempo, a partir de una precipitación dada.

El índice utilizado para representar esta característica es el Índice de compacidad, también conocido como **Coefficiente de Gravelius**. Se define como la relación entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo que tuviese la misma superficie que la cuenca en proyección horizontal. Su expresión es la siguiente:

$$K_G = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Donde:  $K_G$ : coeficiente de Gravelius (adimensional)

$P$ : perímetro de la cuenca de estudio (Km)

$A$ : superficie de la cuenca de estudio (Km<sup>2</sup>)

Este índice indica la irregularidad de la cuenca, cuanto mayor sea, más irregular es. Cuando es igual a uno, indica que la cuenca es perfectamente regular, puede alcanzar

el valor de tres en cuencas muy alargadas. En el caso de la cuenca de estudio, con un área de 94,6 Km<sup>2</sup> y un perímetro de 59,6 Km, se obtiene un coeficiente de 1,72, lo cual indica que tiene una forma oblonga, pero casi en límite para pasar a ser rectangular, según la clasificación de cuencas en función del coeficiente de Gravelius (**Tabla 3-2**). Este factor influye de forma significativa en el tiempo de concentración de la cuenca, ya que cuanto más alargada es una cuenca, por lo general, mayor tiempo va a tardar la escorrentía superficial en llegar al punto de desagüe de ésta.

| $K_G$     | Forma       |
|-----------|-------------|
| 1,00-1,25 | Redonda     |
| 1,25-1,50 | Ovalada     |
| 1,50-1,75 | Oblonga     |
| >1,75     | Rectangular |

Tabla 3-2. Clasificación de cuencas en función del coeficiente de Gravelius. Fuente: IBAÑEZ A., S.; GISBERT B., JM.; MORENO R., H. (2011). Morfología de las cuencas hidrológicas.

### 3.2.2. Parámetros de relieve

Son los parámetros de la energía potencial de la cuenca, estableciendo los gradientes gravitatorios. La influencia del relieve sobre el hidrograma es aún más evidente. A una mayor pendiente le corresponde una menor duración de la concentración de aguas de escorrentía en la red de drenaje y afluentes del curso principal, mientras que en las cuencas más llanas se favorece la infiltración del agua.

El **relieve** de la cuenca es la diferencia de cota entre el punto más alto de la divisoria de la cuenca y el punto de salida. La cabecera de cuenca del río Buñol tiene una cota máxima de 1.117 metros sobre el nivel del mar y una cota mínima de 309, lo que da lugar a un relieve de 808 metros sobre el nivel del mar. En el **Mapa 7-Altitudes** se presenta los intervalos de altitud existentes en la cuenca de estudio.

La **curva hipsométrica** se emplea para representar la elevación media de una cuenca. Describe la relación área-elevación, es decir, el porcentaje de la cuenca más allá de una cierta elevación. Esta curva se construye representando en el eje de abcisas la superficie acumulada en porcentaje, y en el eje de ordenadas la cota de altitud correspondiente a dicho porcentaje. También se extrae información acerca de la

altitud media de la cuenca, la correspondiente al 50% de área acumulada, que en este caso corresponde a un altura media de 750 metros aproximadamente.

En la **Tabla 3-3** se exponen las superficies en kilómetros cuadrados de las zonas cuya cota altitudinal es superior a los valores dados, y en la **Figura 3-1** el gráfico correspondiente a la curva hipsométrica.

| Altitud (m) | Superficie por encima (Km <sup>2</sup> ) | Superficie acumulada (%) |
|-------------|--|--------------------------|
| 309         | 94,61                                    | 100%                     |
| 400         | 93,73                                    | 99%                      |
| 500         | 90,49                                    | 96%                      |
| 600         | 82,82                                    | 87%                      |
| 700         | 62,33                                    | 66%                      |
| 800         | 34,17                                    | 36%                      |
| 900         | 6,86                                     | 7%                       |
| 1000        | 0,51                                     | 1%                       |
| 1100        | 0,01                                     | 0%                       |
| 1117        | 0,00                                     | 0%                       |

Tabla 3-3. Relación área-elevación de la cabecera de cuenca del río Buñol para representar la curva hipsométrica. Fuente: elaboración propia.

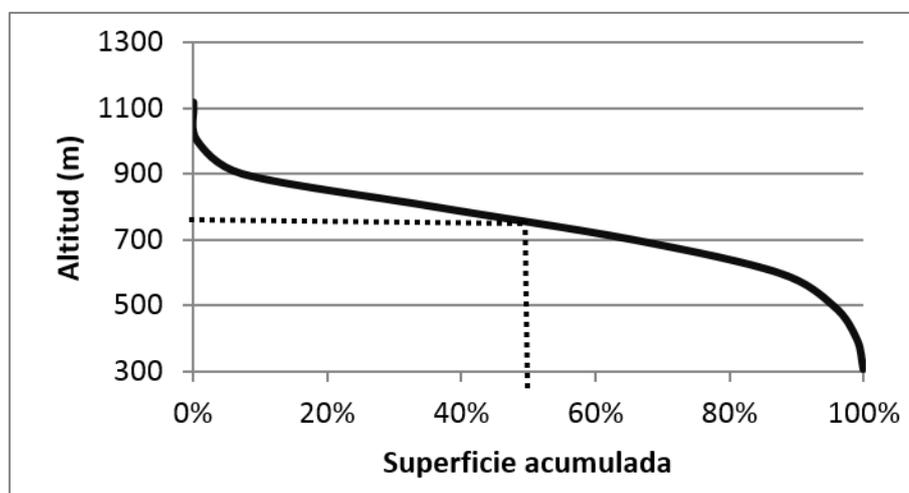


Figura 3-1. Curva hipsométrica. Fuente: elaboración propia.

La **pendiente media** de una cuenca también es un parámetro importante en los estudios hidrológicos, ya que si la pendiente es muy elevada, implica que la infiltración en las laderas sea baja, y aumente la escorrentía superficial. Si además se añade una escasa cobertura vegetal como ocurre en algunas zonas del área de estudio, este efecto se verá intensificado. La cabecera de cuenca del río Buñol tiene una pendiente

media del 27%, lo que corresponde a una zona moderadamente escarpada, según la Guía para descripción de suelos de la FAO (2009). Se puede observar el mapa de pendientes clasificado en la **Tabla 3-4** y en el **Mapa 8-Pendientes**.

| Clase | Descripción                       | Pendiente (%) | Superficie (Km <sup>2</sup> ) | Superficie (%) |
|-------|-----------------------------------|---------------|-------------------------------|----------------|
| 1     | Plano a muy ligeramente inclinado | 0 -2          | 5                             | <b>5</b>       |
| 2     | Ligeramente inclinado             | 2 – 5         | 4                             | <b>4</b>       |
| 3     | Inclinado                         | 5 – 10        | 8                             | <b>9</b>       |
| 4     | Fuertemente inclinado             | 10 – 15       | 13                            | <b>14</b>      |
| 5     | Moderadamente escarpado           | 15 – 30       | 27                            | <b>29</b>      |
| 6     | Escarpado                         | 30 – 60       | 31                            | <b>33</b>      |
| 7     | Muy escarpado                     | > 60          | 6                             | <b>6</b>       |

Tabla 3-4. Clasificación del suelo en función de distintos gradientes de pendiente. Fuente: Guía para la descripción de suelos (FAO, 2009).

### 3.2.3. Parámetros relativos a la red de drenaje

Se entiende por red de drenaje al sistema formado por todos los cursos de agua, sean permanentes o no, que tienen por origen los escurrimientos de las aguas superficiales, hipodérmicas y subterráneas de la cuenca. La red de drenaje es la resultante de la interacción del resto de factores físicos que componen la cuenca, como el clima o la vegetación. El conocimiento de la red de drenaje permite obtener una idea de cómo se va a comportar la cuenca, pudiéndose analizar por una serie de clasificaciones y parámetros.

Se define la **densidad de drenaje**, para una cuenca dada, como el valor medio de longitud de cauce por unidad de superficie. Es la relación entre la suma de las longitudes de los cursos de agua y la superficie de la cuenca. Se define mediante la expresión:

$$D = \frac{\sum L_i}{A}$$

Donde: D: densidad de drenaje (Km/Km<sup>2</sup>)

Li: longitud de cada curso de agua (km)

A: superficie de la cuenca de estudio (km<sup>2</sup>)

La cuenca de estudio tiene una longitud total de los cursos de agua de 147 Km y un área de 94,61 km<sup>2</sup>, lo que da lugar a una densidad de drenaje de 1,55 Km/Km<sup>2</sup>. Este parámetro nos indica por tanto que la cuenca posee una densidad media-alta, atendiendo que a un valor de 0,5 Km/Km<sup>2</sup> correspondería a una densidad de drenaje pobre y 3,5 Km/Km<sup>2</sup> a una densidad de drenaje muy desarrollada.

En principio, y sin tener en cuenta otros factores del medio físico de la cuenca, cuanto mayor sea la densidad de drenaje más rápida será la respuesta de la cuenca frente a una tormenta, evacuando el agua en menos tiempo. Esto es debido a que la gota deberá recorrer una longitud de ladera pequeña, realizando la mayor parte del recorrido por los cauces de los propios ríos, donde la velocidad del escurrimiento es mayor, y por lo tanto, los hidrogramas tendrán un tiempo de concentración corto.

La pendiente media del cauce principal también es otro parámetro muy importante, ya que en función de ésta, el caudal punta se puede producir en menor o mayor tiempo.

Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$J = \frac{H_{max} - H_{min}}{L} 100$$

Donde:        J: pendiente media del cauce (%)  
                   Hmax: altitud máxima del cauce (m)  
                   Jmin: altitud mínima del cauce (m)  
                   L: longitud del cauce (m)

El cauce principal tiene una cota máxima de 935 metros, mínima de 309 metros y una longitud de 31,6 Km. Con estos datos se obtiene una pendiente media del 2%.

El **tiempo de concentración** es un concepto fundamental en el análisis de los escurrimientos y se define como el tiempo que tarda en llegar a la sección de salida la gota de lluvia caída en el extremo hidráulicamente más alejada de la cuenca. Se representa en horas y para su cálculo se utilizan fórmulas experimentales, de las cuales

la más utilizada en España es la Fórmula modificacada de la US Army Corps of Engineers, cuya expresión es:

$$t_c = 0,3 \left[ \frac{L}{J^{1/4}} \right]^{1/4}$$

Donde:  $t_c$ : tiempo de concentración (horas)  
 L: longitud del cauce principal (kilómetros)  
 J: pendiente del cauce principal (m/m)

La longitud del cauce principal del área de estudio es de 31,6 km y tiene una pendiente media de 0,02 m/m. Estos valores dan un tiempo de concentración 8,7 horas.

### 3.3. Descripción de las unidades hidrológicas

Para un mejor análisis de la cuenca, ésta se ha dividido en 3 unidades hidrológicas o subcuencas, atendiendo a la importancia de los cursos de agua y a la morfología de que dispone la cabecera de cuenca del río Buñol (Ver **Mapa 9-Unidades Hidrológicas**):

- Subcuenca 1: corresponde a la parte alta del área de estudio. Tiene el punto de cierre a la entrada del municipio de Siete Aguas.
- Subcuenca 2: perteneciente a la parte media. Se ha situado el punto de cierre en la zona en que la cuenca comienza a disminuir de sección y adquiere forma alargada.
- Subcuenca 3: es la parte baja. Tiene el punto de desagüe en la entrada del municipio de Buñol.

Se han calculado los mismos parámetros de forma, relieve y red de drenaje para cada subcuenca. En la **Tabla 3-5** se puede observar el resumen de todos los parámetros, tanto para las subcuencas como para los de la cuenca completa calculados en el apartado anterior.

| DESCRIPCIÓN UNIDADES HIDROLÓGICAS |            |       |       |         |                |     |                  |                   |                     |       |           |
|-----------------------------------|------------|-------|-------|---------|----------------|-----|------------------|-------------------|---------------------|-------|-----------|
| Forma                             |            |       |       | Relieve | Red de drenaje |     |                  |                   |                     |       |           |
| U.H.                              | AREA       | P     | $K_G$ | J (%)   | H (m)          |     | $L_{cauce}$ (Km) | $\Sigma L_i$ (Km) | $D_d$ ( $Km^{-1}$ ) | J (%) | $t_c$ (h) |
|                                   | ( $Km^2$ ) | (Km)  |       |         | Max            | Min |                  |                   |                     |       |           |
| 1                                 | 23,5       | 31    | 1,8   | 22      | 935            | 678 | 11,3             | 35,3              | 1,5                 | 2,3   | 3,9       |
| 2                                 | 48,3       | 52,66 | 2,1   | 26      | 986            | 575 | 12,5             | 78,8              | 1,6                 | 3,3   | 3,9       |
| 3                                 | 22,8       | 32,16 | 1,9   | 34      | 767            | 309 | 13,5             | 34,1              | 1,5                 | 3,4   | 4,1       |
|                                   | 94,6       | 59,6  | 1,7   | 27      | 1.037          | 309 | 31,6             | 2,3               | 1,6                 | 2     | 9         |

Tabla 3-5. Parámetros de forma, relieve y red de drenaje de las diferentes unidades hidrológicas y de la cuenca completa. Fuente: elaboración propia.

En función del **Coefficiente de Gravelius** ( $K_G$ ), todas las unidades hidrológicas tienen una forma rectangular, parámetro que si se considera independientemente del resto de factores, favorece que el tiempo de concentración sea mayor.

Según la Guía para descripción de suelos de la FAO en función de la **pendiente** (J), las subcuencas 1 y 2 quedan clasificadas como suelo moderadamente escarpado, y la subcuenca 3 como suelo escarpado. A medida que aumenta este parámetro, también lo hace el tiempo de concentración.

Respecto a la **densidad de la red de drenaje** ( $D_d$ ) no existen diferencias significativas entre las subcuencas, todas tienen una densidad de drenaje media-alta. Sin embargo, en la pendiente del cauce principal (J), se observa que las unidades hidrológicas 2 y 3 son las que mayor pendiente tienen, ya que la pendiente media de la superficie que ocupan también lo es.

Finalmente, se observa que los **tiempos de concentración** son muy parecidos, alrededor de las 4 horas. Aunque existan diferencias entre los distintos parámetros calculados, unos se compensan con otros y hacen que finalmente se obtenga un tiempo de concentración muy similar. Por ejemplo, aunque la unidad hidrológica 3 tenga mayor pendiente, no tiene un tiempo de concentración menor, ya que la longitud del cauce es mayor que en el resto de unidades, y ello hace que finalmente se obtenga un tiempo de concentración muy parecido.

### 3.4. Cálculo de caudales líquidos instantáneos

Para el cálculo de caudales es necesario distinguir entre los caudales líquidos y los caudales sólidos que circularán por los cauces de la cuenca durante las tormentas correspondientes a cada periodo de retorno.

El objetivo principal de los estudios hidrológicos de avenidas es la caracterización de la avenida de diseño con distintos fines, como el dimensionamiento de infraestructuras, que suelen ser diques y albarradas.

En el presente estudio se va a utilizar este análisis para proponer el emplazamiento de diques, no su diseño, ya que conformaría otro proyecto más extenso, aparte del ya realizado. Por lo tanto, la caracterización de avenidas va a ayudar a ubicar los posibles diques en aquellos cauces donde se considere necesario, con el objetivo de reducir los caudales punta y la pendiente del cauce, y estabilizar y consolidar las laderas de las márgenes aguas arriba de la estructura. Este tema se desarrollará en el Apartado 5- Restauración Hidrológico-Forestal.

En primer lugar se va a describir el método utilizado para calcular la Precipitación Diaria Máxima Anual (PdMA). A continuación se obtendrán los caudales punta correspondientes a cada periodo de retorno considerado y distinguiendo entre unidades hidrológicas. Se han empleado métodos hidrometeorológicos, ya que los empíricos como el de García Nájera son muy básicos y consideran pocos parámetros. Los métodos meteorológicos simulan el proceso de transformación precipitación-escorrentía mediante modelos de mayor o menor complejidad, a partir de datos pluviométricos, ya que éstos tienen mayor disponibilidad que los de aforo y con mayor densidad y longitud de las series temporales. Los métodos utilizados para el presente estudio son el Método Racional de Témez y el Método HEC-HMS, ambos muy empleados para los proyectos de Restauración Hidrológico-Forestal. El cálculo de caudales se ha llevado a cabo en cada unidad hidrológica, para distintos periodos de retorno (T) o recurrencia, correspondientes a 10, 25, 50 y 100 años.

### 3.4.1. Precipitación Diaria Máxima Anual (PdMA)

Para el cálculo de caudales líquidos instantáneos, independientemente del método utilizado, es necesaria la entrada de datos de Precipitación Diaria Máxima Anual (PdMA) asociada a diferentes periodos de retorno. Estos datos se han obtenido para cada unidad hidrológica mediante la aplicación MAXPLU. El origen de esta aplicación se inició a partir del trabajo que concluyó en el año 1.999 con la publicación del documento “Máximas Lluvias diarias en la España peninsular”. Este trabajo tuvo su origen en un Convenio entre la Dirección Técnica de la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento y el Centro de Estudios Hidrográficos del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) del mismo Ministerio, y su objetivo fue presentar un método operativo que de una manera breve y fiable proporcionase un valor de las máximas lluvias de diarias en la España peninsular, que sirviese de punto de partida para el cálculo de caudales a desaguar mediante modelos hidrometeorológicos en cuencas en las que no se dispone de aforos.

Esta aplicación combina los valores medios de la PdMA y los coeficientes de variación de las series de precipitaciones máximas diarias regionalizadas para obtener las estimas dela precipitación diaria correspondiente a diferentes periodos de retorno para unos puntos determinados cuyas coordenadas se conocen. Los pasos que se han seguido se muestran en el **Anexo 2-1**. Los valores medios de la PdMA se muestran en la **Tabla 3-6**.

|               | PdMA (mm)               |              |              |              |              |
|---------------|-------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|               | Area (Km <sup>2</sup> ) | T = 10 años  | T = 25 años  | T = 50 años  | T = 100 años |
| Subcuenca 1   | 23,5                    | 97,3         | 124,9        | 145,3        | 169,0        |
| Subcuenca 2   | 48,3                    | 99,6         | 127,3        | 151,5        | 173,7        |
| Subcuenca 3   | 22,8                    | 108,0        | 137,7        | 163,8        | 188,1        |
| <b>CUENCA</b> | <b>94,6</b>             | <b>102,4</b> | <b>130,8</b> | <b>154,6</b> | <b>178,4</b> |

Tabla 3-6. Precipitación Diaria Máxima Anual (PdMA) del área de estudio para la cuenca y subcuencas de estudio y asociada a diferentes periodos de retorno (T). Fuente: elaboración propia.

### 3.4.2. Método Racional Modificado de Témez

La metodología que se ha seguido ha sido a partir de la publicación de la Conselleria de Infraestructuras, territorio y Medio Ambiente, Metodología del Método Modificado de Témez para cálculo de caudales máximos (2008). Este método de conversión de lluvia en escorrentía fue desarrollado por el profesor D. José Ramón Témez del Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX. Este método es el recomendado por el Ministerio de Obras Públicas (MOPU), pero con modificaciones posteriores. La metodología de Témez se basa en el método racional, aplicable a pequeñas cuencas, pero con una serie de modificaciones que amplían su rango de validez hasta los 3000Km<sup>2</sup>.

El método racional modificado de Témez supone que el caudal máximo es el generado por la lluvia de duración igual al tiempo de concentración de la cuenca. De tal forma que:

$$Q_p^T = \frac{C_T \cdot I(t_c)_T \cdot A}{3,6} K$$

Donde:  $Q_p^T$  = caudal punta asociado a un periodo de retorno T, en m<sup>3</sup>/s  
 K = coeficiente de uniformidad temporal  
 $C_T$  = coeficiente de escorrentía, función del umbral de escorrentía ( $P_0'$ ) y del cuantil de precipitación diaria máxima anual promedio areal de la cuenca ( $P_{24}^T$ ), para un periodo de retorno T  
 $I(t_c)_T$  = intensidad de la tormenta de diseño, para una duración igual al tiempo de concentración de cada subcuenca, en mm/h  
 A = superficie total de la cuenca, en Km<sup>2</sup>

Las fases propuestas por el Prof. Témez son las siguientes:

#### 1º) CÁLCULO DE INTENSIDAD

La curva intensidad-duración-frecuencia tiene la siguiente expresión:

$$i(t_c)_T = \frac{P_{24}^T}{24} \alpha \frac{28^{0,1-t_c^{0,1}}}{28^{0,1}-1}$$

Donde:  $i(t_c)_T$  = intensidad de lluvia correspondiente al tiempo de concentración de cada subcuenca (mm/h) para un periodo de retorno T

$P_{24}^T$  = PdMA promedio areal corregida para un periodo de retorno T

$P_{24}^T / 24$  = intensidad media diaria, en mm/mm correspondiente al periodo de retorno T

t = duración de la tormenta de diseño (en horas), igual al tiempo de concentración de la cuenca

$\alpha = I_1/I_d$ : es la relación entre la intensidad horaria y la diaria (factor de torrencialidad). Se obtiene a partir del mapa de isolinéas  $I_1/I_d$ , de la Instrucción 5,2-IC de Drenaje Superficial.

- Cálculo de la  $P_{24}^{T'}$

Para tener en cuenta la no uniformidad espacial de la lluvia, hay que afectarla por un coeficiente de reducción areal si la superficie de la cuenca es mayor de 1 km<sup>2</sup>:

$$P_{24}^{T'} = P_{24}^T \cdot K_A$$

Donde:

$P_{24}^{T'}$ : PdMA promedio areal corregida para un periodo de retorno T

$P_{24}^T$ : PdMA promedio areal

$$P_{24}^T = \frac{1}{A} \sum_{i=1}^3 A_i \cdot P_{24i}^T$$

$A_i$  = área de la subcuenca i

$P_{24i}^T$  = PdMA de la subcuenca i para un periodo de retorno T (calculada en el apartado 3.4.1.) Los resultados se presentan en la **Tabla 3-7**.

|   | $P_{24h}^{10 \text{ años}}$ | $P_{24h}^{25 \text{ años}}$ | $P_{24h}^{50 \text{ años}}$ | $P_{24h}^{100 \text{ años}}$ |
|---|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| Subcuenca 1                               | 24,15                       | 31,03                       | 36,07                       | 41,97                        |
| Subcuenca 2                               | 50,90                       | 65,03                       | 77,41                       | 88,75                        |
| Subcuenca 3                               | 26,03                       | 33,18                       | 39,45                       | 45,31                        |
| <b><math>P_{24}^T</math> (3 U.H.)</b>     | <b>101,08</b>               | <b>129,24</b>               | <b>39,45</b>                | <b>45,31</b>                 |
| <b><math>P_{24}^T</math> (única I.H.)</b> | <b>102,42</b>               | <b>130,81</b>               | <b>154,56</b>               | <b>178,41</b>                |

Tabla 3-7. Precipitación Diaria Máxima Anual promedio areal, considerando las tres unidades hidrológicas de estudio y para la cuenca considerada como única unidad hidrológica, y asociada a los periodos de retorno de 10, 25, 50 y 100 años. Fuente: elaboración propia.

$K_A$ : coeficiente de corrección areal, donde A es el área de la cuenca (Km<sup>2</sup>)

$$K_A = 1 - \frac{\log A}{15}$$

En la **Tabla 3-8** se muestran los resultados de la PdMA promedio areal corregida.

|   | T = 10 años | T = 25 años | T = 50 años | T = 100 años |
|---|-------------|-------------|-------------|--------------|
| $K_A$                                     | 0,87        | 0,87        | 0,87        | 0,87         |
| $P_{24}^{T_1}$ (3 unidades hidrológicas)  | 87,76       | 112,22      | 132,79      | 152,84       |
| $P_{24}^{T_1}$ (Única unidad hidrológica) | 88,93       | 113,58      | 134,20      | 154,91       |

Tabla 3-8. Precipitación Diaria Máxima Anual promedio areal corregida para los periodos de retorno de 10, 25, 50 y 100 años, considerando las tres unidades hidrológicas y la cuenca como única unidad. Fuente: elaboración propia.

- Tiempo de concentración ( $t_c$ )

Calculado en el apartado 3.3-Descripción de las unidades hidrológicas, **Tabla 3-5**.

- Factor de torrencialidad ( $\alpha$ )

El factor de torrencialidad ( $\alpha = I_1/I_d$ ) es la relación entre la intensidad horaria y la diaria. Se obtiene a partir del mapa de isóneas  $I_1/I_d$ , de la Instrucción 5,2-IC de Drenaje Superficial (Figura 3-2). El resultando para la Comunidad Valenciana es de valores entre 11 y 11,5. Se ha empleado el valor de 11,3.

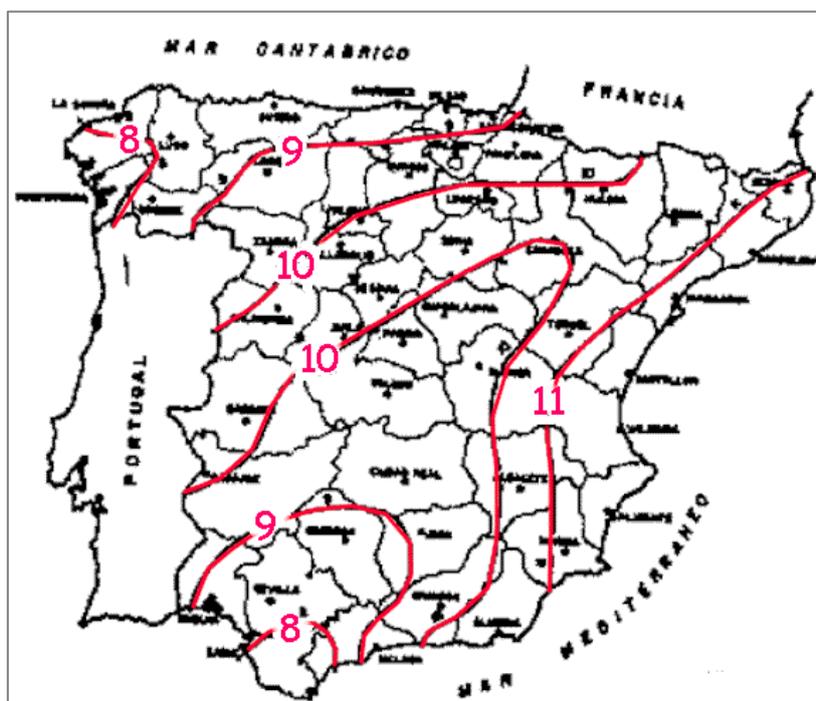


Figura 3-2. Mapa de isóneas  $I_1/I_d$  de la Instrucción 5,2-IC de Drenaje Superficial.

Fuente: [http://www.carreteros.org/normativa/drenaje/5\\_2ic/imagenes/f\\_2\\_2.htm](http://www.carreteros.org/normativa/drenaje/5_2ic/imagenes/f_2_2.htm)

- Cálculo de la intensidad de lluvia

En la **Tabla 3-9** se muestran la intensidad de lluvia obtenida correspondiente al tiempo de concentración de cada subcuenca, así como de la cuenca tomada con única unidad hidrológica.

|             | $I(t_c)^T$ (mm/h) |             |             |              |
|-------------|-------------------|-------------|-------------|--------------|
|             | T = 10 años       | T = 25 años | T = 50 años | T = 100 años |
| Subcuenca 1 | 17,18             | 21,96       | 25,99       | 29,91        |
| Subcuenca 2 | 17,06             | 21,81       | 25,81       | 29,70        |
| Subcuenca 3 | 16,41             | 20,98       | 24,82       | 28,57        |
| CUENCA      | 9,57              | 12,22       | 14,44       | 16,67        |

Tabla 3-9. Intensidad de lluvia correspondiente al tiempo de concentración de cada unidad hidrológica y asociada a los periodos de retorno de 10, 25, 50 y 100 años. Fuente: elaboración propia.

## **2º) CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA ( $C_T$ )**

Para obtener el coeficiente de escorrentía, el método de Témez utiliza el modelo de infiltración del Soil Conservation Service, de tal forma que el coeficiente de escorrentía depende tanto del parámetro del modelo de infiltración, como de la magnitud del aguacero. Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$C_T = \frac{(P_{24}^T - P_0')(P_{24}^T + 23P_0')}{(P_{24}^T + 11P_0')^2}$$

Donde:

$P_{24}^{T'}$  = PdMA corregida por el coeficiente de corrección areal ( $K_A$ ) para un periodo de retorno T, en mm

$P_0'$  = Umbral de escorrentía corregido

El umbral de escorrentía es el parámetro del modelo de infiltración. Este parámetro se encuentra tabulado y es función de la vegetación (o uso del suelo), la pendiente y del tipo de suelo. El cálculo se ha realizado mediante el software ArcGis 10.0 y cartografía relacionada con los usos del suelo, le pendiente y el tipo de suelo. La metodología empleada se encuentra detallada en el **Anexo 2-2**.

Una vez calculado el umbral de escorrentía ( $P_0$ ) tiene que corregirse mediante un coeficiente corrector ( $F(P_0)$ ), que está tabulado para toda España. Para el área de estudio le corresponde un factor 2,31 (**Tabla 3-10**).

| Subcuenca     | $P_0$        | $F(P_0)$    | $P_0'$ (mm)  |
|---------------|--------------|-------------|--------------|
| 1             | 18,05        |             | 41,70        |
| 2             | 23,33        | 2,31        | 53,90        |
| 3             | 25,05        |             | 57,86        |
| <b>CUENCA</b> | <b>22,43</b> | <b>2,31</b> | <b>51,81</b> |

Tabla 3-10. Coeficiente de escorrentía corregido ( $P_0'$ ) de las unidades hidrológicas y de la cabecera de cuenca del río Buñol. Fuente: elaboración propia.

Una vez calculado el umbral de escorrentía y con la PdMA corregida por el coeficiente de corrección areal, se ha obtenido el coeficiente de escorrentía de cada unidad hidrológica. Ver **Tabla 3-11**.

|               | $C_T$       |             |             |              |
|---------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
|               | T = 10 años | T = 25 años | T = 50 años | T = 100 años |
| Subcuenca 1   | 0,19        | 0,26        | 0,31        | 0,36         |
| Subcuenca 2   | 0,13        | 0,19        | 0,25        | 0,29         |
| Subcuenca 3   | 0,13        | 0,20        | 0,25        | 0,29         |
| <b>CUENCA</b> | <b>0,14</b> | <b>0,21</b> | <b>0,26</b> | <b>0,31</b>  |

Tabla 3-11. Coeficiente de escorrentía de las unidades hidrológicas de la cabecera de cuenca del río Buñol. Fuente: elaboración propia.

### **3º) CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD TEMPORAL (K)**

El coeficiente de uniformidad K viene dado por la ecuación:

$$K = 1 + \frac{t_c^{1,25}}{t_c^{1,25} + 14}$$

Que es función del tiempo de concentración ( $t_c$ ), y tiene en cuenta el error introducido en la hipótesis de uniformidad temporal de la precipitación a medida que crece el tamaño de la cuenca. Ver **Tabla 3-12**.

| Subcuenca     | Coef. Uniformidad temporal (K) |
|---------------|--------------------------------|
| 1             | 1,28                           |
| 2             | 1,28                           |
| 3             | 1,30                           |
| <b>CUENCA</b> | <b>1,52</b>                    |

Tabla 3-12. Coeficiente de uniformidad temporal (K) de las unidades hidrológicas de la cabecera de cuenca del río Buñol. Fuente: elaboración propia.

Con todos los parámetros calculados se ha obtenido el caudal máximo, en metros cúbicos por segundo, de cada unidad hidrológica y de la cuenca considerada como única unidad. Los resultados se muestran en la **Tabla 3-13**.

|               | Area<br>(Km <sup>2</sup> ) | Q <sub>p</sub> (m <sup>3</sup> /s) |               |               |               |
|---------------|----------------------------|------------------------------------|---------------|---------------|---------------|
|               |                            | T = 10 años                        | T = 25 años   | T = 50 años   | T = 100 años  |
| Subcuenca 1   | 23,49                      | 27,24                              | 48,59         | 68,05         | 91,06         |
| Subcuenca 2   | 48,33                      | 37,49                              | 72,61         | 108,86        | 147,32        |
| Subcuenca 3   | 22,79                      | 17,54                              | 33,69         | 50,35         | 68,21         |
| <b>CUENCA</b> | <b>94,61</b>               | <b>55,27</b>                       | <b>103,68</b> | <b>151,74</b> | <b>205,86</b> |

Tabla 3-13. Caudal máximo obtenido mediante el Método Racional Modificado de Témez para la cabecera de cuenca del río Buñol y sus unidades hidrológicas. Fuente: elaboración propia.

### 3.4.3. Cálculo de caudales punta mediante el método HEC-HMS

El software utilizado para el cálculo de caudales punta ha sido HEC-HMS v.3.5, diseñado por el cuerpo de Ingenieros del Ejército de Estados Unidos (US Army Corps of Engineers). El Sistema de Modelación Hidrológica (HEC-HMS) está diseñado para simular los procesos de precipitación escorrentía de los sistemas de cuencas hidrográficas. Está diseñado para ser aplicado en una amplia gama de zonas geográficas para la solución de la más amplia gama de problemas. Esto incluye tanto grandes ríos de cuencas de alimentación como pequeñas cuencas, tanto urbanas como naturales. Los hidrogramas producidos por el programa se pueden utilizar en colaboración con otros programas para realizar estudios de disponibilidad de agua, drenaje urbano, previsión de flujo, diseño de vertedero de un embalse, etc.

Para simular la respuesta hidrológica de una cuenca, HEC-HMS utiliza los siguientes componentes: modelos de cuenca, modelos meteorológicos, especificaciones de control y datos de entrada. Una simulación con HEC-HMS transforma la lluvia a caudal

en el modelo de la cuenca, dada la entrada del modelo meteorológico. Las especificaciones de control definen el periodo de tiempo durante el cual se realizará la simulación y el intervalo de tiempo a utilizar.

### **1º) MÉTODOS DE CÁLCULO**

En primer lugar se seleccionan los métodos de cálculo para transformar la lluvia en escorrentía, ya que el software ofrece varias posibilidades, en función de las necesidades del usuario.

- Cálculo de las pérdidas (*Loss Method*)

Se ha utilizado el *Método del número de curva del SCS* (desarrollado por el Soil Conservation Service, en 1982), que se relaciona con el umbral de escorrentía ( $P_0$ ) calculado en el apartado anterior (**Tabla 3-10**) mediante la siguiente fórmula:

$$CN = \frac{5080}{P_0 + 50,8}$$

Es la primera fase de cálculo, donde se separa la parte de precipitación total que va a generar escorrentía directa. El resto de la precipitación se denomina abstracciones (en inglés, *loss*, pérdidas), que pueden haber quedado retenida sobre la vegetación (intercepción), retenida en depresiones superficiales, o bien se ha infiltrado en el suelo).

- Cálculo de transformación (*Transform*)

Corresponde a la transformación del hietograma neto en hidrograma de escorrentía superficial mediante el *Método del hidrograma adimensional del SCS*. Es la segunda fase del cálculo, donde se obtiene el hidrograma generado por la precipitación neta. Este método define el volumen de escorrentía a través del número de curva e incluye tanto el movimiento en ladera como el movimiento en cauce de la escorrentía superficial. Utiliza fórmulas empíricas que se basan en las características físicas de la cuenca (superficie, pendiente media, longitud del cauce,...) para determinar el hidrograma resultante.

El hidrograma adimensional del SCS está basado en el hidrograma triangular del SCS (**Figura 3-3**), el cual se calcula a partir de sencillas expresiones obtenidas tras estudiar hidrogramas de crecida provocados por unas precipitaciones cortas y uniformes en numerosas cuencas. Las fórmulas son las siguientes:

$$\text{Tiempo de la punta (horas)} \quad t_p = 0,5 \cdot D + t_r \approx 0,5 \cdot D + 0,6 \cdot t_c$$

$$\text{Tiempo base (horas)} \quad t_b = 2,67 \cdot t_p$$

$$\text{Caudal de la punta (m}^3\text{/s)} \quad Q_p = \frac{P \cdot A}{1,8 \cdot t_b}$$

Donde:  $t_p$ : tiempo de la punta (horas)

$D$ : duración de la punta (horas)

$t_r$ : tiempo de retardo, Lag (horas)

$t_b$ : tiempo base (horas)

$Q_p$ : caudal de la punta ( $\text{m}^3\text{/s}$ )

$P$ : precipitación neta (mm)

$A$ : superficie de la cuenca ( $\text{km}^2$ )

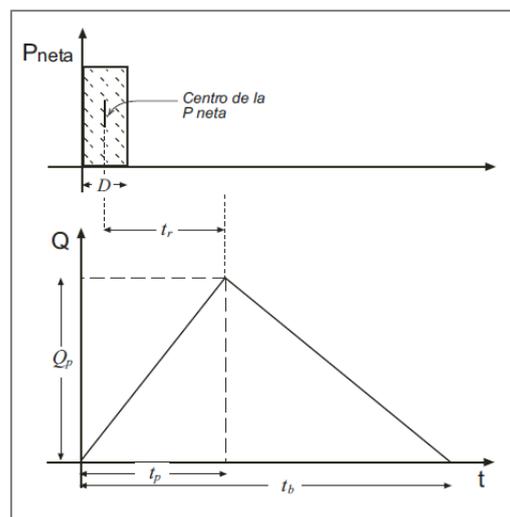


Figura 3-3. Hidrograma triangular del SCS. Fuente Sanchez, J. (Disp. en [http://hidrologia.usal.es/practicas/Pneta\\_SCS\\_fundam.pdf](http://hidrologia.usal.es/practicas/Pneta_SCS_fundam.pdf))

El concepto adimensional hace referencia a la forma del hidrograma. Después de considerar una gran cantidad de hidrogramas y convirtiendo sus coordenadas de modo que las coordenadas de la punta fueran  $Q_p=1$  y  $t_p=1$ , los técnicos del SCS observaron que la mayoría de los hidrogramas de crecida tenían una forma similar a la de la **Figura 3-4**, cuyas coordenadas se reflejan en la misma figura.

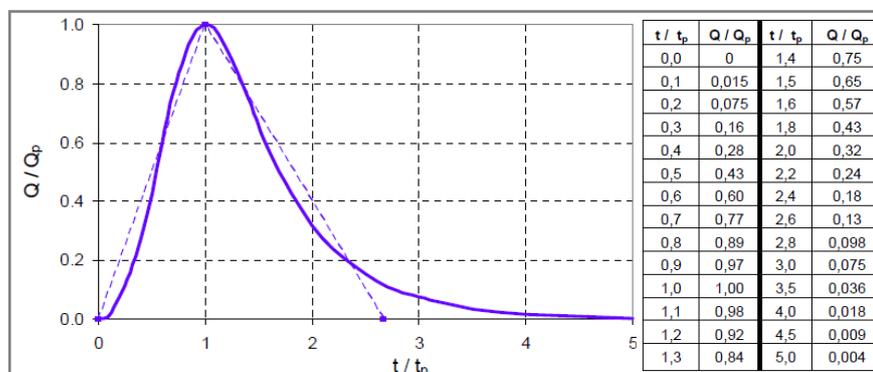


Figura 3-4. Hidrograma adimensional y coordenadas del SCS. Fuente: Sanchez, J. (Disp. en [http://hidrologia.usal.es/practicas/Pneta\\_SCS\\_fundam.pdf](http://hidrologia.usal.es/practicas/Pneta_SCS_fundam.pdf))

El software calcula las coordenadas de la punta del hidrograma ( $t_p$  y  $Q_p$ ) mediante las fórmulas anteriores y dibuja el hidrograma resultante en toda su extensión y con una forma similar a la que puede esperarse en una cuenca real, en lugar de un triángulo geométrico.

- Método para el flujo base (Baseflow): se ha escogido la opción *sin flujo base*.
- Método de propagación de caudales (hidrogramas) a lo largo del cauce

Se ha utilizado el *Método de Muskingum-Cunge*. Este método fue desarrollado por McCarthy en 1969, y aplicado al río Muskingum. Se basa en el método hidrológico de Muskingum combinado por Cunge con métodos hidráulicos. El método se basa en la ecuación de la continuidad y de almacenamiento que pondera el efecto de la escorrentía de entrada y de salida del tramo. Se considera que la escorrentía y el almacenamiento del tramo están relacionados con el nivel a lo largo del tramo. Utiliza dos parámetros  $K$  y  $x$ ;  $K$  es una constante de almacenamiento, cercano al tiempo de viaje de la onda en el tramo y  $x$  es un factor de ponderación del almacenamiento debido al flujo que entra y que sale.

Muskingum-Cunge básicamente relaciona matemáticamente los valores de  $K$  y  $x$  en función de las características físicas del río (longitud del tramo, velocidad media, pendiente media del cauce, caudal, anchura del cauce). El tránsito agregado de crecientes se usa comúnmente para manejar relaciones caudal-almacenamiento variable. Este método modela el almacenamiento volumétrico de creciente en un canal de un río mediante la combinación del almacenamiento de cuña y prisma (**Figura 3-5**). Durante el avance de la onda decreciente, el caudal de entrada es mayor que el caudal de salida, siendo un almacenamiento de cuña. Durante la recesión, el caudal de salida es mayor que el caudal de entrada resultando una cuña negativa. Adicionalmente, existe un almacenamiento por prisma que está formado por un volumen de sección transversal constante a lo largo de la longitud del canal prismático.

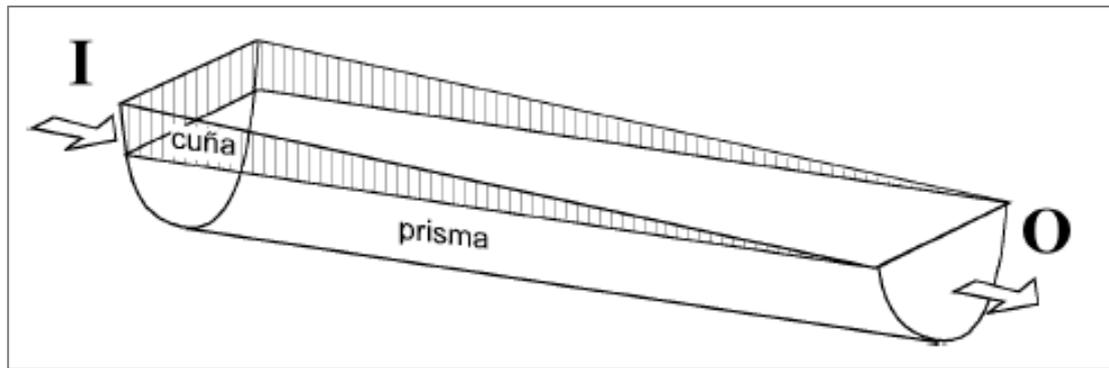


Figura 3-5. Modelo de almacenamiento en cuña y prisma. Donde “I” es la entrada y “O” es la salida Fuente: Sanchez, J. (Disp. en <http://web.usal.es/~javisan/hidro>)

Este modelo es muy utilizado para el cálculo de caudales en función de precipitaciones en diferentes cuencas donde se hace necesaria la propagación de hidrogramas, como es el caso de estudio.

## **2º) MODELO DE CUENCA**

Una vez descritos los métodos que se han utilizado para realizar la simulación hidrológica de la Cabecera de cuenca del río Buñol, se va a describir el modelo de cuenca construido, el cual representa la cuenca física. Éste se ha desarrollado incluyendo y conectando todos los elementos hidrológicos (subcuencas, cauces, uniones entre elementos, sumidero). Estos elementos utilizan modelos matemáticos para describir los procesos físicos que se producen en la cuenca.

La **Tabla 3-14** describe los elementos hidrológicos utilizados para el Modelo Hidrológico de la Cabecera de cuenca del río Buñol.

| Elemento hidrológico | Descripción   |
|----------------------|---|
| Subcuenca (Subbasin) | Se usa para representar la cuenca física. Dada la precipitación, la salida de agua de la subcuenca se calcula restando las pérdidas a la precipitación y transformando el exceso de precipitación en caudal en el punto de salida de la subcuenca, sumando finalmente el caudal base. |
| Tramo (Reach)        | Se usa para transportar el agua generada en algún punto de la cuenca hacia aguas abajo hasta otro punto de la cuenca, definidos ambos en el modelo de la cuenca. La respuesta de este transporte es un retardo y una atenuación del hidrograma de entrada.                            |
| Unión (Junction)     | Se usa para sumar flujos de agua que provienen de elementos hidrológicos situados aguas arriba de la unión. La respuesta es simplemente la suma de los hidrogramas de todos los elementos conectados a la unión.  |
| Sumidero (Sink)      | Se usa para representar el punto de salida de la cuenca. La entrada puede provenir de uno o más elementos situados aguas arriba del sumidero. Este elemento no tiene salida.  |

Tabla 3-14. Descripción de los elementos hidrológicos utilizados para el Modelo de cuenca del área de estudio. Fuente: Nanía S., L.2007. Manual básico de HEC-HMS.

En la **Figura 3-3** se muestra el Modelo de cuenca con todos los elementos hidrológicos conectados. Para una mejor comprensión del modelo, se ha puesto como fondo la morfología de la cuenca realizada con ArcGis. Se puede observar los siguientes elementos:

- *Subbasin 1*: es la subcuenca número uno. No tiene ningún tramo de cauce, ya que está principalmente ocupada por ramblas y pequeños barrancos. Por lo tanto, no se producirá atenuación del hidrograma.
- *Junction 1*: está unida aguas arriba con la subcuenca 1. Como no tiene ningún elemento más conectado aguas arriba, la salida será igual a la entrada, el caudal generado por la subcuenca 1.
- *Subcuenca 2*: en la subcuenca se han diferenciado cuatro tramos, ya que a lo largo de ella el cauce varía de sección, por lo tanto, cada tramo (reach) corresponde a un cambio de sección. Desde aguas arriba hacia aguas abajo, la unión 1 está conectada con el *Tramo1*, éste con el *Tramo 2*, le sigue el *Tramo 3* y finalmente conecta con el *Tramo 4*.

- *Unión 2*: se puede observar que tiene dos entradas, el Tramo 4 y la Subcuenca 2; por una parte tendrá toda la entrada de caudal debido al escurrimiento causado por la lluvia (Subcuenca 2), pero además también va a considerar la laminación, ya que existen varios tramos con diferentes secciones.
- *Subcuenca 3*: se han diferenciado 6 tramos, exactamente por el mismo motivo que en la subcuenca dos. En este caso, existen mayor número de tramos ya que en esta subcuenca hay muchos cambios de sección. Normalmente, en la parte baja de la cuenca el cauce es más ancho y llano, pero en el caso de la cabecera de cuenca del río Buñol ocurre lo contrario, en la parte baja el cauce se encajona en barrancos muy escarpados, como ya se ha ido comentando a lo largo del estudio.
- *Sumidero (sink)*: tiene también dos entradas; la correspondiente a la *subcuenca 3*, que aporta el caudal debido al escurrimiento producido en las laderas, y además el *Tramo 10*, que incorpora la laminación del hidrograma gracias a los tramos existentes. En este punto se obtiene el caudal de toda la cuenca.



Figura 3-3. Esquema del Modelo de cuenca de la Cabecera de cuenca del río Buñol.

Fuente: elaboración propia.

**3º) MODELO METEOROLÓGICO**

A continuación se van a describir los modelos meteorológicos desarrollados, correspondientes a cada periodo de retorno. El modelo se desarrolla a partir de los valores de Precipitaciones Diarias Máximas Anuales (PdMA) promedio areal (**Tabla 3-8**, considerando las tres unidades hidrológicas) de la cabecera de cuenca del río Buñol, asociadas a cada periodo de retorno. Se trata de determinar la tormenta de diseño necesaria para el posterior cálculo de hidrogramas de avenida. El método empleado para su cálculo ha sido el Método de los bloques alternos. En el **Anejo 2-3** se ha desarrollado dicho método y se muestran los yetogramas correspondientes. En la **Tabla 3-15** se muestran las cuatro tormentas de diseño obtenidas, asociadas a los distintos periodos de retorno (10, 25, 50 y 100 años).

| t (h) | Intensidad (mm) |             |             |              |
|-------|-----------------|-------------|-------------|--------------|
|       | T = 10 años     | T = 25 años | T = 50 años | T = 100 años |
| 1     | 0,69            | 0,88        | 1,05        | 1,20         |
| 2     | 0,78            | 1,00        | 1,19        | 1,37         |
| 3     | 0,90            | 1,15        | 1,36        | 1,57         |
| 4     | 1,04            | 1,33        | 1,58        | 1,81         |
| 5     | 1,22            | 1,56        | 1,85        | 2,13         |
| 6     | 1,46            | 1,87        | 2,21        | 2,55         |
| 7     | 1,79            | 2,29        | 2,71        | 3,12         |
| 8     | 2,27            | 2,90        | 3,43        | 3,95         |
| 9     | 3,02            | 3,86        | 4,56        | 5,25         |
| 10    | 4,37            | 5,59        | 6,61        | 7,61         |
| 11    | 7,59            | 9,71        | 11,49       | 13,22        |
| 12    | 42,05           | 53,77       | 63,63       | 73,23        |
| 13    | 11,94           | 15,26       | 18,06       | 20,79        |
| 14    | 5,56            | 7,11        | 8,42        | 9,69         |
| 15    | 3,58            | 4,58        | 5,42        | 6,23         |
| 16    | 2,59            | 3,32        | 3,93        | 4,52         |
| 17    | 2,00            | 2,56        | 3,03        | 3,49         |
| 18    | 1,61            | 2,06        | 2,44        | 2,81         |
| 19    | 1,33            | 1,71        | 2,02        | 2,32         |
| 20    | 1,13            | 1,44        | 1,70        | 1,96         |
| 21    | 0,97            | 1,23        | 1,46        | 1,68         |
| 22    | 0,84            | 1,07        | 1,27        | 1,46         |
| 23    | 0,74            | 0,94        | 1,11        | 1,28         |
| 24    | 0,65            | 0,83        | 0,98        | 1,13         |

Tabla 3-15. Tormentas de diseño asociadas a los periodos de retorno de 10, 25, 50 y 100 años, para simular el hidrograma de avenida de la cabecera de cuenca del río Buñol Fuente: elaboración propia.

#### **4º) ESPECIFICACIONES DE CONTROL**

Las especificaciones de control se refieren al tiempo de duración de la simulación, incluyendo fecha y hora de comienzo y fin del proyecto e intervalo de cálculo.

La duración de la tormenta es de 24 horas, comienza el día 1 de enero de 2000 a las 00:00 y finaliza el 02 de enero de 2000 a las 00:00.

La duración de la simulación es de dos días, ya que el caudal punta se producirá una vez haya transcurrido un intervalo de tiempo después de finalizar la tormenta. Por tanto, la simulación comienza el día 1 de enero de 2000 a las 00:00 y termina el 03 de enero a las 00:00 y con un intervalo de cálculo de 10 minutos.

Estas condiciones son las mismas para las cuatro tormentas de diseño, cada una correspondiente a un periodo de retorno.

#### **5º) DATOS DE ENTRADA**

Los datos de entrada se refieren las series de datos temporales de las tormentas de diseño calculadas. Se crean por una parte, y después se le asocia la tormenta deseada (periodo de retorno de 10, 25, 50 o 100 años) al modelo meteorológico.

También se han creado pares de datos de las secciones transversales de los distintos cauces, para el método de propagación de caudales de Muskingum-Cunge.

En el **Anejo 2-4** se pueden exponer en diferentes tablas extraídas del programa HEC-HMS y elaboradas por la autora del presente estudio, los valores introducidos para caracterizar las subcuencas, los cauces, las pérdidas (método del número de curva del SCS), la transformación del hietograma neto en hidrograma de escorrentía superficial (*método del hidrograma adimensional del SCS*) y la propagación de caudales a lo largo del cauce (método Muskingum-Cunge).

Una vez se han introducido todos los parámetros, se han caracterizado los métodos y se ha realizado la simulación, se han obtenido los resultados que se muestran en la **Tabla 3-16**.

| U. HIDROLÓGICA | Superficie (Km <sup>2</sup> ) | Q máx(m <sup>3</sup> /s) |           |          |            |
|----------------|-------------------------------|--------------------------|-----------|----------|------------|
|                |                               | T=10 años                | T=25 años | T=50años | T=100 años |
| SUBCUENCA 1    | 23,5                          | 20,3                     | 41,1      | 62,0     | 84,6       |
| SUBCUENCA 2    | 48,3                          | 28,3                     | 66,6      | 106,2    | 150,3      |
| SUBCUENCA 3    | 22,8                          | 12,5                     | 29,5      | 47,3     | 68,0       |
| Desagüe        | 94,6                          | 57,0                     | 132,2     | 211,4    | 298,5      |

Tabla 3-16. Caudales máximos obtenidos en la Cabecera de cuenca del río Buñol con el software HEC-HMS. Fuente: elaboración propia.

En la **Figura 3-4** se muestra el hidrograma en el punto de desagüe de la cuenca. La línea continua corresponde al caudal total, que asciende a 57 m<sup>3</sup>/s, le sigue el caudal que aporta el cauce y el valor más bajo corresponde al aporte del área de la subcuenca tres. Se ve claramente el efecto de la laminación del hidrograma de la avenida, al irse desplazando por el cauce, se modifica y atenúa, desplazándose hacia la derecha.

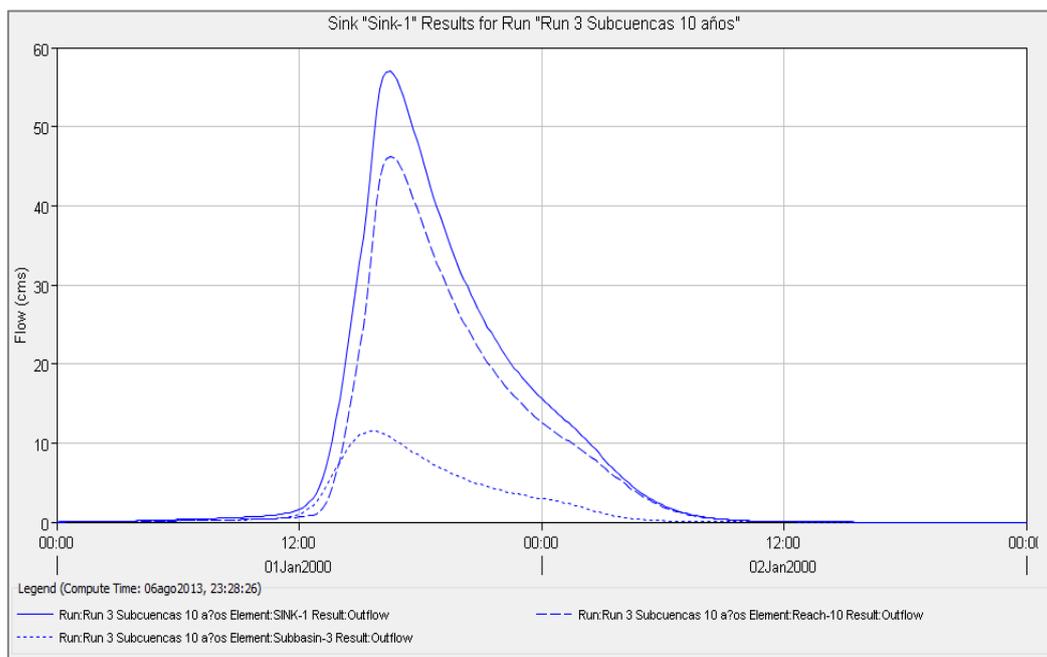


Figura 3-4. Hidrograma de la cabecera de cuenca del río Buñol en el punto de desagüe para una tormenta de 24 horas y un periodo de retorno de 10 años. Fuente: elaboración propia con el software HEC-HMS.

Se produce por el almacenamiento de agua en los tramos del río, haciendo que el caudal que sale por la sección de aguas abajo del tramo, en cada momento, sea inferior a la cantidad de agua que está entrando por la sección de aguas arriba de ese tramo, en ese momento. En la **Figura 3-5** se ha representado la entrada (salida de la

cuenca 2 + caudal por escorrentía de la subcuenca 3) y la salida en la subcuenca 3, donde se puede observar el efecto del retardo (desviado a la derecha) y la atenuación (el caudal punta del hidrograma ha disminuido). Este último efecto no es tan evidente al estar trabajando con una cuenca pequeña.

También se observa que el caudal punta se produce a las 16 horas 30 minutos, 4 horas y media después del pico de la tormenta, el cual se produce a las 12:00 horas. La escorrentía finaliza a las 12:00 del día siguiente, es decir, 36 horas después desde que se inició la tormenta.

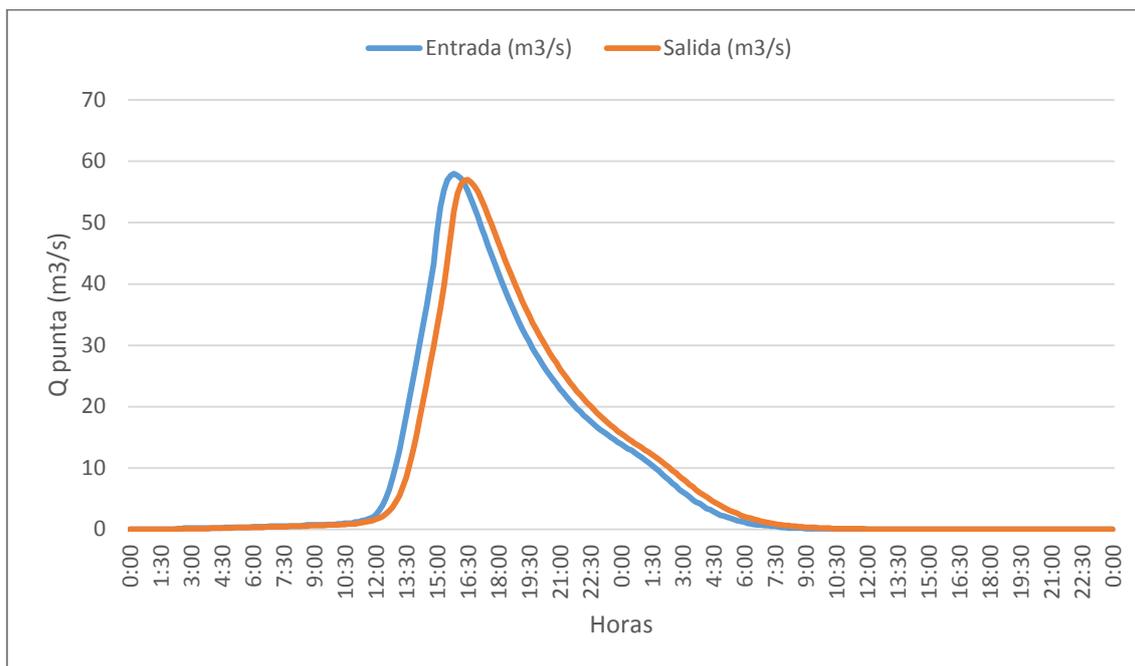


Figura 3-5. Efecto del retardo y laminación del hidrograma mediante la representación de las entradas y las salidas en la subcuenca 3, para una tormenta de 24 horas y un periodo de retorno de 10 años. Fuente: elaboración propia.

Otro dato de salida del HEC-HMS es la relación entre la precipitación y la infiltración. La precipitación es mayor que la PdMA promedio areal corregida calculada (87,8 mm) debido a la construcción de la tormenta de diseño. En la **Tabla 3-17** se observa que el porcentaje de escorrentía en la subcuenca 1 es mayor que en el resto de subcuencas.

|             | Precipitación<br>(mm) | Pérdidas<br>(mm) | Exceso<br>(mm) | Exceso<br>(%) |
|-------------|-----------------------|------------------|----------------|---------------|
| Subcuenca 1 | 110,12                | 80,69            | 19,43          | <b>18</b>     |
| Subcuenca 2 |                       | 85,44            | 14,68          | <b>13</b>     |
| Subcuenca 3 |                       | 86,13            | 13,99          | <b>13</b>     |

Tabla 3-17. Relación precipitación-exceso en la cabecera de cuenca del río Buñol. Fuente: elaboración propia.

Respecto al volumen de agua que aporta cada unidad hidrológica, se observa que la subcuenca 2 es la que mayor caudal aporta. A simple vista se podría pensar que es debido a la superficie, ya que prácticamente duplica a las subcuencas 1 y 3. En la **Tabla 3-18** se ha calculado un coeficiente que relaciona el caudal obtenido respecto a la superficie de cada subcuenca.

| U. HIDROLÓGICA | Qmax/Superficie |           |           |            |
|----------------|-----------------|-----------|-----------|------------|
|                | T=10 años       | T=25 años | T=50 años | T=100 años |
| SUBCUENCA 1    | 0,9             | 1,7       | 2,6       | 3,6        |
| SUBCUENCA 2    | 0,6             | 1,4       | 2,2       | 3,1        |
| SUBCUENCA 3    | 0,5             | 1,3       | 2,1       | 3,0        |
| Desagüe        | 0,6             | 1,4       | 2,2       | 3,2        |

Tabla 3-18. Relación entre el caudal máximo y la superficie de cada unidad hidrológica de la Cabecera de cuenca del río Buñol y de cada periodo de retorno. Fuente: elaboración propia.

Este tipo de análisis va confirmando lo que se ha comentado a lo largo del estudio; la subcuenca 1 se comporta hidrológicamente peor que el resto, ya que almacena menor cantidad de agua y produce mayor escorrentía. Probablemente sea por el estado de los usos del suelo, ya que gran parte se encuentra deforestada y por tanto es la que tiene mayor coeficiente de escorrentía que el resto (ver **Tabla 3-11**).

Para confirmar esta hipótesis se ha realizado un análisis de sensibilidad al modelo hidrológico con los diferentes parámetros que caracterizan a las unidades hidrológicas y a los cauces. En la **Tabla 3-19** se pueden observar los resultados obtenidos, los cuales se comentan a continuación:

- Los parámetros que caracterizan los cauces tienen menor influencia en el modelo. Se observa que el más sensible es la longitud del cauce (1%), ya que a medida que aumenta su longitud, se atenúa el hidrograma y por tanto disminuye el caudal

punta. El número de Manning, tanto en el propio lecho como en ladera, tiene una sensibilidad del 4%. La pendiente es menos sensible (3%). La pendiente oscila entre un 1% y un 4%; probablemente si fuese superior, tendría mayor influencia.

- Respecto a los parámetros de la cuenca, lógicamente el área tiene una relación totalmente directa con el caudal obtenido. Al aumentar o disminuir un 10% la superficie de las unidades hidrológicas, el caudal obtenido varía exactamente lo mismo. El LAG TIME, que está relacionado con el tiempo de concentración, tiene una sensibilidad de un 4%. Este parámetro ya tiene mayor importancia, ya que cuanto menor es, más rápido se concentrará el caudal en el punto de salida. Por lo tanto, a medida que disminuye el tiempo de concentración, aumenta el caudal punta.
- Umbral de escorrentía: es el parámetro más sensible del modelo. Es lógico, ya que en él están incluidos muchos parámetros (usos del suelo, tipo de suelo y pendiente de la cuenca). Se puede ver en la Tabla 3-17 que al modificar un 10% el umbral de escorrentía, el caudal varía un 33% de media en toda la cuenca. También se realizó la sensibilidad en las diferentes subcuencas. Por ejemplo, la subcuenca 1 tiene menor sensibilidad que el resto porque su coeficiente de escorrentía es menor. Ello hace que la modificación del caudal también sea menor, ya que en términos absolutos el umbral de escorrentía varía menos.

|               | Parámetro                  | Q max (m <sup>3</sup> /s) |       |        | Sensibilidad |
|---------------|----------------------------|---------------------------|-------|--------|--------------|
|               |                            | -10%                      | Valor | +10%PO |              |
| <b>CAUCES</b> | <b>Longitud del cauce</b>  | 57,6                      |       | 56,3   | 1%           |
|               | <b>Pendiente del cauce</b> | 56,8                      | 57    | 57,1   | 0,3%         |
|               | <b>Manning cauce</b>       | 57,2                      |       | 56,8   | 0,4%         |
|               | <b>Manning lateral</b>     | 57,2                      |       | 56,8   | 0,4%         |
| <b>CUENCA</b> | <b>Area</b>                | 51,1                      | 57    | 62,9   | 10%          |
|               | <b>LAG TIME</b>            | 59,6                      |       | 54,6   | 4%           |
|               | <b>Umbral escorrentía</b>  |                           |       |        |              |
|               | Subcuenca 1                | 26,1                      | 20,3  | 15,6   | 26%          |
|               | Subcuenca 2                | 39,2                      | 27,8  | 19,1   | 36%          |
|               | Subcuenca 3                | 16,3                      | 11,5  | 7,8    | 37%          |
|               | <b>CUENCA</b>              | 78,2                      | 57    | 40,7   | 33%          |

Tabla 3-19. Análisis de sensibilidad de los parámetros de los cauces y de las subcuencas en el modelo hidrológico de la Cabecera de cuenca del río Buñol. Fuente: elaboración propia.

El análisis de sensibilidad es útil para calibrar el modelo. En la cuenca de estudio no existen estaciones de aforo, pero en el caso que sí hubiese, se calibraría el modelo ajustando los caudales obtenidos con los caudales observados. El parámetro que se debería ajustar sería el umbral de escorrentía, ya que es el que más sensibilidad muestra, y por tanto puede contener erratas que conduzcan a un caudal distinto al de la realidad. Pero como no se disponen de datos de aforo, es imposible realizar la calibración.

En la **Tabla 3-20** se muestra la comparación de los caudales obtenidos con el Método Racional Modificado de Témez y con el HEC-HMS. Como son métodos distintos, no pueden obtener los mismos caudales, pero sí que sirve a modo de referencia. Obviamente, a medida que aumenta el periodo de retorno, la diferencia entre ambos métodos es mayor (el error aumenta).

| U. HIDROLÓGICA | Caudales máximos (m <sup>3</sup> /s) |             |              |              |              |              |              |              |
|----------------|--------------------------------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                | T= 10 años                           |             | T =25 años   |              | T=50 años    |              | T=100 años   |              |
|                | HEC -HMS                             | TÉMEZ       | HEC -HMS     | TÉMEZ        | HEC -HMS     | TÉMEZ        | HEC -HMS     | TÉMEZ        |
| SUBCUENCA 1    | 20,3                                 | 27,2        | 41,1         | 48,6         | 62,0         | 68,0         | 84,6         | 91,1         |
| SUBCUENCA 2    | 27,8                                 | 37,5        | 66,6         | 72,6         | 106,2        | 108,9        | 150,3        | 147,3        |
| SUBCUENCA 3    | 11,5                                 | 17,5        | 29,5         | 33,7         | 47,3         | 50,4         | 68,0         | 68,2         |
| <b>CUENCA</b>  | <b>57,0</b>                          | <b>55,3</b> | <b>132,2</b> | <b>103,7</b> | <b>211,4</b> | <b>151,7</b> | <b>298,5</b> | <b>205,9</b> |

Tabla 3-20. Comparación de caudales obtenidos mediante el Método Racional Modificado de Témez y con el software HEC-HMS. Fuente: elaboración propia.

Como ya se ha comentado al comienzo del capítulo de cálculo de caudales, los valores obtenidos sirven para dimensionar las infraestructuras transversales en los cauces (diques y albarradas). En el presente estudio no se van a diseñar, ya que conllevaría otro proyecto más extenso. Esta información se combinará con los niveles erosivos del suelo, que se calculan en el **Apartado 3.4-Caudales sólidos**, para plantear las medidas de restauración hidrológico-forestal que se deben llevar a cabo en la Cabecera de cuenca del río Buñol, entre ellas, la ubicación de los diques y/o albarradas, que se desarrollarán en el **Apartado 5-Restauración Hidrológico-Forestal**.

### 3.5. Cálculo de caudales sólidos

Para la estimación de los estados erosivos presentes en la cuenca se ha empleado el modelo RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation/ Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo Revisada), un modelo paramétrico de tipo empírico que predice las pérdidas de suelo promedio anual por erosión laminar y en regueros.

En 1954 el Departamento de Agricultura de EE.UU. reunió y consolidó todos los datos disponibles de los EE.UU., además se recogieron datos anuales de más de 10.000 parcelas en relación con la escorrentía y las pérdidas de suelo, en 49 lugares diferentes a partir de proyectos cooperativos de investigación federal en EE.UU. En base a estos datos reunidos y estudios anteriores, Qischmeier, Smith y otros desarrollaron la USLE (Universal Soil Loss Equation/Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo), y publicaron en 1965 el Manual para la Agricultura (Nº 537) que describe la USLE. Tuvo una gran aceptación, y hoy en día se ha convertido en la principal herramienta de planificación de la conservación de suelos que se utiliza tanto en EE.UU. como en otros países del mundo.

Con más investigación, experimentos, datos y recursos disponibles, los investigadores continuaron mejorando la USLE, lo que llevó al desarrollo de la RUSLE. Tiene la misma fórmula que la USLE, pero con varias mejoras en la determinación de los factores, incluyen mapas nuevos y revisados, un enfoque variable en el tiempo para el factor de erosionabilidad del suelo, un enfoque subfactor para evaluar el factor de gestión de la cubierta, una nueva ecuación para reflejar longitud de la pendiente e inclinación, y nuevos valores de conservación de la práctica. En el año 1997 el Departamento de Agricultura de EE.UU. publicó un nuevo Manual para la Agricultura (Nº 703), que describe la RUSLE con gran detalle.

Para determinar la degradación específica de la cuenca se ha realizado un cálculo de las pérdidas de suelo para una tormenta determinada mediante la utilización del modelo MUSLE (Modified Universal Soil Loss Equation/ Modificación de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo). El modelo MUSLE es una extensión de la RUSLE para pequeñas cuencas hidrográficas que predice las toneladas de sedimentos aportados por las mismas para un aguacero concreto.

### 3.5.1. Determinación de la erosión. Aplicación del modelo RUSLE

La Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo Revisada presenta la siguiente configuración:

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$$

Donde:

- A: pérdidas de suelo en tn/ha·año
- R: factor de erosividad de la lluvia. Mide la fuerza erosiva de una lluvia determinada en hJ·cm/m<sup>2</sup>·h
- K: factor de erosionabilidad del suelo en t·m<sup>2</sup>·h/ha·HJ·cm
- L: factor longitud de la pendiente, adimensional
- S: factor inclinación de la pendiente, adimensional
- C: factor de cobertura del suelo, adimensional
- P: factor de las prácticas de manejo, adimensional

Se ha realizado el cálculo de la R.U.S.L.E. mediante el software ArcGIS 10.0. De este modo se va a obtener un único mapa ráster de cada parámetro, con un tamaño de pixel de 5 metros. Finalmente mediante la aplicación de "Map calculator" se multiplicará cada uno de los mapas para así obtener la pérdida de suelo total. Las pérdidas obtenidas se visualizan pixel a pixel, por ello el último paso ha sido analizar, clasificar y relacionar los datos para asignar las pérdidas de suelo en zonas similares.

#### **1º) FACTOR R O FACTOR EROSIVIDAD DE LA LLUVIA**

Representa la capacidad de la lluvia para producir erosión. Se calcula en base a la energía cinética de la precipitación, que es en definitiva la energía capaz de desagregar el suelo en las partículas individuales que posteriormente serán transportadas por la salpicadura o por la escorrentía. El mismo ICONA publicó en 1988 el valor del factor R a nivel peninsular en un mapa de isolíneas en donde R se expresa en hJ·cm/m<sup>2</sup>·h. El Factor R se ha obtenido a partir del visor del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente: Agricultura/ Datos agroclimáticos (**Figura 3-6**). Se observa que la influencia marítima en la cuenca es importante, ya que la subcuenca 3, situada más al este, es más susceptible a la lluvia que la subcuenca 1 que tiene un factor R más bajo.

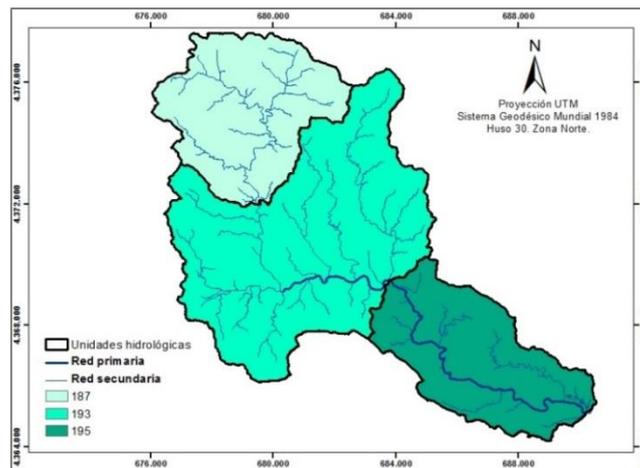


Figura 3-6. Factor R o erosividad de la lluvia de la RUSLE en la cabecera de cuenca del río Buñol. Fuente: elaboración propia. Fuente: elaboración propia.

## 2º) FACTOR K O DE EROSIONABILIDAD DEL SUELO

Expresa la susceptibilidad del suelo a sufrir pérdidas de suelo por erosión; es por tanto función de características edáficas tales como textura, estructura, estabilidad de agregados, pedregosidad superficial, etc. Si no se cuenta con información de suelos, se puede calcular el valor de K basado en el tipo de roca formadora del suelo (litofacies), como se muestra en la **Tabla 3-21**. Los valores de K más altos, expresados en  $t \cdot m^2 \cdot h / ha \cdot HJ \cdot cm$ , se presentan en suelos de texturas limosas y arenosas finas (suelos muy erosionables) y los valores más bajos son para los suelos arenosos (de arena gruesa). Ver **Figura 3-7**.

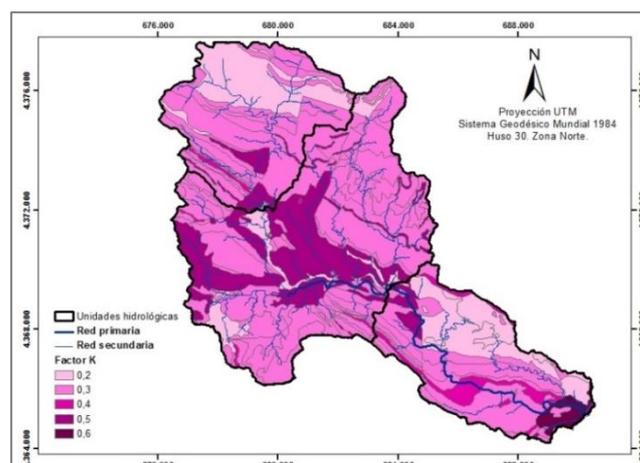


Figura 3-7. Factor K o erosionabilidad del suelo de la RUSLE en la cabecera de cuenca del río Buñol. Fuente: elaboración propia.. Fuente: elaboración propia.

| FACTOR K | LITOLOGÍA                                      |
|----------|--|
| 0.2      | "SC 1 Conglomerados"                           |
| 0.2      | "SC 1-2 Conglomerados y areniscas"             |
| 0.2      | "SC 1-2-4 Conglomerados, areniscas y arcillas" |
| 0.2      | "SC 1-4 Conglomerados y arcillas"              |
| 0.2      | "SC 1-10 Conglomerados y margas"               |
| 0.3      | "SC 2 Areniscas"                               |
| 0.3      | "SC 2-4 Areniscas y arcillas"                  |
| 0.3      | "SC 2-10 Areniscas y margas"                   |
| 0.4      | "SC 4 Arcillas"                                |
| 0.4      | "SC 4-2 Arcillas y areniscas"                  |
| 0.4      | "SC 4-10 Arcillas y margas"                    |
| 0.3      | "SC 5 Calcáreas"                               |
| 0.3      | "SC 5-2 Calcáreas y areniscas"                 |
| 0.3      | "SC 5-6 Calcáreas y calcarenitas"              |
| 0.3      | "SC 5-7 Calcáreas y calcáreas margosas"        |
| 0.3      | "SC 5-9 Calcáreas y dolomías"                  |
| 0.3      | "SC 5-10 Calcáreas y margas"                   |
| 0.3      | "SC 6 Calcarenitas"                            |
| 0.3      | "SC 6-10 Calcarenitas y margas"                |
| 0.3      | "SC 7 Calcáreas margosas"                      |
| 0.3      | "SC 7-10 Calcáreas margosas y margas"          |
| 0.3      | "SC 8 Calcáreas tovacias"                      |
| 0.3      | "SC 9 Dolomías"                                |
| 0.3      | "SC 9-5 Dolomías y calcáreas"                  |
| 0.3      | "SC 9-10 Dolomías y margas"                    |
| 0.5      | "SC 10 Margas"                                 |
| 0.5      | "SC 10-2 Margas y areniscas"                   |
| 0.6      | "SC 12 Arcillas, margas y yesos"               |
| 0.2      | "SI 2 Cantos y gravas"                         |
| 0.2      | "SI 2-3 Cantos, gravas y arenas"               |
| 0.2      | "SI 2-3-4 Cantos, gravas, arenas y limos"      |
| 0.2      | "SI 2-3-5 Cantos, gravas, arenas y arcillas"   |
| 0.2      | "SI 2-4 cantos, gravas y limos"                |
| 0.2      | "SI 2-5 Cantos, gravas y arcillas"             |
| 0.2      | "SI 3 Arenas"                                  |
| 0.2      | "SI 3-2 Arenas, gravas y cantos"               |
| 0.2      | "SI 3-4 Arenas y limos"                        |
| 0.2      | "SI 3-5 Arenas y arcillas"                     |
| 0.5      | "SI 4 Limos"                                   |
| 0.5      | "SI 4-2 Limos, gravas y cantos"                |
| 0.5      | "SI 4-3 Limos y arenas"                        |
| 0.5      | "SI 4-5 Limos y arcillas"                      |
| 0.4      | "SI 5 Arcillas"                                |
| 0.4      | "M-1 Pizarras y cuarzitas"                     |
| 0.4      | "M-2 Rocas carbonatadas y filitas"             |
| 0.4      | "M-3 Metabasitas"                              |
| 0.2      | "V-1 Basaltos"                                 |
| 0.2      | "V-2 Ofitas"                                   |
| 0.2      | "V-3 Brechas y tovas volcánicas"               |

Tabla 3-21. Factor K o de erosionabilidad del suelo. Fuente: CATIE. ArcGIS aplicados al Manejo de Recursos Naturales. Erosión de suelos utilizando la RUSLE

### 3º) Factor LS o Factor de longitud e inclinación de la pendiente

L y S son factores que representan la topografía del terreno y definen los efectos del ángulo de inclinación y la longitud de la pendiente en la ladera y en la erosión en surcos. Este es el parámetro que más complejidad expresa en el método RUSLE, debido al hecho de que la longitud de la pendiente implica juicio humano. El factor longitud de la pendiente (L) se define como la distancia desde la fuente de escurrimiento hasta el punto donde comienza la deposición o a convertirse en

escorrentía en un canal definido. La fórmula utilizada para calcular el factor LS se basa en experimentos del Departamento de Agricultura de EE.UU. donde se utilizaron parcelas de ensayo de 22,1 metros y con un 9% de pendiente para medir la erosión. Se ha recurrido a un artículo científico realizado por Sims (2003), en el cual el autor también lleva a cabo el cálculo de la RUSLE mediante un software SIG. La fórmula empleada para calcular el factor LS computarizada es:

$$LS = \frac{A^{0,6}}{22,13} \cdot \frac{\text{sen } B^{1,3}}{0,0896}$$

Donde: A: es el factor que contribuye a la longitud de la pendiente

B: es el ángulo de pendiente

La forma de la pendiente, la interacción del ángulo y la longitud de la pendiente, tienen un efecto sobre la magnitud de la erosión. Por ejemplo, las pérdidas de suelo de las parcelas en las pendientes irregulares pueden depender de la pendiente inmediatamente por encima del punto de medición. Por tanto, el efecto de la longitud de la pendiente y el grado de la pendiente deben considerarse siempre juntos (Edwards 1987 en el Artículo de Sims (2005)).

Sin embargo, con la incorporación de Modelos Digitales de Elevaciones (MDE) en SIG, la longitud de la pendiente (L) y la inclinación (S) se pueden determinar con precisión y se combinan para formar un solo factor (LS). La precisión con la que se puede estimar depende de la resolución del MDE, que en este caso es muy alta (5 metros). Para usar la ecuación Sims (2005) se ha empleado la siguiente expresión:

$$\text{Pow}([\text{flow accumulation}] * \text{cell size} / 22.13, 0.6) * \text{Pow}(\text{Sin}([\text{Slope of DEM}] * 0.01745) / 0.0896, 1.3)$$

Donde: Flow: acumulation: mapa raster de acumulación de flujo

Cell size: 5 metros

Slope of DEM: mapa raster de pendiente

Se obtiene el mapa raster de pendiente (Slope of DEM) a partir del Model Digital de Elevaciones, así como la acumulación del flujo (flow accumulation). Estos dos mapas se

utilizan en la expresión anterior, con un tamaño de pixel de 5 metros, como en todos los parámetros de la ecuación de la R.U.S.L.E. En la **Figura 3-8** se muestra el mapa raster obtenido. El factor LS medio de la cuenca es de 10 mediante el software ArcGIS 10.0. Está asociado a pendientes con un rango entre 24 y 30%, según el criterio de Mintegui (1988), citado en el artículo científico de Barrios R., A. G. (2000).

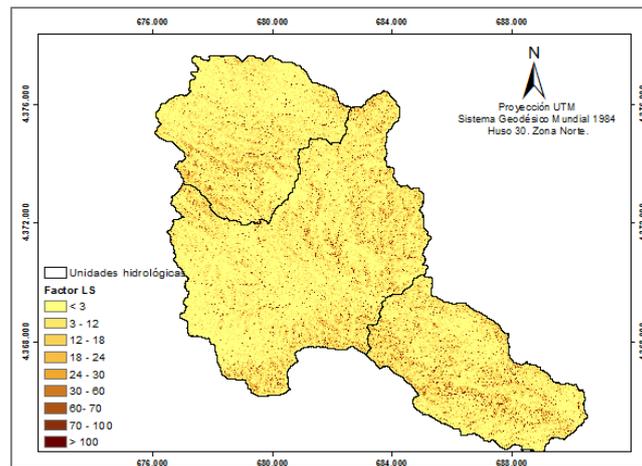


Figura 3-8. Factor LS o de longitud e inclinación de la pendiente de la RUSLE en la cabecera de cuenca del río Buñol. Fuente: elaboración propia basada en la clasificación del trabajo de Mintegui (1988), citado en el artículo científico de Barrios R., A. G. (2000).

#### 4º) Factor C o Factor de cobertura del suelo

El factor C representa la efectividad de las plantas como cubierta protectora del suelo frente a la energía de impacto de las gotas de lluvia y la fuerza del flujo superficial.

Se ha utilizado la **Tabla 3-22** y la **Tabla 3-23** para realizar una tabla propia aplicada a la cuenca de estudio, ya que los usos que tiene la cuenca de estudio no coinciden con la nomenclatura de las tablas.

| TIPO DE CUBIERTA             | FACTOR C |
|------------------------------|----------|
| Arbolado forestal denso      | 0,01     |
| Arbolado forestal claro      | 0,03     |
| Matorral con buena cobertura | 0,08     |
| Matorral ralo y eriales      | 0,2      |
| Cultivos arbóreos y viñedos  | 0,4      |
| Cultivos anuales y herbáceos | 0,25     |
| Cultivos en regadío          | 0,04     |

Tabla 3-22. Factor C o cobertura del suelo en función del tipo de cubierta. Fuente: Almorox A., J. *et al.* 2010.

| FACTOR C    |          |             |          |
|-------------|----------|-------------|----------|
| % Cobertura | Factor C | % Cobertura | Factor C |
| 5           | 0,807    | 50          | 0,045    |
| 8           | 0,6      | 55          | 0,034    |
| 10          | 0,613    | 60          | 0,023    |
| 15          | 0,466    | 65          | 0,017    |
| 20          | 0,319    | 70          | 0,012    |
| 25          | 0,242    | 75          | 0,009    |
| 30          | 0,166    | 80          | 0,006    |
| 35          | 0,129    | 90          | 0,003    |
| 40          | 0,086    | 100         | 0,001    |
| 45          | 0,065    |             |          |

Tabla 3-23. Factor C o cobertura del suelo en función del porcentaje de cobertura. Fuente: Almorox A., J. *et al.* 2010.

En la **Tabla 3-24** se observan los valores del factor de cobertura del suelo asignados a los diferentes usos, siguiendo lógicamente una relación con las tablas anteriores:

| Usos   | FCC | Factor C |
|--|-----|----------|
| Barbecho R/N                                       | 0   | 1        |
| Huerta: cultivos en hilera                         | 5   | 0,8      |
| Cereales en invierno                               | 7   | 0,7      |
| Maíz y productos hortícolas                        | 10  | 0,6      |
| Cultivos herbáceos de secano + Barbecho (30 - 40%) | 12  | 0,25     |
| Cultivos herbáceo de secano + Barbecho (0 - 30%)   | 18  | 0,14     |
| Cultivos arbóreo de secano + Cereales de invierno  | 20  | 0,08     |
| Cultivo arbóreo de secano: olivar y viña           | 18  | 0,4      |
| Cultivo arbóreo de secano + Matorral               | 25  | 0,3      |
| Matorral sin arbolado (cobertura < 50%)            | 30  | 0,3      |
| Matorral sin arbolado (cobertura > 50%)            | 50  | 0,2      |
| Matorral + Coníferas + Frondosas                   | 60  | 0,08     |
| Coníferas  | 80  | 0,03     |
| Frondosas  | 100 | 0,01     |
| Improductivo                                       | 0   | 0        |

Tabla 3-24. Asignación del factor C o de cobertura del suelo para los usos de la Cabecera de cuenca del río Buñol. Fuente: elaboración propia a partir de las talas de Almorox, A., j. *et al.*, 2010.

El mapa ráster obtenido del factor cobertura de la vegetación de la RUSLE se observa en la **Figura 3-9**.

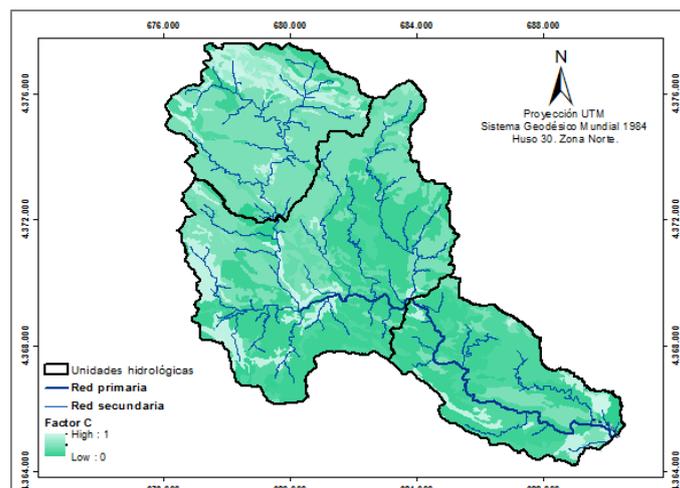


Figura 3-9. Factor C o de cobertura del suelo de la RUSLE en la cabecera de cuenca del río Buñol. Fuente: elaboración propia.

#### 4º) Factor P o Factor de prácticas de conservación

Este factor adquiere una mención especial. Se debe a la situación geográfica en la que se encuentra la cuenca de estudio, la Comunidad Valenciana, la cual está caracterizada por un abancalamiento muy elevado en prácticamente todo el territorio. Por ello, a este factor se le atribuye un valor de 0,14 a las zonas de cultivo por estar situada en dicho ámbito. A las zonas forestales donde no hay prácticas de conservación el factor P se le asigna el valor de 1 (Sims, 2005). Y a las zonas improductivas (autopistas, núcleos urbanos, canteras) se les asigna el valor de 0, ya que en estas áreas no existe erosión.

Ver **Tabla 3-25**.

| Práctica de control de la erosión                  | Valor del <b>factor P</b> |
|--|---------------------------|
| Cultivo a nivel: pendiente 0 – 1°                  | 0,60*                     |
| Cultivo a nivel: pendiente 2 – 5°                  | 0,50*                     |
| Cultivo a nivel: pendiente 6 – 7°                  | 0,60*                     |
| Cultivo a nivel: pendiente 8 – 9°                  | 0,70*                     |
| Cultivo a nivel: pendiente 10 – 11°                | 0,80*                     |
| Cultivo a nivel: pendiente 12 – 14°                | 0,90*                     |
| <b>Bancales</b> a nivel                            | 0,14                      |
| <b>Bancales</b> a contra pendiente                 | 0,05                      |
| <b>Bancales</b> con desagüe siguiendo la pendiente | 0,35                      |
| <b>Bancales</b> a nivel con retención de agua      | 0,01                      |
| Caballones enlazados                               | 0,10 – 0,20               |

\* Utilizar el 50% del valor para los cordones a nivel o si se practica el cultivo en fajas a nivel. Según Wischmeier y Smith (1978); Roose (1977); Chan (1981a)

Tabla 3-25. Factor P o prácticas de conservación de suelos. Fuente: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). ArcGIS aplicados al Manejo de Recursos Naturales. Erosión de suelos utilizando la RUSLE.

El factor de prácticas de conservación de suelos del área de estudio se muestra en la **Figura 3-10**.

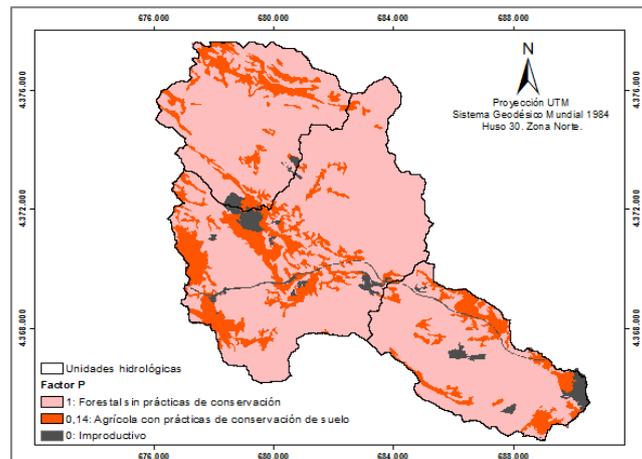


Figura 3-10. Factor P o de prácticas de conservación de suelos de la RUSLE en la cabecera de cuenca del río Buñol. Fuente: elaboración propia.

### 5º) Calificación de los riesgos de erosión

Una vez obtenidos todos los mapas en formato ráster, de los diferentes parámetros (R, K, LS, C y P) que constituyen la RUSLE, con un tamaño de píxel de 5 metros, se multiplican mediante la herramienta Raster Calculator de ArcGIS 10.0. Finalmente se ha obtenido el Mapa de pérdidas de suelo por erosión hídrica.

En la **Figura 3-11** se han representado las pérdidas de la cuenca en toneladas por hectárea y año en función de los usos del suelo. Se observa que las mayores pérdidas pertenecen al uso de matorral sin arbolado con una cobertura menor al 50 % y una erosión media de 230 tn/ha-año; a continuación le sigue el matorral sin arbolado con cobertura mayor al 50 % y erosión media de 145 tn/ha-año; el siguiente uso con mayor erosión es el matorral con coníferas y/o frondosas, el cual disminuye a 48 tn/ha-año. Siguiendo el orden de mayor a menor erosión, el resto de usos se disponen de la siguiente forma: barbecho, cultivos arbóreos de secano, frutales de secano + matorral, maíz y productos hortícolas, coníferas, huerta, cultivo herbáceo de secano, pastizal sin arbolado, pastizal con coníferas o frondosas, frondosas, pastizal con frondosas o coníferas y frondosas y, finalmente, sin erosión, los núcleos urbanos, carreteras y canteras.

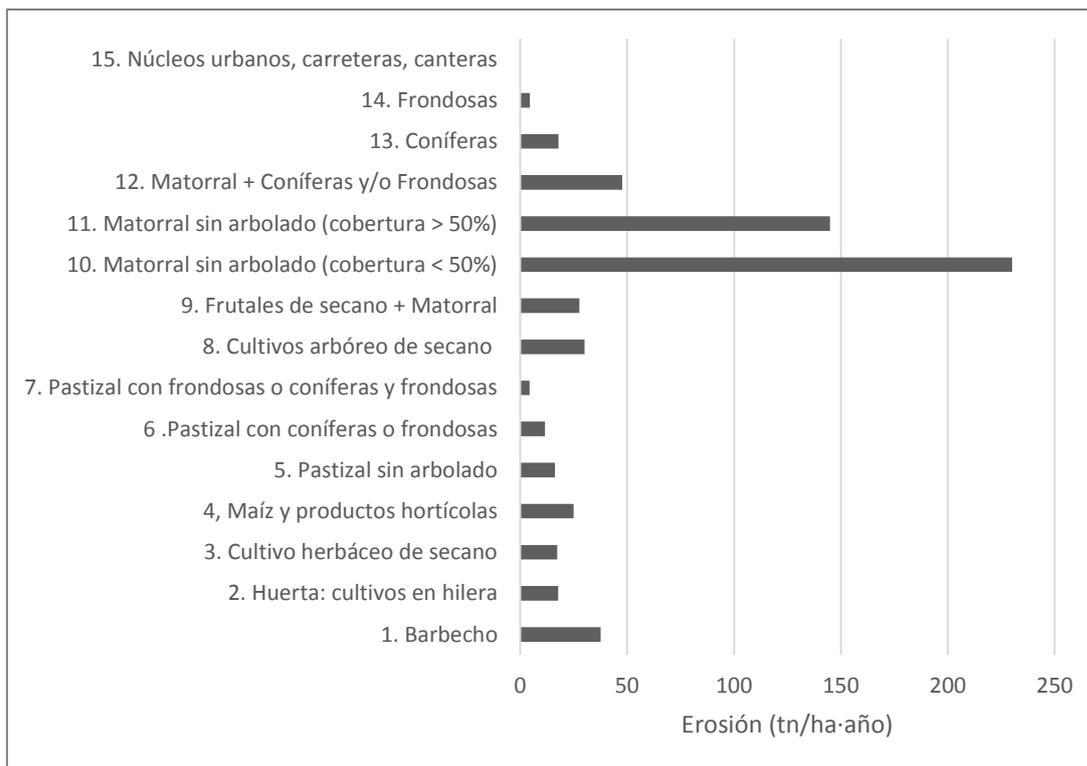


Figura 3-11. Erosión de la cabecera de cuenca del río Buñol en función de los usos del suelo. Fuente: elaboración propia mediante la metodología de la RUSLE.

Según la FAO, PNUMO y la UNESCO, se debe adoptar tolerables las pérdidas de 0,5 mm de perfil por año, que admitiendo el peso específico en  $2 \text{ t/m}^3$ , supone unas pérdidas de  $10 \text{ tn/ha}\cdot\text{año}$ .

$$0,5 \cdot 10^{-3} \text{ m/año} \cdot 10.000 \text{ m}^2/\text{ha} \cdot 2 \text{ t/m}^3 = 10 \text{ t/ha}\cdot\text{año}$$

Estos organismos establecieron una clasificación para las pérdidas de suelo reflejada en la **Tabla 3-26**. En el **Mapa 11-Estados erosivos** se muestra la erosión de la cabecera de cuenca del río Buñol con dicha clasificación.

| A= pérdidas (tn/ha·año) | Grado de erosión hídrica |
|-------------------------|--------------------------|
| < 10                    | Ninguna o ligera         |
| 10 – 50                 | Moderada                 |
| 50 – 200                | Alta                     |
| > 200                   | Muy alta                 |

Tabla 3-26. Clasificación de FAO-PNUMO y UNESCO para pérdidas de suelo. Fuente: FAO, 1985.

En la **Tabla 3-26** se muestra un resumen de las pérdidas de suelo medias de cada subcuenca en función de los usos del suelo, así como la media de la cuenca completa.

| Usos  | PÉRDIDAS (tn/ha·año) |           |           |           |
|---|----------------------|-----------|-----------|-----------|
|   | U.H. 1               | U.H. 2    | U.H. 3    | CUENCA    |
| 1. Barbecho                                       | 37                   | 38        | -         | 38        |
| 2. Huerta: cultivos en hilera                     | -                    | -         | 18        | 18        |
| 3. Cultivo herbáceo de secano                     | 17                   | -         | 0         | 17        |
| 4. Maíz y productos hortícolas                    | -                    | 25        | 0         | 25        |
| 5. Pastizal sin arbolado                          | -                    | 16        | 0         | 16        |
| 6. Pastizal con coníferas o frondosas             | 12                   | 12        | 8         | 12        |
| 7. Pastizal con frondosas o coníferas y frondosas | 3                    | 5         | 4         | 4         |
| 8. Cultivos arbóreo de secano                     | 39                   | 19        | 41        | 30        |
| 9. Frutales de secano + Matorral                  | -                    | 29        | 26        | 28        |
| 10. Matorral sin arbolado (cobertura < 50%)       | 234                  | 205       | 0         | 230       |
| 11. Matorral sin arbolado (cobertura > 50%)       | 171                  | 117       | 154       | 145       |
| 12. Matorral + Coníferas y/o Frondosas            | 38                   | 49        | 48        | 48        |
| 13. Coníferas                                     | 6                    | 18        | 21        | 18        |
| 14. Frondosas                                     | -                    | 5         | 0         | 5         |
| 15. Núcleos urbanos, carreteras, canteras         | 0                    | 0         | 0         | 0         |
| <b>TOTAL</b>                                      | <b>129</b>           | <b>52</b> | <b>46</b> | <b>69</b> |

Tabla 3-26. Erosión media de las distintas unidades hidrológicas y de la cuenca completa en función de los usos del suelo. Fuente: elaboración propia.

Se observa que la unidad hidrológica con mayores pérdidas es la subcuenca 1, ya que como se ha ido comentando a lo largo del estudio, es la que se encuentra más degradada, y su erosión asciende a 129 tn/ha·año, catalogada con un grado de erosión alto. Esto se debe a que el área que predomina en esta subcuenca es la de matorral sin arbolado, con un 64%. El siguiente uso con mayor superficie es cultivo arbóreo de secano (principalmente vid), con unas pérdidas de 39 tn/ha·año y ocupando un 13% de superficie.

En la subcuenca 2 se obtiene una erosión media de 52 tn/ha·año; está clasificada con un grado de erosión alto, pero está en límite para que pase a ser moderado. En este caso dominan las coníferas con un 39% y le sigue el uso de matorral sin arbolado con cobertura mayor al 50%, con una superficie del 32%.

En la subcuenca 3 se obtiene una erosión media de 46 tn/ha·año, por lo tanto se clasifica con un grado de erosión moderado. En esta unidad hidrológica predomina el

uso de las coníferas, con un 41%, a continuación le sigue el uso de matorral con coníferas y/o frondosas, con una superficie del 24%, y finalmente el matorral sin arbolado con cobertura mayor al 50% y una superficie del 14%.

La erosión de la cuenca completa asciende a 69 tn/ha·año, por lo tanto tiene un alto grado de erosión. Como es lógico, el uso predominante en la cuenca es el de matorral sin arbolado con cobertura mayor al 50% (erosión media de 145 tn/ha·año), con una superficie del 36%. Con un 31% se sitúan las coníferas (erosión media de 18 tn/ha·año). Finalmente, el uso de matorral con coníferas y/o frondosas ocupa un 10 % (erosión media de 48 tn/ha·año).

La superficie (en kilómetros cuadrados y en porcentaje) correspondiente a cada uso del suelo y a la erosión producida en cada unidad hidrológica y en la cuenca completa, información que se ha comentado en los párrafos previos, se puede observar en diversas tablas en el **Anejo 4-Estados erosivos (R.U.S.L.E.)**.

A modo de conclusión antes de comenzar con la ordenación agrohidrológica de la cuenca, se puede decir que aunque la subcuenca 1 sea la más degradada y con mayores niveles de erosión, el resto de unidades hidrológicas también disponen de superficies importantes con erosión elevada.

### 3.5.2. Obtención de la degradación específica. Aplicación del modelo MUSLE

La degradación específica de una cuenca vertiente se define como la cantidad de sedimentos emitidos por una cuenca en su sección de salida, por unidad de superficie y tiempo. Normalmente se da en t/ha·año o bien en t/km<sup>2</sup>·año.

A partir de la década de los setenta, la extensión del modelo USLE a pequeñas cuencas hidrográficas dio lugar al modelo MUSLE (Modified Universal Soil Loss Equation/Modificación de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo), a fin de predecir los sedimentos aportados por las mismas para un aguacero concreto (MINTEGUI A., J. *et al* 1993). Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$Y = 11,8 \cdot (Q \cdot q_p)^{0,56} \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$$

Donde: Y: sedimentos emitidos por una tormenta aislada en toneladas

Q: volumen de escorrentía en  $m^3$

$Q_p$ : caudal instantáneo máximo en  $m^3/s$

K, L, S, C, P: términos definidos en la USLE o RUSLE

Se puede observar en la ecuación que el término R (índice de erosionabilidad del suelo) se ha sustituido ( $11,8 \cdot (Q \cdot q_p)^{0,56}$ ). La RUSLE, mediante el factor R establece la disgregación del suelo por acción del impacto de las gotas de lluvia sobre el mismo, ya que los restantes parámetros lo que tratan de definir es simplemente las características físicas de la cuenca. Mientras que el modelo MUSLE establece con sus dos primeros términos el efecto del flujo de escorrentía en el proceso erosivo, tanto en volumen total escurrido, caudal ( $m^3$ ), como en el pico máximo, caudal punta ( $m^3/s$ ), los demás parámetros son los mismos que los utilizados por la RUSLE.

Los valores obtenidos se muestran en la **Tabla 3-27**, para los diferentes periodos de retorno (10, 25, 50 y 100 años) aplicado en cada unidad hidrológica y en la cuenca completa. El valor medio de cada factor de la USLE se ha obtenido a partir del software ArcGIS 10.0 a partir de los cálculos de la USLE del apartado anterior

En la **Figura 3-12** se puede observar el gráfico obtenido, donde se ve claramente la gran diferencia existente entre la unidad hidrológica 1 y las otras dos. Esto es lógico, ya que como se han utilizado los parámetros de la RUSLE, los valores obtenidos en la MUSLE tienen que ser proporcionales.

Por ejemplo, para el periodo de retorno de 10 años, se obtiene un caudal sólido específico de  $2.907 \text{ tn/Km}^2/\text{año}$  para la subcuenca 1, mientras que para la subcuenca 2 es de  $1.002 \text{ tn/Km}^2/\text{año}$  y para la 3 de  $671 \text{ tn/Km}^2/\text{año}$ . Para la cuenca completa el valor medio asciende a  $1.378 \text{ tn/Km}^2/\text{año}$ . Como la unidad hidrológica 2 es la que mayor superficie tiene, es la que mayor influencia tiene en el valor final de caudal sólido específico.

| U.H.   | Periodo de retorno | Área (Km <sub>2</sub> ) | Escorrentía (m <sup>3</sup> ) | Caudal punta (m <sup>3</sup> /s) | K    | LS    | C    | P    | Sedimentos (tn/Km <sup>2</sup> ·año) |
|--------|--------------------|-------------------------|-------------------------------|----------------------------------|------|-------|------|------|--------------------------------------|
| 1      | 10 años            | 23,5                    | 456.300                       | 20,3                             | 0,29 | 13,72 | 0,22 | 0,83 | 2.907                                |
|        | 25 años            |                         | 851.400                       | 41                               |      |       |      |      | 6.111                                |
|        | 50 años            |                         | 1.232.200                     | 62                               |      |       |      |      | 9.475                                |
|        | 100 años           |                         | 1.632.900                     | 84,6                             |      |       |      |      | 13.202                               |
| 2      | 10 años            | 48,3                    | 709.700                       | 27,8                             | 0,35 | 8,39  | 0,14 | 0,82 | 1.002                                |
|        | 25 años            |                         | 1.489.200                     | 66,6                             |      |       |      |      | 2.476                                |
|        | 50 años            |                         | 2.262.500                     | 106,2                            |      |       |      |      | 4.064                                |
|        | 100 años           |                         | 3.085.100                     | 150,3                            |      |       |      |      | 5.872                                |
| 3      | 10 años            | 22,8                    | 318.800                       | 12,5                             | 0,30 | 10,60 | 0,10 | 0,82 | 671                                  |
|        | 25 años            |                         | 681.300                       | 29,5                             |      |       |      |      | 1.659                                |
|        | 50 años            |                         | 1.044.500                     | 47,3                             |      |       |      |      | 2.746                                |
|        | 100 años           |                         | 1.432.300                     | 68                               |      |       |      |      | 4.016                                |
| CUENCA | 10 años            | 94,6                    | 1.485.600                     | 57                               | 0,32 | 10,20 | 0,15 | 0,82 | 1.378                                |
|        | 25 años            |                         | 3.023.800                     | 132,2                            |      |       |      |      | 3.286                                |
|        | 50 años            |                         | 3.496.000                     | 211,4                            |      |       |      |      | 4.636                                |
|        | 100 años           |                         | 6.153.100                     | 298,5                            |      |       |      |      | 7.718                                |

Tabla 3-27. Cálculo de degradación específica mediante el modelo de la MUSLE. Fuente: elaboración propia.

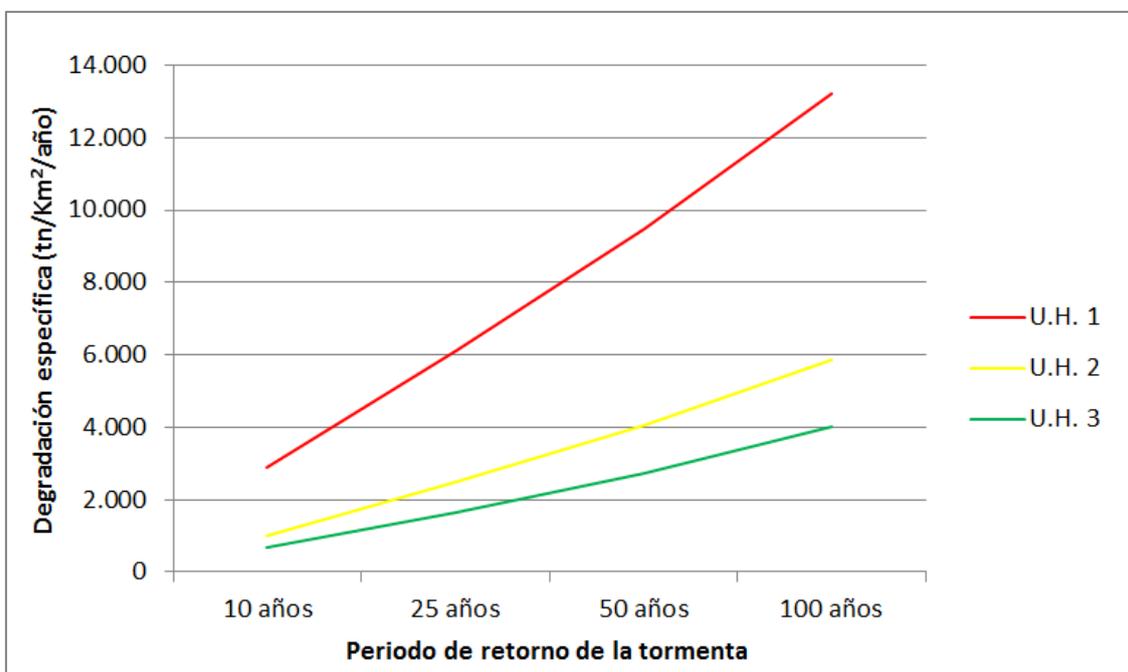


Figura 3-12. Gráfico de la degradación específica (tn/km<sup>2</sup>·año) de cada unidad hidrológica y periodo de retorno asociado, mediante la metodología de la MUSLE. Fuente: elaboración propia.

## 4. ORDENACIÓN DE LA CUENCA

### 4.1. Concepto

A consecuencia de técnicas intensivas de actuación sobre la naturaleza, ésta está sufriendo un deterioro alarmante que impone la ordenación de los recursos naturales: agua, suelo y vegetación. Si la relación hombre-agua-suelo alcanza hoy gran relieve en cualquier país, en España, y especialmente en la vertiente mediterránea, es trascendente; ya que de los 50 millones de hectáreas de nuestra geografía, sólo un 14% tiene cubierta con bosque, supone sólo unos 7 millones de ha, y eso en un medio físico adverso, en cuanto a **relieve** (dos tercios del territorio tienen altitud superior a los 500 metros, y una quinta parte superior a los 1.000 metros), **precipitaciones** (una tercera parte tiene precipitaciones de menos de 500 mm, la mitad entre 500 y 1.000 mm y solamente una sexta parte de más de mil, con una irregularidad en la vertiente mediterránea que supera el 30%), **clima** (cuatro quintas partes corresponde a la España seca, de éstas, cuatro quintas partes son de *clima árido o semiárido*).

Puede concluirse que esas adversidades de relieve y precipitaciones irregulares en el espacio y el tiempo, sobre un escenario deforestado, como la parte alta de la cuenca del presente trabajo, imprimen al geodinamismo torrencial (erosión, transporte y sedimentación) caracteres de gravedad extrema.

Las consecuencias catastróficas de esa acción torrencial podrían resumirse en: pérdidas de suelo, entarquinamiento de embalses, inundaciones con su secuela de pérdida de vidas humanas, destrucción de obras de infraestructura, regadíos, cosechas, pérdida de calidad de aguas.

También debe señalarse el error frecuente de que los proyectos de obra de ingeniería de protección contra aluviones, como presas, encauzamientos omiten la consideración de las causas principales del problema, tales como la deforestación y el cultivo en pendiente (Mintegui, 1993). En este caso la deforestación, sí que se va a tener en cuenta, y se propondrán más adelante las medidas pertinentes. Por otra parte, el cultivo en pendiente no ocasiona problema, ya que sí que existen medidas de conservación, los abancalamientos.

Por lo tanto, hay que considerar los recursos **agua, suelo y vegetación** como un sistema complejo e interdisciplinario, sintetizado matemáticamente en el ciclo hidrológico y definido territorialmente por la Cuenca Vertiente.

Por tanto, la **ordenación agrohidrológica** de la cuenca constituye una medida no estructural. Consiste en la asignación racional de los usos y aprovechamientos a los usos de la misma, conforme a las características del territorio y a los intereses generales de la población, previo estudio de su estado físico y su previsible comportamiento ante los eventos torrenciales.

#### 4.2. Definición de objetivos

Los principales objetivos a alcanzar mediante la ordenación de la cuenca son los siguientes:

- Conservación y restauración del suelo.
- Regulación de las avenidas mediante la mejora de cubiertas vegetales, ya que es prioritario la defensa de las poblaciones cercanas.
- Regulación del balance hídrico.
- Retención de sedimentos.

#### 4.3. Metodología

Se ha utilizado el modelo de Ordenación Agrohidrológica con criterios de Mintegui (1990). Se basa fundamentalmente en los índices de protección del suelo por la vegetación, en el modelo U.S.L.E (también válido para R.U.S.L.E.) y, considerando la vegetación como el elemento fundamental de gestión en la ordenación de una cuenca hidrográfica por ser el más manejable y asimismo, teniendo en cuenta que las prácticas de conservación de suelos agrícolas se pueden realizar, orientadas casi siempre a mantener el uso actual y no tener que modificarlo.

En la **Tabla 4-1** se puede observar la forma de utilizar el modelo U.S.L.E., donde  $A_t$  representa las pérdidas de suelo tolerables, que se establecen en 10 t/ha·año, según FAO, PNUMA y UNESCO, y  $A$  son las pérdidas de suelo genéricas. Por lo tanto, se

conservará el uso actual en aquellas áreas en las que las pérdidas de suelo estén por debajo del umbral admisible, y se tratará de llevar hasta niveles admisibles aquellos terrenos que soportan pérdidas de suelo superiores, ya sea realizando prácticas de conservación en los suelos agrícolas o cambiando su uso.

| Uso Actual          | Nivel de erosión               | Uso Futuro  |
|---------------------|--------------------------------|---|
| Terrenos forestales | $A < A_t$                      | Uso actual del suelo compatible.  |
|                     | $A > A_t$                      | Uso actual incompatible (es preciso sustituir o mejorar).   |
| Terrenos agrícolas  | $A < A_t$                      | Uso actual compatible.  |
|                     | $A > A_t$<br>$A \cdot P < A_t$ | Uso compatible si se realizan prácticas de conservación. Siendo P Prácticas de conservación de suelos (puede tratarse de cultivos a nivel o en fajas o incluso terrazas). |
|                     | $A > A_t$<br>$A \cdot P > A_t$ | Uso incompatible. Es preciso reclasificar.  |
| Improductivo        | No se considera                |   |

Tabla 4-1. Ordenación de usos del suelo según el modelo USLE. A partir del 30% de pendiente no disminuyen las pérdidas de suelo aunque se realicen prácticas de conservación de suelo, por lo que la única solución restauradora será el cambio de uso. Fuente: Mintegui *et al.*, 1993.

A continuación, en la **Tabla 4-2**, se muestran los criterios establecidos según Mintegui (1990) para la ordenación Agrohidrológica de una cuenca vertiente, donde se combina con el modelo de la USLE, y por tanto el utilizado para este trabajo.

La tabla destaca la utilización agropecuaria del suelo como muy influyente en los procesos hidrológicos que tienen lugar en la cuenca. Por ello se plantea la ordenación intentando adaptar los usos actuales a los futuros teniendo en consideración la vocación del territorio, ya que con frecuencia existen fuertes condicionantes sociales de cara a un cambio de uso.

| Pendiente (%) | Uso actual del suelo                           |   | Tipo de suelo                              | Vocación del territorio                 | Aplicación del modelo RUSLE               | Actuaciones en el territorio (selección de alternativas)  |
|---------------|--|---|--|---|---|---|
|               | Estrato de la vegetación                       | Observaciones   |  |   |   |   |
| i>30          | Arbolado<br>Matorral<br>Pastizales<br>Cultivos | Estado en que se encuentra la vegetación:<br>- Denso<br>- Aclarado<br>- No degradado<br>- Afectado o no por razones sociales  | Depende de su vulnerabilidad a la erosión  | FORESTAL                                | Según que:<br>A<At<br><br>O bien:<br>A>At | Dado que i>30%, se propone con carácter general mantener, restaurar o crear el monte arbolado.<br>No obstante, se analizan las situaciones singulares y se proponen soluciones concretas en general transitorias  |
| 12<i<30       | Arbolado<br>Matorral<br>Pastizales<br>Cultivos | Estado en que se encuentra:<br>- Denso<br>- Aclarado<br>- Degradado<br>- No degradado<br>Con o sin prácticas de conservación de suelo<br>- Afectado o no por razones sociales | Depende de su vulnerabilidad a la erosión  | Forestal<br><br>Ocasionalmente agrícola | Según que:<br>A<At<br><br>O bien:<br>A>At | - De existir arbolado se propone su continuidad y mejora<br>- Los matorrales y pastizales no degradados pueden permanecer, pero a los degradados se propone restaurarlos o transformarlos en monte alto arbolado.<br>- De existir cultivos, siempre es necesario prácticas de conservación.<br>- Para situaciones singulares se ofrecen soluciones concretas en general transitorias. |
| i<12          | Arbolado<br>Matorral<br>Pastizales<br>Cultivos | Estado en la que se encuentra la vegetación:<br>- Denso<br>- Aclarado<br>- Degradado<br>- No degradado  | Dependen de su vulnerabilidad a la erosión | Agrícola<br><br>Ocasionalmente forestal | Según que:<br>A<At<br><br>O bien:<br>A>At | No existen limitaciones para el uso del suelo en función de la pendiente.<br><br>Para situaciones singulares se ofrecen soluciones concretas.   |

Tabla 4-2. Criterios para la ordenación Agrohídrológica de una cuenca alimentadora. *Fuente:* Mintegui *et al.*, 1990.

#### 4.4. Distribución y usos del suelo

Los usos del suelo en esta cuenca están condicionados por su proximidad a los pequeños núcleos poblacionales cercanos. La actividad tradicional en esta cuenca son los cultivos arbóreos leñosos de secano, fundamentalmente almendro, algarrobo, olivo y viñedo. Es necesario destacar que las áreas forestales de la Cabecera de cuenca del río Buñol carecen prácticamente de prácticas de conservación, la gran mayoría no dispone de sistemas de bancales o terrazas abandonadas, por ello se le ha dado el valor 1 al factor de prácticas de conservación de suelos para realizar el cálculo de la RUSLE.

Una vez conocidos todos los recursos y potencialidades de los que dispone la cuenca, se pasa a analizar los usos recomendados para cada unidad hidrológica, así como a proponer algunas de las actuaciones de mejora aconsejables para alcanzar el estado óptimo para estos usos. Para determinar su uso óptimo, se utiliza la metodología de Mintegui (1990) descrita anteriormente.

Para obtener los polígonos de los futuros usos del suelo, se han superpuesto los mapas temáticos de pendientes, pérdidas de suelo según el modelo RUSLE y usos del suelo. La superposición de los mapas así como el cálculo de superficies se ha realizado mediante el software ArcGIS 10.0.

A continuación se ha aplicado los criterios de la **Tabla 4-2** para la Ordenación Agrohídrológica según Mintegui (1990) a los polígonos con las mismas características. La ordenación obtenida y las superficies correspondientes se muestran en la **Tabla 4-3**.

| Pte. (%) | Area (Km <sup>2</sup> ) | Uso                   | Erosión   | Ordenación  |
|----------|-------------------------|-----------------------|---|---|
| > 30     | 14,5                    | Arbolado denso        | <10 tn  | Mantener el monte arbolado  |
|          | 4,6                     | Arbolado denso        | >10 tn  | Continuidad y mejora del monte arbolado   |
|          | 0,02                    | Matorral              | <10 tn  | Crear monte arbolado  |
|          | 13,4                    | Matorral              | >10 tn  | Crear monte arbolado  |
|          | 0,1                     | Pastizal aclarado     | >10tn   | Crear monte arbolado  |
|          | 0,5                     | Pastizal no degradado | <10tn   | Mantener el monte arbolado  |
|          | 1,6                     | Pastizal no degradado | >10tn   | Mantener el monte arbolado  |
|          | 0,002                   | Cultivo               | <10 tn  | Mantener uso agrícola con prácticas de conservac.<br><i>Aunque sea vocación forestal, se mantiene porque la erosión es pequeña, principalmente por la existencia de prácticas de conservación</i> |
|          | 2,1                     | Cultivo               | >10 tn  | Mantener uso agrícola con prácticas de conservac.   |
| 12 -30   | 12,5                    | Arbolado denso        | <10 tn  | Mantener el monte arbolado  |
|          | 0,2                     | Arbolado denso        | >10 tn  | Continuidad y mejora del monte arbolado   |
|          | 4,0                     | Matorral              | <10 tn  | Mantener el matorral  |
|          | 9,8                     | Matorral              | >10 tn  | Restaurar matorral o transformar en monte arbolado alto   |
|          | 0,04                    | Pastizal aclarado     | <10tn   | Restaurar pastizal o transformar en montes arbolado alto  |
|          | 0,1                     | Pastizal aclarado     | >10tn   | Restaurar pastizal o transformar en montes arbolado alto  |
|          | 1,6                     | Pastizal no degradado | <10tn   | Mantener pastizal   |
|          | 0,8                     | Pastizal no degradado | >10tn   | Mantener pastizal   |
|          | 0,6                     | Cultivo               | <10 tn  | Mantener uso agrícola con prácticas de conservac.<br>Siempre es necesario mantener prácticas de conservación  |
| 3,2      | Cultivo                 | >10 tn                | Mantener uso agrícola con prácticas de conservac.<br><i>Siempre es necesario mantener prácticas de conservación</i> |   |
| < 12     | 8,6                     | Arbolado denso        | <10 tn  | Mantener el monte arbolado  |
|          | 0,002                   | Arbolado denso        | >10 tn  | Mantener el monte arbolado  |
|          | 7,8                     | Matorral              | <10 tn  | Mantener el matorral  |
|          | 0,1                     | Matorral              | >10 tn  | Restaurar matorral o transformar en monte arbolado alto   |
|          | 0,1                     | Pastizal aclarado     | <10tn   | Mantener pastizal   |
|          | 0,001                   | Pastizal aclarado     | >10tn   | Mantener pastizal   |
|          | 2,1                     | Pastizal no degradado | <10tn   | Mantener pastizal   |
|          | 0,01                    | Pastizal no degradado | >10tn   | Mantener pastizal   |
|          | 4,8                     | Cultivo               | <10 tn  | Mantener uso agrícola   |
|          | 0,2                     | Cultivo               | >10 tn  | Mantener uso agrícola con prácticas de conservac.   |
| 1,5      | Improductivo            | 0                     |   |   |

Tabla 4-3. Ordenación Agrohidrológica de la Cabecera de cuenca del río de Buñol según criterios de Mintegui (1990). Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar en la tabla anterior, el mismo tipo de ordenación se repite varias veces, ya que mediante la combinación de diferentes pendientes y grado de erosión, pueden dar lugar a un mismo tipo de ordenación. Por lo tanto, se han sumado las superficies con el mismo tipo de ordenación y se ha resumido en la **Tabla 4-4**.

| Cód.  | Ordenación de los usos del suelo                        | Superficie (Km2) | Superficie (%) |
|-------|---|------------------|----------------|
| 1.    | Mantener el monte arbolado                              | 37,72            | 40%            |
| 2.    | Continuidad y mejora del monte arbolado                 | 4,74             | 5%             |
| 3.    | Crear monte arbolado                                    | 13,46            | 14%            |
| 4.    | Restaurar matorral o transformar en monte arbolado alto | 9,84             | 10%            |
| 5.    | Mantener el matorral                                    | 11,78            | 12%            |
| 6.    | Restaurar pastizal o transformar en monte arbolado alto | 0,13             | 0,1%           |
| 7.    | Mantener el pastizal                                    | 2,43             | 3%             |
| 8.    | Mantener uso agrícola                                   | 6,93             | 7%             |
| 9.    | Mantener uso agrícola con prácticas de conservación     | 6,06             | 6%             |
| 10.   | Improductivo  | 1,52             | 2%             |
| TOTAL |   | 94,61            | 100%           |

Tabla 4-4 Resumen de la ordenación agrohidrológica de la parte alta de la cuenca del río Buñol según los criterios de Mintegui (1990). Fuente: elaboración propia.

Se puede observar que en el 40% de la cuenca se va a mantener el monte arbolado. Dicha superficie corresponde en su mayoría a las subcuencas 2 y 3, ya que en ellas existe mayor cobertura de bosque. En cambio, en la subcuenca 1, predominará la creación de monte arbolado y restauración del matorral, ya que es la que está más degradada.

Para tener mayor claridad sobre los usos específicos a los que está asociada cada tipo de ordenación, en la **Tabla 4.5** se describe y se asigna un código a cada tipo. Queda representado gráficamente en el **Mapa 12-Ordenación agrohidrológica**.

Además, esta tabla resumen facilita y ofrece mayor información para llevar a cabo la última parte del presente estudio, el **Apartado 5-Medidas de Restauración Hidrológico Forestal**. En él se especifican y describen las medidas concretas (especies de repoblación, prácticas de conservación, hidrotecnias, etc.) de los distintos tipos de ordenación del territorio de la Cabecera de cuenca del río Buñol.

| <b>Cód.</b> | <b>Ordenación de los usos del suelo</b>   | <b>Área (Km<sup>2</sup>)</b> |
|-------------|---|------------------------------|
| <b>1.</b>   | <b>Mantener el monte arbolado</b>   | <b>37,72</b>                 |
| 1.1.        | Masa forestal espesa y muy espesa<br><i>Masas forestales de gran espesura de coníferas y frondosas, y con erosión inferior a las tolerables. Por ello es recomendable realizar <u>claras</u> en la masa para disminuir la continuidad horizontal y por tanto el riesgo de incendio, beneficiando siempre a los árboles mejor desarrollados y en las zonas donde haya presencia de encinas realizar <u>resalveos</u> para beneficiar su desarrollo. Acompañado también de <u>podas</u> para disminuir la continuidad vertical.</i> | 30,06                        |
| 1.2.        | Masa forestal media<br><i>Masas forestales de arbustos, coníferas y frondosas con erosión inferior a la tolerable. Disminuir la continuidad horizontal realizando <u>desbroces</u>, así como la realización de <u>claras</u>, <u>resalveos</u> y <u>podas</u>.</i>  | 5,51                         |
| 1.3.        | Pradera media<br><i>Pastizal con coníferas y frondosas con pendiente superior al 30% y en buen estado. Por ello se recomienda mantener el arbolado existente</i>  | 2,14                         |
| <b>2.</b>   | <b>Continuidad y mejora del monte arbolado</b>  | <b>4,74</b>                  |
|             | Masa forestal espesa y media<br><i>Masas forestales de coníferas y matorral, con erosión superior a la tolerable. Por ello es recomendable no realizar <u>claras</u> para no aumentar la erosión y enriquecer la biodiversidad mediante <u>replantaciones puntuales</u> de encina.</i>  |                              |
| <b>3.</b>   | <b>Crear monte arbolado</b>   | <b>13,46</b>                 |
| 3.1.        | Matorral sin arbolado<br><i>Zonas forestales con pendiente superior al 30% y erosión superior a la tolerable, con matorral degradado y sin estrato arbóreo. Es necesario realizar <u>replantaciones</u> y por tanto cambio de uso hacia monte arbolado.</i>   | 13,39                        |
| 3.2.        | Pradera pobre<br><i>Pastizal sin arbolado con pendiente superior al 30% y erosión superior e inferior a la tolerable. Cambio de uso hacia monte arbolado.</i>   | 0,07                         |
| <b>4.</b>   | <b>Restaurar matorral o transformar en monte arbolado alto</b>  | <b>9,84</b>                  |
|             | Matorral sin arbolado<br><i>Zonas forestales con pendiente inferior al 30% y erosión superior a la tolerable, con matorral degradado y sin estrato arbóreo. Es necesario realizar <u>replantaciones</u> y por tanto cambio de uso hacia monte arbolado.</i>   |                              |
| <b>5.</b>   | <b>Mantener el matorral</b>   | <b>11,78</b>                 |
|             | Matorral sin arbolado<br><i>Zonas forestales con pendiente inferior al 30% y erosión inferior a la tolerable, con matorral en buen estado y sin estrato arbóreo. Debido al buen estado del estrato arbustivo y a la baja erosión se mantendrá dicho uso.</i>  |                              |
| <b>6.</b>   | <b>Restaurar pastizal o transformar en monte arbolado alto</b>  | <b>0,13</b>                  |
|             | Pradera pobre<br><i>Pastizal sin arbolado con pendiente entre 12 y 30% y erosión superior e inferior a la tolerable. Se recomienda restaurar el pastizal o transformarlo hacia monte arbolado alto.</i>   |                              |
| <b>7.</b>   | <b>Mantener el pastizal</b>   | <b>2,43</b>                  |
|             | Pradera media<br><i>Pastizal con coníferas y frondosas con pendiente entre 0 y 30% y en buen estado. Por ello se recomienda mantener el pastizal y el arbolado existente.</i><br><br>Pradera pobre<br><i>Pastizal sin arbolado con pendiente menor al 12% y erosión inferior a la tolerable. Se recomienda mantener el pastizal</i>   |                              |

| <b>Cód.</b>  | <b>Ordenación de los usos del suelo</b>  | <b>Área<br/>(Km<sup>2</sup>)</b> |
|--------------|--|----------------------------------|
| <b>8.</b>    | <b>Mantener uso agrícola</b>   | <b>6,93</b>                      |
|              | Productos hortícolas, frutales y cultivos de secano<br><i>Uso agrícola con pendiente inferior al 12% y pérdida inferior a la tolerable. Se mantendrá dicho uso, y se mantendrán las prácticas de conservación.</i> |                                  |
| <b>9.</b>    | <b>Mantener uso agrícola con prácticas de conservación</b>   | <b>6,06</b>                      |
|              | Productos hortícolas, frutales y cultivos de secano<br><i>Uso agrícola con pendiente mayor del 12%. Mantener y aplicar prácticas de conservación (bancales, mejora de infiltración mediante laboreo, etc.).</i>    |                                  |
| <b>10.</b>   | <b>Improductivo</b>  | <b>1,52</b>                      |
| <b>TOTAL</b> |  | <b>94,61</b>                     |

Tabla 4-5. Descripción de los usos asociados a cada ordenación. Fuente: elaboración propia.



## 5. MEDIDAS DE RESTAURACIÓN HIDROLÓGICO FORESTAL

Una de las definiciones clásicas de una Restauración Hidrológico Forestal (RHF) es la siguiente:

“Una RHF comprende los planes, trabajos y acciones necesarios para la conservación, defensa y recuperación de la estabilidad y fertilidad de los suelos, la regulación de escorrentías, la consolidación de cauces fluviales y laderas, la contención de sedimentos y, en general, la defensa del suelo contra la erosión (Serrada *et al.*, 2005)”.

En este apartado se detallan las actuaciones destinadas para la corrección de los fenómenos erosivos existentes en la Cabecera de cuenca del río Buñol. Estas medidas van encaminadas a evitar que las escorrentías directas se produzcan, actuando sobre el complejo suelo-vegetación, que en última instancia es el responsable del equilibrio precipitación escorrentía en la cuenca. La vegetación ejerce un control efectivo de la erosión superficial evitando el impacto directo de las gotas de agua en el suelo, de esta manera se consigue evitar que los sedimentos producidos a causa de este fenómenos lleguen al cauce, aumentando el peso específico del agua y por tanto la fuerza tractiva de la corriente. También la vegetación influye en las escorrentías directas; por una parte la interceptación del agua de lluvia, y por otra, disminuyendo la velocidad de la lámina de agua que escurre por la ladera.

Las obras de ingeniería (diques y albarradas principalmente) son una acción complementaria encaminada a disminuir la escorrentía superficial. Su función es controlar la erosión en el lecho y márgenes de los cauces evitando la incorporación de caudales sólidos a la corriente de agua.

A partir de los resultados obtenidos en los distintos apartados del presente estudio, se van a describir en primer lugar las hidrotecnias, que son las obras de ingeniería. A continuación se proponen las biotecnias, las cuales están asociadas con actuaciones directas sobre la vegetación. Finalmente se expondrán las medidas de conservación de suelos.

## 5.1. Hidrotecnias de corrección de cauces

El objetivo de la corrección de los torrentes y ramblas es su regulación mediante el control total o parcial de la erosión en los lechos y márgenes de los mismos, así como del transporte de materiales incorporados al flujo. Todos estos efectos son motivados por la dinámica del agua, que a su vez está condicionada al régimen pluviométrico y a las características físicas de sus cuencas alimentadoras, así como también a las condiciones geométricas y de rugosidad de los propios contornos por donde circula el agua.

La cuestión básica consiste en adoptar medidas para evitar que, por una parte, el fenómeno del caudal sólido llegue a formarse y por otra, si se ha producido, cómo reducirlo al mínimo por depósito y sedimentación de los sólidos incorporados.

### 5.1.1 Descripción de la obra

Para estos objetivos, la ejecución en el cauce de obras transversales al eje del torrente en forma de diques de gravedad, ofrece la solución más simple y efectiva. Son una hidrotecnia cuya principal función es retener los sedimentos transportados por el torrente-rambla durante sus crecidas. De esta manera se cumple un doble efecto de disminución del poder erosivo de la corriente, tanto por la reducción del peso específico del fluido aguas abajo del dique, como por la creación de un aterramiento aguas arriba, con lo que desciende la pendiente del fondo y se ensancha el cauce, bajando así la velocidad del flujo.

Debido a detalles constructivos, el perfil más conveniente es el trapecial. En la **Figura 5-1** se muestra el perfil de este tipo de dique. Las principales fuerzas desestabilizadoras que se consideran en este tipo de proyectos son el empuje hidrostático (a1), el empuje pasivo del terreno sobre el paramento aguas arriba y el empuje pasivo del terreno sobre la cimentación (a2), la subpresión (a3). Las fuerzas estabilizadoras son el peso propio de la estructura (b1), la componente vertical del agua sobre el paramento aguas arriba de la estructura, siempre que sea inclinada y/o saliente de la fundación (b2) y el peso de la lámina vertiente sobre el vertedero (b3).

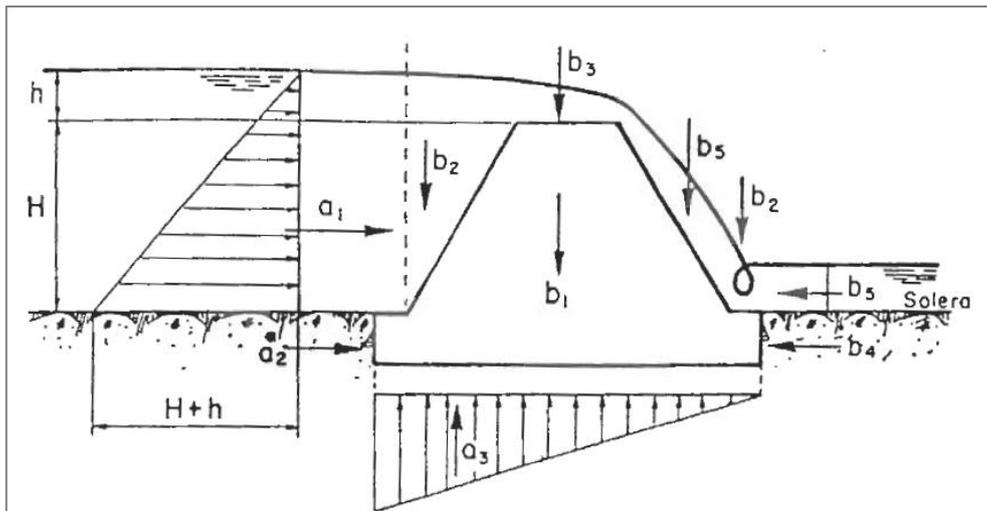


Figura 5-1. Perfil trapezoidal de un dique de gravedad. Las principales fuerzas desestabilizadoras que se consideran en este tipo de proyectos son el empuje hidrostático ( $a_1$ ), el empuje pasivo del terreno sobre el paramento aguas arriba y el empuje pasivo del terreno sobre la cimentación ( $a_2$ ), la subpresión ( $a_3$ ). Las fuerzas estabilizadoras son el peso propio de la estructura ( $b_1$ ), la componente vertical del agua sobre el paramento aguas arriba de la estructura, siempre que sea inclinada y/o saliente de la fundación ( $b_2$ ) y el peso de la lámina vertical sobre el vertedero ( $b_3$ ). Fuente: Mintegui *et al.*, 1993.

Las condiciones que deben cumplir este tipo de estructuras son:

- No deben producirse tensiones de tracción en ningún punto del dique o que éstas en todo caso sean ampliamente admitidas por la fábrica. Para ello se precisa que la resultante de todas las fuerzas que actúan por encima de cualquier sección horizontal quede dentro del núcleo central.
- A lo largo de cualquier junta horizontal o de la base, la obra debe ser estable a la posibilidad de deslizamiento. Para que esto llegue a cumplirse es necesario que la resultante de todas las fuerzas que actúan por encima de dicha sección o base, forme con la vertical un ángulo cuya tangente sea menor que el coeficiente de rozamiento de fábrica con fábrica, o fábrica con fundación.
- Las tensiones de compresión que se originen deberán ser inferiores a las admisibles para el material que constituye la fábrica.

### 5.1.2 Justificación

A lo largo del presente estudio se ha argumentado que la parte alta de la Cabecera de cuenca es la que se encuentra más degradada. Esto se ha corroborado mediante el cálculo de la erosión hídrica con el método de la RUSLE (129 tn/ha·año); el cálculo de caudales sólidos específicos mediante el método de la MUSLE (por ejemplo 2.900 tn/km<sup>2</sup>·año para un periodo de retorno de 10 años); además del cálculo de caudales máximos mediante el software HEC-HMS (muestra mayor relación caudal/superficie). Los resultados obtenidos muestran que es la subcuenca que presenta peor comportamiento hidrológico, a causa de su poca cobertura de vegetación.

En la subcuenca 2 y en la subcuenca 3 los niveles erosivos están muy por debajo de la subcuenca 1, concretamente se sitúan en 52 y 46 tn/ha·año respectivamente. En los antecedentes se comentó que actualmente existe un dique en la subcuenca 3, el cual está totalmente justificado, ya que no existía ninguno en toda la cuenca y ocasionaba importantes daños.

Por todo lo dicho, se considera necesario construir otro dique en la parte alta del área de estudio, concretamente a la salida de la unidad hidrológica 1, que corresponde a la entrada del pueblo de Siete Aguas. Los objetivos a cumplir por esta medida son varios:

- Retener los sedimentos transportados aguas arriba, que son elevados por ser la que peor situación presenta.
- Alargar la vida útil del dique de la subcuenca 3 debido a la disminución del poder erosivo de la corriente, ya que se reducirá el peso específico del agua y se creará un aterramiento aguas arriba, que descenderá la pendiente del fondo, y por tanto bajará la velocidad del flujo.
- Evitar que las crecidas violentas causen riesgos tanto de vidas humanas como económicos (afección a la infraestructura agraria, cultivos, construcciones, etc.)

En la **Figura 5-2** se muestra una fotografía del emplazamiento del dique en el municipio de Siete Aguas, concretamente aguas arriba de éste. Se ha seleccionado este lugar debido al encajonamiento que presenta el cauce para facilitar la construcción del dique. También se ha considerado la existencia de una pared sólida de caliza a ambos

lados del barranco. Este factor es muy importante ya que de él depende en gran medida la estabilidad que vaya a tener el dique.



Figura 5-2. Emplazamiento del dique en la unidad hidrológica 1 de la Cabecera de cuenca del río Buñol, en el término municipal de Siete Aguas. Fuente: elaboración propia.

En el **Mapa 13-Medidas de RHF, Hoja 1**, se localiza tanto el dique existente como el que se propone. Como se comentó, el objetivo del presente estudio es proponer su ubicación, pero no su diseño. Por lo tanto, no se va a dimensionar.

## 5.2 Biotecnias de restauración de cuencas

En el Plan Nacional de Repoblaciones de Ceballos, L. *et al.* (1939), citado en el libro de Mintegui (1993), se indica un modelo de restauración de la vegetación en el piso de la encina (*Quercus ilex rotundifolia*), piso correspondiente a la zona de estudio. En la **Figura 5-3** se indican las distintas fases de progresión, desde las asociaciones herbáceas como la pseudoestepa de gramíneas hasta el óptimo de la vegetación constituido por el encinar denso, pasando por sucesivas etapas intermedias.

En la restauración de las cubiertas permanentes se consideran unas actuaciones básicas, como son las repoblaciones y la regeneración de la vegetación existente, que permiten iniciar el establecimiento de dichas coberturas, capaces de retener el suelo y controlar las escorrentías en la cuenca de recepción. Estas actuaciones son imprescindibles en la restauración de cuencas degradadas, para regular sus recursos y establecer los máximos niveles posibles de protección de los suelos.

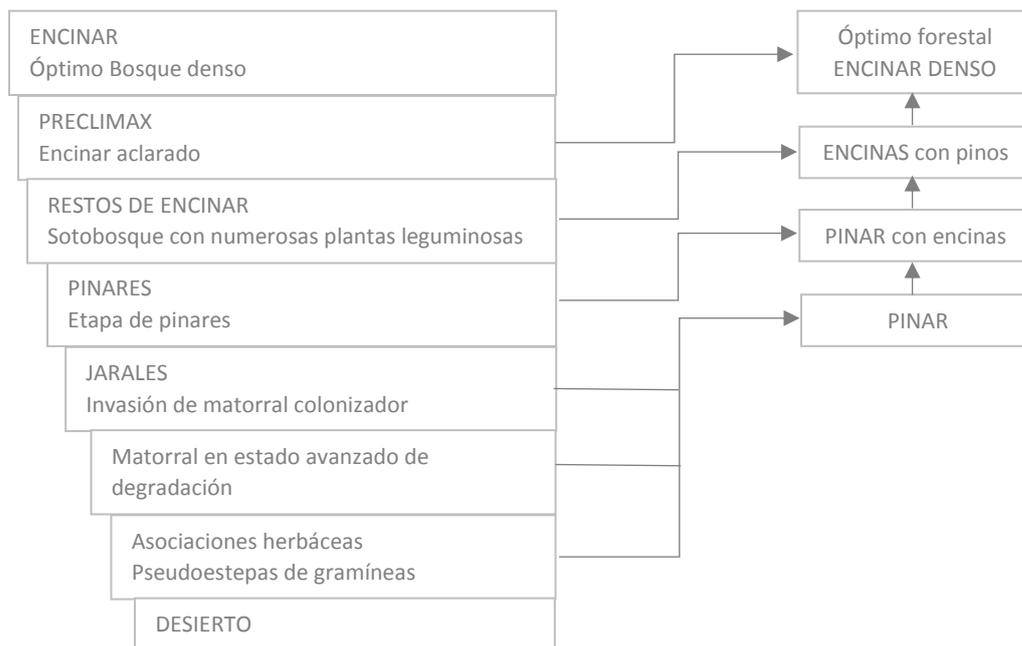


Figura 5-3. Modelo para la restauración de la vegetación en el piso de la encina (*Quercus ilex rotundifolia*). Fuente: Ceballos, L. (1939) citado en Mintegui (1993).

Los modelos de actuación se aplican a la cuenca hidrográfica de estudio considerada como unidad básica de estudio y gestión, en la que la componente ecológica constituye un factor fundamental. Por tanto, en primer lugar se van a caracterizar los

factores ecológicos y biológicos, con el objetivo de obtener una lista de especies compatible con el medio. A continuación se describirán las diferentes biotecnias propuestas, las cuales son repoblaciones y tratamientos selvícolas.

### **5.2.1 Definición de unidades de actuación**

Las biotecnias se van a llevar a cabo en la superficie ocupada por los Montes de Utilidad Pública dentro del área de estudio. Los montes son: V066 (Buñol), V067 (Chiva), V068 (Siete Aguas) y V069 (Yátova). El 61% del área de estudio (58 km<sup>2</sup>) pertenece a monte público, repartido en un 47% en Siete Aguas y un 13% en Buñol, el resto de municipios no alcanzan el 1%, por lo que no se van a considerar (Ver **Tabla 2-5. Montes de Utilidad Pública de la Cabecera de cuenca del río Buñol**).

En una segunda fase se deberían realizar las biotecnias de restauración fuera de los montes públicos, mediante los mismos criterios seguidos para la planificación de las presentes actuaciones. Para ello, se debería promover la compra o consorcio a los propietarios de aquellos terrenos forestales clave para la protección contra los procesos de erosión por la deforestación actual existente.

### **5.2.2 Análisis de factores ecológicos**

Los factores ecológicos se caracterizan a partir de factores fitogeográficos, climáticos y edafológicos. La elección de la especie tiene que tener su rango ecológico dentro de los valores de dichos factores.

En la **Tabla 5-1** se han representado los factores fitogeográficos, diferenciando entre los dos montes existentes. Ambos tienen una altura máxima de poco más de 1.000 m.s.n.m. En Buñol la altitud media es de 655 y en Siete Aguas de 814 m.s.n.m. El rango de altitud es un factor muy importante para seleccionar la especie a repoblar, la procedencia de la planta, etc. Se puede observar que en Buñol la pendiente media es mayor (39%) respecto a la de Siete Aguas (26%). Este factor condicionará la maquinaria a emplear y por tanto el método de repoblación. Respecto a la exposición, la parte de Buñol tiene mayor superficie de solana (59%) que Siete Aguas (49%). Dichos valores

también influirán para diferenciar entre especies de sol y especies de umbría en la repoblación.

| Factores fitogeográficos      |                                | V066: Buñol | V068: Siete Aguas |
|-------------------------------|--------------------------------|-------------|-------------------|
| Superficie (Km <sup>2</sup> ) |                                | 13          | 44                |
| Altitud                       | Altitud máx. (m.s.n.m.)        | 1.117       | 1.082             |
|                               | Altitud mín. (m.s.n.m.)        | 310         | 590               |
|                               | Relieve (m)                    | 807         | 492               |
|                               | Altitud media (m.s.n.m.)       | 655         | 814               |
| Pendiente                     | Pendiente media (%)            | 39          | 26                |
|                               | Superficie con pte <30%        | 38%         | 63%               |
|                               | Superficie con pte [30 - 60 %] | 43%         | 34%               |
|                               | Superficie con pte >60%        | 16%         | 4%                |
| Exposición                    | Superficie de solana           | 58%         | 49%               |
|                               | Superficie de umbría           | 42%         | 51%               |

Tabla 5-1. Factores fitogeográficos de los Montes V066 y V068 de la Cabecera de cuenca del río Buñol. Fuente: elaboración propia.

En la **Tabla 5-2** se pueden observar los factores climáticos. Estos parámetros también son muy importantes para la selección de la especie, ya que hay que considerar los valores extremos de temperatura como la precipitación media y los periodos de heladas y de sequía. Los valores en la parte alta de la cuenca, Siete Aguas, muestran periodos más largos de heladas (6 meses) respecto a Buñol (3 meses). Por lo tanto va a ser un factor limitante tanto para la selección de especies como para la fecha de plantación. Los periodos de sequía coinciden, ambos desde junio a agosto, en los cuales las plantas estarán sometidas a estrés hídrico.

| Factores climáticos       |                         | V066: Buñol | V068: Siete Aguas |
|---------------------------|-------------------------|-------------|-------------------|
| Temperatura               | Temperatura máxima (°C) | 38          | 37                |
|                           | Temperatura mínima (°C) | -2          | -7                |
|                           | Temperatura media (°C)  | 16          | 13                |
| Precipitación media (mm)  |                         | 586         | 524               |
| Periodo frío o de heladas |                         | nov-feb     | nov-abr           |
| Periodo seco o árido      |                         | jun-ago     | jun-ago           |

Tabla 5-2. Factores climáticos de los Montes V066 y V068 de la Cabecera de cuenca del río Buñol. Fuente: elaboración propia.

En la **Tabla 5-3** se muestran los factores edafológicos. Respecto al tipo de suelo según la Soil Taxonomy de la FAO. En el monte de Buñol el grupo de orden Entisol, suborden Orthent predomina con un 75%. Son los suelos más jóvenes y poco evolucionados y están enmarcados en un régimen de humedad xérico (invierno húmedo y verano seco y caluroso). También están caracterizados por ser suelos calcáreos y con poca materia orgánica, así como algún horizonte argílico (arcilla). El resto del monte de Buñol, con un 25%, corresponde al orden Inceptisol, Suborden Xerept (régimen de humedad xérico). Este tipo de suelo presente mayor desarrollo que el Entisol, comienza a mostrar desarrollo en los horizontes. También son suelos calcáreos, pero en este caso presentan horizontes cálcicos o petrocálcicos con altas concentraciones de piedra caliza. Tienen poca materia orgánica y algún horizonte argílico (arcilla).

En el monte de Siete Aguas predomina el único tipo de suelo que no se ha comentado, con un 60%. También es Inceptisol como el anterior, pero en este caso se diferencia en que presenta colores más rojos (Rhodoxeralf).

Por tanto, en este caso el suelo va a ser otro factor limitante y muy importante para seleccionar la especie. Debido a la zona en la que estamos, caracterizada por tener bajos niveles de materia orgánica, altas concentraciones de caliza y elevada pedregosidad, la especie seleccionada tiene que tener su rango ecológico acorde a las condiciones edafológicas del medio.

| Factores edafológicos                                      | V066: Buñol | V068: Siete Aguas |
|--|-------------|-------------------|
| Entisol, Orthent, Xerorthent, Haploxeralf y Rhodoxeralf    | 75%         | 8%                |
| Inceptisol, Xerept, Calcixerept y Haploxeralf, Haploxeralf | 0%          | 32%               |
| Inceptisol, Xerept, Calcixerept y Haploxeralf, Rhodoxeralf | 25%         | 60%               |
| Permeabilidad alta   | 61%         | 54%               |
| Permeabilidad Baja y muy baja                              | 39%         | 46%               |

Tabla 5-3. Factores edafológicos de los Montes V066 y V068 de la Cabecera de cuenca del río Buñol. Fuente: elaboración propia.

### 5.2.3 Análisis de factores biológicos

Una vez analizados los factores ecológicos se analizan los factores biológicos. Estos se caracterizan a través de los factores fitosociológicos y la vegetación actual. En el presente estudio se han utilizado tres criterios, el de Allué, Rivas Martínez y Luis

Ceballos, los cuales se han descrito con detalle en el **Apartado 2.4.1-Vegetación potencial**. En base a estos criterios se obtienen las diferentes especies potenciales.

Según el criterio de Allué, a nivel de ecorregión, se obtiene el listado de especies de la **Tabla 5-4**, diferenciando entre las dos estaciones, la de Requena “Rebollar”, que tiene influencia en la parte alta y media del área de estudio y la estación de Chiva “Agro”, ocupando la extensión desde la zona media hasta la baja, prácticamente corresponde la primera al término municipal de Siete Aguas y la segunda al de Buñol.

| Área de la cuenca                    | Vegetación potencial   |
|--------------------------------------|--|
| Zona alta-media: término Siete Aguas | Quejigares, melojares o rebollares, encinares alsinares ( <i>Quercus ilex subs. Ilex</i> ), robledales pubescens y pedunculados y hayedos              |
| Zona media-baja: término de Buñol    | Lentiscares, coscojares, acebuchales, encinares ( <i>Quercus ilex subsp. Rotundifolia</i> ) y encinares alsinares ( <i>Quercus ilex subsp. Ilex</i> ). |

Tabla 5-4. Vegetación potencial en la Cabecera de cuenca del río Buñol según Allué. Fuente: elaboración propia.

Respecto al criterio de Rivas Martínez (1987), a nivel de cuenca, la vegetación potencial se muestra en la **Tabla 5-5**.

| Etapa de la sucesión | Especies forestales   |
|----------------------|---|
| Bosque               | <i>Quercus rotundifolia</i>   |
| Matorral denso       | <i>Quercus coccifera</i><br><i>Rhamnus alaternus</i><br><i>Rhamnus lycuoides</i><br><i>Pistacia lentiscus</i><br><i>Chamaerops humilis</i><br><i>Phillyrea angustifolia</i><br><i>Juniperus oxycedrus</i> |
| Matorral degradado   | <i>Cistus clusi</i><br><i>Rosmarinus officinalis</i><br><i>Erica multiflora</i><br><i>Thymus vulgaris</i><br><i>Globularia alypum</i>   |
| Pastizales           | <i>Brachypodium phoenicoides</i><br><i>Stipa bromoides</i><br><i>Asteriscus aquaticus</i>   |

Tabla 5-5. Vegetación potencial en la cabecera de cuenca del río Buñol según Rivas Martínez. Fuente: Rivas Martínez, 1987.

En la restauración de la cubierta vegetal, las tablas de juicio biológicas de Rivas Martínez (1987) orientan sobre la capacidad de adaptación al medio que tiene una especie. En la **Tabla 5-6** se muestran la información para la serie 22b perteneciente a Siete Aguas y en la **Tabla 5-7** la serie 22ba correspondiente a Buñol.

| <i>Pinus uncinata</i> | <i>Pinus sylvestris</i> | <i>Pinus nigra</i>     | <i>Pinus pinaster</i>       | <i>Pinus pinea</i>     | <i>Pinus halepensis</i> |
|-----------------------|-------------------------|------------------------|-----------------------------|------------------------|-------------------------|
| -                     | -                       | -                      | d                           | p                      | p                       |
| <i>Pinus radiata</i>  | <i>Eucalyptus</i>       | <i>Castanea sativa</i> | <i>Quercus rotundifolia</i> | <i>Quercus faginea</i> |                         |
| -                     | d                       | -                      | p                           | d                      |                         |

Tabla 5-6. Tabla de juicio biológicas de Rivas Martínez la serie de la encina 22b (Siete Aguas). Donde: “p” es posible, “d” es dudoso y “-” es no viable. Fuente: Martínez R., S. 1987.

| <i>Pinus uncinata</i> | <i>Pinus sylvestris</i> | <i>Pinus nigra</i>     | <i>Pinus pinaster</i>       | <i>Pinus pinea</i>     | <i>Pinus halepensis</i> |
|-----------------------|-------------------------|------------------------|-----------------------------|------------------------|-------------------------|
| -                     | -                       | -                      | d                           | d/p                    | p                       |
| <i>Pinus radiata</i>  | <i>Eucalyptus</i>       | <i>Castanea sativa</i> | <i>Quercus rotundifolia</i> | <i>Quercus faginea</i> |                         |
| -                     | p/d                     | -                      | p                           | -/d                    |                         |

Tabla 5-7. Tabla de juicio biológicas de Rivas Martínez la serie de la encina 22ba (Buñol). Donde: “p” es posible, “d” es dudoso y “-” es no viable. Fuente: Martínez R., S. 1987.

Las tablas de juicio ecológico de Rivas Martínez informan sobre la posible mejora ecológica que supone la implantación de una especie en una determinada zona. En la **Tabla 5-8** y **Tabla 5-9** se muestran las tablas correspondientes a cada serie.

| <i>Pinus uncinata</i> | <i>Pinus sylvestris</i> | <i>Pinus nigra</i>     | <i>Pinus pinaster</i>       | <i>Pinus pinea</i>     | <i>Pinus halepensis</i> |
|-----------------------|-------------------------|------------------------|-----------------------------|------------------------|-------------------------|
| -                     | -                       | -                      | d-                          | p-                     | p-                      |
| <i>Pinus radiata</i>  | <i>Eucalyptus</i>       | <i>Castanea sativa</i> | <i>Quercus rotundifolia</i> | <i>Quercus faginea</i> |                         |
| -                     | d                       | -                      | P+                          | d+                     |                         |

Tabla 5-8. Tabla de juicio ecológica de Rivas Martínez la serie de la encina 22b (Siete Aguas). Donde: “p+”= posible positivo; “p -” = posible negativo; “d+”= dudoso positivo; “d-” = dudoso negativo; “-” = no viable. Fuente: Martínez R., S. 1987.

| <i>Pinus uncinata</i> | <i>Pinus sylvestris</i> | <i>Pinus nigra</i>     | <i>Pinus pinaster</i>       | <i>Pinus pinea</i>     | <i>Pinus halepensis</i> |
|-----------------------|-------------------------|------------------------|-----------------------------|------------------------|-------------------------|
| -                     | -                       | -                      | d-                          | p-                     | p-                      |
| <i>Pinus radiata</i>  | <i>Eucalyptus</i>       | <i>Castanea sativa</i> | <i>Quercus rotundifolia</i> | <i>Quercus faginea</i> |                         |
| -                     | p-/d-                   | -                      | p+                          | -/d+                   |                         |

Tabla 5-9. Tabla de juicio ecológica de Rivas Martínez la serie de la encina 22ba (Buñol). Donde: “p+”= posible positivo; “p -” = posible negativo; “d+”= dudoso positivo; “d-” = dudoso negativo; “-” = no viable. Fuente: Martínez R., S. 1987.

Finalmente, según el criterio de Luis Ceballos, descrito en Serrada (2002), las especies potenciales se pueden observar en la **Tabla 5-10**. Se basa en la clasificación de Rivas Martínez, pero incluye la etapa de pinares, por lo que es más completo.

| <b>Etapas</b>   | <b>Especies</b>   |
|---|---|
| I Óptimo .Bosque denso  | ENCINA ( <i>Quercus ilex</i> )  |
| II<br>Bosque aclarado con abundante intervención de arbustos  | <i>Ceratonia siliqua</i><br><i>Celtis australis</i><br><i>Juniperus phoenicia</i><br><i>Pistacia terebinthus</i><br><i>Coronilla glauca</i><br><i>Anthyllis cytisoides</i><br><i>Jasminum fruticosum</i><br><i>Smilax aspera</i><br><i>Spartium junceum</i> |
| Sotobosques con numerosas plantas leguminosas   |   |
| III<br>Invasión heliófila<br>Etapa de los pinares<br>Invasión de matorral colonizados a base de Ericáceas o Cistáceas | <i>Pistacia lentiscus</i><br><i>Rosmarinus officinalis</i><br><i>Quercus coccifera</i><br><i>Pinus halepensis</i><br><i>Pinus pinaster</i><br><i>Cistus libanotis</i><br><i>Cistus albidus</i>  |
| IV<br>Matorral en estado avanzado de degradación<br>Frecuencia de plantas espinosas<br>Predominio de labiadas         | <i>Phlomis lychnites purpurea</i><br><i>Teucrium capitatum</i><br><i>Lavandula vera</i><br><i>Rhamnus lycioides</i><br><i>Ruta bractosa</i>   |
| V<br>Asociaciones de herbáceas del último estado de regresión   | <i>Euphorbia-plantago</i><br><i>Brachypodium ramosum</i><br><i>Stipa tenacissima</i>  |
| VI Desierto   | <i>Roquedo, arenales</i>  |

Tabla 5-10. Especies potencial según Luis Ceballos. Fuente: Serrada, R., 2002.

Una vez analizados los tres autores, se seleccionan las especies según criterios fitosociológicos. El listado se obtiene principalmente a partir de los resultados obtenidos de Luis Ceballos, ya que es a escala de cuenca y además considera la etapa de los pinares. Los pinos mediterráneos son especies de luz con temperamento robusto y con una amplia capacidad de adaptarse a los diferentes tipos de suelos. Son las únicas especies arbóreas mediterráneas capaces de establecerse sobre suelos erosionados, que pueden frenar la regresión climática mediante la repoblación, iniciando la recuperación de la vegetación. Pero una vez se ha conseguido frenar la

degradación y recuperado el ambiente forestal, con la instalación del matorral y los arbustos que lo forman, la función de los pinos se ha cumplido y se puede plantear la culminación climática sustituyéndolos paulatinamente por otras especies principales, que en este caso es la encina. Por tanto, las especies seleccionadas según la fitosociología son las siguientes:

*Quercus rotundifolia (Quercus ilex subsp. ballota), Quercus faginea, Pinus halepensis, Pinus pinaster, Celtis australis, Juniperus phoenicia, Juniperus oxycedrus, Pistacia lentiscus, Rosmarinus officinalis, Quercus coccifera, Rhamnus alaternus, Rhamnus lycioides.*

Además de los factores fitosociológicos hay que considerar la vegetación actual existente en la zona de estudio, obtenida a partir del Inventario Nacional Forestal, trabajo de campo realizado y consulta de bibliografía. En el **Apartado 2.4.2-Vegetación actual** se ha desarrollado con mayor nivel de detalle. El resumen de las especies actuales, en ambos montes, se muestra en la **Tabla 5-11**.

|                  |  |
|------------------|--|
| Arbóreo          | <i>Quercus rotundifolia (Q. ilex subsp. ballota), Quercus faginea, Pinus halepensis</i>  |
| Arbustivo        | <i>Quercus coccifera, Juniperus oxycedrus, Rhamnus lycioides, Pistacia lentiscus, Rosmarinus officinalis, Tymus vulgaris, Erica multiflora, Chamaerops humilis, Ulex parviflorus</i> |
| Lugares sombríos | <i>Taxus baccata, Fraxinus ornus</i> (sólo en término de Buñol)  |
| Riberas          | <i>Populus x canadiensis, Populus alba, Populus nigra, Nerium oleander</i>   |

Tabla 5-11. Especies actuales en la cabecera de cuenca del río Buñol. Fuente: elaboración propia.

#### 5.2.4 Elección de especies

Una vez analizados todos los factores considerados para la elección de especies, se obtiene la lista definitiva para la repoblación combinando todos los análisis. Para ello, se combina la lista de especies forestales potenciales y la lista de especies presentes en el medio, y se descartan algunas en función de los criterios ecológicos (fitogeográficos, climáticos y edafológicos). Como ya se ha comentado en la ordenación, las zonas a

repoblar se ciñen básicamente a superficies ocupadas por matorral y pastizales degradados y zonas con matorral y coníferas (*Pinus halepensis*).

Por este motivo, se trata de una **repoblación protectora** del suelo frente a la erosión hídrica, en la que la vegetación existente no es capaz de defender al suelo de la erosión, y las condiciones edáficas son deficientes (suelos poco evolucionados). Por todo ello, interesa que alcance la espesura completa en el plazo más breve posible.

En este caso es necesario elegir las especies más frugales, por las difíciles condiciones edáficas de los terrenos afectados. Además, tienen que ser especies de temperamento robusto, al tener que desarrollarse en sus primeras edades en condiciones de fuerte insolación, sobre todo en las áreas de orientación norte. Las especies heliófilas tienen crecimientos juveniles rápidos, por lo que también interesan para que se alcance la espesura completa a la mayor brevedad posible. La mayoría de las especies arbóreas autóctonas que reúnen estos requisitos son pertenecientes al género *Pinus*.

Por otro lado es necesario plantearse también la estabilidad a largo plazo, por lo que son aconsejables las masas mixtas, más estables frente a daños bióticos y abióticos que las masas monoespecíficas. Por tanto, es conveniente emplear más de una especie compatible con la estación. En la práctica, la mezcla más aconsejable en los terrenos sometidos a erosión hídrica suele ser el binomio *Pinus-Quercus* (Serrada, R., 2000).

Las especies arbóreas que se han elegido son las que van a aportar mayor estabilidad a la masa futura, por su mayor adaptación a las condiciones estacionales en los montes a repoblar. Según este criterio, se ha decidido utilizar finalmente las siguientes especies: *Quercus ilex subsp. ballota*, *Quercus faginea*, *Pinus halepensis*. Dicha elección se justifica por encontrarse estas especies en la cuenca objeto de estudio y haberse comprobado el buen estado vegetativo que presentan, lo que induce a pensar que son las más apropiadas para realizar la repoblación. Por otro lado, son conocidas las funciones protectoras de las especies del género *Quercus* elegidas, así como sus condiciones de especies restauradoras y reguladoras de la escorrentía e infiltración de las precipitaciones.

Para las zonas a repoblar con exposición predominante de solana, se ha elegido el binomio *Pinus halepensis* y *Quercus ilex* por ser ambas especies de temperamento

robusto, con marcado carácter heliófilo. Aunque la encina necesita protección durante los primeros estadios, por ello habrá que plantarla cerca de los matorrales para que disponga de la sombra que necesita.

En las zonas a repoblar con exposición predominante a umbría el binomio *Pinus halepensis* y el quejigo (*Quercus faginea*) se ha estimado como el más adecuado, por ser esta última una especie de media luz. El pino carrasco (*Pinus halepensis*), pese a su carácter heliófilo, presenta un excelente desarrollo en las umbrías en las que vegeta dentro de la cuenca objeto de estudio, resultando por otro lado acertada su elección para las zonas de mayor pendiente de umbría. En los lugares más húmedos y profundos en el monte de Buñol se encuentra el fresno en flor (*Fraxinus ornus*) y (*Taxus baccata*) por lo tanto, se completará la masa en dicho monte con esta especie para enriquecer la biodiversidad. Además, el fresno de flor es un endemismo propio de tierras valencianas y que actualmente existen pocos ejemplares debido a la explotación del territorio. Por tanto, se aprovecha la existencia de forma natural en la zona y mediante la repoblación se apoya la expansión y aumento de población de esta especie. Por tanto, el objetivo de incluirlo en la repoblación es doble.

Respecto a las especies arbustivas, se han seleccionado las predominantes en el área de estudio, que prácticamente coinciden con los criterios de Ceballos: coscoja (*Quercus coccifera*), enebro (*Juniperus oxycedrus*), espino negro (*Rhamnus lycioides*), lentisco (*Pistacia lentiscus*), Sabina negral (*Juniperus phoenicia*), esta última por resistir bien tanto las heladas como la sequía y el calor. Todas estas especies funcionan bien en la exposición de solana. Para diversificar las especies, en la umbría además se va a incorporar el madroño (*arbutus unedo*).

En la **Tabla 5-12** se muestra un resumen con la lista de las especies definitivas seleccionadas, así como sus características ecológicas (altitud, temperamento y tipo de suelo).

| Especie                    | Altitud (m) | Temperamento                 | Tipo de suelo  |
|----------------------------|-------------|------------------------------|--|
| <i>Quercus ilex</i>        | 200 - 1.500 | Indiferente                  | Indiferente. Rehuye los terrenos encharcados   |
| <i>Quercus faginea</i>     | < 1.200     | Media luz                    | Frescos y profundos  |
| <i>Pinus halepensis</i>    | < 800       | Indiferente                  | Calizo   |
| <i>Juniperus phoenicia</i> | <1200       | Indiferente, prefiere umbría | Indiferente. Soporta suelos poco profundos y desarrollados                             |
| <i>Fraxinus ornus</i>      | 500 -800    | Umbría                       | Suelos delgados o medianamente profundos, moderadamente ricos en nutrientes, calcáreos |
| <i>Taxus bacata</i>        | > 800       | Umbría                       | Suelos húmedos, sustrato indiferente   |
| <i>Arbutus unedo</i>       | < 850       | Indiferente, prefiere luz    | Suelo húmedos  |
| <i>Quercus coccifera</i>   | < 1.000     | Luz                          | Indiferente. Soporta suelos secos y pedregosos   |
| <i>Juniperus oxycedrus</i> | < 1.200     | Indiferente, prefiere luz    | Indiferente. Soporta bien los suelos poco profundos y desarrollados                    |
| <i>Rhamnus lycioides</i>   | <1.500      | Indiferente                  | Indiferente. Prefiere calizos.   |
| <i>Pistacia lentiscus</i>  | 400 - 800   | Luz                          | Indiferente. Prefiere calizos.   |

Tabla 5-12. Lista de especies definitivas para la repoblación y parámetros ecológicos asociados. Fuente: elaboración propia.

Una vez obtenida la lista de especies compatible con la estación en la que se encuentra la cabecera de cuenca del río Buñol, hay que definir y localizar las diferentes biotecnias propuestas, basadas en la ordenación agrohidrológica realizada. Las biotecnias que se proponen son las repoblaciones y los tratamientos selvícolas.

### 5.2.5 Repoblaciones protectoras

Según *Serrada, R. (2000)*, una repoblación es un conjunto de técnicas que es necesario aplicar para crear una masa forestal, formada por especies vegetales leñosas (arbóreas o arbustivas), que sea estable con el medio, en un terreno cuya vegetación actual es ineficaz en mayor o menor grado según el uso asignado al territorio, y que adoptando las características deseadas, cumpla los fines que de ella se demanden. Los objetivos se pueden agrupar en dos grandes grupos: producción de materias primas y protección

del suelo, la atmosfera o de la vida silvestre, o lo que es lo mismo, repoblaciones productoras o protectoras.

El tipo de repoblación al que pertenece el presente estudio es la protectora, ya que el objetivo es defender el suelo de la erosión hídrica. En primer lugar se van a identificar las superficies de repoblación en cada monte junto con la lista de especies seleccionadas, diferenciando la exposición norte de la sur. En segundo lugar se describe el método de repoblación, la densidad de repoblación, las características de las plantas, el tratamiento de la vegetación preexistente, la preparación del terreno y los cuidados posteriores.

- **Elección de Especie**

La identificación de las zonas que se van a repoblar se realiza a partir de la ordenación Agrohídrológica realizada en el **Apartado 4**. Al final de dicha sección figura la **Tabla 4-5** en la que se asignan diferentes códigos a cada ordenación, describiendo además los usos existentes. En base a esta información, la superficie a repoblar corresponde a:

- Código 2: Continuidad y mejora del monte arbolado. Corresponde a masas forestales de *Pinus halepensis* y matorral, con erosión superior a la tolerable. Según la **Figura 5.2- Modelo para la restauración de la vegetación en el piso de la encina (*Quercus ilex rotundifolia*)**, se recomienda diversificar el estrato arbóreo con encinas. Por tanto, se van a realizar repoblaciones bajo cubierta de *Pinus halepensis*, que serán puntuales y de la especie *Quercus ilex subsp. Ballota* en las zonas con exposición sur (solana) y en exposición norte (umbría) se repoblará además con *Quercus fagínea*.
- Código 3.1: Crear monte arbolado, con uso actual de matorral degradado sin arbolado y pendiente mayor del 30%. Según la **Figura 5.2- Modelo para la restauración de la vegetación en el piso de la encina (*Quercus ilex rotundifolia*)**, se recomienda establecer el estrato arbóreo con el género *Pinus*, acompañado de especies arbustivas. En la exposición norte (solana) se propone: *Pinus halepensis*, *Quercus coccifera*, *Juníperus oxicedrus*, *Rhamnus lycioides* y *Pistacia lentiscus*. También se incluye la encina (*Quercus ilex subsp. Ballota*) en las zonas que tengan

más cubierta arbustiva, ya que durante los primeros estadios de vida requiere de sombra. En la exposición sur (umbría) se incluyen las siguientes especies: *Quercus ilex subsp. ballota*, *Quercus fagínea*, *Pinus halepensis*, *Juníperus phoenicia*, *Juníperus oxycedrus*, *Rhamnus lycioides* y *Arbutus unedo*. En el monte de Buñol se añade *Fraxinus ornus* y *Taxus baccata* en las zonas de barrancos para enriquecer la biodiversidad y aumentar su población.

- Código 3.2: Crear monte arbolado con uso actual de pastizal sin arbolado. No se va a considerar ya que la superficie no llega a 0,2 Km<sup>2</sup>, y se encuentra en pequeñas manchas aisladas.
- Código 4: Restaurar matorral o transformar en monte alto, con uso de matorral degradado sin arbolado y pendiente menor del 30%. Corresponde a las mismas especies que el código 3.1.

En la **Tabla 5-13** se muestra un resumen para el monte de Siete Aguas, y en la **Tabla 5-14** para el Monte de Buñol. Los códigos 3.1 y 4 se han unificado y se muestran como “Matorral degradado sin arbolado”. En el **Mapa 13-Restauración Hidrológico-Forestal, Hoja 1** se localizan las áreas correspondientes a cada tipo de repoblación, donde se diferencia la exposición norte de la sur.

Como se puede observar en las dos tablas, la mayoría de la repoblación se realiza en el monte de Siete Aguas, ya que ahí es donde está localizada la unidad hidrológica 1, la que se encuentra más degradada.

En el **Anexo 4** se muestran las fichas de repoblación de cada monte.

| MONTE V068 – Término municipal de Siete Aguas |            |           |           |   |
|---|------------|-----------|-----------|---|
| Tipo de repoblación                           | Exposición | Sup. (ha) | Estrato   | Especies  |
| Bajo cubierta de <i>Pinus halepensis</i>      | Sur        | 45        | Arbóreo   | <i>Quercus ilex subs. Ballota</i>   |
|   | Norte      | 84        | Arbóreo   | <i>Quercus ilex subsp. ballota</i><br><i>Quercus fagínea</i>  |
| Matorral degradado sin arbolado               | Sur        | 830       | Arbóreo   | <i>Pinus halepensis</i><br><i>Quercus ilex subsp. ballota</i>   |
|   |            |           | Arbustivo | <i>Quercus coccifera</i><br><i>Juniperus oxycedrus</i><br><i>Rhamnus lycioides</i><br><i>Pistacia lentiscus</i>       |
|   | Norte      | 670       | Arbóreo   | <i>Pinus halepensis</i><br><i>Quercus ilex subsp. ballota</i><br><i>Quercus fagínea</i><br><i>Juníperus phoenicia</i> |
|   |            |           | Arbustivo | <i>Juniperus oxycedrus</i><br><i>Rhamnus lycioides</i><br><i>Arbutus unedo</i>  |

Tabla 5-13. Especies de repoblación en el Monte V068 correspondiente al término municipal de Siete Aguas. Se indica el tipo de repoblación, estrato, exposición, superficie en kilómetros cuadrados y las especies seleccionadas. Fuente: elaboración propia.

| MONTE V066 – Término municipal de Buñol  |            |           |           |  |
|--|------------|-----------|-----------|--|
| Tipo de repoblación                      | Exposición | Sup. (ha) | Estrato   | Especies   |
| Bajo cubierta de <i>Pinus halepensis</i> | Sur        | 62        | Arbóreo   | <i>Quercus ilex subs. Ballota</i>  |
|  | Norte      | 88        | Arbóreo   | <i>Quercus ilex subsp. ballota</i><br><i>Quercus fagínea</i>   |
| Matorral degradado sin arbolado          | Sur        | 112       | Arbóreo   | <i>Pinus halepensis</i><br><i>Quercus ilex subsp. ballota</i>  |
|  |            |           | Arbustivo | <i>Quercus coccifera</i><br><i>Juniperus oxycedrus</i><br><i>Rhamnus lycioides</i><br><i>Pistacia lentiscus</i>  |
|  | Norte      | 110       | Arbóreo   | <i>Pinus halepensis</i><br><i>Quercus ilex subsp. ballota</i><br><i>Quercus fagínea</i><br><i>Juniperus phoenicia</i><br><i>Fraxinus ornus</i><br><i>Taxus baccata</i> |
|  |            |           | Arbustivo | <i>Rhamnus lycioides</i><br><i>Arbutus unedo</i>   |

Tabla 5-14. Especies de repoblación en el Monte V066 correspondiente al término municipal de Buñol. Se indica el tipo de repoblación, estrato, exposición, superficie en kilómetros cuadrados y las especies seleccionadas. Fuente: elaboración propia.

- **Método de repoblación**

Por método de repoblación forestal se entiende la forma de introducir las nuevas especies, existiendo dos métodos básicos: siembra y plantación.

Cada método tiene una serie de ventajas e inconvenientes y, para su elección, hay que tener en cuenta una serie de factores y condicionantes como son los estacionales, culturales, sociales y económicos.

Para el caso de estudio se ha decidido utilizar el método de plantación como el método de repoblación más adecuado para todas las especies utilizadas, justificándose dicha

elección por las particularidades que rodean a la repoblación, las cuales se exponen a continuación:

- La predación sobre la semilla por parte de los animales se estima elevada.
- Las condiciones climáticas no son favorables para la siembra. La plantación es el método más adecuado para estaciones climáticas difíciles.
- La plantación es el método que mejor aprovecha las labores de corrección de las dificultades edáficas.
- Más facilidad para mezclar especies de temperamentos diferentes.
- Debido al objetivo protector de la repoblación es necesario garantizar y graduar con seguridad una densidad inicial y un marco concretos, lo cual se puede realizar mediante plantación.
- Aunque la ejecución de la plantación es más cara comparada con la siembra, ya que requiere de mano de obra especializada entre otros aspectos, los resultados son más seguros, algo de extrema importancia en las repoblaciones protectoras.
- Aunque el costo de la planta es mayor que el de la semilla, mediante la plantación se gana el tiempo equivalente a la edad de las plantas y tienen menor riesgo de plagas y enfermedades en las primeras edades.

- **Densidad de plantación**

Según Serrada, R. (2000), en una repoblación protectora frente a la erosión, la densidad de plantación para las coníferas en masa pura oscila entre 2.000 y 3.000 pies/ha, pudiendo bajar a cifra del orden de 1.600 pies/ha en casos especiales. Las especies de frondosas, dado su crecimiento inicial, se introducen para estos fines en masa con coníferas, con densidades que oscilan entre 400 y 1.000 pies/ha. Anteriormente se ha comentado que para las repoblaciones protectoras es recomendable utilizar una mezcla de especies. Para una repoblación mixta protectora, se toma como referencia una densidad total de 2.500 pies/ha, en marco de 2x2, del cual un 75% (1875 pies/ha) es para coníferas, introducidas por plantación, y que con un rápido desarrollo inicial protegerá el suelo con eficacia y posibilitará el crecimiento en sombra de la especie de frondosa, a la cual le corresponde un porcentaje del 25% (625 pies/ha) y marco de 4x4. La frondosa también se introduce por plantación y de

esta forma parte con una espesura concordante con la que le correspondería a un fustal joven monoespecífico de la misma especie.

De esta forma se procede a responder a la estabilidad a largo plazo de la masa creada, a la vez que a la eficacia a corto plazo en su función protectora. Las relativamente altas densidades que se proponen, así como la mezcla de especies inicial no repercuten en incrementos importantes en los costos de ejecución material, sobre todo cuando se utilizan preparaciones de suelo mecanizadas en líneas o a hecho, siendo esta economía un motivo para aconsejar la introducción simultánea de las dos especies. Pero cuando se emplean preparaciones puntuales, como es en este caso, mecanizadas o no, la densidad propuesta puede conducir a presupuestos de ejecución material muy elevados y se entiende como más razonable densidades totales del orden de 1.600 pies/ha.

En base a estos criterios (*Serrada, R., 2000*), se va a tomar una densidad total para la repoblación de encinas bajo cubierta de *Pinus halepensis* de 625 pies/ha, ya que es una espesura concordante con la que le correspondería a un fustal joven monoespecífico de la misma especie. Para las masas mixtas en terrenos de matorral sin arbolado se considera una densidad total de 1.600 pies/ha. La distribución que se ha realizado ha sido optar el 75% para las coníferas, ya que lo que interesa en la repoblación protectora es alcanzar una densidad elevada en el menor periodo de tiempo posible, y el 25% restante se ha repartido dando prioridad a las frondosas y distribuyendo el resto entre las distintas especies de matorral. Se pueden ver los porcentajes adjudicados y las densidades obtenidas para el Monte de Siete Aguas en la **Tabla 5-15** y para el de Buñol en la **Tabla 5-16**.

| MONTE V068 – Término municipal de Siete Aguas |                       |           |                                    |                |                    |             |
|---|-----------------------|-----------|------------------------------------|----------------|--------------------|-------------|
| Tipo de repoblación                           | Exposición            | Sup. (ha) | Especies                           | Proporción (%) | Densidad (pies/ha) |             |
| Bajo cubierta de <i>Pinus halepensis</i>      | Sur                   | 45        | <i>Quercus ilex subs. Ballota</i>  | <b>100</b>     | <b>625</b>         |             |
|   | Norte                 | 84        | <i>Quercus ilex subsp. ballota</i> | 50             | 313                |             |
|   |                       |           | <i>Quercus faginea</i>             | 50             | 313                |             |
| <b>DENSIDAD TOTAL</b>                         |                       |           |                                    | <b>100</b>     | <b>626</b>         |             |
| Matorral degradado sin arbolado               | Sur                   | 830       | <i>Pinus halepensis</i>            | 75             | 1200               |             |
|   |                       |           | <i>Quercus ilex subsp. ballota</i> | 10             | 160                |             |
|   |                       |           | <i>Quercus coccifera</i>           | 5              | 80                 |             |
|   |                       |           | <i>Juniperus oxycedrus</i>         | 5              | 80                 |             |
|   |                       |           | <i>Rhamnus lycioides</i>           | 2,5            | 40                 |             |
|   |                       |           | <i>Pistacia lentiscus</i>          | 2,5            | 40                 |             |
|   | <b>DENSIDAD TOTAL</b> |           |                                    |                | <b>100</b>         | <b>1600</b> |
|   | Norte                 | 670       | <i>Pinus halepensis</i>            | 75             | 1200               |             |
|   |                       |           | <i>Quercus ilex subsp. ballota</i> | 7              | 112                |             |
|   |                       |           | <i>Quercus faginea</i>             | 7              | 112                |             |
|   |                       |           | <i>Juniperus phoenicia</i>         | 3              | 48                 |             |
|   |                       |           | <i>Juniperus oxycedrus</i>         | 3              | 48                 |             |
|   |                       |           | <i>Rhamnus lycioides</i>           | 2              | 32                 |             |
| <i>Arbutus unedo</i>                          |                       |           | 3                                  | 48             |                    |             |
| <b>DENSIDAD TOTAL</b>                         |                       |           |                                    | <b>100</b>     | <b>1600</b>        |             |

Tabla 5-15. Densidad de plantación en el Monte V068 correspondiente al término municipal de Siete Aguas. Fuente: elaboración propia.

| MONTE V066 – Término municipal de Buñol  |                       |           |                                    |                |                    |             |
|--|-----------------------|-----------|------------------------------------|----------------|--------------------|-------------|
| Tipo de repoblación                      | Exposición            | Sup. (ha) | Especies                           | Proporción (%) | Densidad (pies/ha) |             |
| Bajo cubierta de <i>Pinus halepensis</i> | Sur                   | 62        | <i>Quercus ilex subs. Ballota</i>  | <b>100</b>     | <b>625</b>         |             |
|  | Norte                 | 88        | <i>Quercus ilex subsp. ballota</i> | 50             | 313                |             |
|  |                       |           | <i>Quercus faginea</i>             | 50             | 313                |             |
| <b>DENSIDAD TOTAL</b>                    |                       |           |                                    | <b>100</b>     | <b>626</b>         |             |
| Matorral degradado sin arbolado          | Sur                   | 112       | <i>Pinus halepensis</i>            | 75             | 1200               |             |
|  |                       |           | <i>Quercus ilex subsp. ballota</i> | 10             | 160                |             |
|  |                       |           | <i>Quercus coccifera</i>           | 5              | 80                 |             |
|  |                       |           | <i>Juniperus oxycedrus</i>         | 5              | 80                 |             |
|  |                       |           | <i>Rhamnus lycioides</i>           | 2,5            | 40                 |             |
|  |                       |           | <i>Pistacia lentiscus</i>          | 2,5            | 40                 |             |
|  | <b>DENSIDAD TOTAL</b> |           |                                    |                | <b>100</b>         | <b>1600</b> |
|  | Norte                 | 110       | <i>Pinus halepensis</i>            | 75             | 1200               |             |
|  |                       |           | <i>Quercus ilex subsp. ballota</i> | 7              | 112                |             |
|  |                       |           | <i>Quercus faginea</i>             | 7              | 112                |             |
|  |                       |           | <i>Juniperus phoenicia</i>         | 3              | 48                 |             |
|  |                       |           | <i>Arbutus unedo</i>               | 3              | 48                 |             |
|  |                       |           | <i>Fraxinus ornus</i>              | 2              | 32                 |             |
| <i>Rhamnus lycioides</i>                 |                       |           | 2                                  | 32             |                    |             |
| <i>Taxus baccata</i>                     | 1                     | 16        |                                    |                |                    |             |
| <b>DENSIDAD TOTAL</b>                    |                       |           |                                    | <b>100</b>     | <b>1600</b>        |             |

Tabla 5-16. Densidad de plantación en el Monte V068 correspondiente al término municipal de Buñol. Fuente: elaboración propia.

- **Características de las plantas**

Las plantas forestales se instalan en un medio difícil, sin cuidados especiales incluso en los primeros años, por lo que su capacidad de arraigo y supervivencia estará relacionada con una morfología en la que exista un gran equilibrio entre la parte aérea el sistema radical. Este equilibrio morfológico tiende a ser asegurado utilizando plantas de poca edad, pues en esta situación, el desarrollo ordinario de las plantas proporciona una mayor extensión relativa del sistema radical. Por lo que existe una estrecha relación entre edad, morfología, posibilidad de arraigo y calidad en plantas forestales (Serrada, R., 2000). Por este motivo se ha decidido que las plantas sean de una savia.

Se eligen las plantas en contenedor forestal frente a la planta a raíz desnuda. Esta decisión se basa en las siguientes ventajas y condicionantes:

- La extracción y embalaje en vivero, así como su transporte y distribución hasta el tajo garantizan la protección del sistema radical frente a desecaciones y mutilaciones o daños mecánicos.
- Se disminuye la alteración de la planta en el momento del trasplante, ya que el cepellón proporciona, desde el momento de la plantación, un medio apropiado para el establecimiento y nutrición de la planta.
- Las características estacionales actúan como factores limitantes para la introducción de las nuevas especies debido a la sequía estival y la mala calidad edáfica, por lo que será importante que el tipo de planta empleada tenga probabilidad de arraigo.
- El crecimiento de la planta es más rápido al principio, lo cual nos interesa al tratarse de una repoblación protectora.

Las características más adecuadas de un envase para facilitar el arraigo en repoblaciones protectoras bajo clima mediterráneo son las siguientes:

- Longitud de cepellón mayor de 20 centímetros.
- Capacidad del envase en torno a 300 centímetros cúbicos.
- Imposibilidad de espiralización y asegurar el repicado.

Independientemente de la especie y del método de cultivo, todo lote de planta forestal debe estar dotado de calidad suficiente. Por calidad de planta forestal se entiende la capacidad de la misma para alcanzar unas suficientes expectativas de supervivencia y de crecimiento posterior, en el monte o estación al que ha sido destinada.

Esta capacidad está condicionada por un complejo sistema de condiciones morfológicas y fisiológicas, que deben quedar definidas a través de una serie de atributos de calidad. Por tanto, se puede completar el diagnóstico cuando para un lote de planta forestal queda identificada su:

- Calidad morfológica: se refiere a la descripción de la forma, tamaño, peso, etc., de la planta.
- Calidad genética: corresponde a la valoración del genotipo a través de la identificación de los progenitores, bien los clones en la reproducción vegetativa, bien las poblaciones que dieron origen a la semilla esperada. Queda definida identificando el origen y la procedencia.
- Calidad fisiológica: se refiere a la caracterización del estado funcional del lote de plantas que se analiza (estado hídrico, nutricional, contenido en carbohidratos, etc.)
- Calidad biológica: hace referencia al estado de la calidad y cantidad de micorrización del lote de la planta. El estado de micorrización de la planta forestal influye tanto en la supervivencia como en el desarrollo inicial de la masa. Por lo que es de suma importancia que la planta forestal esté micorrizada.

La calidad del material de reproducción comercializado en el interior de la Comunidad Europea está totalmente regulada y ha sido trasladada a la legislación española. De esta forma se pueden comparar los parámetros medidos en el lote forestal para determinar si tiene una calidad de planta adecuada.

Además de la calidad de planta, es muy importante la selección del o los viveros adecuados, ya que puede tener una calidad de planta adecuada pero proceder de una estación diferente a la del área donde se realiza la repoblación.

- **Tratamiento de la vegetación preexistente.**

Cuando se trata de introducir una nueva masa forestal en un monte, los individuos de las nuevas especies tienen un periodo que va desde su instalación hasta 4 a 10 años después en el que serán muy sensibles a la competencia de la vegetación circundante, que está presente antes de la repoblación. Esta competencia se manifiesta por la luz, la humedad y los nutrientes del suelo. Por lo tanto, en muchos casos es necesario para asegurar la vida de las plantas introducidas reducir la presencia y retrasar el crecimiento de la vegetación preexistente.

En la Cabecera de cuenca del río Buñol existen dos tipos de repoblaciones, las repoblaciones con encinas bajo cubierta de *Pinus halepensis* y las que de matorral degradado sin estrato arbóreo. Únicamente se va a realizar desbroce en el primer caso, para poder facilitar el arraigo de la encina. En el segundo caso no se va a realizar desbroce, ya que debido a la escasa cobertura forestal existe riesgo de aumentar más la erosión hídrica actual. Además, con el propio hoyo que se realiza para llevar a cabo la plantación, se consigue una eliminación de la vegetación existente a nivel local.

Por tanto, a continuación se define el procedimiento de desbroce para la repoblación de encina bajo cubierta de *Pinus halepensis*, tanto para el Monte V068 (Siete Aguas) como para el Monte V066 (Buñol). Para definir adecuada y suficientemente un procedimiento de desbroce es necesario referirse a cuatro criterios de clasificación, que suministran para cada procedimiento cuatro atributos simultáneos. Los criterios son los siguientes:

- Especies a las que afecta: el desbroce es selectivo, ya que se respetan algunas especies que pueda ser conveniente conservar. Además la encina requiere durante los primeros años la existencia de un estrato arbóreo para que cree un ambiente sombrío.
- Extensión del desbroce: se realiza puntual o por casillas. Consiste en la apertura de huecos de forma cuadrada o circular con una superficie mínima de 1 m<sup>2</sup> hasta 4 m<sup>2</sup> como máximo. Se ha escogido esta opción debido por una parte a las necesidades de la encina de protección durante los primeros estadios de vida, y por otra,

debido a la influencia del desbroce en la erosión hídrica. A estas zonas se le asignó este tipo de ordenación debido a la existencia de niveles de erosión superiores a los admisibles, por lo que el desbroce no puede ser ni a hecho ni en fajas, ya que existe riesgo de erosión.

- Forma de ejecución: se opta por el desbroce manual. Se ejecuta mediante operarios que van andando por el monte con herramientas de corte, de arranque o mecánicas, pueden ser selectivos y adoptar cualquier superficie. Se ha seleccionado de forma manual ya que el área tiene masa forestal media y densa, por lo que no es recomendable introducir maquinaria debido a los daños que puede causar. Además, la pendiente en ambos montes es elevada, en el Monte V066 (Buñol) un 60% de la superficie tiene pendiente mayor al 30% y en el V068 (Siete Aguas) corresponde al 35%.
- Forma de afectar al matorral: se realiza desbroce por roza. Consiste en cortar el matorral por el cuello de la raíz dejando la cepa enterrada. Se selecciona este método principalmente por el efecto hidrológico que produce, ya que las rozas afectan muy levemente a este proceso en comparación con el decapado (arranque).

- **Preparación del terreno**

La preparación del suelo para la repoblación forestal, justificada en todo caso para poder alojar la planta, tiene otra justificación en la debilidad y poca edad de las plantas de la nueva masa a las que hay que facilitar el arraigo y el primer desarrollo. También, en el caso del área de estudio se justifica la preparación del suelo en que las deficientes condiciones edáficas (alta pedregosidad y baja permeabilidad) del monte que se repuebla pueden ser mejoradas. De la justificación enunciada se deducen los objetivos de la preparación física del suelo siguientes:

- Aumentar la profundidad útil del perfil, disgregando capas profundas mediante acción mecánica, para conseguir una mayor profundización de los sistemas radicales.
- Aumentar la capacidad de retención de agua del perfil, a través del aumento de profundidad.

- Aumentar la velocidad de infiltración de agua en el perfil mediante un mullido que posibilite anular la escorrentía y por tanto la erosión hídrica.
- Facilitar la penetración mecánica de las raíces de las plantas introducidas mejorando transitoriamente la permeabilidad mediante las labores, de modo que un sistema radical más extenso pueda compensar la baja fertilidad y las posibles sequías. El mullido también facilita la aireación de las capas profundas del perfil mejorando el ambiente edáfico.
- Reducir las posibilidades de invasión del matorral después de la plantación o siembra que había sido conseguida con los desbroces.
- Facilitar las labores de plantación o siembra y mejorar la supervivencia de las plantas introducidas.

Para definir adecuada y suficientemente una preparación del suelo es necesario referirse a cuatro criterios de clasificación que suministran para cada procedimiento cuatro atributos simultáneos.

A continuación se refieren los cuatro criterios para fijar el tipo conveniente en las zonas de matorral degradado sin arbolado:

- Extensión superficial afectada por la preparación: método puntual. Se ha considerado el objetivo preferente de la repoblación, que es la protección del suelo frente a la erosión hídrica. Por tanto, una preparación intensa del terreno (en fajas o a hecho) aumentaría el riesgo de erosión.
- Acción sobre el perfil del tipo de preparación: sin inversión de horizontes del suelo. Se ha decidido de este modo ya que en perfiles calizos poco evolucionados la inversión de horizontes es inconveniente pues pueden aflorar en superficie tierras con mucha caliza activa y pH extremadamente básico que, entre otros inconvenientes, tiene el de dificultar la nutrición de las plantas a instalar.
- Forma de ejecución de la preparación: mecanizada, concretamente se selecciona el ahoyado con retroaraña. Se ha decidido así ya que permite una preparación puntual, sin inversión de horizontes y con una profundidad alta, además el efecto hidrológico al realizar microcuencas es favorable a la reducción de escorrentía. No se ha seleccionado la retroexcavadora (ya que tiene la misma función) debido que

la retroaraña presenta menores restricciones por pendiente, irregularidad de la superficie o por afloramientos rocosos o pedregosidad superficial. Además, se produce un desbroce por arranque simultáneo, por lo que de este modo no requiere un desbroce previo, como ya se ha comentado en la descripción de la “Tratamiento de la vegetación preexistente”.

- Preparación del suelo: profundidad alta , ya que el ahoyado con retroaraña realiza hoyos entre 40 y 60 cm de profundidad. El tamaño del hoyo será de 40x40 y de profundidad lo que permita el terreno según la pedregosidad existente, entre 40 y 60 cm.

La retroaraña realiza el hoyo sin extracción de tierra en un volumen de forma prismática mediante la acción del cazo. El hoyo removido es posteriormente refinado en su plataforma y se ejecuta, con azada, los regueros para conformar una banqueta con microcuenca.

Respecto a las zonas de repoblación de encina bajo cubierta de *Pinus halepensis* la preparación también es puntual, sin inversión de horizontes, pero en este caso el ahoyado tiene que ser manual. Se ha escogido la opción de ahoyado con pico mecánico ya que se obtienen los mismos efectos que en el ahoyado mecanizado con retroaraña: formación de banquetas con microcuenca, profundidades altas, sin inversión de horizontes, efecto hidrológico favorable para reducir la escorrentía, sin limitaciones por pendiente ni por condiciones edáficas.

- **Cuidados posteriores**

Una vez realizada la plantación se puede considerar que ya está instalada en el monte la masa arbórea. No obstante, hay una serie de operaciones de cuidado de la masa que tradicionalmente se han incorporado a las técnicas de repoblación. Los cuidados posteriores considerados son los siguientes:

- Protección contra daños producidos por animales. En algunas zonas de España y con especies como el pino carrasco las plantaciones sufren el ataque de conejos. Ya que en la zona existe presencia de conejos, para los fines de protección individual, existen protectores individuales de plantas. Se ha escogido el modelo

de plancha de plástico rígido, con forma cilíndrica y una altura de 60 cm, también conocido como tubo invernadero. Se ha hecho de este modo ya que según los fabricantes se reduce la transpiración de la planta al protegerla de los vientos y al crear una atmósfera más saturada alrededor, a la vez que se reduce la evaporación del agua del suelo en las zonas cercanas al cuello de la raíz, lo que redundaría en un crecimiento global mayor y en un número menor de marras. No obstante, estos extremos están pendientes de comprobación por experimentación en diferentes climas y con distintas especies, ya que en algunas repoblaciones no se ha encontrado relación directa de supervivencia de la especie en comparación con el uso y no uso de tubos protectores. No obstante, se toma la decisión de realizar la repoblación con tubos protectores de tipo invernadero debido a las condiciones estacionales del área de estudio y a la presencia de conejos.

- Castillete de piedras: es la disposición de tres piedras alrededor de la planta. Los beneficios que se obtienen mediante la construcción del castillete de piedras es la protección de la planta frente a posibles pisadas, protección del sol y aportación de humedad al suelo (**Figura 5-4**).



Figura 5-4. Tubo protector y castillete de piedras. Fuente: [www.foresa.net](http://www.foresa.net)

- Reposición de marras: esta operación consiste en la sustitución de plantas muertas en los años inmediatos a la plantación. El proceso operativo es siempre manual aunque la plantación original sea mecanizada y se tiene que ejecutar en época similar a la de la plantación o siembra. Se debe definir el porcentaje admisible de marras, el cual es función de la densidad inicial de plantación. De forma aproximada, para una densidad entre 400 y 1.000 pies por hectáreas se admite un porcentaje de marras menor del 5%, para el caso de la repoblación de

encinas bajo cubierta de *Pinus halepensis*. Para el resto, con una densidad entre 1.000 y 2.000 pies por hectárea se admite un porcentaje de marras menor al 10%.

### 5.2.6 Tratamientos selvícolas

En cualquier sistema de tratamiento de las masas forestales, y formando parte de él, las masas se someten a una serie de operaciones en el plazo que transcurre entre el final de la regeneración, sea natural o artificial, y el momento en que comienzan las siguientes cortas de regeneración. Estas operaciones se denominan tratamientos selvícolas.

Los objetivos de los tratamientos parciales son:

- Asegurar la persistencia frente a la acción de agentes externos, ya sean bióticos o abióticos.
- Mantener e incrementar el vigor vegetativo de la masa, estimulando su desarrollo y dirigiendo su composición específica.

Estos tratamientos pueden ser aplicados al suelo (laboreos, fertilizaciones), aplicados al vuelo, bien sobre la vegetación accesoria (limpias) o sobre la vegetación principal (clareos, claras, podas y preventivos de incendios). En el caso del área de estudio no se van a aplicar tratamientos al suelo, ya que las zonas forestales en las que se va a actuar disponen de un buen desarrollo de la masa forestal.

De la misma forma que se han identificado las zonas de repoblación, a partir de la ordenación agrohídrológica realizada en el **Apartado 4**, se identifican las áreas en las que se van a realizar los tratamientos selvícolas. Al final de dicha sección figura la Tabla 4-5 en la que se asignan diferentes códigos a cada ordenación, describiendo además los usos existentes. En base a esta información, se diferencian las siguientes unidades homogéneas:

- **Código 1.1: Mantener monte arbolado. Uso: Masa forestal espesa y muy espesa**

Corresponde a masas forestales de gran espesura de coníferas y frondosas, y con erosión inferior a la tolerable. A continuación se diferencian los tratamientos propuestos para coníferas y para frondosas.

Los tratamientos selvícolas seleccionados para las coníferas (*Pinus halepensis*) son los siguientes:

- **Claros:** son uno de los más importantes y delicados tratamientos parciales sobre el vuelo. Se definen como la corta de parte de los pies de la masa principal regular en los estados de latizal (desde el comienzo de poda natural hasta 20 cm de diámetro a la altura del pecho) y fustal (a partir de 20 centímetros de diámetro a la altura del pecho). Las claras pueden ser de tres tipos atendiendo al estrato de la masa principal a la que pertenecen los pies extraídos. Las *claras bajas* son las que afectan preferentemente a pies del estrato dominado y por tanto de menor diámetro y volumen relativo. Las *claras altas* son las que afectan preferentemente a pies del estrato dominante y por tanto de mayor diámetro y volumen relativo. Disminuyen intensamente la competencia. Las *claras mixtas* son intermedias entre los dos tipos descritos.

El criterio tomado para decidir el tipo de clara es el relacionado con la composición específica. Como la masa está compuesta por más de una especie, el pino y la encina, se empleará una u otra para favorecer la composición deseada. Según la **Figura 5.2. Modelo para la restauración de la vegetación en el piso de la encina (*Quercus ilex rotundifolia*)**, en una masa de pinos y encinas hay que encaminar la restauración hacia el encinar denso. Por tanto, en los lugares donde existen encinas adultas, se realizarán claras altas. De esta forma se reduce la competencia entre la encina y los pinos que tenga alrededor y se consigue un desarrollo más rápido de la encina, ya que cuando las encinas son adultas son especies heliófilas y necesitan la luz para desarrollarse, en cambio, cuando están en sus primeros estadios necesitan sombra. En las zonas donde no existan encinas, se realizarán claras bajas, eliminando los individuos del estrato dominado de *Pinus halepensis* que se encuentren en peor estado. Por tanto se favorece la sanidad en general, disminuyendo la mortalidad natural futura. También se reduce la invasión del matorral.

Para definir el peso de clara hay que considerar que el área está enmarcada en un contexto protector, por lo que la intensidad de la clara no debe perjudicar a la masa para que realice su labor de defensa del suelo de la erosión hídrica. Tratando

de conseguir el doble objetivo de reducir la competencia con bajos costos de ejecución por una parte y de mantener la capacidad de defensa del suelo por otra, se propone no superar una extracción mayor del 20% del área basimétrica inicial. Este es un criterio muy generalista y acreditado en la mayor parte de los textos de silvicultura. Combinado con aplicación de claras por lo bajo suelen conducir a una extracción superior o igual al 33% de la densidad e inferior al 50% de la misma, y no reduce excesivamente la fracción de cabida cubierta (Serrada, R., 2002).

Respecto al método de ejecución se propone realizar la corta de forma manual mediante motosierra y para la extracción de la madera del monte, como la zona es susceptible a la erosión, se ha decidido no introducir maquinaria para no dañar la masa forestal existente ni compactar el terreno. Por este motivo, el transporte de los restos se realizará mediante animales (caballos, bueyes o mulas). Además, mediante este criterio también se contribuye a la economía de la zona y por otra parte no existe limitación en cuanto a la pendiente, ya que en la zona de estudio es elevada.

- Podas: consiste en la supresión de ramas de los árboles en pie, sean muertas o vivas, de forma artificial, para conseguir un objetivo concreto, que en este caso es reducir el riesgo de incendio forestal debido a la continuidad vertical de la masa. La técnica de poda se realizará desde el suelo mediante herramientas mecánicas como motosierras ligeras montadas o no en una pértiga (motopodadora) para que permitan al operario aumentar el alcance.

Los tratamientos selvícolas seleccionados para las frondosas (*Quercus ilex subsp. ballota*) son los siguientes:

- Resalveos de conversión a monte alto: se denomina resalveo por ser una práctica que tiende a reservar tras las cortas los mejores pies de la masa, es decir, los resalvos, de modo que se acepta llamar resalveo a las claras efectuadas en un monte bajo. Se denominan de conversión por ser su objetivo acabar cambiando la forma fundamental de la masa, para pasar a largo plazo a un verdadero monte alto (bosque de encinas).

Se ha decidido este tratamiento debido a que las matas de encinas existentes están formadas por un conjunto de cepas de alta densidad. Como se ha comentado, el objetivo en esta zona es encaminar la masa forestal hacia un encinar denso. Por tanto, no es suficiente eliminar competencia con otras especies, como se ha comentado en las claras de *Pinus halepensis*, también es necesario realizar un tratamiento propio a la encina para mejorar la calidad de sus individuos y conseguir un desarrollo más rápido en el tiempo.

Los resalveos o claras son selectivas y por lo bajo. Se tienen que extraer preferentemente los pies dominados, deformes, torcidos e inclinados. A igualdad de condiciones de calidad entre todos los pies de una cepa, se debe extraer preferentemente los del interior. El resalveo también se realizará en este caso con motosierra y la extracción mediante animales.

En la **Figura 5-5** se puede observar una fotografía del Monte el Viejo en Palencia en la que se han realizado tratamientos selviculturales de claras y podas en pinos y, en la **Figura 5-6**, se ha realizado resalveos en encinas.



Figura 5-5. Tratamientos selviculturales de claras y podas en pinos en el Monte el Viejo de Palencia. Fuente: <http://www.slideshare.net/Txikia/selviculturaresalveo-de-conversin>



Figura 5-6. Tratamientos selviculturales de resalveos en encinas en el Monte el Viejo de Palencia. Fuente: <http://www.slideshare.net/Txikia/selviculturaresalveo-de-conversin>

- **Código 1.2: Mantener monte arbolado. Uso: Masa forestal media.**

La masa forestal está formada por arbustos, coníferas y frondosas con erosión inferior a la tolerable. La diferencia respecto a la masa forestal comentada anteriormente (código 1.1) es la existencia de matorral. Por tanto, se van a realizar los mismos tratamientos, claras mixtas, podas y resalveos de conversión a monte alto, pero además, se van a incluir desbroces del matorral existente.

Los desbroces consisten en la eliminación total o parcial del matorral o los arbustos. Los objetivos que se persiguen mediante este tratamiento es favorecer el desarrollo del regenerado (en particular de la encina), eliminar la competencia del matorral y disminuir el riesgo de incendio, debido a la continuidad vertical que provoca el matorral. El desbroce es selectivo y se realizará mediante motodesbrozadora y/o medios manuales, de modo que se elimine la competencia de aquellos pies de interés de conservación y que consiga la correcta iluminación de los mismos.

En la **Tabla 5-17** se muestra un resumen para el monte de Siete Aguas, y en la **Tabla 5-18** para el Monte de Buñol. En el **Mapa 13-Restauración Hidrológico-Forestal, Hoja 3** se localizan las áreas correspondientes a cada tipo de tratamiento selvícola.

| MONTE V068 – Término municipal de Siete Aguas   |            |   |
|---|------------|---|
| Uso del suelo   | Superficie | Tratamientos selvícolas   |
| Masas forestales de gran espesura de coníferas y frondosas, y con erosión inferior a la tolerable | 1380 ha    | Claras mixtas<br>Podas<br>Resalveos de conversión a monte alto              |
| Masas de espesura media de matorral, coníferas y frondosas con erosión inferior a la tolerable    | 148 ha     | Claras mixtas<br>Podas<br>Resalveos de conversión a monte alto<br>Desbroces |

Tabla 5-17. Tratamientos selviculturales en el Monte V068 (Siete Aguas) de la Cabecera de cuenca del río Buñol. Fuente: elaboración propia.

| MONTE V066 – Término municipal de Buñol   |            |   |
|---|------------|---|
| Uso del suelo   | Superficie | Tratamientos selvícolas   |
| Masas forestales de gran espesura de coníferas y frondosas, y con erosión inferior a la tolerable         | 740 ha     | Claras mixtas<br>Podas<br>Resalveos de conversión a monte alto              |
| Masas forestales de espesura media de matorral, coníferas y frondosas con erosión inferior a la tolerable | 730 ha     | Claras mixtas<br>Podas<br>Resalveos de conversión a monte alto<br>Desbroces |

Tabla 5-18. Tratamientos selviculturales en el Monte V066 (Buñol) de la Cabecera de cuenca del río Buñol. Fuente: elaboración propia.

### 5.3 Medidas de conservación de suelos

De la misma forma que se han identificado las zonas de repoblación y tratamientos selviculturales, a partir de la ordenación agrohidrológica realizada en el **Apartado 4**, se identifican las áreas en las que se van a aplicar las medidas de conservación de suelos. Al final de dicha sección figura la **Tabla 4-5** en la que se asignan diferentes códigos a cada ordenación, describiendo además los usos existentes.

El área que requiere medidas de conservación de suelos es la correspondiente al Código de ordenación **8-Mantener uso agrícola con prácticas de conservación**. Corresponde a áreas de productos hortícolas y frutales, pero principalmente predominan los cultivos de secano, los cuales mantienen el suelo desnudo durante largas épocas del año. Además, en estas áreas se ha obtenido una pendiente mayor del 12%. Esta situación da lugar a una erosión importante del suelo y por ello es necesario

mantener y aplicar prácticas de conservación. Existen principalmente dos tipos de medidas de conservación de suelos, las medidas preventivas y las medidas de defensa.

Las medidas preventivas son esencialmente de tipo cultural y destinadas a las prácticas agrícolas en los campos de cultivos. Para el caso de estudio el **laboreo a nivel** es una medida cultural básica para reducir la erosión del suelo, nunca se debe realizar en línea de máxima pendiente, y no sólo el laboreo, si no la disposición del cultivo también debe de ser según curvas de nivel. El objetivo es la mejora de las propiedades del suelo (estructura, contenido de materia orgánica, permeabilidad, fertilidad, etc.), y control de la escorrentía superficial. Otra medida adicional es la ordenación de la cubierta vegetal, en casos muy extremos se puede recurrir al cambio de uso, bien sustitución por especies agronómicas que disminuyan las tasas de erosión, como pueden ser los pastos o ya directamente cambio de uso agrícola a forestal.

Las medidas de defensa hacen referencia principalmente a obras estructurales que tienen como objetivo minimizar la pendiente y por tanto la erosión hídrica del suelo. Por tanto, una de las medidas necesarias es la reconstrucción de los bancales deteriorados, con el fin de aprovechar su efecto hidrológico respecto a la disminución de la escorrentía y aumento de la capacidad de infiltración. De este modo se logran volúmenes de suelo con espesor mayor y una gran disminución de la pendiente.

En la **Tabla 5-19** se muestra un resumen con las superficies ocupadas por cada monte. Se puede observar que la superficie en Siete Aguas es muy elevada, por tanto se centrarán los esfuerzos en las superficies agrícolas más deterioradas, reconstruyendo por una parte los bancales existentes o bien cambiando su uso. En el **Mapa 13-Hoja 4**, se localizan las áreas correspondientes a las prácticas de conservación de suelos.

| Uso agrícola con prácticas de conservación de suelos |        |
|--|--------|
| MONTE V068 - Siete Aguas                             | 220 ha |
| MONTE V066 - Buñol                                   | 27 ha  |

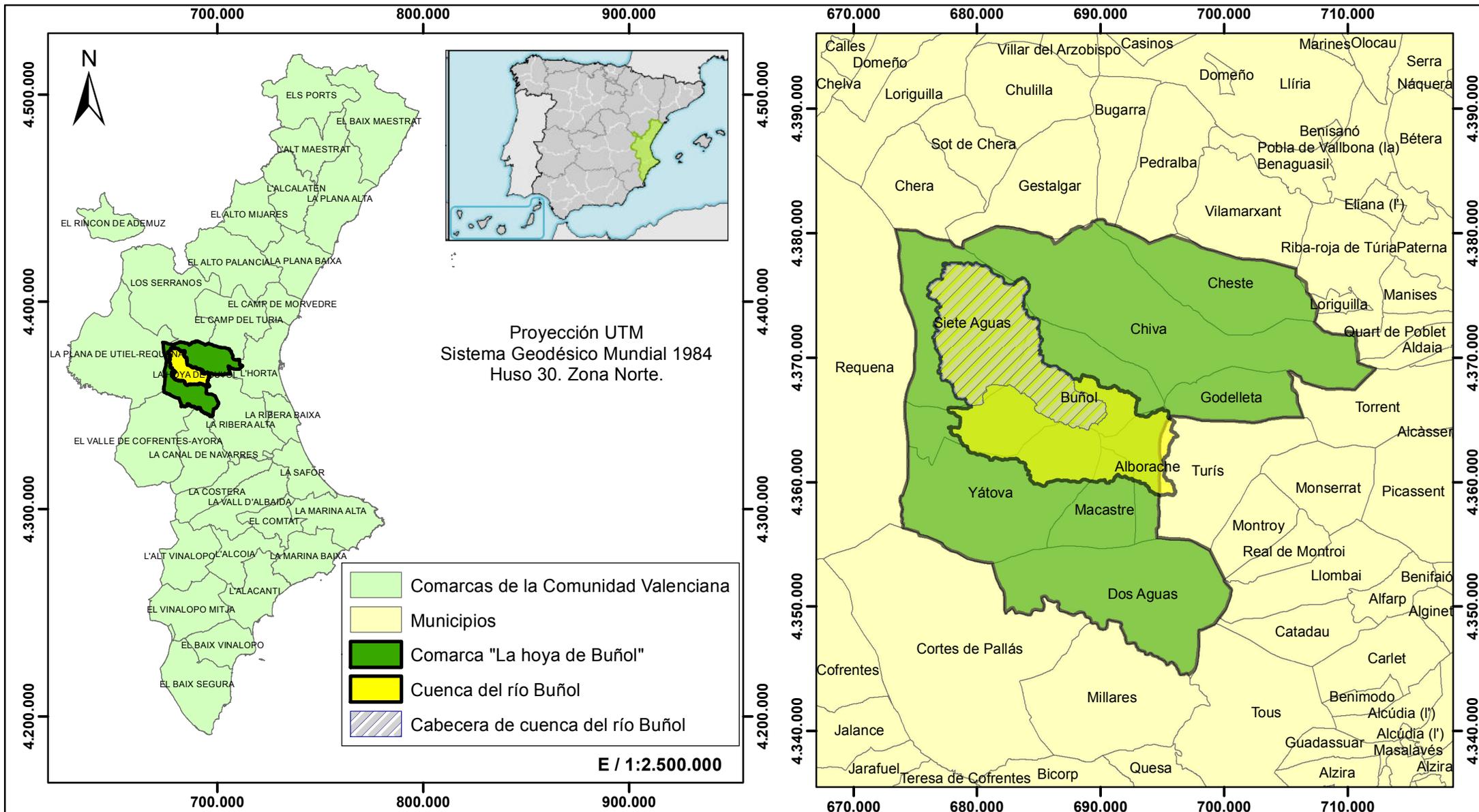
Tabla 5-19. Superficie ocupada por prácticas de conservación de suelos en el Monte V068 y Monte V066 de la Cabecera de cuenca del río Buñol. Fuente: elaboración propia.



**6. MAPAS**

|   |     |
|---|-----|
| Mapa 1-Hoja 1: Localización administrativa .....                                    | 139 |
| Mapa 1-Hoja 2: Localización geográfica .....  | 141 |
| Mapa 2: Topografía .....  | 143 |
| Mapa 3: Geología.....   | 145 |
| Mapa 4: Edafología.....   | 147 |
| Mapa 5: Vegetación.....   | 149 |
| Mapa 6: Cuenca vertiente .....  | 151 |
| Mapa 7: Altitudes .....   | 153 |
| Mapa 8: Pendientes.....   | 155 |
| Mapa 9: Unidades hidrológicas .....   | 157 |
| Mapa 10: Usos del suelo.....  | 159 |
| Mapa 11: Estados erosivos .....   | 161 |
| Mapa 12: Ordenación Agrohidrológica .....   | 163 |
| Mapa 13-Hoja 1: Restauración Hidrológico-Forestal. Hidrotecnias.....                | 165 |
| Mapa 13-Hoja 2: Restauración Hidrológico-Forestal. Repoblaciones.....               | 167 |
| Mapa 13-Hoja 3: Restauración Hidrológico-Forestal. Tratamientos selviculturales ... | 169 |





MAPA Nº 1

HOJA 1 DE 1

RESTAURACIÓN HIDROLÓGICO FORESTAL DE LA CABECERA DE CUENCA DEL RÍO BUÑOL

# LOCALIZACIÓN



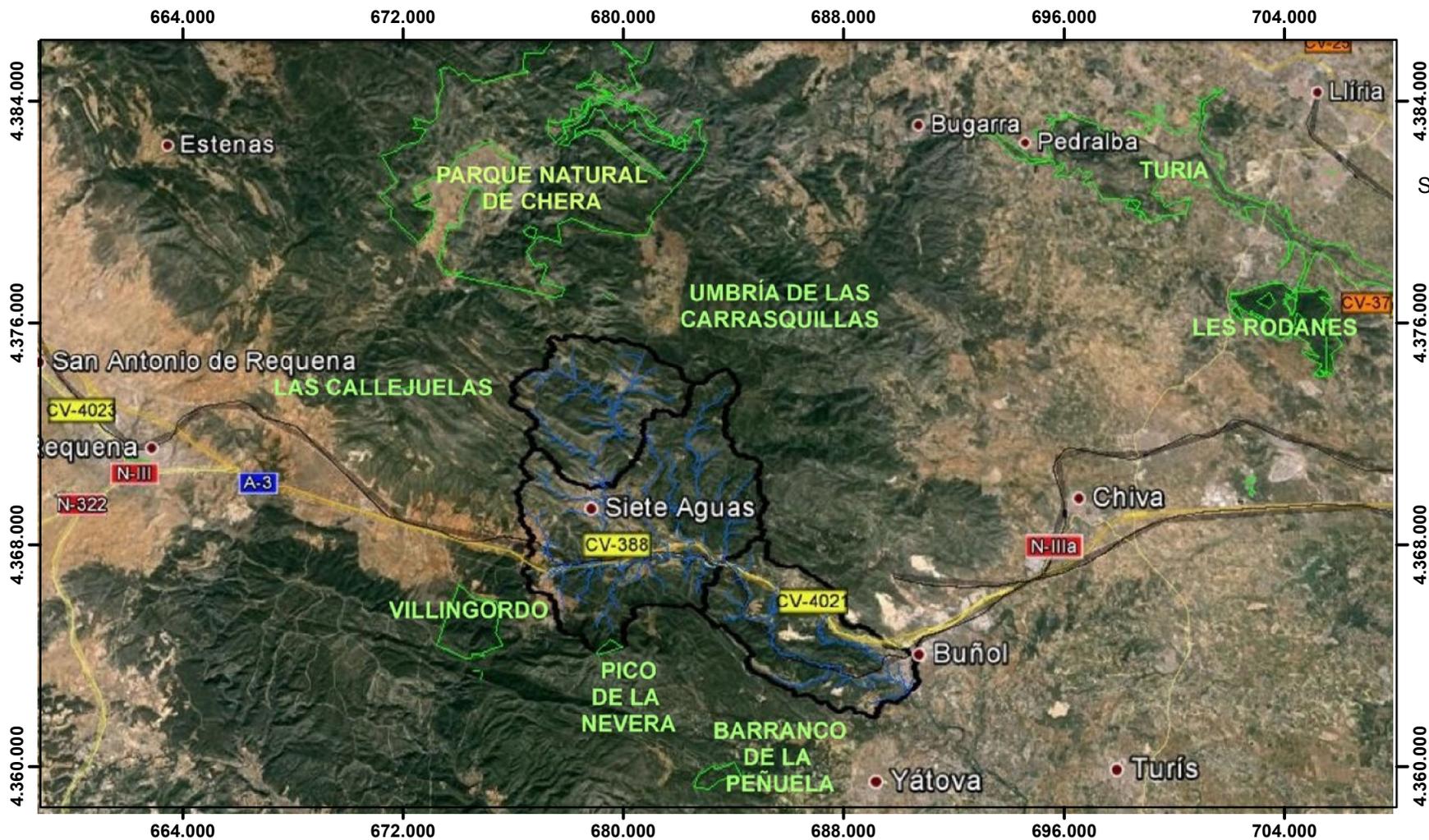
UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

Autora: Lorena Navarro López

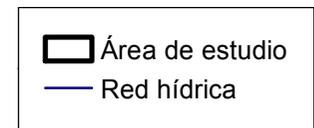
Ingeniera de Montes

SEPTIEMBRE 2013





Proyección UTM  
Sistema Geodésico Mundial 1984  
Huso 30. Zona Norte.



MAPA Nº 1    HOJA 2 DE 2    E / 1:225.000    RESTAURACIÓN HIDROLÓGICO FORESTAL DE LA CABECERA DE CUENCA DEL RÍO BUÑOL

# LOCALIZACIÓN



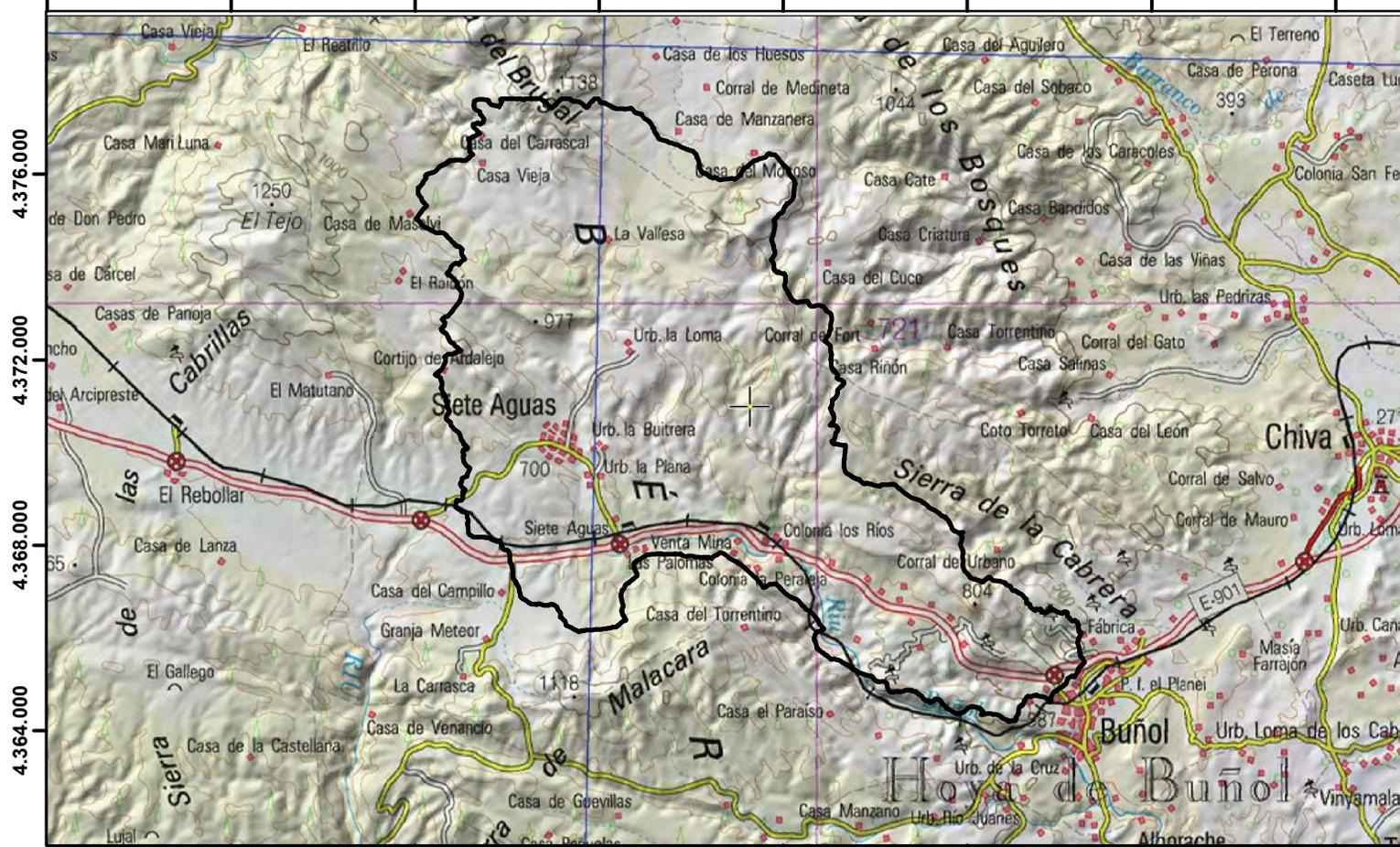
UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

Autora: Lorena Navarro López  
Ingeniera de Montes

SEPTIEMBRE 2013



668.000 672.000 676.000 680.000 684.000 688.000 692.000 696.000



668.000 672.000 676.000 680.000 684.000 688.000 692.000 696.000



Proyección UTM  
Sistema Geodésico Mundial 1984  
Huso 30. Zona Norte.

□ Área de estudio

|           |             |               |  |  |
|-----------|-------------|---------------|--|--|
| MAPA Nº 2 | HOJA 1 DE 1 | E / 1:150.000 | RESTAURACIÓN HIDROLÓGICO FORESTAL DE LA CABECERA DE CUENCA DEL RÍO BUÑOL |  |
|-----------|-------------|---------------|--|--|

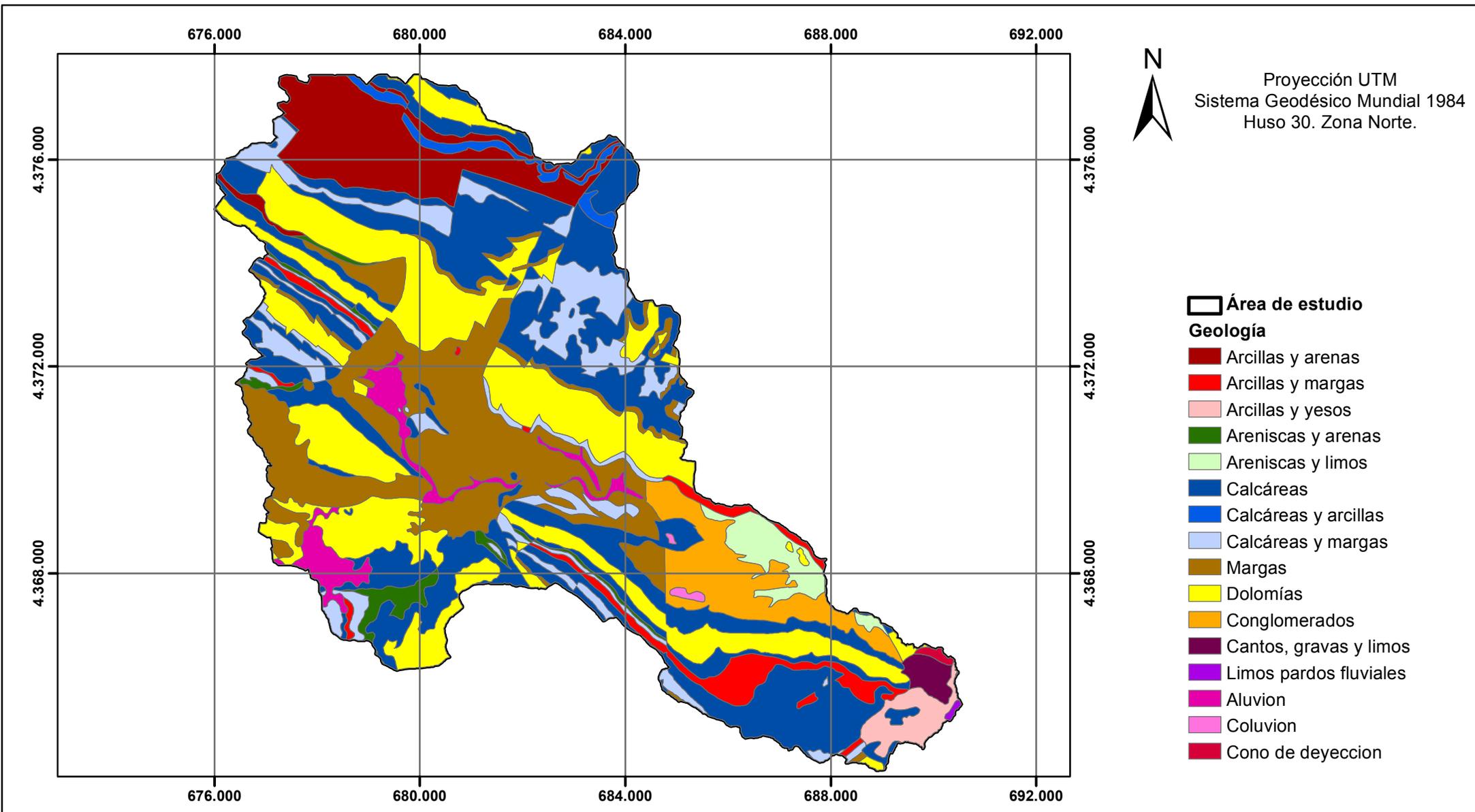
**TOPOGRAFÍA**



Autora: Lorena Navarro López  
Ingeniera de Montes

SEPTIEMBRE 2013





MAPA Nº 3    HOJA 1 DE 1    E / 1:100.000    RESTAURACIÓN HIDROLÓGICO FORESTAL DE LA CABECERA DE CUENCA DEL RÍO BUÑOL

# GEOLOGÍA



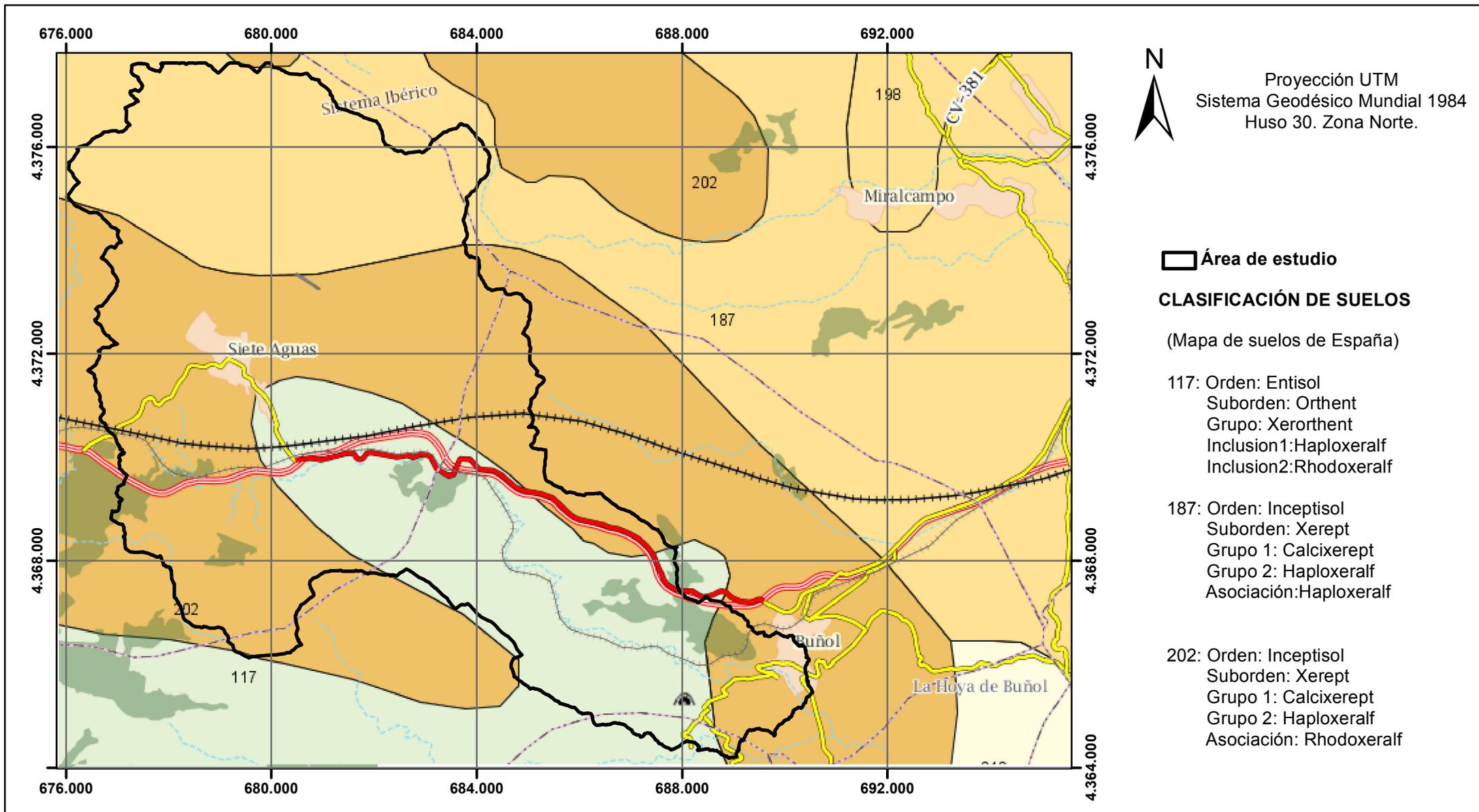
UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

Autora: Lorena Navarro López

Ingeniera de Montes

SEPTIEMBRE 2013





MAPA Nº 4

HOJA 1 DE 1

E / 1:100.000

RESTAURACIÓN HIDROLÓGICO FORESTAL DE LA CABECERA DE CUENCA DEL RÍO BUÑOL

**EDAFOLOGÍA**



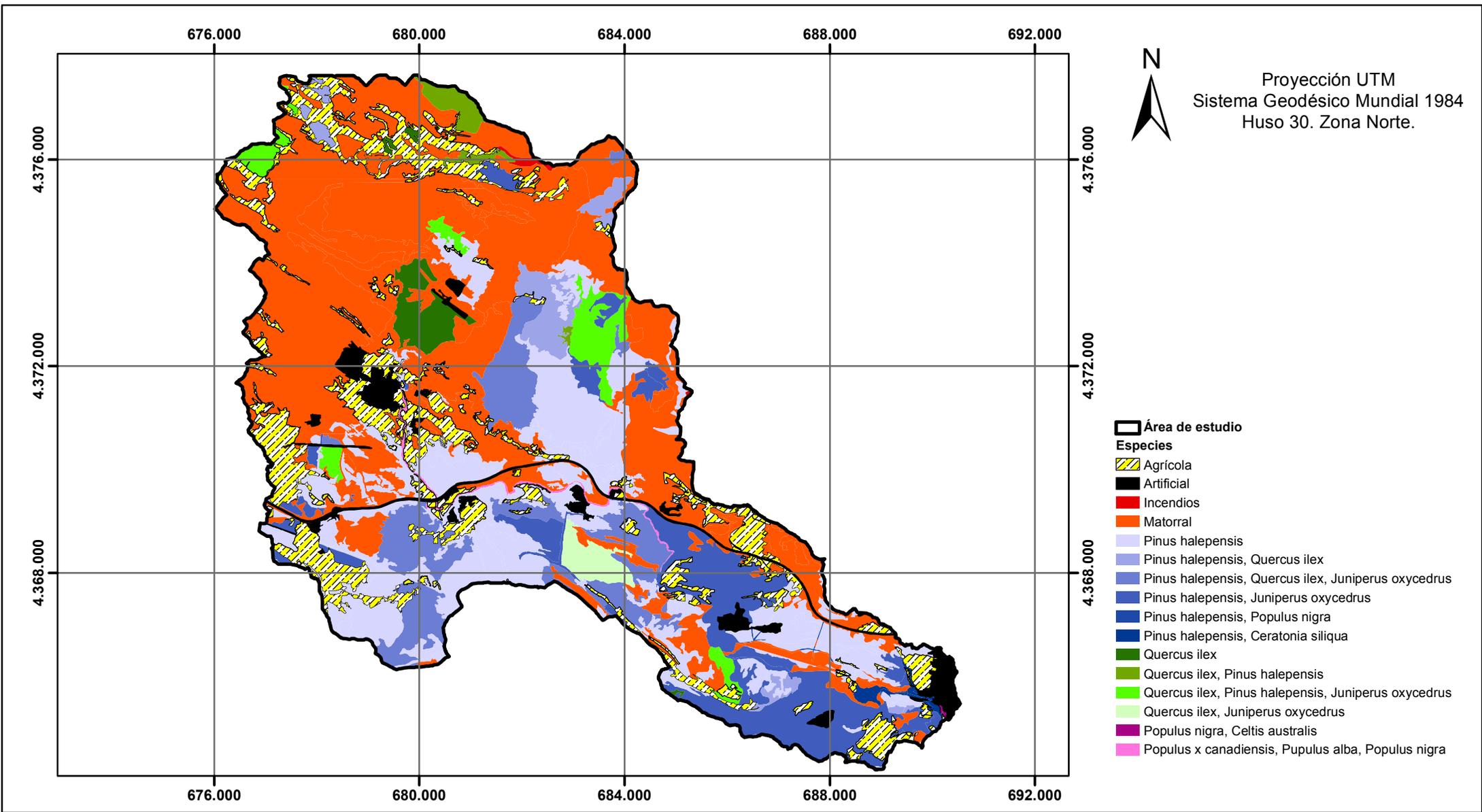
UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

Autora: Lorena Navarro López

Ingeniera de Montes

SEPTIEMBRE 2013





MAPA Nº 5    HOJA 1 DE 1    E / 1:100.000    RESTAURACIÓN HIDROLÓGICO FORESTAL DE LA CABECERA DE CUENCA DEL RÍO BUÑOL

**VEGETACIÓN**

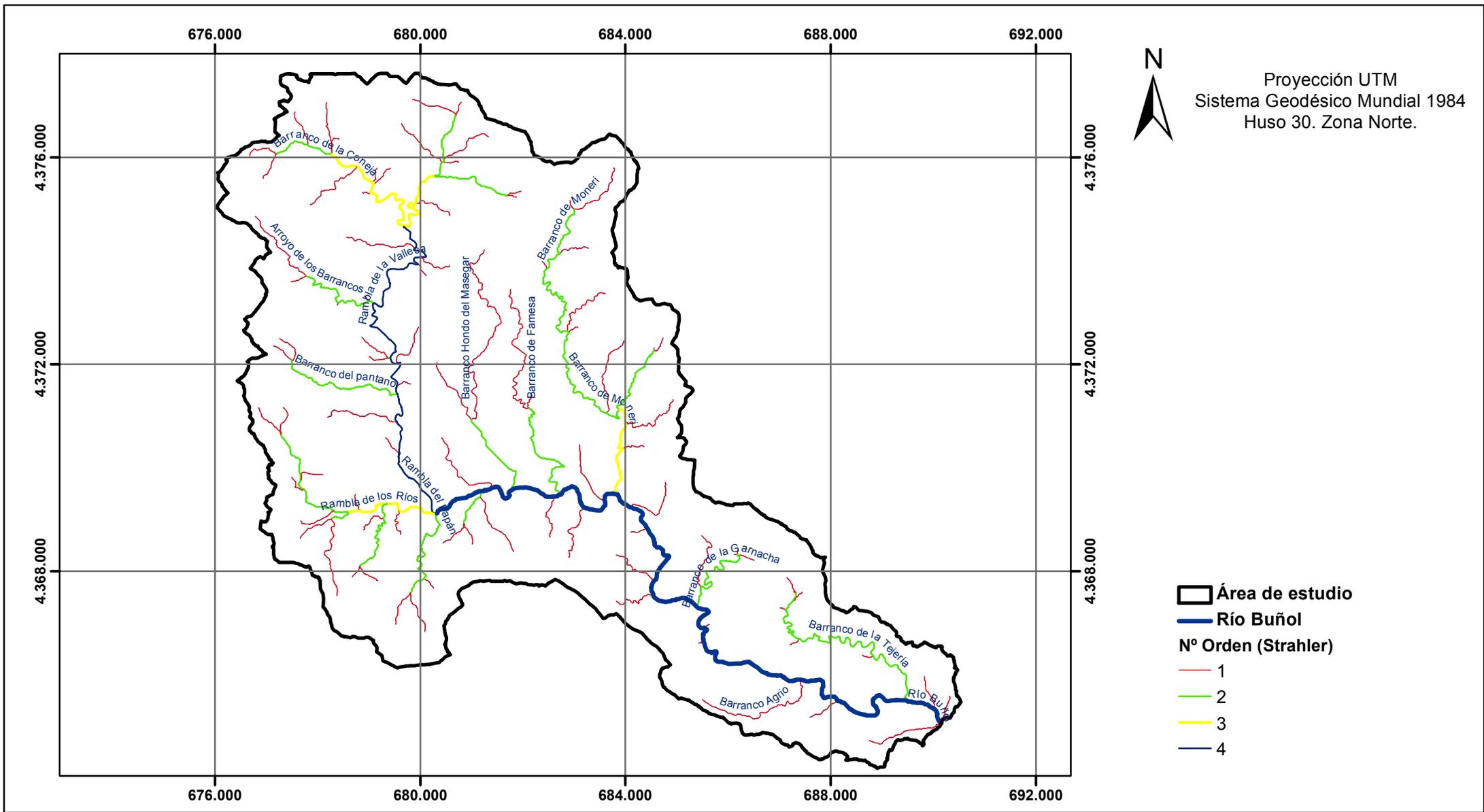
149



Autora: Lorena Navarro López  
Ingeniera de Montes

SEPTIEMBRE 2013





MAPA N° 6    HOJA 1 DE 1    E / 1:100.000    RESTAURACIÓN HIDROLÓGICO FORESTAL DE LA CABECERA DE CUENCA DEL RÍO BUÑOL

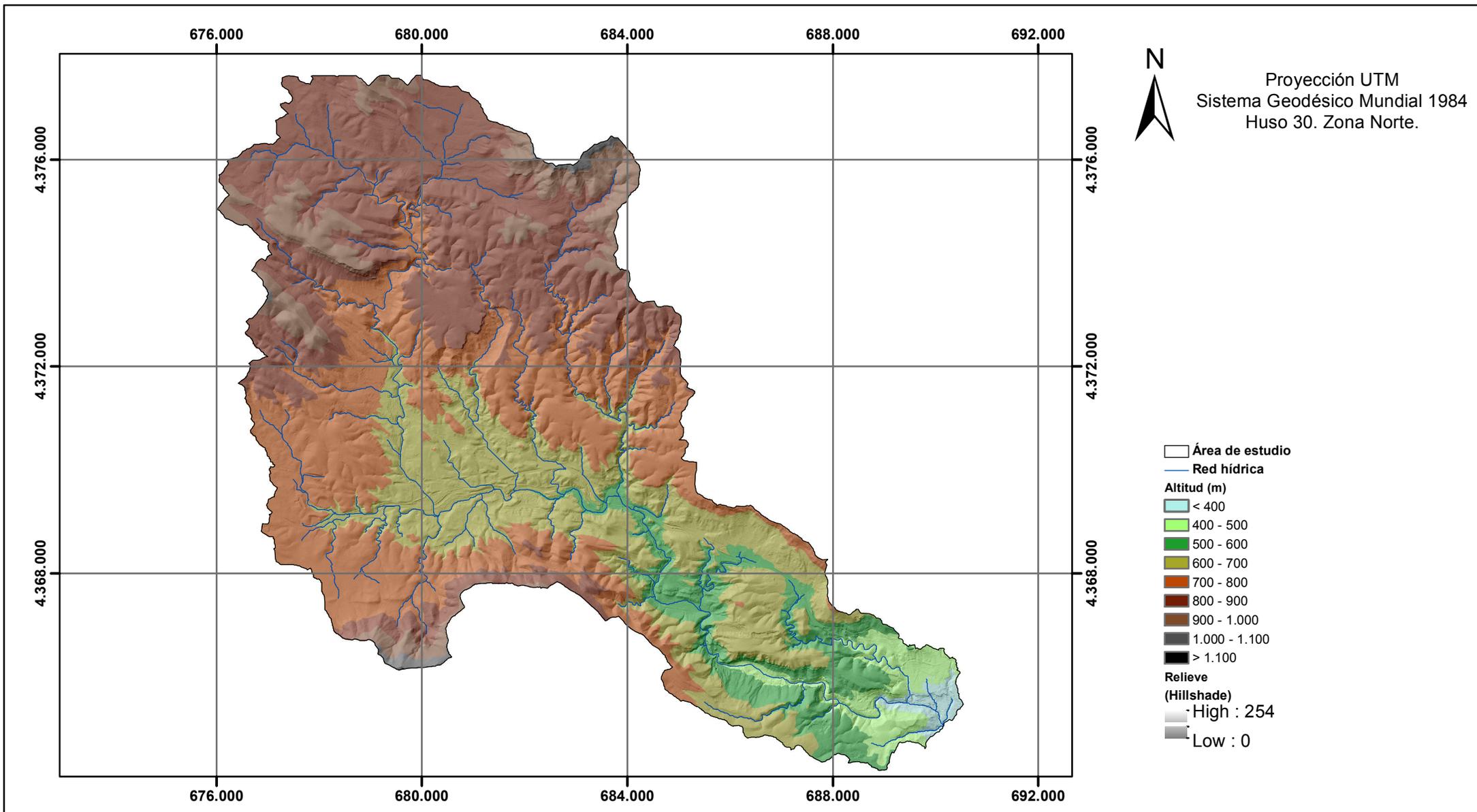
**CUENCA VERTIENTE**



Autora: Lorena Navarro López  
Ingeniera de Montes

SEPTIEMBRE 2013





MAPA Nº 7    HOJA 1 DE 1    E / 1:100.000    RESTAURACIÓN HIDROLÓGICO FORESTAL DE LA CABECERA DE CUENCA DEL RÍO BUÑOL

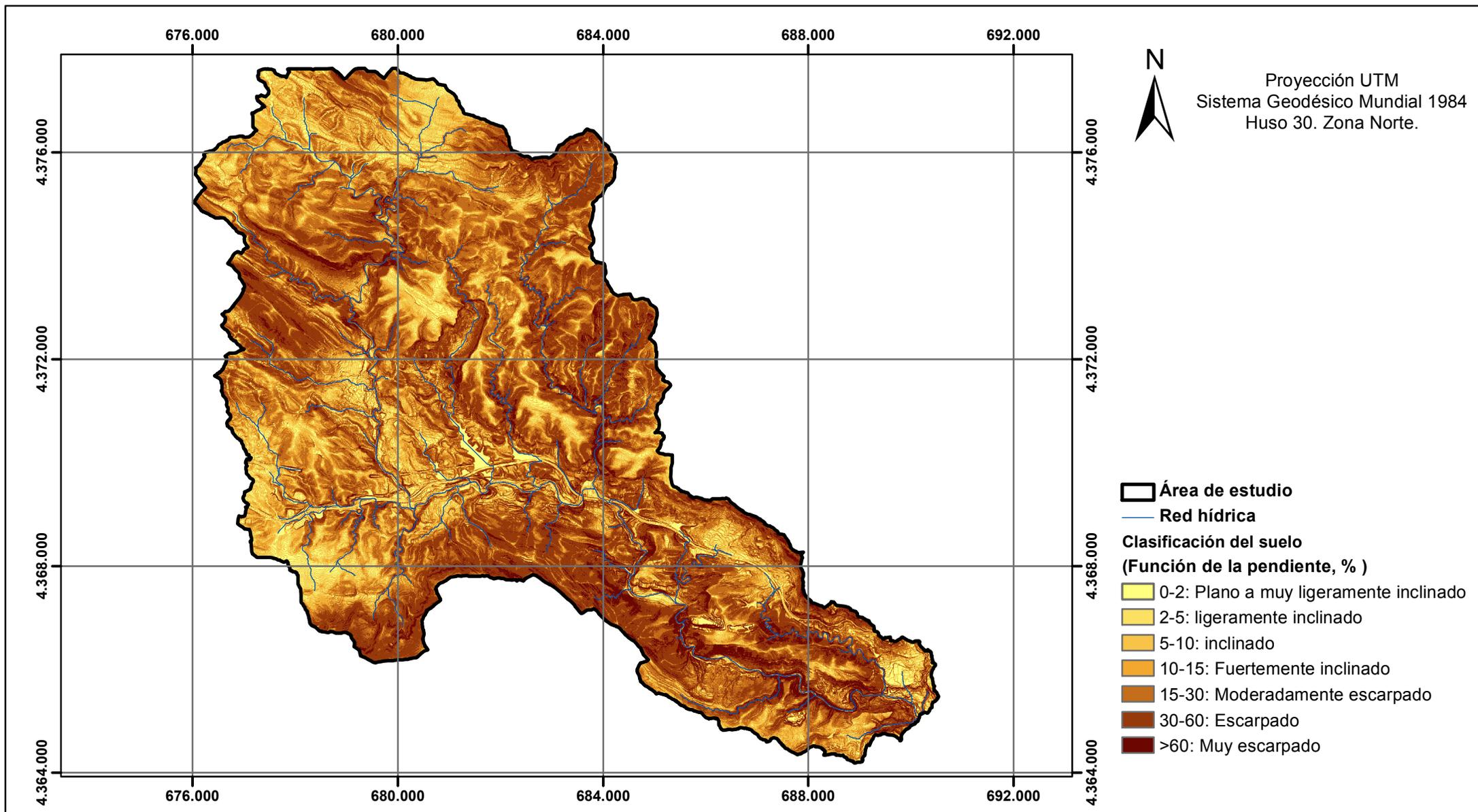
**ALTITUDES**



Autora: Lorena Navarro López  
Ingeniera de Montes

SEPTIEMBRE 2013





MAPA Nº 8

HOJA 1 DE 1

E / 1:100.000

RESTAURACIÓN HIDROLÓGICO FORESTAL DE LA CABECERA DE CUENCA DEL RÍO BUÑOL

# PENDIENTES



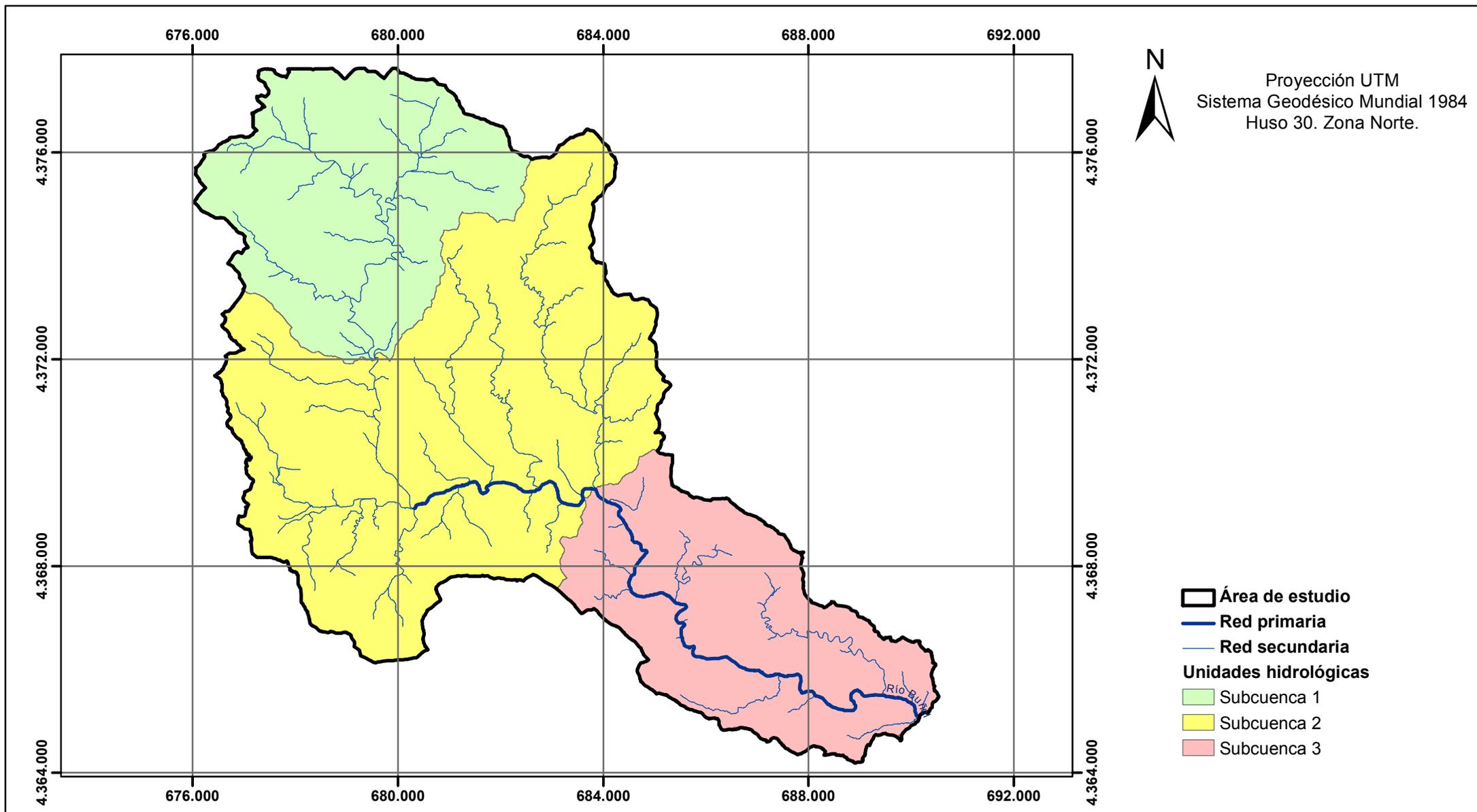
UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

Autora: Lorena Navarro López

Ingeniera de Montes

SEPTIEMBRE 2013





MAPA Nº 9

HOJA 1 DE 1

E / 1:100.000

RESTAURACIÓN HIDROLÓGICO FORESTAL DE LA CABECERA DE CUENCA DEL RÍO BUÑOL

**UNIDADES HIDROLÓGICAS**



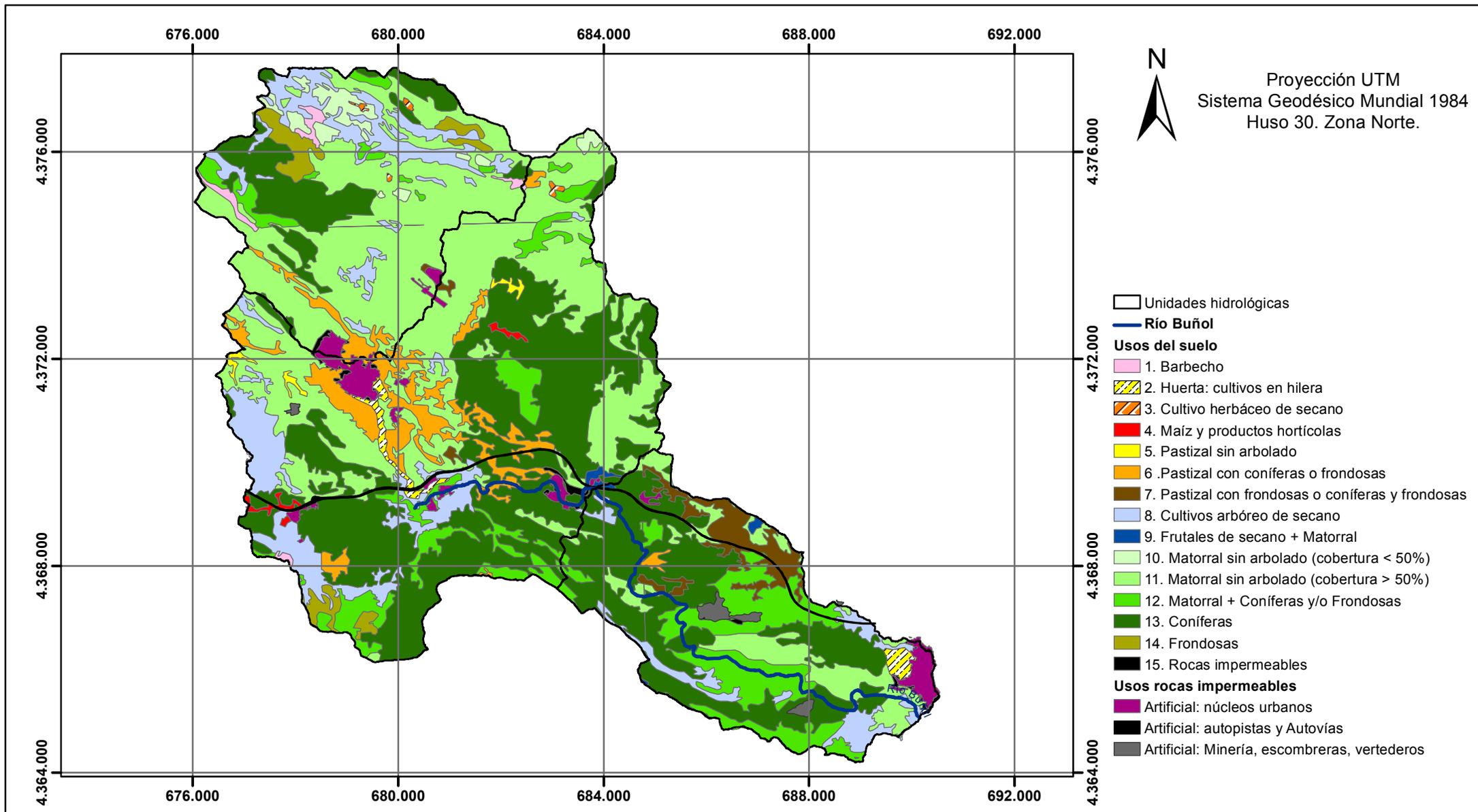
UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

Autora: Lorena Navarro López

Ingeniera de Montes

SEPTIEMBRE 2013





MAPA Nº 10

HOJA 1 DE 1

E / 1:100.000

RESTAURACIÓN HIDROLÓGICO FORESTAL DE LA CABECERA DE CUENCA DEL RÍO BUÑOL

# USOS DEL SUELO



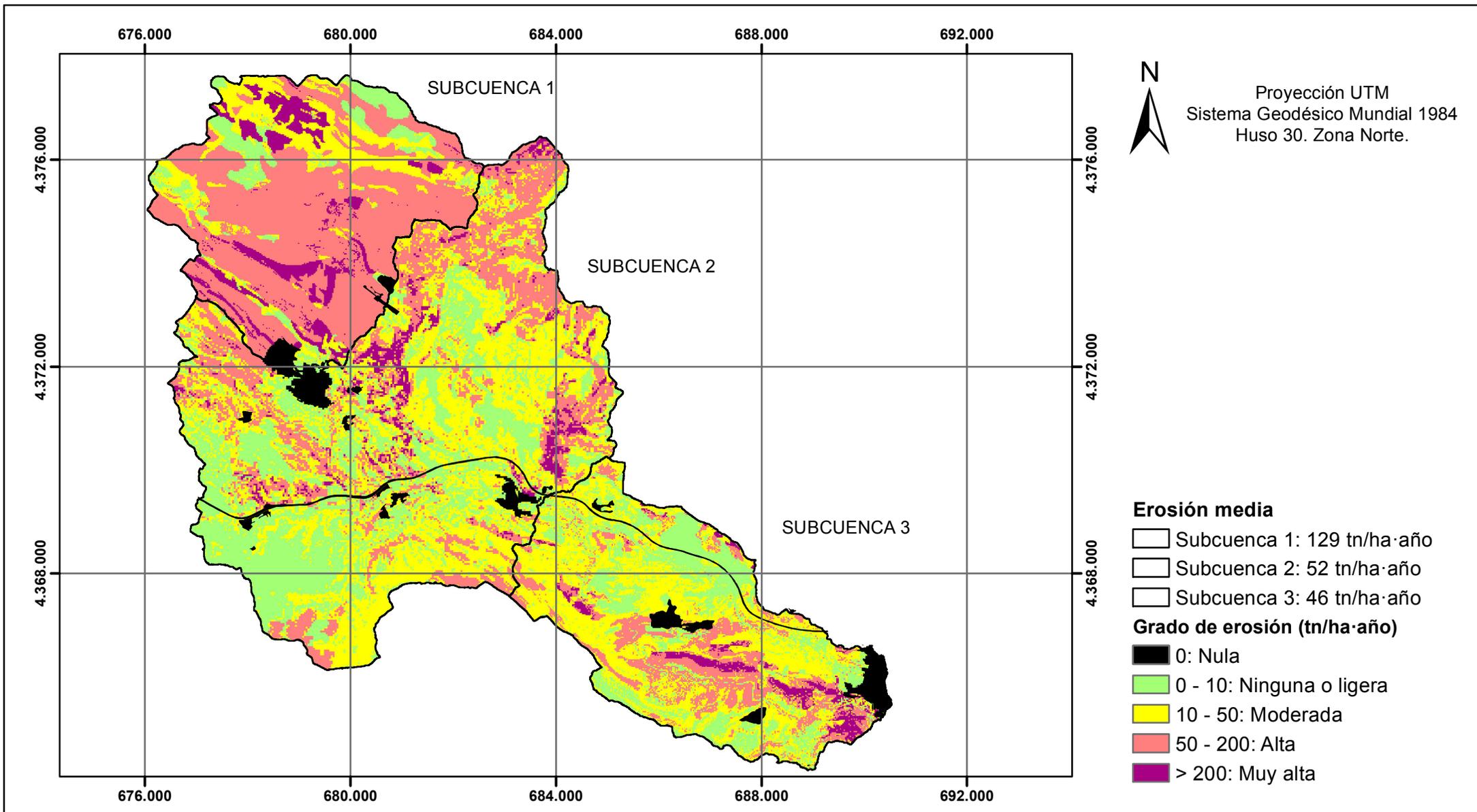
UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

Autora: Lorena Navarro López

Ingeniera de Montes

SEPTIEMBRE 2013





MAPA Nº 11    HOJA 1 DE 1    E / 1:100.000

RESTAURACIÓN HIDROLÓGICO FORESTAL DE LA CABECERA DE CUENCA DEL RÍO BUÑOL

**ESTADOS EROSIVOS**

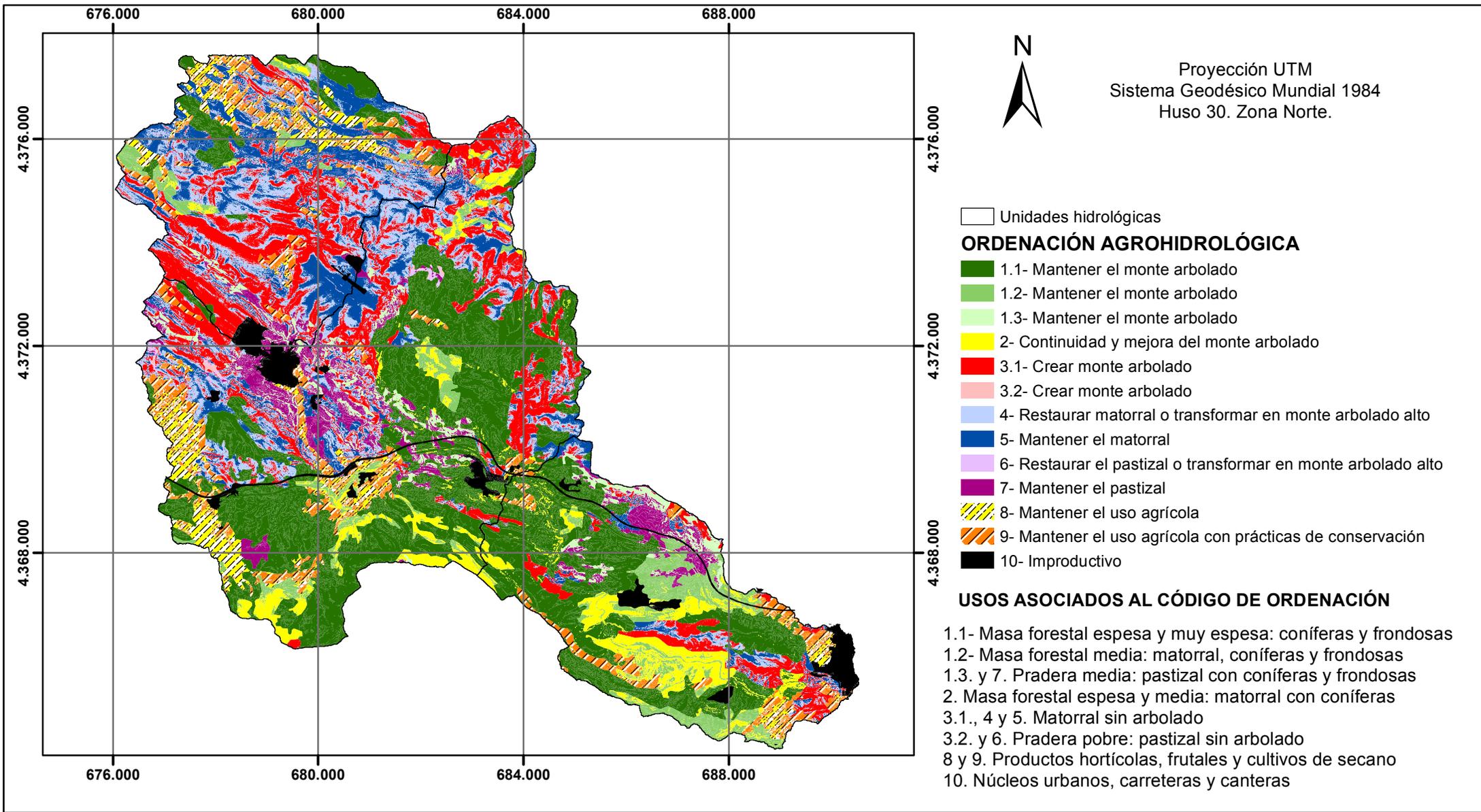
161



Autora: Lorena Navarro López  
Ingeniera de Montes

SEPTIEMBRE 2013





MAPA Nº 12    HOJA 1 DE 1    E / 1:100.000    RESTAURACIÓN HIDROLÓGICO FORESTAL DE LA CABECERA DE CUENCA DEL RÍO BUÑOL

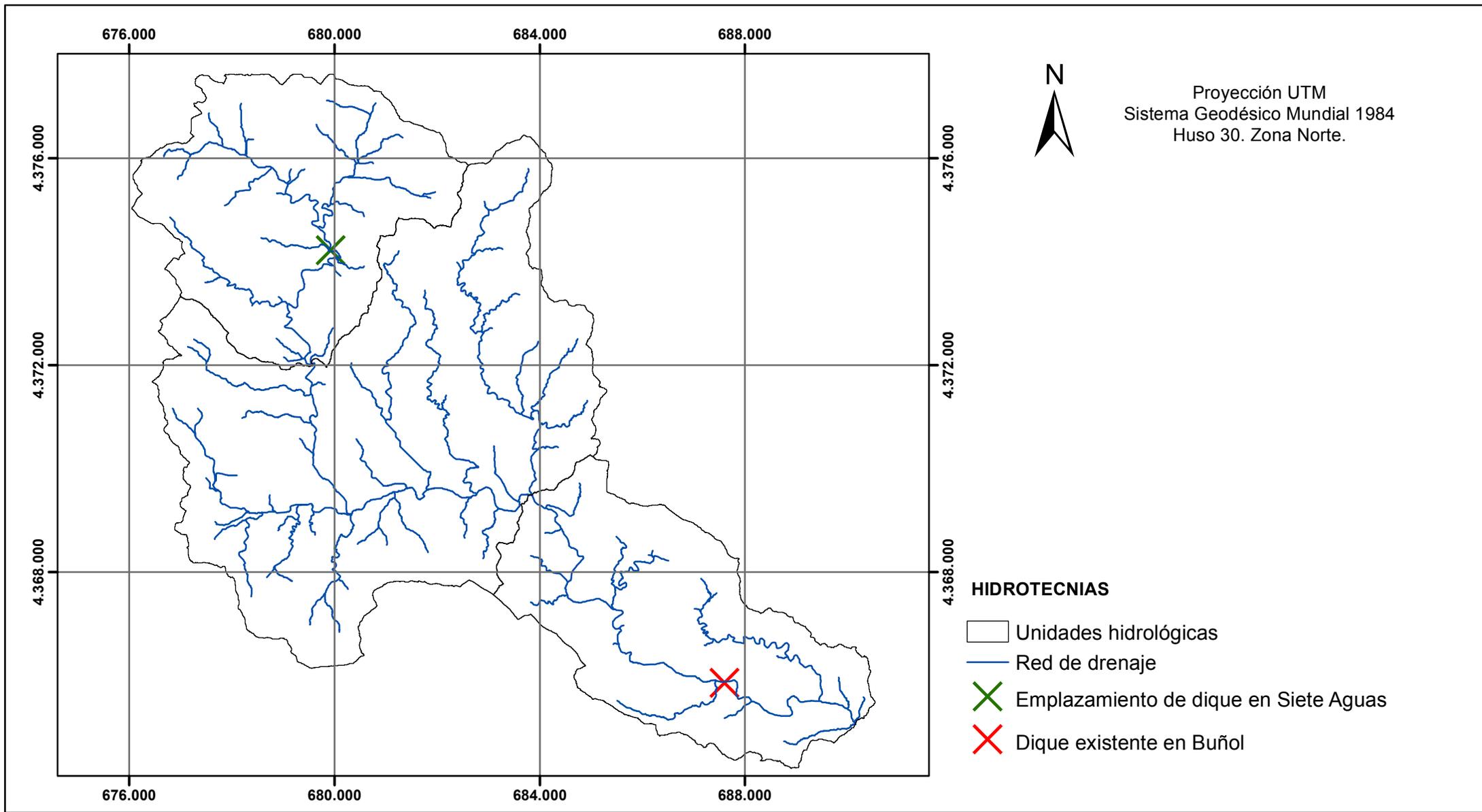
**ORDENACIÓN AGROHIDROLÓGICA**



Autora: Lorena Navarro López  
Ingeniera de Montes

SEPTIEMBRE 2013





|            |             |               |   |
|------------|-------------|---------------|---|
| MAPA Nº 13 | HOJA 1 DE 4 | E / 1:100.000 | <b>RESTAURACIÓN HIDROLÓGICO FORESTAL DE LA CABECERA DE CUENCA DEL RÍO BUÑOL</b> |
|------------|-------------|---------------|---|

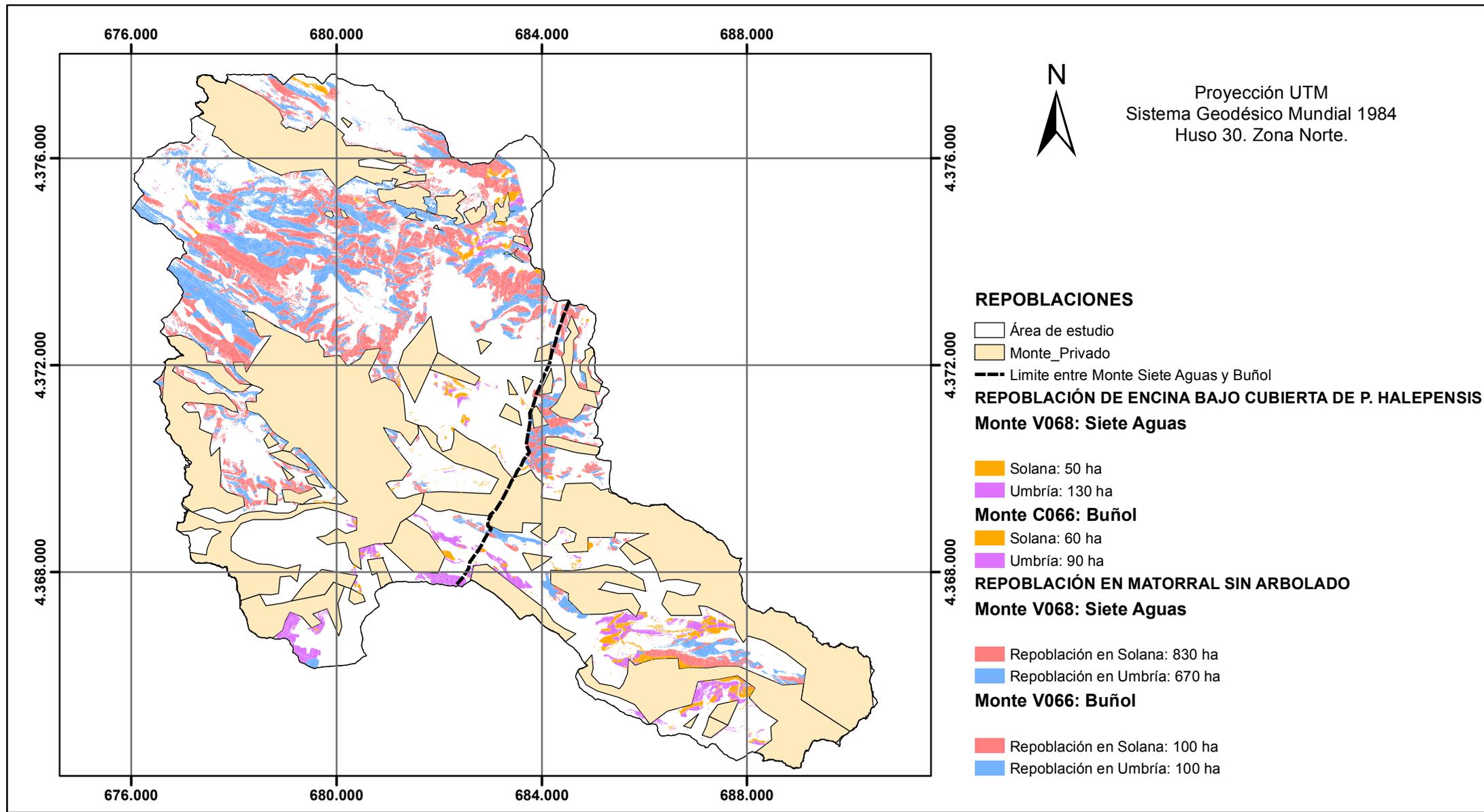
**RESTAURACIÓN  
HIDROLÓGICO FORESTAL**



Autora: Lorena Navarro López  
Ingeniera de Montes

SEPTIEMBRE 2013





MAPA Nº 13    HOJA 2 DE 4    E / 1:100.000

RESTAURACIÓN HIDROLÓGICO FORESTAL DE LA CABECERA DE CUENCA DEL RÍO BUÑOL

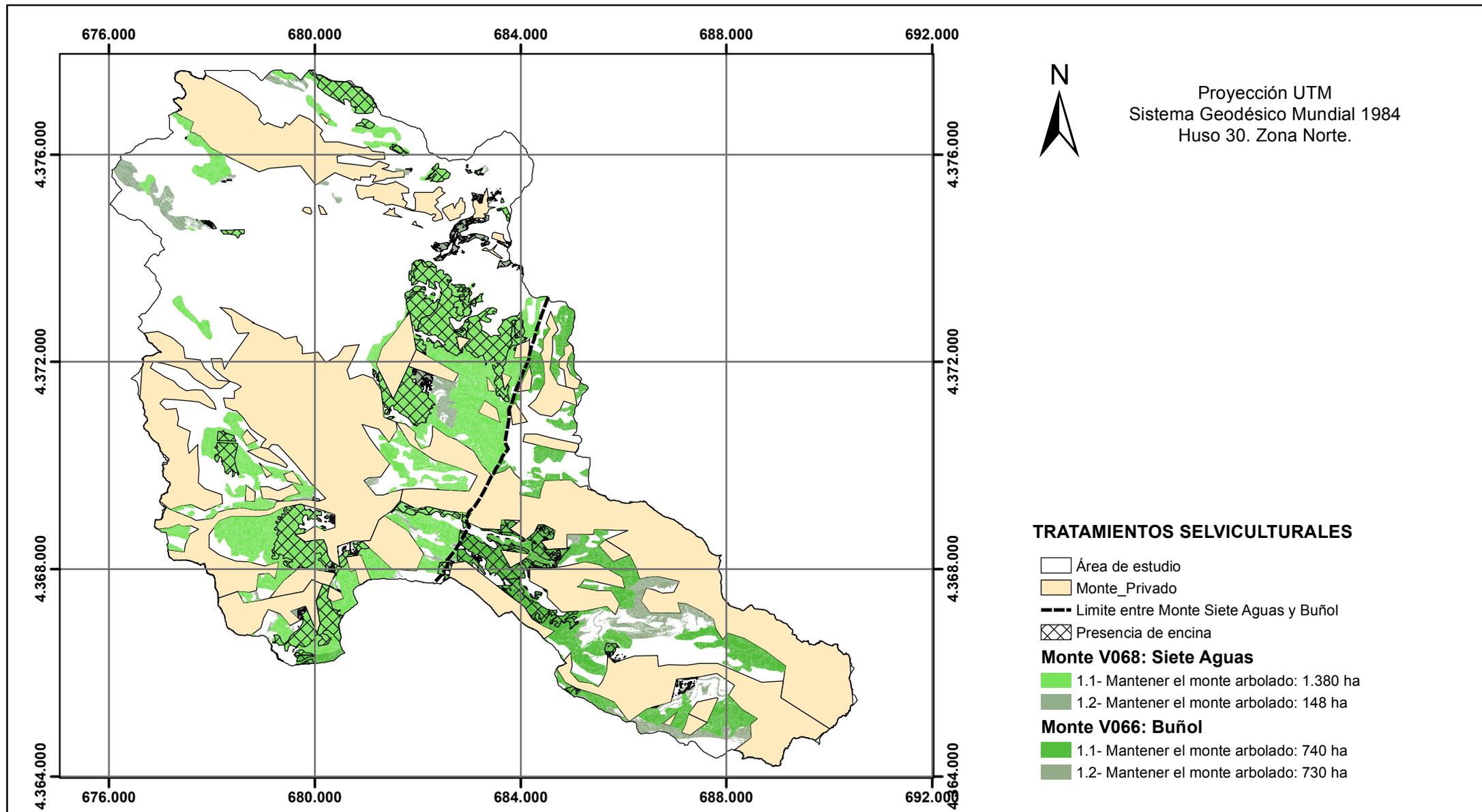
**RESTAURACIÓN  
HIDROLÓGICO FORESTAL**



Autora: Lorena Navarro López  
Ingeniera de Montes

SEPTIEMBRE 2013





MAPA Nº 13    HOJA 3 DE 4    E / 1:100.000    RESTAURACIÓN HIDROLÓGICO FORESTAL DE LA CABECERA DE CUENCA DEL RÍO BUÑOL

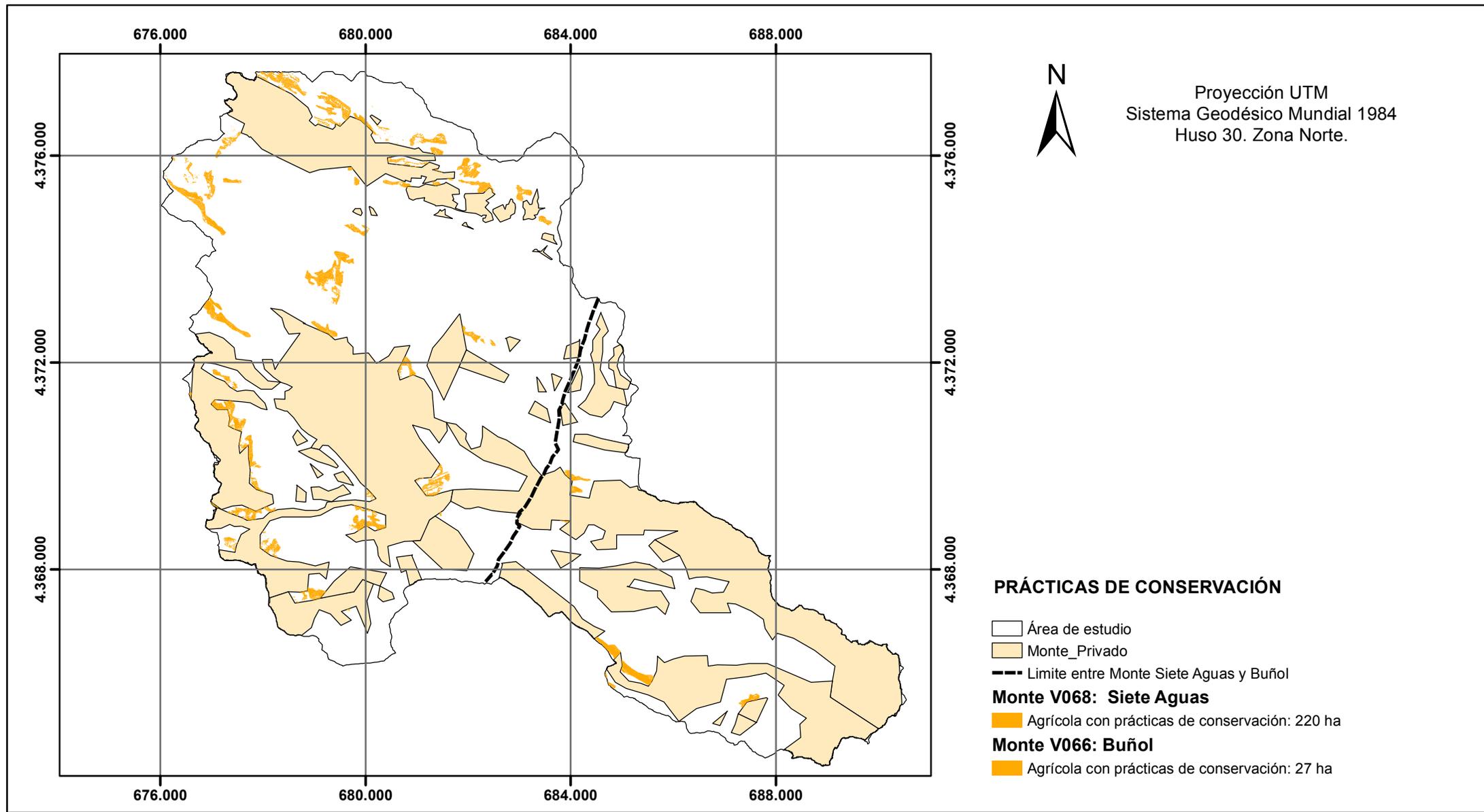
**RESTAURACIÓN  
HIDROLÓGICO FORESTAL**



Autora: Lorena Navarro López  
Ingeniera de Montes

SEPTIEMBRE 2013





|            |             |               |  |
|------------|-------------|---------------|--|
| MAPA Nº 13 | HOJA 4 DE 4 | E / 1:100.000 | RESTAURACIÓN HIDROLÓGICO FORESTAL DE LA CABECERA DE CUENCA DEL RÍO BUÑOL |
|------------|-------------|---------------|--|

**RESTAURACIÓN  
HIDROLÓGICO FORESTAL**



Autora: Lorena Navarro López  
Ingeniera de Montes

SEPTIEMBRE 2013



## 7. BIBLIOGRAFÍA

ALMOROX A., J; LÓPEZ B., F; RAFAELLI S. 2010. La degradación de los suelos por erosión hídrica. Universidad de Murcia.

BARRIOS R., A. G. 2000. Distribución espacial del factor LS (RUSLE) usando procedimientos SIG compatibles con IDRISI aplicación en una microcuenca andina. Universidad de los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Mérida (Venezuela)

Disponible en:

[http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/24185/1/articulo44\\_1\\_6.pdf](http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/24185/1/articulo44_1_6.pdf)

Consultado el 10 de agosto de 2013

CASANOVA H., J.M.; BOVÉ, C; PASTOR S., J. La geología de la Comarca Buñol – Chiva.

Disponible en:

[http://www.iecomarcales.org/htm/LIBRO1\\_archivos/REV1/FRAME12.HTM](http://www.iecomarcales.org/htm/LIBRO1_archivos/REV1/FRAME12.HTM)

Consultado el 21 de julio de 2013.

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA (CATIE). ArcGIS aplicados al Manejo de Recursos Naturales. Erosión de suelos utilizando la RUSLE. Costa Rica.

Disponible en:

[http://intranet.catie.ac.cr/intranet/posgrado/topico\\_iv\\_2008/ejercicio\\_2/ejercicio\\_2\\_erosion\\_suelos.pdf](http://intranet.catie.ac.cr/intranet/posgrado/topico_iv_2008/ejercicio_2/ejercicio_2_erosion_suelos.pdf)

Consultado el 4 de julio de 2013

CHOW V., T. 1982. Hidráulica de los Canales Abiertos. Primera edición, Editorial Diana. México. 1982.

C.I.A. 2008. (CONSELLERIA DE INFRAESTRUCTURAS, TERRITORIO Y MEDIO AMBIENTE). Metodología del Método Modificado de Témez para cálculo de caudales máximos.

Disponible en:

[http://www.cma.gva.es/areas/urbanismo\\_ordenacion/infadm/publicaciones/pdf/infundacion/3.pdf](http://www.cma.gva.es/areas/urbanismo_ordenacion/infadm/publicaciones/pdf/infundacion/3.pdf)

Consultado el 4 de julio de 2013

DÍAZ A., M. C. Agricultura y Medio Ambiente. Madrid: Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. ISBN: 84-7433-558-2

FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). 1985. Boletín de Suelos N° 52. FAO, Roma, Italy.

IBÁÑEZ A., S.; GISBERT B., JM.; MORENO R., H. 2011. Morfología de las cuencas hidrológicas.

HERMOSILLA P., J. C. 1993. El aprovechamiento de los recursos hídricos del río Buñol: inventario de los artilugios hidráulicos.

Disponible en:

<http://benatularom.files.wordpress.com/2010/03/el-rc3ado-buc3b1ol.pdf>

Consultado el 31 de julio de 2013

IBÁÑEZ A., S.; GISBERT B., J. M.; MORENO R., H. Inceptisoles. Universitat Politècnica de València.

Disponible en:

<http://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/12884/inceptisoles.pdf>

Consultado el 25 de julio de 2013

LÓPEZ C., F. 1998. Restauración Hidrológico-Forestal de cuencas y control de la erosión. Coed. Tragsa-Tragsatec/M<sup>º</sup> Medio Ambiente/Mundi-Prensa. 2<sup>a</sup> ed.

MANTILLA R.; MESA O.; POVEDA G. 2007. Geometría, topología y morfometría de la cuencas Magdalena - Cauca y Atrato a partir de MDTs.

Disponible en:

[http://www.edeca.una.ac.cr/files/SIG%20Forestal/Grupo%202/Lectura\\_2.pdf](http://www.edeca.una.ac.cr/files/SIG%20Forestal/Grupo%202/Lectura_2.pdf)

Consultado el 3 de agosto de 2013

MARCO T., A. 2002. Doctora en medicina por la Universidad de Valencia. Balnearios valencianos durante el S XIX.

- MINTEGUI A., J; LÓPEZ U., F. 1990. La ordenación Agrohidrológica en la Planificación. Gobierno Vasco. Departamento de Agricultura y Pesca.
- MINTEGUI A., J; GARCÍA R., J. L.; ROBREDO S., J. C. 1993. La Restauración Hidrológico-Forestal en las cuencas hidrográficas de la vertiente mediterránea. Informaciones técnicas de la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía.
- NANÍA S., L. 2007. Manual básico de HEC-HMS. Departamento de Mecánica de Estructuras e Ingeniería Hidráulica. Universidad de Granada. España.
- RICHARDSON E., V.; SIMONS D., B; JULIEN P. 1990. Highway in the River Environment. FHWA-HI-90-016, Federal Highway Administration, U. S. Department of Transportation, Washington, D. C., 1990.
- RIVAS M., S; GUTIÉRREZ G., J. M.; ALLUÉ A., J. L.; MONTERO D. B., J. L.; GONZÁLEZ R., J. L. 1987. Memoria del mapa de series de vegetación de España. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. I.C.O.N.A.
- RIVAS M., S. 2005. Mapa de series, geoseries y geopermaseries de vegetación de España (memoria del mapa de vegetación potencial de España).  
Disponible en:  
[http://www.globalbioclimatics.org/book/mapa\\_series/mapa\\_series\\_01.pdf](http://www.globalbioclimatics.org/book/mapa_series/mapa_series_01.pdf)  
Consultado el 26 de julio de 2013.
- SERRADA, R. 2002. Apuntes de repoblaciones forestales. Fundación Conde del Valle de Salazar. Madrid.
- SERRADA, R.; MONTERO, G; MARTÍNEZ, J; FERNÁNDEZ, A. 2004. Restauración Hidrológico-Forestal. Pasado, presente y futuro. VII Cumbre de Desarrollo Sostenible. CONAMA.

## **PÁGINAS WEB CONSULTADAS**

Ayuntamiento de Buñol

Disponible en: <http://www.bunyor.es>

Consultada el 29 de julio de 2013

Ayuntamiento de Siete Aguas

Disponible en: <http://www.sieteaguas.es>

Consultada el 29 de julio de 2013

Conselleria d'Infraestructures, Territori y Medi Ambient

Disponible en: <http://www.cma.gva.es/web/>

Consultado el 15 de julio de 2013

Infraestructura de Datos Espaciales de España

Disponible en: <http://www.ideo.es/>

Consultado el 22 de julio de 2013

Instituto Geográfico y Minero de España

Disponible en: <http://www.igme.es>

Consultado el 22 de julio de 2013

Instituto Nacional de Estadística

Disponible en: [www.ive.es](http://www.ive.es)

Consultado el 29 de julio de 2013

Instituto Valenciano de Estadística

Disponible en: [www.ine.es](http://www.ine.es)

Consultado el 29 de julio de 2013

Ministerio de Alimentación, Agricultura y Medio Ambiente

Disponible en: <http://www.magrama.gob.es/es/>

Consultado el 20 de julio de 2013

Programa para el cálculo del balance hídrico de mediante el Método de Thornthwaite-Mather

Disponible en: <http://www10.brinkster.com/ceaufres/bh/>

Consultado el 28 de julio de 2013

Selvicultura y resalveo de conversión en el Monte el Viejo de Palencia.

Disponible en: <http://www.slideshare.net/Txikia/selviculturaresalveo-de-conversión>

Consultado el 15 de agosto de 2013

Worldwide Bioclimatic Classification System

Disponible en: <http://www.globalbioclimatics.org/>

Consultado el 3 de agosto de 2013



# **ANEXOS**



# **ANEXO 1: Climatología**



**A.1.1. DATOS CLIMÁTICOS DE LAS ESTACIONES SELECCIONADAS****Tabla A.1. - 1.** Datos termopuviométricos de la estación Chiva "Agro"

| Nombre: <b>CHIVA 'AGRO'</b>          |                              | Coordenadas UTM.<br>Huso 30. Zona Norte  |              |                   |  |
|--------------------------------------|------------------------------|--|--------------|-------------------|--|
| Clave:                               | 8334B                        | X  | 694.700,81   |                   |  |
| Provincia:                           | Valencia                     | Y  | 4.369.369,26 |                   |  |
| Tipo:                                | ESTACIÓN TERMOPLUVIOMÉTRICA  |  |              |                   |  |
| Altitud:                             | 315 metros                   |  |              |                   |  |
| Latitud (º):                         | 39                           |  |              |                   |  |
| Latitud ('):                         | 27                           |  |              |                   |  |
| Longitud (º):                        | 00                           |  |              |                   |  |
| Longitud ('):                        | 44                           |  |              |                   |  |
| Orientación:                         | W                            |  |              |                   |  |
| Año inicio:                          | 1986                         |  |              |                   |  |
| Año fin:                             | 2001                         |  |              |                   |  |
| Clasificación climática de Papadakis |                              |  |              |                   |  |
| Tipo de Invierno:                    | Ci                           |  |              |                   |  |
| Tipo de Verano:                      | O                            |  |              |                   |  |
| Régimen de Humedad:                  | ME                           |  |              |                   |  |
| Régimen Térmico:                     | MA                           |  |              |                   |  |
| Clasificación:                       | <b>Mediterráneo marítimo</b> |  |              |                   |  |
| Periodo cálido:                      | 2                            | meses                                    |              |                   |  |
| Periodo frío o de heladas:           | 4                            | meses                                    |              |                   |  |
| Periodo seco o árido:                | 3                            | meses                                    |              |                   |  |
|                                      |                              | Pluviometría media                       |              | Temperatura media |  |
| Primavera                            | 136,20                       | mm                                       | 14,30        | º C               |  |
| Verano                               | 57,30                        | mm                                       | 22,90        | º C               |  |
| Otoño                                | 243,50                       | mm                                       | 16,90        | º C               |  |
| Invierno                             | 148,60                       | mm                                       | 9,70         | º C               |  |
| <b>Anual</b>                         | <b>585,60</b>                | <b>mm</b>                                | <b>16</b>    | <b>º C</b>        |  |
|                                      |                              | Índice de potencialidad agrícola de Turc |              | ETP (mm)          |  |
|                                      |                              | Regadío                                  | Secano       |                   |  |
| Enero                                | 1,44                         | 1,44                                     | 19,20        |                   |  |
| Febrero                              | 2,14                         | 2,14                                     | 22,60        |                   |  |
| Marzo                                | 3,46                         | 3,46                                     | 38,70        |                   |  |
| Abril                                | 4,57                         | 4,57                                     | 49,90        |                   |  |
| Mayo                                 | 6,06                         | 1,65                                     | 79,70        |                   |  |
| Junio                                | 7,23                         | 0  | 111,60       |                   |  |
| Julio                                | 7,41                         | 0  | 139,70       |                   |  |
| Agosto                               | 6,68                         | 0  | 137,50       |                   |  |
| Septiembre                           | 5,38                         | 0  | 99,90        |                   |  |
| Octubre                              | 3,80                         | 3,45                                     | 62,40        |                   |  |
| Noviembre                            | 2,35                         | 2,35                                     | 31,30        |                   |  |
| Diciembre                            | 1,72                         | 1,72                                     | 22,10        |                   |  |

|  |                     |                      |               |   |
|--|---------------------|----------------------|---------------|---|
| Primavera  | 14,09               | 9,67                 | 168,30        |   |
| Verano   | 21,32               | 0                    | 388,90        |   |
| Otoño  | 11,53               | 5,80                 | 193,60        |   |
| Invierno   | 5,30                | 5,30                 | 63,90         |   |
| <b>Anual</b>                                     | <b>52,23</b>        | <b>20,78</b>         | <b>814,80</b> |   |
| Temperatura media de máximas del mes más cálido: |                     |                      |               | 30,5 °C   |
| Temperatura media de mínimas del mes más frío:   |                     |                      |               | 4,4 °C  |
| <b>Tª media mensual de las máx. abs.</b>         |                     |                      |               | <b>Temperatura media mensual de las mín. abs.</b> |
| Enero:   | 19,30               | °C                   | Enero:        | -1,50 °C  |
| Febrero:   | 21,90               | °C                   | Febrero:      | -1,60 °C  |
| Marzo:   | 27,40               | °C                   | Marzo:        | 0,90 °C   |
| Abril:   | 26,90               | °C                   | Abril:        | 2,10 °C   |
| Mayo:  | 30,10               | °C                   | Mayo:         | 5,90 °C   |
| Junio:   | 33,70               | °C                   | Junio:        | 9,40 °C   |
| Julio:   | 36,40               | °C                   | Julio:        | 12,90 °C  |
| Agosto:  | 38,20               | °C                   | Agosto:       | 13,10 °C  |
| Septiembre:                                      | 33                  | °C                   | Septiembre:   | 11 °C   |
| Octubre:   | 28,50               | °C                   | Octubre:      | 6,40 °C   |
| Noviembre:                                       | 23,80               | °C                   | Noviembre:    | 2,40 °C   |
| Diciembre:                                       | 20,60               | °C                   | Diciembre:    | -0,90 °C  |
| Máx. Anual:                                      | 38,30               | °C                   | Mín. Anual:   | -2,70 °C  |
|  | <b>P media (mm)</b> | <b>Tª media (°C)</b> |               |   |
| Enero  | 55,80               | 9                    |               |   |
| Febrero  | 32,60               | 10                   |               |   |
| Marzo  | 28                  | 12,20                |               |   |
| Abril  | 63                  | 13,70                |               |   |
| Mayo   | 45,20               | 17                   |               |   |
| Junio  | 28,90               | 20,80                |               |   |
| Julio  | 21,80               | 23,60                |               |   |
| Agosto   | 6,60                | 24,30                |               |   |
| Septiembre                                       | 57,40               | 21,60                |               |   |
| Octubre  | 99,60               | 17                   |               |   |
| Noviembre  | 86,50               | 12,20                |               |   |
| Diciembre  | 60,20               | 10                   |               |   |
| <b>Anual</b>                                     | <b>585,60</b>       | <b>16</b>            |               |   |

**Tabla A.1. – 2.** Datos termopuviométricos de la estación Requena “Rebollar”

| Nombre: <b>REQUENA REBOLLAR'</b>     |  | Coordenadas UTM.<br>Huso 30. Zona Norte |                   |            |
|--------------------------------------|--|---|-------------------|------------|
| Clave:                               | 8316I                                    | X                                       | 669.036,17        |            |
| Provincia:                           | Valencia                                 | Y                                       | 4.371.122,13      |            |
| Tipo:                                | ESTACIÓN TERMOPLUVIOMÉTRICA              |   |                   |            |
| Altitud:                             | 705 metros                               |   |                   |            |
| Latitud (º):                         | 39                                       |   |                   |            |
| Latitud ('):                         | 28                                       |   |                   |            |
| Longitud (º):                        | 01                                       |   |                   |            |
| Longitud ('):                        | 01                                       |   |                   |            |
| Orientación:                         | W  |   |                   |            |
| Año inicio:                          | 1986                                     |   |                   |            |
| Año fin:                             | 2003                                     |   |                   |            |
| Clasificación climática de Papadakis |  |   |                   |            |
| Tipo de Invierno:                    | av                                       |   |                   |            |
| Tipo de Verano:                      | M  |   |                   |            |
| Régimen de Humedad:                  | ME                                       |   |                   |            |
| Régimen Térmico:                     | TE                                       |   |                   |            |
| Clasificación:                       | <b>Mediterráneo templado</b>             |   |                   |            |
| Periodo cálido:                      | 1  | mes                                     |                   |            |
| Periodo frío o de heladas:           | 6  | meses                                   |                   |            |
| Periodo seco o árido:                | 3  | meses                                   |                   |            |
|                                      | Pluviometría media                       |   | Temperatura media |            |
| Primavera                            | 126,90                                   | mm                                      | 11,40             | º C        |
| Verano                               | 65,10                                    | mm                                      | 21                | º C        |
| Otoño                                | 182                                      | mm                                      | 13,50             | º C        |
| Invierno                             | 150,10                                   | mm                                      | 5,70              | º C        |
| <b>Anual</b>                         | <b>524,10</b>                            | <b>mm</b>                               | <b>12,90</b>      | <b>º C</b> |
|                                      | Índice de potencialidad agrícola de Turc |   | ETP (mm)          |            |
|                                      | Regadío                                  | Secano                                  |                   |            |
| Enero                                | 0  | 0                                       | 11,70             |            |
| Febrero                              | 0  | 0                                       | 16,80             |            |
| Marzo                                | 1,02                                     | 1,02                                    | 32,20             |            |
| Abril                                | 2,92                                     | 2,92                                    | 42,60             |            |
| Mayo                                 | 5,48                                     | 3,37                                    | 73,60             |            |
| Junio                                | 6,85                                     | 0                                       | 104,30            |            |
| Julio                                | 7,20                                     | 0                                       | 131,60            |            |
| Agosto                               | 6,49                                     | 0                                       | 127,20            |            |
| Septiembre                           | 4,96                                     | 0,46                                    | 85,80             |            |
| Octubre                              | 3,26                                     | 3,26                                    | 52,10             |            |
| Noviembre                            | 1,30                                     | 1,30                                    | 24,90             |            |
| Diciembre                            | 0,08                                     | 0,08                                    | 13,90             |            |
| Primavera                            | 9,43                                     | 7,32                                    | 148,30            |            |
| Verano                               | 20,55                                    | 0                                       | 363,10            |            |
| Otoño                                | 9,52                                     | 5,02                                    | 162,80            |            |
| Invierno                             | 0,08                                     | 0,08                                    | 42,30             |            |
| <b>Anual</b>                         | <b>39,57</b>                             | <b>12,42</b>                            | <b>716,50</b>     |            |

|   |                     |                      |
|---|---------------------|----------------------|
| Temperatura media de máximas del mes más cálido   | 30,2                | °C                   |
| Temperatura media de mínimas del mes más frío     | 0,2                 | °C                   |
| <b>Tª media mensual de las máx. abs.</b>          |                     |                      |
| Enero:  | 16,20               | °C                   |
| Febrero:  | 19,70               | °C                   |
| Marzo:  | 23,70               | °C                   |
| Abril:  | 24,50               | °C                   |
| Mayo:   | 28,30               | °C                   |
| Junio:  | 32,80               | °C                   |
| Julio:  | 36,20               | °C                   |
| Agosto:   | 36,40               | °C                   |
| Septiembre:                                       | 32,10               | °C                   |
| Octubre:  | 25,10               | °C                   |
| Noviembre:  | 19,80               | °C                   |
| Diciembre:  | 15,50               | °C                   |
| Máx. Anual:                                       | 37,30               | °C                   |
| <b>Temperatura media mensual de las mín. abs.</b> |                     |                      |
| Enero:  | -5,50               | °C                   |
| Febrero:  | -5,20               | °C                   |
| Marzo:  | -3,20               | °C                   |
| Abril:  | -1,20               | °C                   |
| Mayo:   | 2,50                | °C                   |
| Junio:  | 6,20                | °C                   |
| Julio:  | 9,20                | °C                   |
| Agosto:   | 10,30               | °C                   |
| Septiembre:                                       | 6,40                | °C                   |
| Octubre:  | 2,10                | °C                   |
| Noviembre:  | -2,30               | °C                   |
| Diciembre:  | -5,10               | °C                   |
| Mín. Anual:                                       | -7,20               | °C                   |
|   | <b>P media (mm)</b> | <b>Tª media (°C)</b> |
| Enero   | 59,20               | 5                    |
| Febrero   | 27,20               | 6,50                 |
| Marzo   | 25,80               | 9                    |
| Abril   | 55,30               | 10,50                |
| Mayo  | 45,80               | 14,50                |
| Junio   | 28,30               | 18,70                |
| Julio   | 14,90               | 21,90                |
| Agosto  | 21,90               | 22,50                |
| Septiembre  | 50,90               | 18,40                |
| Octubre   | 72,70               | 13,50                |
| Noviembre   | 58,40               | 8,70                 |
| Diciembre   | 63,70               | 5,80                 |
| <b>Anual</b>                                      | <b>524,10</b>       | <b>12,90</b>         |

### A.1.2. BALANCE HÍDRICO

Calculado mediante el Método Thornthwaite-Mather a través del programa informático disponible en la página: <http://www10.brinkster.com/ceaufres/bh/>

La comparación de las precipitaciones mensuales con los datos de la evapotranspiración potencial de cada mes propuesta por Thornwaite tiene como resultado lo que se conoce como Ficha Hídrica. Posteriormente otros autores han sugerido modificaciones al esquema primitivo cuyo resultado es un modelo de Balance Hídrico que descansa sobre las siguientes hipótesis:

**1-** Si en el mes "i",  $P_i > ETP_i$ , existe superávit de agua, que quedará retenida en el suelo en el caso de que no se haya alcanzado la capacidad de retención de agua máxima de éste, o drenará superficialmente y en profundidad en caso contrario. La ETP coincide con la Evapotranspiración Real Máxima Posible (ETRMP) y la vegetación no padece sequía fisiológica (SF).

**2-** Si el mes "i",  $P_i = ETP_i$ , no existe sobrante de agua por lo que no habrá drenaje ni variación en el contenido de agua del suelo. La ETP también coincide con la ETRMP, con la consiguiente ausencia de sequía fisiológica (SF).

**3-** Si en el mes "i",  $P_i < ETP_i$ , existe déficit de agua que es paliada en parte por el agua existente en el suelo, por lo que éste reduce su contenido. No existe drenaje de agua siendo la ETRMP menor que la ETP, lo que se traduce en sequía fisiológica (diferencia entre ETP y ETRMP).

Para el cálculo de la Ficha Hídrica es necesario conocer, además de una serie de datos meteorológicos, la capacidad de retención de agua máxima del suelo (CRA). Este valor, se determina mediante la realización de oportunos análisis del suelo, si bien, debido a que dichos análisis no pueden llevarse siempre a cabo se aceptan como válidos valores de CRA "potenciales" en función del subsuelo o roca madre engendradora de suelo, para situaciones de pendiente escasa o nula. Debido a la imposibilidad de realizar análisis edafológicos para el presente Proyecto se han utilizado dichos valores de CRA potenciales, los cuales en la **Tabla A.1. – 3**.

|            |                                |                                    |                              |                                  |                             |    |
|------------|--------------------------------|------------------------------------|------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|----|
| LITOFACIES | Aluviones silíceos o calizos   | Calizas                            | Conglomerados calizos        | Arenas arcósicas algo arcillosas | Arenales calizos o silíceos |    |
|            | Arcillas                       | Calizas alternantes con areniscas  | Esquistos calizos o silíceos | Areniscas arcillosas o cuarzosas | Graveras calizas o silíceas |    |
|            | Margas alternantes con calizas | Dolomías                           | Gneis y micacitas            | Conglomerados silíceos           | Margas yesosas              |    |
|            | Vulcanitas ultrabásicas        | Margas alternantes con areniscas   | Granitos gnéisicos           | Granitos                         |                             |    |
|            |                                | Molasas margosas                   | Plutonitas básicas           |                                  |                             |    |
|            |                                | Pizarras                           | Vulcanitas ácidas            |                                  |                             |    |
|            |                                | Pizarras alternantes con areniscas |                              |                                  |                             |    |
|            |                                | Vulcanitas intermedias             |                              |                                  |                             |    |
|            | CRA (mm)                       | 250                                | 200                          | 150                              | 100                         | 50 |

**Tabla A.1. – 3.** Capacidad de Retención de Agua máxima Potencial en función de la roca madre engendradora de suelo.

Estando constituida la roca madre generadora de suelo de la cuenca por grandes superficies de calizas, margas, dolomías, areniscas y arcillas, se ha considerado optar por un valor medio de capacidad de retención de agua máxima de suelo (CRA) de 150 mm.

En la **Tabla A.1. – 4** se presenta el balance hídrico calculado para los datos de la estación de Requena “Rebollar” y en la **Tabla A.1. – 5** para la estación Chiva “Agro”.

Tabla A.1. – 4. Balance hídrico de la estación Requena “Rebolla”

| Nombre: <b>REQUENA “REBOLLAR”</b>        |                             | Coordenadas UTM.<br>Huso 30. Zona Norte |              |              |             |          |            |            |           |
|--|-----------------------------|---|--------------|--------------|-------------|----------|------------|------------|-----------|
| Clave:                                   | 8316I                       | X                                       | 669.036,17   |              |             |          |            |            |           |
| Provincia:                               | Valencia                    | Y                                       | 4.371.122,13 |              |             |          |            |            |           |
| Tipo:                                    | ESTACIÓN TERMOPLUVIOMÉTRICA |   |              |              |             |          |            |            |           |
| Altitud:                                 | 705 metros                  |   |              |              |             |          |            |            |           |
| Latitud (°):                             | 39                          |   |              |              |             |          |            |            |           |
| Latitud ('):                             | 28                          |   |              |              |             |          |            |            |           |
| Longitud (°):                            | 01                          |   |              |              |             |          |            |            |           |
| Longitud ('):                            | 01                          |   |              |              |             |          |            |            |           |
| Orientación:                             | W                           |   |              |              |             |          |            |            |           |
| Año inicio:                              | 1986                        |   |              |              |             |          |            |            |           |
| Año fin:                                 | 2003                        |   |              |              |             |          |            |            |           |
| Unidades en milímetros:                  |                             |   |              |              |             |          |            |            |           |
| CMA (capacidad máxima de almacenamiento) | 150 mm                      |   |              |              |             |          |            |            |           |
| PPT (precipitación)                      |                             |   |              |              |             |          |            |            |           |
| ETP (evapotranspiración potencial)       |                             |   |              |              |             |          |            |            |           |
| DEF: deficiencia                         |                             |   |              |              |             |          |            |            |           |
| NA: negativo acumulado                   |                             |   |              |              |             |          |            |            |           |
| HA: humedad acumulada                    |                             |   |              |              |             |          |            |            |           |
| MH: movimiento de humedad                |                             |   |              |              |             |          |            |            |           |
| ETR: evapotranspiración real             |                             |   |              |              |             |          |            |            |           |
| DEF: déficit                             |                             |   |              |              |             |          |            |            |           |
| EXC: exceso o escorrentía                |                             |   |              |              |             |          |            |            |           |
| Mes                                      | PPT                         | ETP                                     | DEF          | NA           | HA          | MH       | ETR        | DEF        | EXC       |
| Enero                                    | 59,2                        | 11,7                                    | 48           | 0            | 150         | 33       | 11         | 0          | 15        |
| Febrero                                  | 27,2                        | 16,8                                    | 9            | 0            | 150         | 0        | 18         | 0          | 9         |
| Marzo                                    | 25,8                        | 32,2                                    | -7           | -7           | 143         | -7       | 32         | 0          | 0         |
| Abril                                    | 55,3                        | 42,6                                    | 13           | 0            | 150         | 7        | 42         | 0          | 6         |
| Mayo                                     | 45,8                        | 73,6                                    | -28          | -28          | 124         | -26      | 71         | 2          | 0         |
| Junio                                    | 28,3                        | 104,3                                   | -76          | -104         | 74          | -50      | 78         | 26         | 0         |
| Julio                                    | 14,9                        | 131,6                                   | -117         | -221         | 34          | -40      | 54         | 77         | 0         |
| Agosto                                   | 21,9                        | 127,2                                   | -106         | -327         | 16          | -18      | 39         | 88         | 0         |
| Septiembre                               | 50,9                        | 85,8                                    | -35          | -362         | 13          | -3       | 53         | 32         | 0         |
| Octubre                                  | 72,7                        | 52,1                                    | 20           | -223         | 33          | 20       | 52         | 0          | 0         |
| Noviembre                                | 58,4                        | 24,9                                    | 34           | -119         | 67          | 34       | 24         | 0          | 0         |
| Diciembre                                | 63,7                        | 13,9                                    | 50           | -36          | 117         | 50       | 13         | 0          | 0         |
| <b>Anual</b>                             | <b>524,1</b>                | <b>716,7</b>                            | <b>-195</b>  | <b>-1427</b> | <b>1071</b> | <b>0</b> | <b>487</b> | <b>225</b> | <b>30</b> |

Tabla A.1. – 5. Balance hídrico de la estación Chiva “Agro”

| Nombre: <b>CHIVA 'AGRO'</b>              |                             | Coordenadas UTM.<br>Huso 30. Zona Norte |              |              |             |          |            |            |           |
|--|-----------------------------|---|--------------|--------------|-------------|----------|------------|------------|-----------|
| Clave:                                   | 8334B                       | X                                       | 694.700,81   |              |             |          |            |            |           |
| Provincia:                               | Valencia                    | Y                                       | 4.369.369,26 |              |             |          |            |            |           |
| Tipo:                                    | ESTACIÓN TERMOPLUVIOMÉTRICA |   |              |              |             |          |            |            |           |
| Altitud:                                 | 315 metros                  |   |              |              |             |          |            |            |           |
| Latitud (º):                             | 39                          |   |              |              |             |          |            |            |           |
| Latitud ('):                             | 27                          |   |              |              |             |          |            |            |           |
| Longitud (º):                            | 00                          |   |              |              |             |          |            |            |           |
| Longitud ('):                            | 44                          |   |              |              |             |          |            |            |           |
| Orientación:                             | W                           |   |              |              |             |          |            |            |           |
| Año inicio:                              | 1986                        |   |              |              |             |          |            |            |           |
| Año fin:                                 | 2001                        |   |              |              |             |          |            |            |           |
| Unidades en milímetros:                  |                             |   |              |              |             |          |            |            |           |
| CMA (capacidad máxima de almacenamiento) | 150 mm                      |   |              |              |             |          |            |            |           |
| PPT (precipitación)                      |                             |   |              |              |             |          |            |            |           |
| ETP (evapotranspiración potencial)       |                             |   |              |              |             |          |            |            |           |
| DEF: deficiencia                         |                             |   |              |              |             |          |            |            |           |
| NA: negativo acumulado                   |                             |   |              |              |             |          |            |            |           |
| HA: humedad acumulada                    |                             |   |              |              |             |          |            |            |           |
| MH: movimiento de humedad                |                             |   |              |              |             |          |            |            |           |
| ETR: evapotranspiración real             |                             |   |              |              |             |          |            |            |           |
| DEF: déficit                             |                             |   |              |              |             |          |            |            |           |
| EXC: exceso o escorrentía                |                             |   |              |              |             |          |            |            |           |
| Mes                                      | PPT                         | ETP                                     | DEF          | NA           | HA          | MH       | ETR        | DEF        | EXC       |
| Enero                                    | 55,8                        | 19,2                                    | 36           | 0            | 150         | 11       | 19         | 0          | <b>25</b> |
| Febrero                                  | 32,6                        | 22,6                                    | 10           | 0            | 150         | 0        | 22         | 0          | <b>10</b> |
| Marzo                                    | 28                          | 38,7                                    | -10          | -10          | 140         | -10      | 38         | 0          | <b>0</b>  |
| Abril                                    | 63                          | 49,9                                    | 14           | 0            | 150         | 10       | 49         | 0          | <b>4</b>  |
| Mayo                                     | 45,2                        | 79,7                                    | -34          | -34          | 119         | -31      | 76         | 3          | <b>0</b>  |
| Junio                                    | 28,9                        | 111,6                                   | -83          | -117         | 68          | -51      | 79         | 32         | <b>0</b>  |
| Julio                                    | 21,8                        | 139,7                                   | -118         | -235         | 31          | -37      | 58         | 81         | <b>0</b>  |
| Agosto                                   | 6,6                         | 137,5                                   | -131         | -366         | 13          | -18      | 24         | 113        | <b>0</b>  |
| Septiembre                               | 57,4                        | 99,9                                    | -42          | -408         | 9           | -4       | 61         | 38         | <b>0</b>  |
| Octubre                                  | 99,6                        | 62,4                                    | 37           | -175         | 46          | 37       | 62         | 0          | <b>0</b>  |
| Noviembre                                | 86,5                        | 31,3                                    | 55           | -58          | 101         | 55       | 31         | 0          | <b>0</b>  |
| Diciembre                                | 60,2                        | 22,1                                    | 38           | -11          | 139         | 38       | 22         | 0          | <b>0</b>  |
| <b>Anual</b>                             | <b>585,6</b>                | <b>814,6</b>                            | <b>-228</b>  | <b>-1414</b> | <b>1116</b> | <b>0</b> | <b>541</b> | <b>267</b> | <b>39</b> |

## **ANEXO 2: Parámetros calculados para el caudal punta**



### A.2.1. PRECIPITACIÓN DIARIA MÁXIMA ANUAL (PdMA)

Los pasos que se han seguido para obtener las PdMA de las diferentes subcuencas y asociadas a distintos periodos de retorno, mediante la aplicación MAXPLU, han sido los siguientes:

- **Confeccionar una malla de puntos**

Mediante el software ArcMap 10.0, se ha creado una malla de puntos de 16 kilómetros de ancho por 14 kilómetros de alto, sumando una superficie de 224 kilómetros cuadrados. La equidistancia entre puntos es de 2 kilómetros, por lo que la malla es de 9x8, teniendo un total de 72 puntos. Ver **Figura A.2-1**.

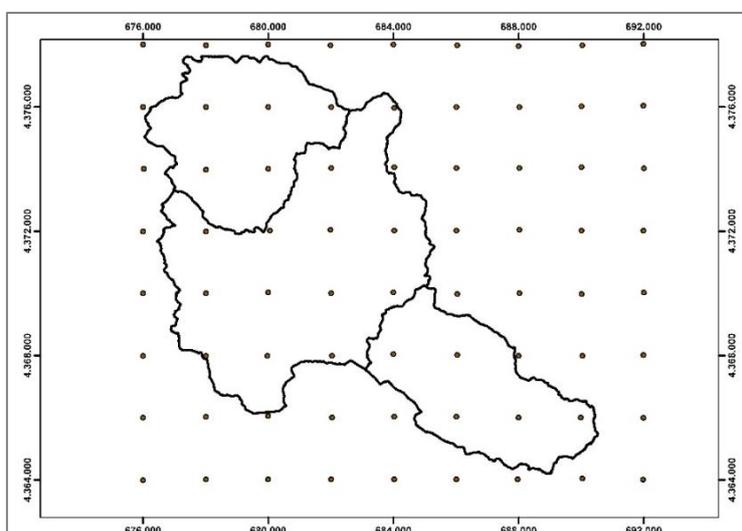


Figura A.2-1. Malla de puntos generada para el cálculo de la PdMA. Fuente: elaboración propia.

- **Obtención de la PdMA**

Mediante el software ArcMap 10.0 se obtienen las coordenadas UTM de los puntos de la malla generada para introducirlos en el programa MAXPLU. Esta aplicación devuelve la PdMA para los periodos de retorno deseados, que en este caso son de 10, 25, 50 y 100 años.

- **Introducir valores en la maya de puntos**

Se introducen los valores obtenidos en la tabla de atributos de la malla de puntos del ArcMap, creando columnas diferentes para cada periodo de retorno.

### - Generar Modelo Digital de Precipitaciones

Se interpolan los valores mediante el método Spline, el cual estima valores usando una función matemática que minimiza la curvatura general de la superficie, lo que resulta en una superficie suave que pasa exactamente por los puntos de entrada. En la **Figura A.2-2** se muestra el ejemplo para el periodo de retorno de 100 años.

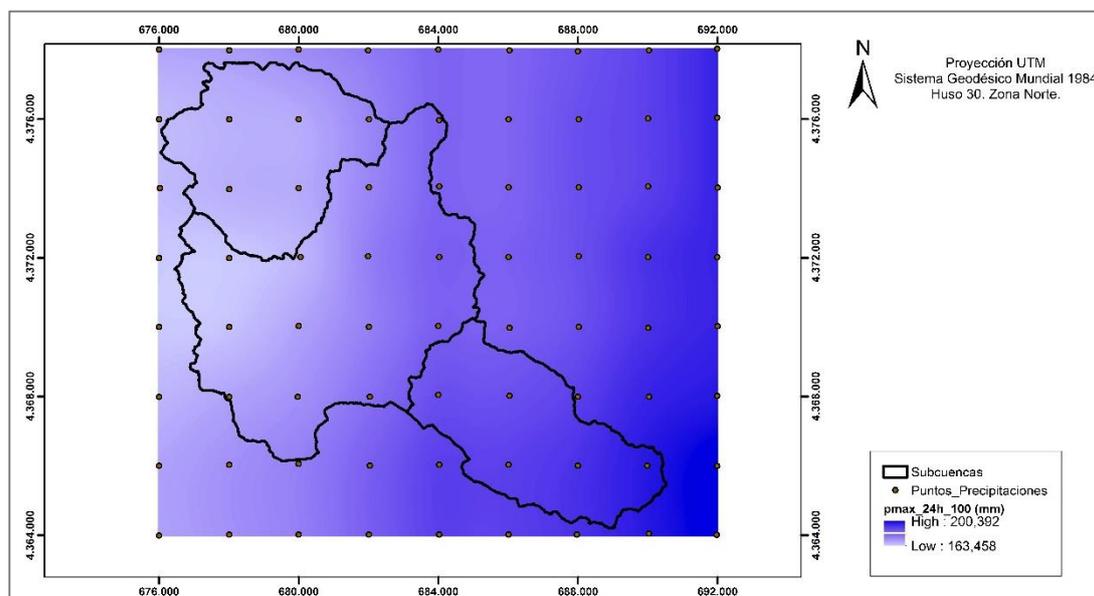


Figura A.2-2. Modelo Digital de Precipitaciones máximas para un periodo de retorno de 100 años.

### - Cálculo de la PdMA en cada subcuenca

Como el mapa obtenido es un mapa raster, simplemente se extrae la superficie de cada cuenca y se calcula el valor medio de PdMA de cada una. Se realiza una media ponderada en función del área de precipitación encerrada en cada superficie.

|               | LLUVIAS MÁXIMAS (Pmax)  |              |              |              |              |
|---------------|-------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|               | Area (Km <sup>2</sup> ) | T = 10 años  | T = 25 años  | T = 50 años  | T = 100 años |
| Subcuenca 1   | 23,5                    | 97,3         | 124,9        | 145,3        | 169,0        |
| Subcuenca 2   | 48,3                    | 99,6         | 127,3        | 151,5        | 173,7        |
| Subcuenca 3   | 22,8                    | 108,0        | 137,7        | 163,8        | 188,1        |
| <b>CUENCA</b> | <b>94,6</b>             | <b>102,4</b> | <b>130,8</b> | <b>154,6</b> | <b>178,4</b> |

Tabla A.2-1. PdMA de la cuenca y subcuencas de estudio y asociada a diferentes periodos de retorno (T). Fuente: elaboración propia.

### A.2.2. UMBRAL DE ESCORRENTÍA ( $P_0$ )

El umbral de escorrentía es el parámetro del modelo de infiltración para el cálculo del coeficiente de escorrentía en el Modelo Modificado de Témez. Este parámetro se encuentra tabulado y es función de la vegetación (o uso del suelo), la pendiente y del tipo de suelo. La **Tabla A.2-2** muestra los valores para calcularlo.

| USO DE LA TIERRA  | PENDIENTE (%) | CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS | GRUPO DE SUELO |     |    |    |
|---|---------------|------------------------------|----------------|-----|----|----|
|   |               |                              | A              | B   | C  | D  |
| Barbecho  | ≥ 3           | R                            | 15             | 8   | 6  | 4  |
|   |               | N                            | 17             | 11  | 8  | 6  |
|   | < 3           | R/N                          | 20             | 14  | 11 | 8  |
| Cultivos en hilera  | ≥ 3           | R                            | 23             | 13  | 8  | 6  |
|   |               | N                            | 25             | 16  | 11 | 8  |
|   | < 3           | R/N                          | 28             | 19  | 14 | 11 |
| Cereales de invierno  | ≥ 3           | R                            | 29             | 17  | 10 | 8  |
|   |               | N                            | 32             | 19  | 12 | 10 |
|   | < 3           | R/N                          | 34             | 21  | 14 | 12 |
| Rotación de cultivos pobres   | ≥ 3           | R                            | 26             | 15  | 9  | 6  |
|   |               | N                            | 28             | 17  | 11 | 8  |
|   | < 3           | R/N                          | 30             | 19  | 13 | 8  |
| Rotación de cultivos densos   | ≥ 3           | R                            | 37             | 20  | 12 | 9  |
|   |               | N                            | 42             | 23  | 14 | 11 |
|   | < 3           | R/N                          | 47             | 25  | 16 | 13 |
| Praderas  | ≥ 3           | Pobre                        | 24             | 14  | 8  | 6  |
|   |               | Media                        | 53             | 23  | 14 | 9  |
|   |               | Buena                        | 70             | 33  | 18 | 13 |
|   |               | Muy buena                    | 80             | 41  | 22 | 15 |
|   | < 3           | Pobre                        | 58             | 25  | 12 | 7  |
|   |               | Media                        | 80             | 35  | 17 | 10 |
|   |               | Buena                        | 120            | 55  | 22 | 14 |
|   |               | Muy buena                    | 250            | 100 | 25 | 16 |
| Plantaciones regulares aprovechamiento forestal   | ≥ 3           | Pobre                        | 62             | 26  | 15 | 10 |
|   |               | Media                        | 80             | 34  | 19 | 14 |
|   |               | Buena                        | 100            | 42  | 22 | 15 |
|   | < 3           | Pobre                        | 75             | 34  | 19 | 14 |
|   |               | Media                        | 95             | 42  | 22 | 15 |
|   |               | Buena                        | 150            | 50  | 25 | 16 |
| Masas forestales (bosques, monte bajo, etc.)  |               | Muy clara                    | 40             | 17  | 8  | 5  |
|   |               | Clara                        | 60             | 24  | 14 | 10 |
|   |               | Media                        | 75             | 34  | 22 | 16 |
|   |               | Espesa                       | 90             | 47  | 31 | 23 |
|   |               | Muy espesa                   | 120            | 65  | 43 | 33 |
| <b>NOTAS:</b> 1.- N: denota cultivo según las curvas de nivel<br>R: denota cultivo según la línea de máxima pendiente.<br>2.- Las zonas abalancadas se incluirán entre las de pendiente menor del 3%. |               |                              |                |     |    |    |
| TIPO DE TERRENO   | PENDIENTE (%) | UMBRAL DE ESCORRENTÍA (mm)   |                |     |    |    |
| Rocas permeables  | ≥ 3           | 3                            |                |     |    |    |
|   | < 3           | 5                            |                |     |    |    |
| Rocas impermeables  | ≥ 3           | 2                            |                |     |    |    |
|   | < 3           | 4                            |                |     |    |    |
| Firmes granulares   |               | 2                            |                |     |    |    |
| Adoquinados   |               | 1,5                          |                |     |    |    |
| Pavimentos  |               | 1                            |                |     |    |    |

Tabla A.2-2. Valores del umbral de escorrentía en función del uso del suelo, la pendiente y del tipo de suelo. Fuente: CONSELLERIA DE INFRAESTRUCTURAS, TERRITORIO Y MEDIO AMBIENTE. Metodología del Modelo Modificado de Témez para cálculo de caudales máximos.

Para obtener el valor medio del umbral de escorrentía se ha elaborado un único mapa a partir de:

- Mapa de usos del suelo (**Mapa 10**), obtenido a partir del mapa de cultivos y aprovechamientos de España del Instituto Geográfico Nacional a escala 1:50.000. De la leyenda de este mapa hay que destacar que ha sido adaptada para calcular el umbral de escorrentía. Las **equivalencias** se muestran en la **Tabla A.2-3** y en la **Figura A.2-3** se muestra el mapa con la nueva leyenda.

| Leyenda Mapa: cultivos y aprovechamientos      | Leyenda Umbral escorrentía-Usos del Suelo  |
|--|--|
| Barbecho                                       | 1. Barbecho                                |
| Huerta: cultivos en hilera                     | 2. Cultivos en hilera                      |
| Cultivo herbáceo de secano                     | 3. Cereales en invierno                    |
| Maíz y productos hortícolas                    | 4. Rotación de cultivos densos             |
| Pastizal sin arbolado                          | 5. Pradera pobre                           |
| Pastizal con coníferas o frondosas             | 6. Pradera media                           |
| Pastizal con frondosas o coníferas y frondosas | 7. Pradera muy buena                       |
| Cultivos arbóreos de secano                    | 8. Plantac. aprovechamiento forestal pobre |
| Cultivos arbóreos de secano + Matorral         | 9. Plantac. aprovechamiento forestal medio |
| Matorral sin arbolado (cobertura<50%)          | 10. Masa forestal muy clara                |
| Matorral sin arbolado (cobertura>50%)          | 11. Masa forestal clara                    |
| Matorral + Coníferas y/o Frondosas             | 12. Masa forestal media                    |
| Coníferas                                      | 13. Masa forestal espesa                   |
| Frondosas                                      | 14. Masa forestal muy espesa               |
| Núcleos urbanos, carreteras y canteras         | 15. Rocas impermeables.                    |

Tabla A.2-3. Equivalencias entre la leyenda del Mapa de cultivos y aprovechamientos y la leyenda del Umbral de escorrentía. Fuente: elaboración propia a partir de la publicación de Ferrer M., et al. 1995. Generación automática del número de curva con sistemas de información geográfica.

- Mapa de pendientes clasificada en menor o mayor del 3% (**Figura A.2-4**), obtenido a partir del MDE de tecnología LIDAR con tamaño de pixel de 5x5 metros.
- Mapa de permeabilidad (**Figura A.2-5**), obtenido a partir de mapas geológicos del Instituto Geológico y Minero Nacional, a escala 1:50.000. El área de estudio sólo tiene dos tipos: B (permeabilidad alta) y D (baja y muy baja).

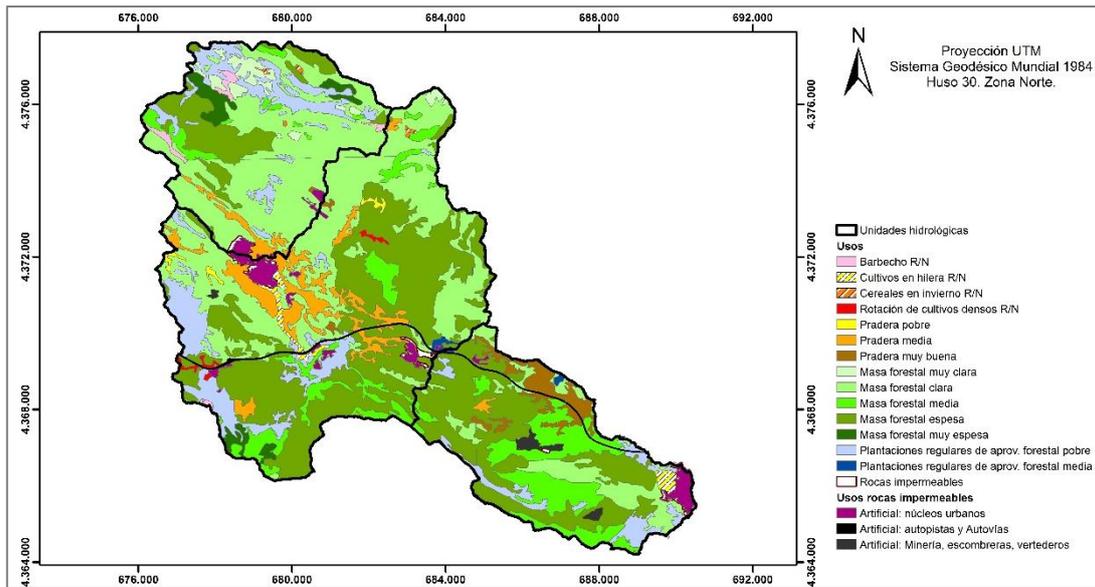


Figura A.2-3. Usos del suelo de la cabecera de cuenca del río Buñol. Fuente: elaboración propia.

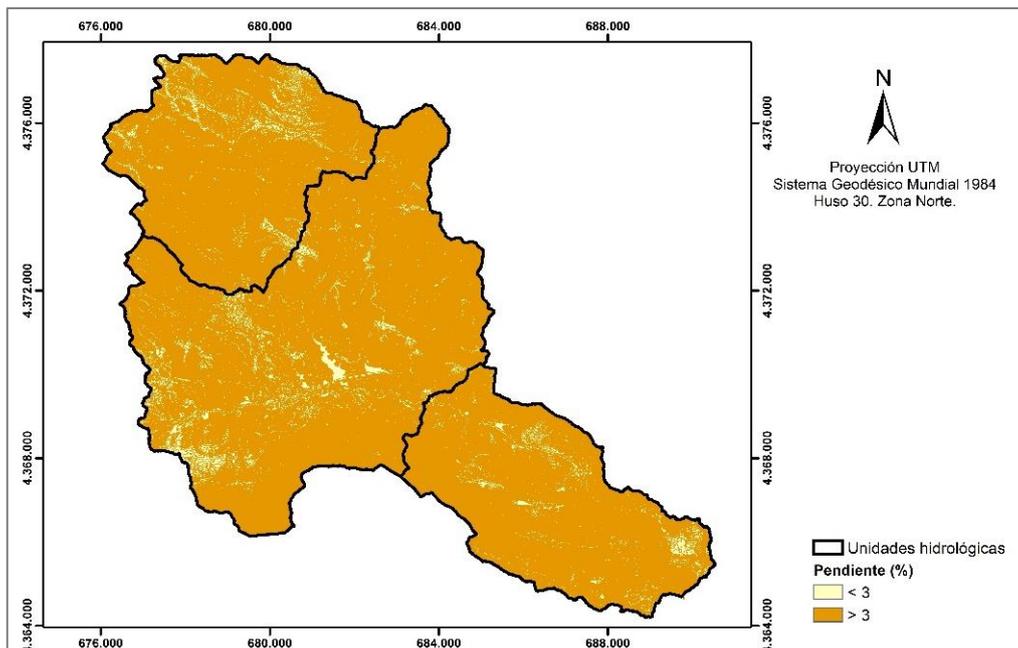


Figura A.2-4. Mapa de pendientes de la cabecera de cuenca del río Buñol. Fuente: elaboración propia.

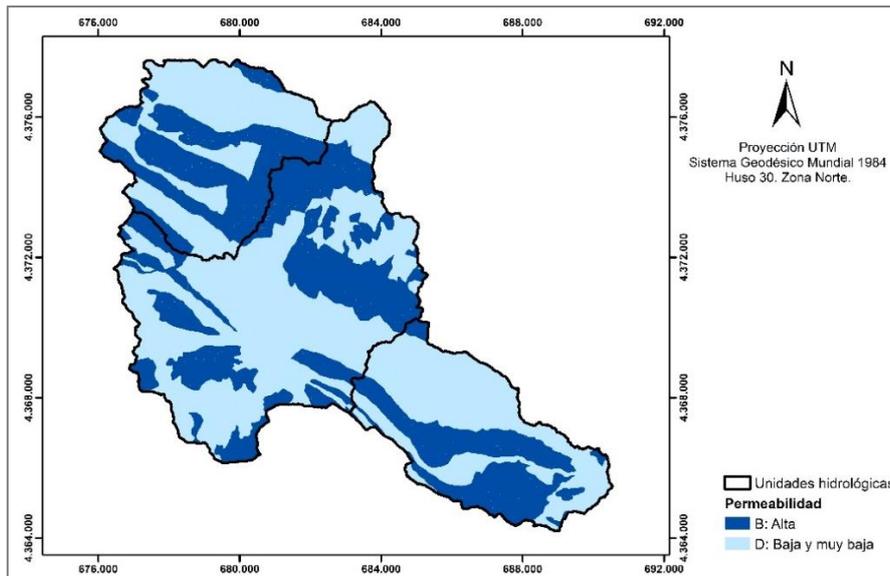


Figura A.2-5. Mapa de permeabilidad de la cabecera de cuenca del río Buñol. Fuente: elaboración propia.

El mapa del umbral de escorrentía obtenido es el que se muestra en la **Figura A.2-6**. Los valores obtenidos para cada unidad hidrológica se muestran en la **Tabla A.2-4**.

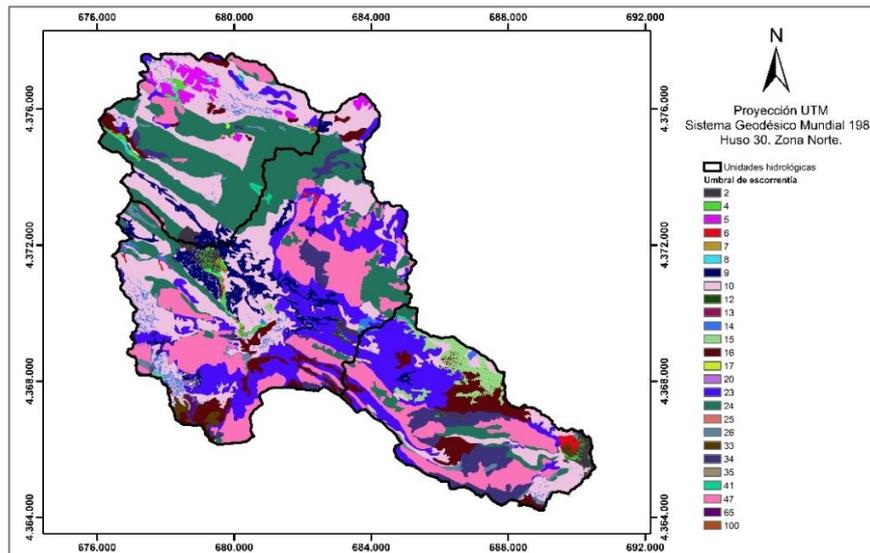


Figura A.2-5. Mapa del umbral de escorrentía de la cabecera de cuenca del río Buñol. Fuente: elaboración propia.

| Subcuenca     | P <sub>0</sub> |
|---------------|----------------|
| 1             | 18,05          |
| 2             | 23,33          |
| 3             | 25,05          |
| <b>CUENCA</b> | <b>22,43</b>   |

Tabla A.2-4. Valores medios de umbral de escorrentía. Fuente: elaboración propia.

### A.2.3. TORMENTA DE DISEÑO PARA HEC-HMS

En primer lugar se debe dividir la duración total de la tormenta de diseño en intervalos iguales de tiempo, en este caso, como la tormenta es de 24 horas, se ha dividido en 24 intervalos de una hora. Se han construido las tormentas de diseño utilizando la curva IDF, que como se puede ver en el Mapa Mapa de isoclinas  $I_1/I_d$  de la Instrucción 5,2-IC de Drenaje Superficial (**Figura 3-2**), corresponde a 11,5. En base a la siguiente fórmula, se calcula la intensidad para cada hora:

$$I = I_d \left[ \frac{I_1}{I_d} \right]^{\frac{28^{0,1-d^{0,1}}}{28^{0,1}-1}}$$

Donde:  $I_d = \frac{P_{diaria}}{24}$  ;

$p_{diaria}$  (mm) = Precipitación Diaria Máxima Anual (PdMA) promedio areal asociada a un periodo de retorno (T)

$$\frac{I_1}{I_d} = 11.5$$

$$d = 1h, 2h...$$

La metodología de los bloques alternos indica que a continuación estas precipitaciones incrementales deben reordenarse de forma que la máxima precipitación quede centrada en la tormenta y el resto se va colocando alternadamente alrededor de ésta. Finalmente estas precipitaciones que corresponden a una duración  $\Delta t$ , debemos convertirlas a intensidades en mm/h.

A continuación se exponen las tablas y yetogramas obtenidos para cada tormenta de diseño, asociada a los periodos de retorno de 10 años (**Tabla A.2-5, Figura A.2-6**), 25 años (**Tabla A.2-6, Figura A.2-7**), 50 años (**Tabla A.2-7, Figura A.2-8**) y 100 años (**Tabla A.2-8, Figura A.2-9**).

| T (h) | I (mm/h) | P (mm) | Alterna |
|-------|----------|--------|---------|
| 1     | 42,05    | 42,05  | 0,69    |
| 2     | 26,99    | 53,99  | 0,78    |
| 3     | 20,53    | 61,58  | 0,90    |
| 4     | 16,79    | 67,14  | 1,04    |
| 5     | 14,30    | 71,51  | 1,22    |
| 6     | 12,52    | 75,09  | 1,46    |
| 7     | 11,16    | 78,11  | 1,79    |
| 8     | 10,09    | 80,70  | 2,27    |
| 9     | 9,22     | 82,97  | 3,02    |
| 10    | 8,50     | 84,98  | 4,37    |
| 11    | 7,89     | 86,77  | 7,59    |
| 12    | 7,36     | 88,38  | 42,05   |
| 13    | 6,91     | 89,84  | 11,94   |
| 14    | 6,51     | 91,17  | 5,56    |
| 15    | 6,16     | 92,40  | 3,58    |
| 16    | 5,85     | 93,52  | 2,59    |
| 17    | 5,56     | 94,56  | 2,00    |
| 18    | 5,31     | 95,53  | 1,61    |
| 19    | 5,08     | 96,43  | 1,33    |
| 20    | 4,86     | 97,27  | 1,13    |
| 21    | 4,67     | 98,05  | 0,97    |
| 22    | 4,49     | 98,79  | 0,84    |
| 23    | 4,33     | 99,48  | 0,74    |
| 24    | 4,17     | 100,13 | 0,65    |

Tabla A.2-5. Tormenta de diseño para un periodo de retorno de 10 años y una PdMA promedio areal de 87,8 mm. Fuente: elaboración propia.

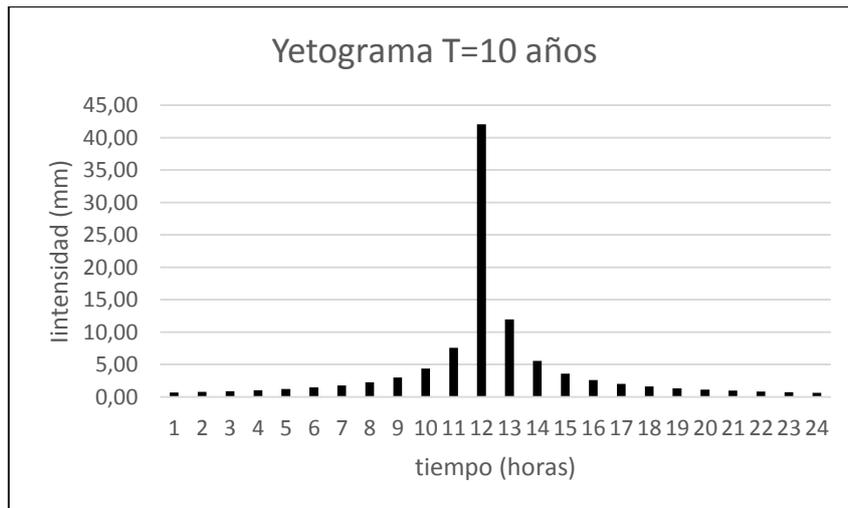


Figura A.2-6. Yetograma asociado a un periodo de retorno de 10 años. Fuente: elaboración propia.

| T (h) | I (mm/h) | P (mm) | Pincre (mm) | Intensidad (mm) |
|-------|----------|--------|-------------|-----------------|
| 1     | 53,77    | 53,77  | 53,77       | <b>0,88</b>     |
| 2     | 34,52    | 69,03  | 15,26       | <b>1,00</b>     |
| 3     | 26,25    | 78,74  | 9,71        | <b>1,15</b>     |
| 4     | 21,46    | 85,85  | 7,11        | <b>1,33</b>     |
| 5     | 18,29    | 91,44  | 5,59        | <b>1,56</b>     |
| 6     | 16,00    | 96,02  | 4,58        | <b>1,87</b>     |
| 7     | 14,27    | 99,88  | 3,86        | <b>2,29</b>     |
| 8     | 12,90    | 103,19 | 3,32        | <b>2,90</b>     |
| 9     | 11,79    | 106,09 | 2,90        | <b>3,86</b>     |
| 10    | 10,87    | 108,65 | 2,56        | <b>5,59</b>     |
| 11    | 10,09    | 110,94 | 2,29        | <b>9,71</b>     |
| 12    | 9,42     | 113,00 | 2,06        | <b>53,77</b>    |
| 13    | 8,84     | 114,87 | 1,87        | <b>15,26</b>    |
| 14    | 8,33     | 116,58 | 1,71        | <b>7,11</b>     |
| 15    | 7,88     | 118,14 | 1,56        | <b>4,58</b>     |
| 16    | 7,47     | 119,58 | 1,44        | <b>3,32</b>     |
| 17    | 7,11     | 120,91 | 1,33        | <b>2,56</b>     |
| 18    | 6,79     | 122,15 | 1,23        | <b>2,06</b>     |
| 19    | 6,49     | 123,30 | 1,15        | <b>1,71</b>     |
| 20    | 6,22     | 124,37 | 1,07        | <b>1,44</b>     |
| 21    | 5,97     | 125,37 | 1,00        | <b>1,23</b>     |
| 22    | 5,74     | 126,31 | 0,94        | <b>1,07</b>     |
| 23    | 5,53     | 127,20 | 0,88        | <b>0,94</b>     |
| 24    | 5,33     | 128,03 | 0,83        | <b>0,83</b>     |

Tabla A.2-6. Tormenta de diseño para un periodo de retorno de 25 años y una PdMA promedio areal de 112,2 mm. Fuente: elaboración propia.

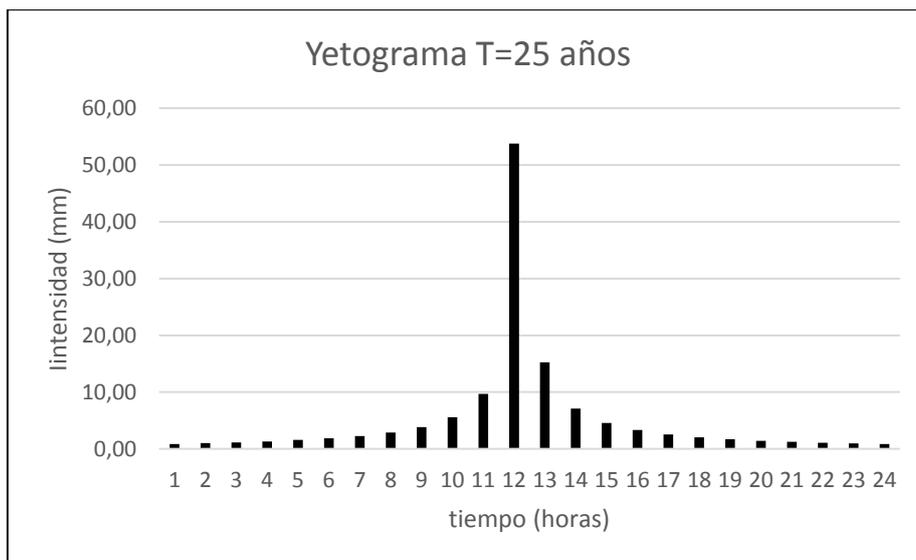


Figura A.2-7. Yetograma asociado a un periodo de retorno de 25 años. Fuente: elaboración propia.

| T (h) | I (mm/h) | P (mm) | Pincre (mm) | Intensidad (mm) |
|-------|----------|--------|-------------|-----------------|
| 1     | 63,63    | 63,63  | 63,63       | <b>1,05</b>     |
| 2     | 40,84    | 81,69  | 18,06       | <b>1,19</b>     |
| 3     | 31,06    | 93,17  | 11,49       | <b>1,36</b>     |
| 4     | 25,40    | 101,59 | 8,42        | <b>1,58</b>     |
| 5     | 21,64    | 108,20 | 6,61        | <b>1,85</b>     |
| 6     | 18,94    | 113,62 | 5,42        | <b>2,21</b>     |
| 7     | 16,88    | 118,18 | 4,56        | <b>2,71</b>     |
| 8     | 15,26    | 122,11 | 3,93        | <b>3,43</b>     |
| 9     | 13,95    | 125,54 | 3,43        | <b>4,56</b>     |
| 10    | 12,86    | 128,57 | 3,03        | <b>6,61</b>     |
| 11    | 11,93    | 131,28 | 2,71        | <b>11,49</b>    |
| 12    | 11,14    | 133,72 | 2,44        | <b>63,63</b>    |
| 13    | 10,46    | 135,93 | 2,21        | <b>18,06</b>    |
| 14    | 9,85     | 137,95 | 2,02        | <b>8,42</b>     |
| 15    | 9,32     | 139,80 | 1,85        | <b>5,42</b>     |
| 16    | 8,84     | 141,50 | 1,70        | <b>3,93</b>     |
| 17    | 8,42     | 143,08 | 1,58        | <b>3,03</b>     |
| 18    | 8,03     | 144,54 | 1,46        | <b>2,44</b>     |
| 19    | 7,68     | 145,90 | 1,36        | <b>2,02</b>     |
| 20    | 7,36     | 147,17 | 1,27        | <b>1,70</b>     |
| 21    | 7,06     | 148,35 | 1,19        | <b>1,46</b>     |
| 22    | 6,79     | 149,47 | 1,11        | <b>1,27</b>     |
| 23    | 6,54     | 150,51 | 1,05        | <b>1,11</b>     |
| 24    | 6,31     | 151,50 | 0,98        | <b>0,98</b>     |

Tabla A.2-7. Tormenta de diseño para un periodo de retorno de 50 años y una PdMA promedio areal de 132,8 mm. Fuente: elaboración propia.

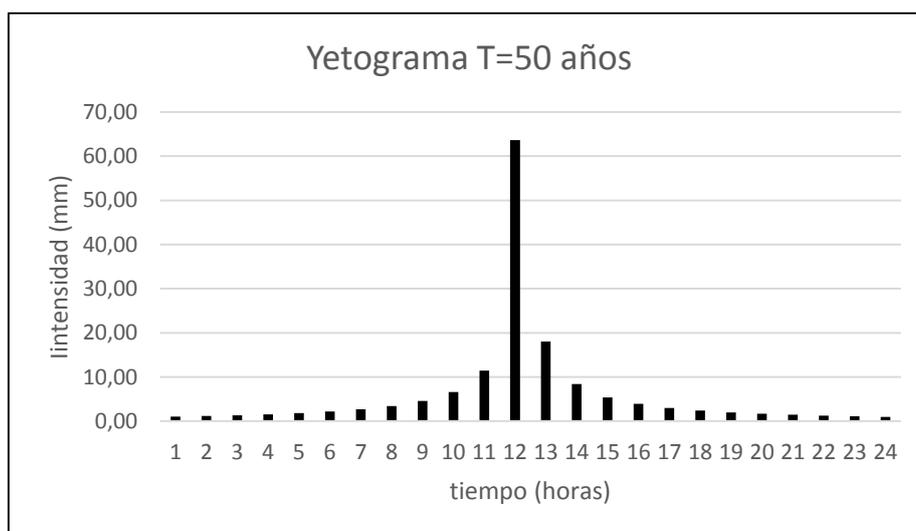


Figura A.2-8. Yetograma asociado a un periodo de retorno de 50 años. Fuente: elaboración propia.

| T (h) | I (mm/h) | P (mm) | Pincre (mm) | Intensidad (mm) |
|-------|----------|--------|-------------|-----------------|
| 1     | 73,23    | 73,23  | 73,23       | <b>1,20</b>     |
| 2     | 47,01    | 94,02  | 20,79       | <b>1,37</b>     |
| 3     | 35,75    | 107,24 | 13,22       | <b>1,57</b>     |
| 4     | 29,23    | 116,93 | 9,69        | <b>1,81</b>     |
| 5     | 24,91    | 124,54 | 7,61        | <b>2,13</b>     |
| 6     | 21,80    | 130,78 | 6,23        | <b>2,55</b>     |
| 7     | 19,43    | 136,03 | 5,25        | <b>3,12</b>     |
| 8     | 17,57    | 140,55 | 4,52        | <b>3,95</b>     |
| 9     | 16,06    | 144,50 | 3,95        | <b>5,25</b>     |
| 10    | 14,80    | 147,99 | 3,49        | <b>7,61</b>     |
| 11    | 13,74    | 151,10 | 3,12        | <b>13,22</b>    |
| 12    | 12,83    | 153,91 | 2,81        | <b>73,23</b>    |
| 13    | 12,04    | 156,46 | 2,55        | <b>20,79</b>    |
| 14    | 11,34    | 158,78 | 2,32        | <b>9,69</b>     |
| 15    | 10,73    | 160,91 | 2,13        | <b>6,23</b>     |
| 16    | 10,18    | 162,87 | 1,96        | <b>4,52</b>     |
| 17    | 9,69     | 164,69 | 1,81        | <b>3,49</b>     |
| 18    | 9,24     | 166,37 | 1,68        | <b>2,81</b>     |
| 19    | 8,84     | 167,93 | 1,57        | <b>2,32</b>     |
| 20    | 8,47     | 169,39 | 1,46        | <b>1,96</b>     |
| 21    | 8,13     | 170,76 | 1,37        | <b>1,68</b>     |
| 22    | 7,82     | 172,04 | 1,28        | <b>1,46</b>     |
| 23    | 7,53     | 173,24 | 1,20        | <b>1,28</b>     |
| 24    | 7,27     | 174,38 | 1,13        | <b>1,13</b>     |

Tabla A.2-8. Tormenta de diseño para un periodo de retorno de 100 años y una PdMA promedio areal de 152,8 mm. Fuente: elaboración propia.

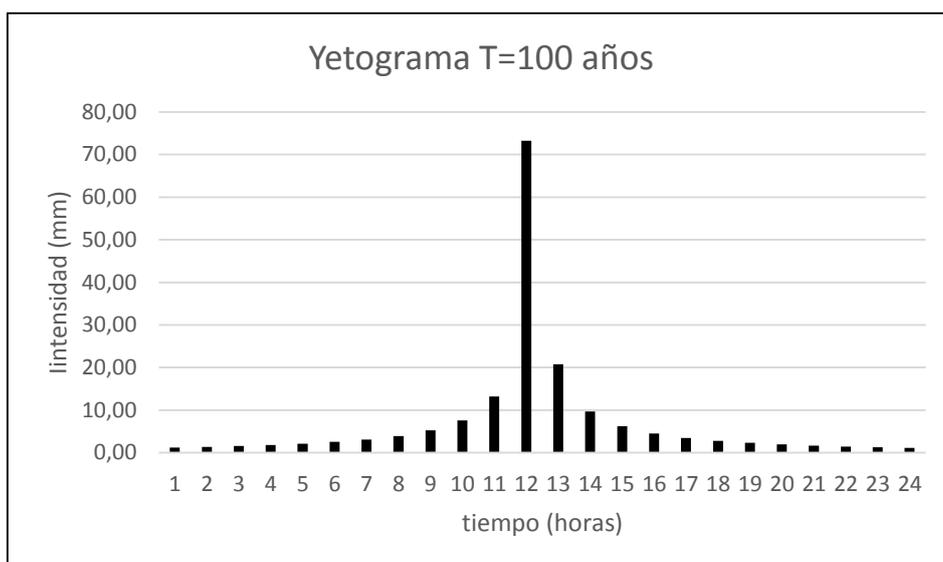


Figura A.2-9. Yetograma asociado a un periodo de retorno de 100 años. Fuente: elaboración propia.

#### A.2.4. PARÁMETROS PARA EL CÁLCULO DE CAUDALES MÁXIMOS EN HEC-HMS

Una vez descritos los métodos utilizados para calcular el hidrograma de la Cabecera de cuenca del río Buñol, así como los diferentes componentes del HEC-HMS (**Apartado 3.4.3. Cálculo de caudales punta mediante el método HEC-HMS**), a continuación se detallan los diversos parámetros que se han introducido para realizar la simulación.

- **Modelo de cuenca**

En la **Tabla A.2-9** correspondiente a los parámetros de las subcuencas se han introducido las áreas correspondientes a cada unidad hidrológica.

| Subbasin   | Area (KM2) |
|------------|------------|
| Subbasin-2 | 48,33      |
| Subbasin-1 | 23,49      |
| Subbasin-3 | 22,79      |

Tabla A.2-9. Parámetros introducidos en el Modelo de cuenca. Fuente: elaboración propia a partir del software HEC-HMS.

- **Método del Número de Curva del SCS**

Para calcular las pérdidas mediante el Número de Curva del SCS, se introduce la abstracción inicial (Umbral de escorrentía corregido, ver **Tabla 3-10**), el número de curva asociado a este umbral de escorrentía ( $CN=5080/(P_0+50,8)$ ) y el porcentaje de superficie impermeable (calculado a partir de los usos del suelo) de cada unidad hidrológica. Ver **Tabla A.2-10**.

| Subbasin   | Initial Abstraction (MM) | Curve Number | Impervious (%) |
|------------|--------------------------|--------------|----------------|
| Subbasin-2 | 53,903                   | 48,518       | 1,44           |
| Subbasin-1 | 41,6955                  | 54,922       | 0,87           |
| Subbasin-3 | 57,856                   | 46,753       | 2,56           |

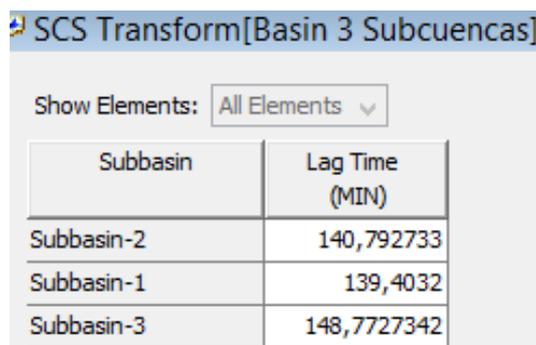
Tabla A.2.-10. Parámetros introducidos en el Método del Número de Curva del SCS para calcular las pérdidas. Fuente: elaboración propia a partir del software HEC-HMS.

- **Método del hidrograma adimensional del SCS**

El parámetro para calcular la transformación del hietograma neto en hidrograma de escorrentía superficial, mediante el Método del hidrograma adimensional del SCS, está relacionado con el tiempo de concentración de la cuenca llamado *SCS Lag* mediante la siguiente ecuación:

$$SCS\ Lag\ (min) = 0,6 \cdot t_c \cdot 60$$

En la **Tabla A.2-11** se observan los valores obtenidos.



| Subbasin   | Lag Time (MIN) |
|------------|----------------|
| Subbasin-2 | 140,792733     |
| Subbasin-1 | 139,4032       |
| Subbasin-3 | 148,7727342    |

Tabla A.2.-11. Parámetros introducidos para el cálculo de la transformación del hietograma neto en hidrograma de escorrentía superficial mediante el Método del hidrograma adimensional del SCS. Fuente: elaboración propia a partir del software HEC-HMS.

- **Método de Muskingum-Cunge**

Los parámetros para calcular la propagación de caudales mediante el Método de Muskingum-Cunge son los relacionados con la red de drenaje:

Longitud del cauce (*length*): en metros

Pendiente (*slope*): metros partido metros

Nº de Manning (*Manning's n*): el cálculo se ha basado en las tablas de CHOW V.T., 1982 y de Richardson E.V., Simon D.B. y Julien P.Y., 1990.

El procedimiento general para estimar los valores del coeficiente n consiste en la selección de un valor de coeficiente base para un cauce recto, uniforme y suave, hecho de los materiales de interés y luego adicionar factores de corrección en la siguiente forma:

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)n_5$$

Donde:  $n_0$  = valor base para cauces rectos y uniformes. Se obtiene de la **Tabla A.2-12**.

El resto de valores se obtienen de la **Tabla A.2-13**.

$n_1$  = valor adicional por la irregularidad en la sección recta

$n_2$  = valor adicional por variaciones en el cauce

$n_3$  = valor adicional por obstrucciones

n4 = valor adicional por vegetación

n5 = factor multiplicador por sinuosidad

| Tipo de cauce y descripción   | Valor de <i>n</i> |        |        |
|---|-------------------|--------|--------|
|   | Mínimo            | Normal | Máximo |
| <b>D. Cauces naturales menores (ancho superior a nivel de crecida menor que 30 m)</b>   |                   |        |        |
| <b>D1) Cauces en planicie</b>   |                   |        |        |
| 1) Limpio, recto, nivel lleno, sin fallas o pozos profundos   | 0.025             | 0.030  | 0.033  |
| 2) Igual que arriba pero más piedras y pastos   | 0.030             | 0.035  | 0.040  |
| 3) Limpio, curvado, algunos pozos y bancos  | 0.033             | 0.040  | 0.045  |
| 4) Igual que arriba pero algunos pastos y piedras   | 0.035             | 0.045  | 0.050  |
| 5) Igual que arriba, niveles más bajos, pendiente y secciones más inefectivas   | 0.040             | 0.048  | 0.055  |
| 6) Igual que 4, pero más piedras  | 0.045             | 0.050  | 0.060  |
| 7) Tramos sucios, con pastos y pozos profundos  | 0.050             | 0.070  | 0.080  |
| 8) Tramos con muchos pastos, pozos profundos o recorridos de la crecida con mucha madera o arbustos bajos   | 0.075             | 0.100  | 0.150  |
| <b>D2) Cauces de montaña, sin vegetación en el canal, laderas con pendientes usualmente pronunciadas, árboles y arbustos a lo largo de las laderas y sumergidos para niveles altos</b>  |                   |        |        |
| 1) Fondo: grava, canto rodado y algunas rocas   | 0.030             | 0.040  | 0.050  |
| 2) Fondo: canto rodado y algunas rocas  | 0.040             | 0.050  | 0.070  |
| <b>E) Cauces con planicie crecida</b>   |                   |        |        |
| 1) Pastos, sin arbustos   |                   |        |        |
| · Pastos cortos   | 0.025             | 0.030  | 0.035  |
| · Pastos altos  | 0.030             | 0.035  | 0.050  |
| 2) Áreas cultivadas   |                   |        |        |
| · Sin cultivo   | 0.020             | 0.030  | 0.040  |
| · Cultivos maduros alineados  | 0.025             | 0.035  | 0.045  |
| · Campo de cultivos maduros   | 0.030             | 0.040  | 0.050  |
| 3) Arbustos   |                   |        |        |
| · Arbustos escasos, muchos pastos   | 0.035             | 0.050  | 0.070  |
| · Pequeños arbustos y árboles, en invierno  | 0.035             | 0.050  | 0.060  |
| · Pequeños arbustos y árboles, en verano  | 0.040             | 0.060  | 0.080  |
| · Arbustos medianos a densos, en invierno   | 0.045             | 0.070  | 0.110  |
| · Arbustos medianos a densos, en verano   | 0.070             | 0.100  | 0.160  |
| 4) Árboles  |                   |        |        |
| · Sauces densos, en verano, y rectos  | 0.110             | 0.150  | 0.200  |
| · Tierra clara con ramas, sin brotes  | 0.030             | 0.040  | 0.050  |
| · Igual que arriba pero con gran crecimiento de brotes  | 0.050             | 0.060  | 0.080  |
| · Grupos grandes de madera, algunos árboles caídos, poco crecimiento inferior y nivel de la inundación por debajo de las ramas  | 0.080             | 0.100  | 0.120  |
| · Igual que arriba, pero con el nivel de inundación alcanzando las ramas  | 0.100             | 0.120  | 0.160  |
| <b>F) Cursos de agua importantes (ancho superior a nivel de inundación mayor que 30 m). Los valores de <i>n</i> son menores que los de los cursos menores de descripción similar, ya que las bancas ofrecen menor resistencia efectiva.</b> |                   |        |        |
| 1) Sección regular sin rocas y arbustos   | 0.025             | -      | 0.060  |
| 2) Sección irregular y áspera   | 0.035             | -      | 0.100  |

Tabla A.2.-12. Tabla 1: Coeficientes de rugosidad de Manning. Fuente: Chow, 1982.

| Efecto                            | Factor | Condición                 | Valor         | Comentario   |
|-----------------------------------|--------|---------------------------|---------------|--|
| Irregularidad en la sección recta | $n_s$  | Suave                     | 0             | Canal muy liso   |
|                                   |        | Pequeña                   | 0.001 - 0.005 | Bancas algo erodadas   |
|                                   |        | Moderada                  | 0.006 - 0.010 | Lecho y bancas rugosas   |
|                                   |        | Fuerte                    | 0.011 - 0.020 | Bancas muy irregulares   |
| Variaciones en el cauce           | $n_s$  | Gradual                   | 0             | Cambios graduales  |
|                                   |        | Alternado ocasionalmente  | 0.001 - 0.005 | Cambios ocasionales de secciones pequeñas a grandes                |
|                                   |        | Alternando frecuentemente | 0.010 - 0.015 | Cambios frecuentes en la forma de la sección recta                 |
| Obstrucciones                     | $n_s$  | Despreciables             | 0 - 0.004     | Obstrucción menor que el 5% de la sección recta                    |
|                                   |        | Pocas                     | 0.005 - 0.015 | Obstrucción entre el 5% y el 15% de la sección recta               |
|                                   |        | Algunas                   | 0.020 - 0.030 | Obstrucción entre el 15% y el 50% de la sección                    |
|                                   |        | Muchas                    | 0.040 - 0.060 | Obstrucción mayor que el 50%                                       |
| Vegetación                        | $n_s$  | Poca                      | 0.002 - 0.010 | Profundidad del flujo mayor que 2 veces la altura de la vegetación |
|                                   |        | Mucha                     | 0.010 - 0.025 | Profundidad del flujo mayor que la altura de vegetación            |
|                                   |        | Bastante                  | 0.025 - 0.050 | Profundidad del flujo menor que la altura de vegetación            |
|                                   |        | Excesiva                  | 0.050 - 0.100 | Profundidad del flujo menor que 0.5 la altura de la vegetación     |
| Sinuosidad                        | $n_s$  | Pequeña                   | 1.00          | Sinuosidad < 1.2   |
|                                   |        | Media                     | 1.15          | 1.2 < sinuosidad < 1.5   |
|                                   |        | Fuerte                    | 1.30          | Sinuosidad > 1.5   |

Tabla A.2-13. Valores de corrección para la determinación del coeficiente de Manning. Fuente: Richardson *et. al* 1990.

Forma de la sección (Shape): se ha realizado por el método de los ocho puntos. Se ha medido la sección del cauce *in situ* en los puntos en el que cambia de sección. Estos puntos se decidieron preliminarmente mediante el visor *Google Earth*. Se fue al área de estudio con GPS y las coordenadas correspondientes, algunos puntos se verificaron y otros se modificaron.

Mediante este trabajo de campo se pudieron caracterizar los cauces, tanto para el cálculo del número de Manning como para la forma de la sección. En la **Tabla A.2-14** se muestran los parámetros medidos y calculados de cada tramo.

| Tramo | 8 Puntos |       | n<br>lateral | n cauce |      |      |       |      |    |      | Descripción   |
|-------|----------|-------|--------------|---------|------|------|-------|------|----|------|---|
|       | x        | y     |              | n0      | n1   | n2   | n3    | n4   | n5 | n    |   |
| 1     | 0        | 3,5   | 0,05         | 0,1     | 0,01 | 0    | 0,005 | 0,01 | 1  | 0,07 | Pequeños arbustos y árboles, en invierno y en verano.<br>Sinuosidad pequeña.            |
|       | 1        | 2,5   |              |         |      |      |       |      |    |      |   |
|       | 2        | 13    |              |         |      |      |       |      |    |      |   |
|       | 3,5      | 0     |              |         |      |      |       |      |    |      |   |
|       | 5        | 0,2   |              |         |      |      |       |      |    |      |   |
|       | 7        | 0,5   |              |         |      |      |       |      |    |      |   |
|       | 9        | 1     |              |         |      |      |       |      |    |      |   |
| 10    | 14       |       |              |         |      |      |       |      |    |      |   |
| 2     | 0        | 15    | 0,15         | 0,2     | 0,01 | 0,01 | 0,002 | 0    | 1  | 0,16 | Árboles.Sauces densos, en verano y rectos.<br>Sinuosidad pequeña.                       |
|       | 2        | 0,7   |              |         |      |      |       |      |    |      |   |
|       | 5        | 0,3   |              |         |      |      |       |      |    |      |   |
|       | 7        | 0     |              |         |      |      |       |      |    |      |   |
|       | 9        | 0     |              |         |      |      |       |      |    |      |   |
|       | 11       | 0,7   |              |         |      |      |       |      |    |      |   |
|       | 12       | 15    |              |         |      |      |       |      |    |      |   |
| 13    | 2,5      |       |              |         |      |      |       |      |    |      |   |
| 3     | 0        | 0,55  | 0,15         | 0,2     | 0,01 | 0,01 | 0,002 | 0    | 1  | 0,16 | Árboles.Sauces densos, en verano y rectos.<br>Sinuosidad pequeña.                       |
|       | 2        | 0,35  |              |         |      |      |       |      |    |      |   |
|       | 4,8      | 0     |              |         |      |      |       |      |    |      |   |
|       | 7        | 0,02  |              |         |      |      |       |      |    |      |   |
|       | 10       | 0,05  |              |         |      |      |       |      |    |      |   |
|       | 11       | 0,4   |              |         |      |      |       |      |    |      |   |
|       | 13       | 5     |              |         |      |      |       |      |    |      |   |
| 14    | 0,55     |       |              |         |      |      |       |      |    |      |   |
| 4     | 0        | 0,8   | 0,15         | 0,2     | 0,01 | 0,01 | 0,002 | 0    | 12 | 0,19 | Árboles.Sauces densos, en verano y rectos.<br>Sinuosidad media.                         |
|       | 2        | 0,27  |              |         |      |      |       |      |    |      |   |
|       | 3        | 0     |              |         |      |      |       |      |    |      |   |
|       | 6,5      | 0     |              |         |      |      |       |      |    |      |   |
|       | 10       | 0,2   |              |         |      |      |       |      |    |      |   |
|       | 11       | 0,43  |              |         |      |      |       |      |    |      |   |
|       | 12       | 0,67  |              |         |      |      |       |      |    |      |   |
| 13    | 0,9      |       |              |         |      |      |       |      |    |      |   |
| 5     | 0        | 0,6   | 0,05         | 0,1     | 0,01 | 0,01 | 0,002 | 0,01 | 1  | 0,07 | Pequeños arbustos y árboles, en invierno y en verano.<br>Sinuosidad pequeña.            |
|       | 1        | 0,35  |              |         |      |      |       |      |    |      |   |
|       | 2        | 0,1   |              |         |      |      |       |      |    |      |   |
|       | 4        | 0,06  |              |         |      |      |       |      |    |      |   |
|       | 5        | 0,04  |              |         |      |      |       |      |    |      |   |
|       | 7        | 0     |              |         |      |      |       |      |    |      |   |
|       | 9        | 0,2   |              |         |      |      |       |      |    |      |   |
| 10    | 0,3      |       |              |         |      |      |       |      |    |      |   |
| 6     | 0        | 14    | 0,05         | 0,1     | 0,01 | 0,01 | 0,002 | 0,01 | 12 | 0,08 | Irregularidad moderada. Árboles.Sauces densos, en verano y rectos.<br>Sinuosidad media. |
|       | 2        | 0,8   |              |         |      |      |       |      |    |      |   |
|       | 3        | 0,5   |              |         |      |      |       |      |    |      |   |
|       | 4        | 0,375 |              |         |      |      |       |      |    |      |   |
|       | 6        | 0,125 |              |         |      |      |       |      |    |      |   |
|       | 7        | 0     |              |         |      |      |       |      |    |      |   |
|       | 8        | 0,333 |              |         |      |      |       |      |    |      |   |
| 10    | 1        |       |              |         |      |      |       |      |    |      |   |
| 7     | 0        | 15    | 0,05         | 0,1     | 0    | 0    | 0,005 | 0    | 1  | 0,06 | Limpio, curvado, algunos pozos y bancos,pero con más piedras.<br>Sinuosidad baja.       |
|       | 1        | 1     |              |         |      |      |       |      |    |      |   |
|       | 2        | 0,5   |              |         |      |      |       |      |    |      |   |
|       | 5        | 0,2   |              |         |      |      |       |      |    |      |   |
|       | 7        | 0     |              |         |      |      |       |      |    |      |   |
|       | 11       | 0,25  |              |         |      |      |       |      |    |      |   |
|       | 13       | 0,775 |              |         |      |      |       |      |    |      |   |
| 15    | 13       |       |              |         |      |      |       |      |    |      |   |
| 8     | 0        | 1     | 0,05         | 0,1     | 0    | 0    | 0,005 | 0    | 12 | 0,07 | Limpio, curvado, algunos pozos y bancos,pero con más piedras.<br>Sinuosidad media.      |
|       | 2        | 1,375 |              |         |      |      |       |      |    |      |   |
|       | 4        | 0,25  |              |         |      |      |       |      |    |      |   |
|       | 6        | 0,125 |              |         |      |      |       |      |    |      |   |
|       | 8        | 0     |              |         |      |      |       |      |    |      |   |
|       | 9        | 0     |              |         |      |      |       |      |    |      |   |
|       | 11       | 0,4   |              |         |      |      |       |      |    |      |   |
| 13    | 0,8      |       |              |         |      |      |       |      |    |      |   |
| 9     | 0        | 18    | 0,05         | 0,1     | 0    | 0    | 0,005 | 0    | 1  | 0,06 | Limpio, curvado, algunos pozos y bancos,pero con más piedras.<br>Sinuosidad baja.       |
|       | 1        | 144   |              |         |      |      |       |      |    |      |   |
|       | 2        | 108   |              |         |      |      |       |      |    |      |   |
|       | 3        | 0,72  |              |         |      |      |       |      |    |      |   |
|       | 4        | 0,36  |              |         |      |      |       |      |    |      |   |
|       | 5        | 0     |              |         |      |      |       |      |    |      |   |
|       | 6        | 0,95  |              |         |      |      |       |      |    |      |   |
| 7     | 19       |       |              |         |      |      |       |      |    |      |   |
| 10    | 0        | 0,5   | 0,05         | 0,1     | 0    | 0    | 0,004 | 0,01 | 1  | 0,06 | Pequeños arbustos y árboles, en invierno y en verano.<br>Sinuosidad pequeña.            |
|       | 1        | 0,375 |              |         |      |      |       |      |    |      |   |
|       | 2        | 0,25  |              |         |      |      |       |      |    |      |   |
|       | 3        | 0,125 |              |         |      |      |       |      |    |      |   |
|       | 4        | 0     |              |         |      |      |       |      |    |      |   |
|       | 5        | 0,14  |              |         |      |      |       |      |    |      |   |
|       | 6        | 0,28  |              |         |      |      |       |      |    |      |   |
| 7     | 0,42     |       |              |         |      |      |       |      |    |      |   |

Tabla A.2-14. Valores de x e y para caracterizar las secciones de los cauces y cálculo del número de Manning. Fuente: elaboración propia.

En la **Tabla A.2-15** se muestran todos los valores para el Método de Muskingum-Cunge de propagación de caudales.

| Reach    | Time Step Method         | Length (M) | Slope (M/M) | Manning's n | Invert (M) | Shape       |
|----------|--------------------------|------------|-------------|-------------|------------|-------------|
| Reach-1  | Automatic Fixed Interval | 3861,97    | 0,0137      | 0,071       |            | Eight Point |
| Reach-2  | Automatic Fixed Interval | 2087,73    | 0,0105      | 0,1645      |            | Eight Point |
| Reach-3  | Automatic Fixed Interval | 1063,91    | 0,0103      | 0,1645      |            | Eight Point |
| Reach-4  | Automatic Fixed Interval | 1741,60    | 0,0103      | 0,189175    |            | Eight Point |
| Reach-5  | Automatic Fixed Interval | 3885,46    | 0,0129      | 0,074       |            | Eight Point |
| Reach-6  | Automatic Fixed Interval | 2336,09    | 0,0227      | 0,083375    |            | Eight Point |
| Reach-7  | Automatic Fixed Interval | 1235,40    | 0,0170      | 0,058       |            | Eight Point |
| Reach-8  | Automatic Fixed Interval | 1145,98    | 0,0175      | 0,0667      |            | Eight Point |
| Reach-9  | Automatic Fixed Interval | 1983,88    | 0,0428      | 0,058       |            | Eight Point |
| Reach-10 | Automatic Fixed Interval | 992,55     | 0,0373      | 0,064       |            | Eight Point |

Tabla A.2-15. Tabla resumen de los parámetros introducidos para el cálculo de propagación de caudales mediante el Método de Muskingum-Cunge. Fuente: elaboración propia a partir del software HEC-HMS.

- **Modelo meteorológico**

Se crean las cuatro tormentas de diseño de la **Tabla 3-15** (una para cada periodo de retorno) y se crean cuatro modelos meteorológicos. Cada modelo se asocia con un periodo de retorno y con su correspondiente tormenta de diseño. Cada tormenta tiene una duración de 24 horas y comienza el día 01 enero de 2000 a las 00:00 y finaliza el día 02 enero a las 00:00.

- **Especificaciones de control**

La duración de la simulación es de dos días, ya que el caudal punta se producirá una vez haya transcurrido un intervalo de tiempo después de finalizar la tormenta. Por tanto, la simulación comienza el día 1 de enero de 2000 a las 00:00 y termina el 03 de enero a las 00:00 y con un intervalo de cálculo de 10 minutos.

En cada simulación se utiliza el mismo modelo de cuenca, las mismas especificaciones de control y diferente modelo meteorológico. Por tanto, se han realizado 4 simulaciones, una para cada periodo de retorno.



## **ANEXO 3: Estados erosivos ( R.U.S.L.E.)**



### A.3.1. TABLAS DE EROSIÓN MEDIA, EN LA CABECERA DE CUENCA DEL RÍO BUÑOL Y EN LAS DIFERENTES UNIDADES HIDROLÓGICAS

En este apartado se muestran las diferentes tablas obtenidas para hallar la erosión media de la cuenca total y de cada unidad hidrológica. También se han indicado el área en kilómetros cuadrados y en porcentaje de cada uso. De esta forma se puede ver claramente la causa de la erosión media de cada unidad hidrológica o de la cuenca completa, el uso que ocupe mayor superficie en la cuenca tendrá más peso en el valor de la erosión total. En la **Tabla A.3-1** se muestran los datos pertenecientes a la cuenca completa de estudio, es decir, la Cabecera de cuenca del río Buñol. En la **Tabla A.3-2**, **Tabla A.3-3** y **Tabla A.3-4** se puede observar los valores pertenecientes a las subcuencas 1, 2 y 3, respectivamente.

| CUENCA COMPLETA         |          |   |                      |
|-------------------------|----------|---|----------------------|
| AREA (Km <sup>2</sup> ) | Area (%) | Usos  | Pérdidas (tn/ha-año) |
| 0,93                    | 1,0%     | 1. Barbecho                                       | 38                   |
| 0,30                    | 0,3%     | 2. Huerta: cultivos en hilera                     | 18                   |
| 0,07                    | 0,1%     | 3. Cultivo herbáceo de secano                     | 17                   |
| 0,25                    | 0,3%     | 4. Maíz y productos hortícolas                    | 25                   |
| 0,26                    | 0,3%     | 5. Pastizal sin arbolado                          | 16                   |
| 4,62                    | 4,9%     | 6. Pastizal con coníferas o frondosas             | 12                   |
| 2,07                    | 2,2%     | 7. Pastizal con frondosas o coníferas y frondosas | 4                    |
| 9,03                    | 9,5%     | 8. Cultivos arbóreo de secano                     | 30                   |
| 0,25                    | 0,3%     | 9. Frutales de secano + Matorral                  | 28                   |
| 1,23                    | 1,3%     | 10. Matorral sin arbolado (cobertura < 50%)       | 230                  |
| 33,78                   | 35,7%    | 11. Matorral sin arbolado (cobertura > 50%)       | 145                  |
| 9,78                    | 10,3%    | 12. Matorral + Coníferas y/o Frondosas            | 48                   |
| 30,08                   | 31,8%    | 13. Coníferas                                     | 18                   |
| 0,46                    | 0,5%     | 14. Frondosas                                     | 5                    |
| 1,50                    | 1,6%     | 15. Núcleos urbanos, carreteras, canteras         | 0                    |
| 94,61                   | 100,0%   | TOTAL   | 69                   |

Tabla A.3-1. Erosión media de la cabecera de cuenca del río Buñol, en toneladas por hectárea y año y en función de los diferentes usos. También se indica la superficie ocupada por cada uso.

Fuente: elaboración propia.

| <b>SUBCUENCA 1</b> |                 |   |                             |
|--------------------|-----------------|---|-----------------------------|
| <b>AREA (Km2)</b>  | <b>AREA (%)</b> | <b>Usos</b>                                       | <b>PÉRDIDAS (tn/ha·año)</b> |
| 0,42               | 1,8%            | 1. Barbecho                                       | <b>37</b>                   |
|                    | 0,0%            | 2. Huerta: cultivos en hilera                     |                             |
| 0,07               | 0,3%            | 3. Cultivo herbáceo de secano                     | <b>17</b>                   |
|                    | 0,0%            | 4. Maíz y productos hortícolas                    |                             |
|                    | 0,0%            | 5. Pastizal sin arbolado                          |                             |
| 0,67               | 2,9%            | 6. Pastizal con coníferas o frondosas             | <b>12</b>                   |
| 0,09               | 0,4%            | 7. Pastizal con frondosas o coníferas y frondosas | <b>3</b>                    |
| 3,15               | 13,4%           | 8. Cultivos arbóreo de secano                     | <b>39</b>                   |
|                    | 0,0%            | 9. Frutales de secano + Matorral                  |                             |
| 1,07               | 4,6%            | 10. Matorral sin arbolado (cobertura < 50%)       | <b>234</b>                  |
| 15,09              | 64,2%           | 11. Matorral sin arbolado (cobertura > 50%)       | <b>171</b>                  |
| 0,87               | 3,7%            | 12. Matorral + Coníferas y/o Frondosas            | <b>38</b>                   |
| 1,86               | 7,9%            | 13. Coníferas                                     | <b>6</b>                    |
|                    | 0,0%            | 14. Frondosas                                     |                             |
| 0,20               | 0,9%            | 15. Núcleos urbanos, carreteras, canteras         | <b>0</b>                    |
| <b>23,49</b>       | <b>100%</b>     | <b>TOTAL</b>                                      | <b>129</b>                  |

Tabla A.3-2. Erosión media de la subcuenca 1, en toneladas por hectárea y año y en función de los diferentes usos. Fuente: elaboración propia.

| <b>SUBCUENCA 2</b> |                 |   |                             |
|--------------------|-----------------|---|-----------------------------|
| <b>AREA (Km2)</b>  | <b>AREA (%)</b> | <b>Usos</b>                                       | <b>PÉRDIDAS (tn/ha·año)</b> |
| 0,51               | 1,0%            | 1. Barbecho                                       | <b>38</b>                   |
|                    | 0,0%            | 2. Huerta: cultivos en hilera                     |                             |
|                    | 0,0%            | 3. Cultivo herbáceo de secano                     |                             |
| 0,25               | 0,5%            | 4. Maíz y productos hortícolas                    | <b>25</b>                   |
| 0,26               | 0,5%            | 5. Pastizal sin arbolado                          | <b>16</b>                   |
| 3,84               | 7,9%            | 6. Pastizal con coníferas o frondosas             | <b>12</b>                   |
| 0,11               | 0,2%            | 7. Pastizal con frondosas o coníferas y frondosas | <b>5</b>                    |
| 4,15               | 8,6%            | 8. Cultivos arbóreo de secano                     | <b>19</b>                   |
| 0,15               | 0,3%            | 9. Frutales de secano + Matorral                  | <b>29</b>                   |
| 0,16               | 0,3%            | 10. Matorral sin arbolado (cobertura < 50%)       | <b>205</b>                  |
| 15,41              | 31,9%           | 11. Matorral sin arbolado (cobertura > 50%)       | <b>117</b>                  |
| 3,49               | 7,2%            | 12. Matorral + Coníferas y/o Frondosas            | <b>49</b>                   |
| 18,80              | 38,9%           | 13. Coníferas                                     | <b>18</b>                   |
| 0,46               | 1,0%            | 14. Frondosas                                     | <b>5</b>                    |
| 0,72               | 1,5%            | 15. Núcleos urbanos, carreteras, canteras         | <b>0</b>                    |
| <b>48,32</b>       | <b>100%</b>     | <b>TOTAL</b>                                      | <b>52</b>                   |

Tabla A.3-3. Erosión media de la subcuenca 2 en toneladas por hectárea y año y en función de los diferentes usos. Fuente: elaboración propia.

| <b>SUBCUENCA 3</b>    |                     |   |                                 |
|-----------------------|---------------------|---|---------------------------------|
| <b>AREA<br/>(Km2)</b> | <b>AREA<br/>(%)</b> | <b>Usos</b>                                       | <b>PÉRDIDAS<br/>(tn/ha·año)</b> |
|                       | 0,0%                | 1. Barbecho                                       |                                 |
| 0,30                  | 1,3%                | 2. Huerta: cultivos en hilera                     | <b>18</b>                       |
|                       | 0,0%                | 3. Cultivo herbáceo de secano                     |                                 |
|                       | 0,0%                | 4. Maíz y productos hortícolas                    |                                 |
|                       | 0,0%                | 5. Pastizal sin arbolado                          |                                 |
| 0,10                  | 0,4%                | 6. Pastizal con coníferas o frondosas             | <b>8</b>                        |
| 1,87                  | 8,2%                | 7. Pastizal con frondosas o coníferas y frondosas | <b>4</b>                        |
| 1,73                  | 7,6%                | 8. Cultivos arbóreo de secano                     | <b>41</b>                       |
| 0,10                  | 0,4%                | 9. Frutales de secano + Matorral                  | <b>26</b>                       |
|                       | 0,0%                | 10. Matorral sin arbolado (cobertura < 50%)       |                                 |
| 3,28                  | 14,4%               | 11. Matorral sin arbolado (cobertura > 50%)       | <b>153</b>                      |
| 5,42                  | 23,8%               | 12. Matorral + Coníferas y/o Frondosas            | <b>48</b>                       |
| 9,42                  | 41,3%               | 13. Coníferas                                     | <b>21</b>                       |
|                       | 0,0%                | 14. Frondosas                                     |                                 |
| 0,57                  | 2,5%                | 15. Núcleos urbanos, carreteras, canteras         | <b>0,00</b>                     |
| <b>22,78</b>          | <b>100%</b>         | <b>Subcuenca 3</b>                                | <b>46,04</b>                    |

Tabla A.3-4. Erosión media de la subcuenca 3 en toneladas por hectárea y año y en función de los diferentes usos. Fuente: elaboración propia.



## **ANEXO 4: FICHAS DE REPOBLACIÓN**



Tabla A.4-1. Ficha de repoblación en el Monte V68 (Siete Aguas) correspondiente a Repoblación bajo cubierta de *Pinus halepensis* en orientación sur (solana).

| IDENTIFICACIÓN   |             |  |                   |                 |              |
|--|-------------|--|-------------------|-----------------|--------------|
| MONTE  |             | CÓDIGO DE ORDENACIÓN AGROHIDROLÓGICA       | TÉRMINO MUNICIPAL | SUPERFICIE (ha) | EXPOSICIÓN   |
| CÓDIGO   | NOMBRE      |  |                   |                 |              |
| V068   | SIETE AGUAS | 2. Continuidad y mejora del monte arbolado | SIETE AGUAS       | 45 ha           | SUR (solana) |
| SITUACIÓN INICIAL  |             |  |                   |                 |              |
| ALTITUD (m.s.n.m.)   |             | TIPO SUELO                                 | PENDIENTE         |                 |              |
| Máxima   | 1082        | Pedregoso-rocoso                           | <30%              | 30-60%          | >60%         |
| Mínima   | 590         |  | 28 ha             | 15 ha           | 2 ha         |
| VEGETACIÓN   |             |  |                   |                 |              |
| Masa forestal de <i>Pinus halepensis</i> y matorral  |             |  |                   |                 |              |
| VEGETACIÓN ARBUSTIVA   |             |  |                   |                 |              |
| SUPERFICIE CUBIERTA  | 50 - 80 %   |  | DIÁMETRO          | < 3 cm          |              |
| OTRAS OBSERVACIONES  |             |  |                   |                 |              |
| Existe caza menor y caza mayor. Principalmente conejo y cabra montés   |             |  |                   |                 |              |
| REPOBLACIÓN  |             |  |                   |                 |              |
| <i>Quercus ilex</i> subsp. <i>ballota</i> (100%)   |             |  |                   |                 |              |
| DENSIDAD DE LA PLANTACIÓN  |             |  |                   |                 |              |
| 625 pies/ha  |             |  |                   |                 |              |
| DISTRIBUCIÓN DE LAS PLANTAS SOBRE EL TERRENO   |             |  |                   |                 |              |
| La distribución de las plantas se hará de forma irregular  |             |  |                   |                 |              |
| ACTUACIONES  |             |  |                   |                 |              |
| 1) Desbroce selectivo. Manual con motodesbrozadora.<br>2) Preparación manual de 625 pies/ha mediante pico mecánico<br>3) Plantación manual<br>4) Colocación de tubo invernadero con tutor<br>5) Colocación de castillete (3 piedras) para protección de plantas<br>6) Reposición de marras |             |  |                   |                 |              |

Tabla A.4-2. Ficha de repoblación en el Monte V68 (Siete Aguas) correspondiente a Repoblación bajo cubierta de *Pinus halepensis* en orientación norte (umbría).

| IDENTIFICACIÓN   |             |  |                   |                 |                |
|--|-------------|--|-------------------|-----------------|----------------|
| MONTE  |             | CÓDIGO DE ORDENACIÓN AGROHIDROLÓGICA       | TÉRMINO MUNICIPAL | SUPERFICIE (ha) | EXPOSICIÓN     |
| CÓDIGO   | NOMBRE      |  |                   |                 |                |
| V068   | SIETE AGUAS | 2. Continuidad y mejora del monte arbolado | SIETE AGUAS       | 84 ha           | NORTE (umbría) |
| SITUACIÓN INICIAL  |             |  |                   |                 |                |
| ALTITUD (m.s.n.m.)   |             | TIPO SUELO                                 | PENDIENTE         |                 |                |
| Máxima   | 1082        | Pedregoso-rocoso y húmedo                  | <30%              | 30-60%          | >60%           |
| Mínima   | 590         |  | 53 ha             | 29 ha           | 3 ha           |
| VEGETACIÓN   |             |  |                   |                 |                |
| Masa forestal de <i>Pinus halepensis</i> y matorral  |             |  |                   |                 |                |
| VEGETACIÓN ARBUSTIVA   |             |  |                   |                 |                |
| SUPERFICIE CUBIERTA  |             | 50 - 80 %                                  | DIÁMETRO          | < 3 cm          |                |
| OTRAS OBSERVACIONES  |             |  |                   |                 |                |
| Existe caza menor y caza mayor. Principalmente conejo y cabra montés   |             |  |                   |                 |                |
| REPOBLACIÓN  |             |  |                   |                 |                |
| <i>Quercus ilex supbs. ballota</i> (50%)   |             |  |                   |                 |                |
| <i>Quercus faginea</i> (50%)   |             |  |                   |                 |                |
| DENSIDAD DE LA PLANTACIÓN  |             |  |                   |                 |                |
| 625 pies/ha  |             |  |                   |                 |                |
| DISTRIBUCIÓN DE LAS PLANTAS SOBRE EL TERRENO   |             |  |                   |                 |                |
| La distribución de las plantas se hará de forma irregular  |             |  |                   |                 |                |
| ACTUACIONES  |             |  |                   |                 |                |
| 1) Desbroce selectivo. Manual con motodesbrozadora.<br>2) Preparación manual de 625 pies/ha mediante pico mecánico<br>3) Plantación manual<br>4) Colocación de tubo invernadero con tutor<br>5) Colocación de castillete (3 piedras) para protección de plantas<br>6) Reposición de marras |             |  |                   |                 |                |

Tabla A.4-3. Ficha de repoblación en el Monte V66 (Buñol) correspondiente a Repoblación bajo cubierta de *Pinus halepensis* en orientación sur (solana).

| IDENTIFICACIÓN   |           |  |                   |                 |              |
|--|-----------|--|-------------------|-----------------|--------------|
| MONTE  |           | CÓDIGO DE ORDENACIÓN AGROHIDROLÓGICA       | TÉRMINO MUNICIPAL | SUPERFICIE (ha) | EXPOSICIÓN   |
| CÓDIGO   | NOMBRE    |  | BUÑOL             | 62 ha           | SUR (solana) |
| V066   | BUÑOL     | 2. Continuidad y mejora del monte arbolado |                   |                 |              |
| SITUACIÓN INICIAL  |           |  |                   |                 |              |
| ALTITUD  |           | TIPO SUELO                                 | PENDIENTE         |                 |              |
| Máxima   | 1117      | Pedregoso-rocoso                           | <30%              | 30-60%          | >60%         |
| Mínima   | 310       |  | 24 ha             | 27 ha           | 10 ha        |
| VEGETACIÓN   |           |  |                   |                 |              |
| Masa forestal de <i>Pinus halepensis</i> y matorral  |           |  |                   |                 |              |
| VEGETACIÓN ARBUSTIVA   |           |  |                   |                 |              |
| SUPERFICIE CUBIERTA  | 50 - 80 % |  | DIÁMETRO          | < 3 cm          |              |
| OTRAS OBSERVACIONES  |           |  |                   |                 |              |
| Existe caza menor y caza mayor. Principalmente conejo y cabra montés   |           |  |                   |                 |              |
| REPOBLACIÓN  |           |  |                   |                 |              |
| <i>Quercus ilex supbs. ballota</i> (100%)  |           |  |                   |                 |              |
| DENSIDAD DE LA PLANTACIÓN  |           |  |                   |                 |              |
| 625 pies/ha  |           |  |                   |                 |              |
| DISTRIBUCIÓN DE LAS PLANTAS SOBRE EL TERRENO   |           |  |                   |                 |              |
| La distribución de las plantas se hará de forma irregular  |           |  |                   |                 |              |
| ACTUACIONES  |           |  |                   |                 |              |
| 1) Desbroce selectivo. Manual con motodesbrozadora.<br>2) Preparación manual de 625 pies/ha mediante pico mecánico<br>3) Plantación manual<br>4) Colocación de tubo invernadero con tutor<br>5) Colocación de castillete (3 piedras) para protección de plantas<br>6) Reposición de marras |           |  |                   |                 |              |

Tabla A.4-4. Ficha de repoblación en el Monte V66 (Buñol) correspondiente a Repoblación bajo cubierta de *Pinus halepensis* en orientación norte (umbría).

| IDENTIFICACIÓN   |        |  |                   |                 |                |
|--|--------|--|-------------------|-----------------|----------------|
| MONTE  |        | CÓDIGO DE ORDENACIÓN AGROHIDROLÓGICA       | TÉRMINO MUNICIPAL | SUPERFICIE (ha) | EXPOSICIÓN     |
| CÓDIGO   | NOMBRE |  |                   |                 |                |
| V066   | BUÑOL  | 2. Continuidad y mejora del monte arbolado | BUÑOL             | 62 ha           | NORTE (umbría) |
| SITUACIÓN INICIAL  |        |  |                   |                 |                |
| ALTITUD (m.s.n.m.)   |        | TIPO SUELO                                 | PENDIENTE         |                 |                |
| Máxima   | 1117   | Pedregoso-rocoso y húmedo                  | <30%              | 30-60%          | >60%           |
| Mínima   | 310    |  | 24 ha             | 27 ha           | 10 ha          |
| VEGETACIÓN   |        |  |                   |                 |                |
| Masa forestal de <i>Pinus halepensis</i> y matorral  |        |  |                   |                 |                |
| VEGETACIÓN ARBUSTIVA   |        |  |                   |                 |                |
| SUPERFICIE CUBIERTA  |        | 50 - 80 %                                  | DIÁMETRO          | < 3 cm          |                |
| OTRAS OBSERVACIONES  |        |  |                   |                 |                |
| Existe caza menor y caza mayor. Principalmente conejo y cabra montés   |        |  |                   |                 |                |
| REPOBLACIÓN  |        |  |                   |                 |                |
| <i>Quercus ilex supbs. ballota</i> (50%)   |        |  |                   |                 |                |
| <i>Quercus faginea</i> (50%)   |        |  |                   |                 |                |
| DENSIDAD DE LA PLANTACIÓN  |        |  |                   |                 |                |
| 625 pies/ha  |        |  |                   |                 |                |
| DISTRIBUCIÓN DE LAS PLANTAS SOBRE EL TERRENO   |        |  |                   |                 |                |
| La distribución de las plantas se hará de forma irregular  |        |  |                   |                 |                |
| ACTUACIONES  |        |  |                   |                 |                |
| 1) Desbroce selectivo. Manual con motodesbrozadora.<br>2) Preparación manual de 625 pies/ha mediante pico mecánico<br>3) Plantación manual<br>4) Colocación de tubo invernadero con tutor<br>5) Colocación de castillete (3 piedras) para protección de plantas<br>6) Reposición de marras |        |  |                   |                 |                |

Tabla A.4-5. Ficha de repoblación en el Monte V68 (Siete Aguas) correspondiente a en zonas de matorral sin arbolado con orientación sur (solana).

| IDENTIFICACIÓN  |             |                                      |                   |                 |              |
|---|-------------|--------------------------------------|-------------------|-----------------|--------------|
| MONTE   |             | CÓDIGO DE ORDENACIÓN AGROHIDROLÓGICA | TÉRMINO MUNICIPAL | SUPERFICIE (ha) | EXPOSICIÓN   |
| CÓDIGO  | NOMBRE      |                                      |                   |                 |              |
| V068  | SIETE AGUAS | 3.1. y 4. Crear monte arbolado       | SIETE AGUAS       | 830 ha          | SUR (solana) |
| SITUACIÓN INICIAL   |             |                                      |                   |                 |              |
| ALTITUD (m.s.n.m.)  |             | TIPO SUELO                           | PENDIENTE         |                 |              |
| Máxima  | 1082        | Pedregoso-rocoso                     | <30%              | 30-60%          | >60%         |
| Mínima  | 590         |                                      | 523 ha            | 282 ha          | 33 ha        |
| VEGETACIÓN  |             |                                      |                   |                 |              |
| Matorral degradado sin arbolado   |             |                                      |                   |                 |              |
| VEGETACIÓN ARBUSTIVA  |             |                                      |                   |                 |              |
| SUPERFICIE CUBIERTA   | < 50 %      |                                      | DIÁMETRO          | < 3 cm          |              |
| OTRAS OBSERVACIONES   |             |                                      |                   |                 |              |
| Existe caza menor y caza mayor. Principalmente conejo y cabra montés  |             |                                      |                   |                 |              |
| REPOBLACIÓN   |             |                                      |                   |                 |              |
| <i>Pinus halepensis</i> (75%)<br><i>Quercus ilex subsp. ballota</i> (10%)<br><i>Quercus coccifera</i> (5%)<br><i>Juniperus oxycedrus</i> (5%)<br><i>Rhamnus lycioides</i> (2,5%)<br><i>Pistacia lentiscus</i> (2,5%)  |             |                                      |                   |                 |              |
| DENSIDAD DE LA PLANTACIÓN   |             |                                      |                   |                 |              |
| 1600 pies/ha  |             |                                      |                   |                 |              |
| DISTRIBUCIÓN DE LAS PLANTAS SOBRE EL TERRENO  |             |                                      |                   |                 |              |
| La distribución de las plantas se hará al tresbolillo   |             |                                      |                   |                 |              |
| ACTUACIONES   |             |                                      |                   |                 |              |
| 1) No se realiza desbroce previo<br>2) Preparación mecanizada con retroaraña, hoyos de 40x40x40 en suelos muy pedregosos, y hoyos de 40x40x(50-60) donde el suelo lo permita.<br>3) Plantación manual<br>4) Colocación de tubo invernadero con tutor<br>5) Colocación de castillete (3 piedras) para protección de plantas<br>6) Reposición de marras |             |                                      |                   |                 |              |

Tabla A.4-6. Ficha de repoblación en el Monte V68 (Siete Aguas) correspondiente a en zonas de matorral sin arbolado con orientación norte (umbría)

| IDENTIFICACIÓN  |             |                                      |                   |                 |                |
|---|-------------|--------------------------------------|-------------------|-----------------|----------------|
| MONTE   |             | CÓDIGO DE ORDENACIÓN AGROHIDROLÓGICA | TÉRMINO MUNICIPAL | SUPERFICIE (ha) | EXPOSICIÓN     |
| CÓDIGO  | NOMBRE      |                                      |                   |                 |                |
| V068  | SIETE AGUAS | 3.1. y 4. Crear monte arbolado       | SIETE AGUAS       | 670 ha          | NORTE (umbría) |
| SITUACIÓN INICIAL   |             |                                      |                   |                 |                |
| ALTITUD (m.s.n.m.)  |             | TIPO SUELO                           | PENDIENTE         |                 |                |
| Máxima  | 1082        | Pedregoso-rocoso y húmedo            | <30%              | 30-60%          | >60%           |
| Mínima  | 590         |                                      | 422 ha            | 228 ha          | 27 ha          |
| VEGETACIÓN  |             |                                      |                   |                 |                |
| Matorral degradado sin arbolado   |             |                                      |                   |                 |                |
| VEGETACIÓN ARBUSTIVA  |             |                                      |                   |                 |                |
| SUPERFICIE CUBIERTA   | < 50 %      |                                      | DIÁMETRO          | < 3 cm          |                |
| OTRAS OBSERVACIONES   |             |                                      |                   |                 |                |
| Existe caza menor y caza mayor. Principalmente conejo y cabra montés  |             |                                      |                   |                 |                |
| REPOBLACIÓN   |             |                                      |                   |                 |                |
| <i>Pinus halepensis</i> (75%)<br><i>Quercus ilex subsp. ballota</i> (7%)<br><i>Quercus faginea</i> (7%)<br><i>Juniperus phoenicia</i> (3%)<br><i>Juniperus oxycedrus</i> (3%)<br><i>Rhamnus lycioides</i> (2%)<br><i>Arbutus unedo</i> (3%)   |             |                                      |                   |                 |                |
| DENSIDAD DE LA PLANTACIÓN   |             |                                      |                   |                 |                |
| 1600 pies/ha  |             |                                      |                   |                 |                |
| DISTRIBUCIÓN DE LAS PLANTAS SOBRE EL TERRENO  |             |                                      |                   |                 |                |
| La distribución de las plantas se hará al tresbolillo   |             |                                      |                   |                 |                |
| ACTUACIONES   |             |                                      |                   |                 |                |
| 1) No se realiza desbroce previo<br>2) Preparación mecanizada con retroaraña, hoyos de 40x40x40 en suelos muy pedregosos, y hoyos de 40x40x(50-60) donde el suelo lo permita.<br>3) Plantación manual<br>4) Colocación de tubo invernadero con tutor<br>5) Colocación de castillete (3 piedras) para protección de plantas<br>6) Reposición de marras |             |                                      |                   |                 |                |

Tabla A.4-7. Ficha de repoblación en el Monte V66 (Buñol) correspondiente a en zonas de matorral sin arbolado con orientación sur (solana).

| IDENTIFICACIÓN   |        |                                      |                   |                 |              |
|--|--------|--------------------------------------|-------------------|-----------------|--------------|
| MONTE  |        | CÓDIGO DE ORDENACIÓN AGROHIDROLÓGICA | TÉRMINO MUNICIPAL | SUPERFICIE (ha) | EXPOSICIÓN   |
| CÓDIGO   | NOMBRE |                                      |                   |                 |              |
| V066   | BUÑOL  | 3.1. y 4. Crear monte arbolado       | BUÑOL             | 112 ha          | SUR (solana) |
| SITUACIÓN INICIAL  |        |                                      |                   |                 |              |
| ALTITUD (m.s.n.m.)   |        | TIPO SUELO                           | PENDIENTE         |                 |              |
| Máxima   | 1082   | Pedregoso-rocoso                     | <30%              | 30-60%          | >60%         |
| Mínima   | 590    |                                      | 43 ha             | 48 ha           | 18 ha        |
| VEGETACIÓN   |        |                                      |                   |                 |              |
| Matorral degradado sin arbolado  |        |                                      |                   |                 |              |
| VEGETACIÓN ARBUSTIVA   |        |                                      |                   |                 |              |
| SUPERFICIE CUBIERTA  | < 50 % |                                      | DIÁMETRO          | < 3 cm          |              |
| OTRAS OBSERVACIONES  |        |                                      |                   |                 |              |
| Existe caza menor y caza mayor. Principalmente conejo y cabra montés   |        |                                      |                   |                 |              |
| REPOBLACIÓN  |        |                                      |                   |                 |              |
| <i>Pinus halepensis</i> (75%)<br><i>Quercus ilex subsp. ballota</i> (10%)<br><i>Quercus coccifera</i> (5%)<br><i>Juniperus oxycedrus</i> (5%)<br><i>Rhamnus lycioides</i> (2,5%)<br><i>Pistacia lentiscus</i> (2,5%)   |        |                                      |                   |                 |              |
| DENSIDAD DE LA PLANTACIÓN  |        |                                      |                   |                 |              |
| 1600 pies/ha   |        |                                      |                   |                 |              |
| DISTRIBUCIÓN DE LAS PLANTAS SOBRE EL TERRENO   |        |                                      |                   |                 |              |
| La distribución de las plantas se hará al tresbolillo  |        |                                      |                   |                 |              |
| ACTUACIONES  |        |                                      |                   |                 |              |
| 1) No se realiza desbroce previo<br>2) Preparación mecanizada con retroaraña, hoyos de 40x40x40 en suelos muy pedregoso, y hoyos de 40x40x(50-60) donde el suelo lo permita.<br>3) Plantación manual<br>4) Colocación de tubo invernadero con tutor<br>5) Colocación de castillete (3 piedras) para protección de plantas<br>6) Reposición de marras |        |                                      |                   |                 |              |

Tabla A.4-8. Ficha de repoblación en el Monte V66 (Buñol) correspondiente a en zonas de matorral sin arbolado con orientación norte (umbría).

| IDENTIFICACIÓN   |        |                                      |                   |                 |                |
|--|--------|--------------------------------------|-------------------|-----------------|----------------|
| MONTE  |        | CÓDIGO DE ORDENACIÓN AGROHIDROLÓGICA | TÉRMINO MUNICIPAL | SUPERFICIE (ha) | EXPOSICIÓN     |
| CÓDIGO   | NOMBRE |                                      |                   |                 |                |
| V066   | BUÑOL  | 3.1. y 4. Crear monte arbolado       | BUÑOL             | 110 ha          | NORTE (umbría) |
| SITUACIÓN INICIAL  |        |                                      |                   |                 |                |
| ALTITUD (m.s.n.m.)   |        | TIPO SUELO                           | PENDIENTE         |                 |                |
| Máxima   | 1082   | Pedregoso-rocoso y húmedo            | <30%              | 30-60%          | >60%           |
| Mínima   | 590    |                                      | 42 ha             | 47 ha           | 18 ha          |
| VEGETACIÓN   |        |                                      |                   |                 |                |
| Matorral degradado sin arbolado  |        |                                      |                   |                 |                |
| VEGETACIÓN ARBUSTIVA   |        |                                      |                   |                 |                |
| SUPERFICIE CUBIERTA  | < 50 % |                                      | DIÁMETRO          | < 3 cm          |                |
| OTRAS OBSERVACIONES  |        |                                      |                   |                 |                |
| Existe caza menor y caza mayor. Principalmente conejo y cabra montés   |        |                                      |                   |                 |                |
| REPOBLACIÓN  |        |                                      |                   |                 |                |
| <i>Pinus halepensis</i> (75%)<br><i>Quercus ilex subsp. ballota</i> (7%)<br><i>Quercus faginea</i> (7%)<br><i>Juniperus phoenicia</i> (3%)<br><i>Arbutus unedo</i> (3%)<br><i>Fraxinus ornus</i> (2%)<br><i>Rhamnus lycioides</i> (2%)<br><i>Taxus baccata</i> (1%)  |        |                                      |                   |                 |                |
| DENSIDAD DE LA PLANTACIÓN  |        |                                      |                   |                 |                |
| 1600 pies/ha   |        |                                      |                   |                 |                |
| DISTRIBUCIÓN DE LAS PLANTAS SOBRE EL TERRENO   |        |                                      |                   |                 |                |
| La distribución de las plantas se hará al tresbolillo  |        |                                      |                   |                 |                |
| ACTUACIONES  |        |                                      |                   |                 |                |
| 1) No se realiza desbroce previo<br>2) Preparación mecanizada con retroaraña, hoyos de 40x40x40 en suelos muy pedregoso, y hoyos de 40x40x(50-60) donde el suelo lo permita.<br>3) Plantación manual<br>4) Colocación de tubo invernadero con tutor<br>5) Colocación de castillete (3 piedras) para protección de plantas<br>6) Reposición de marras |        |                                      |                   |                 |                |

## **ANEXO 5: REPORTAJE FOTOGRÁFICO**



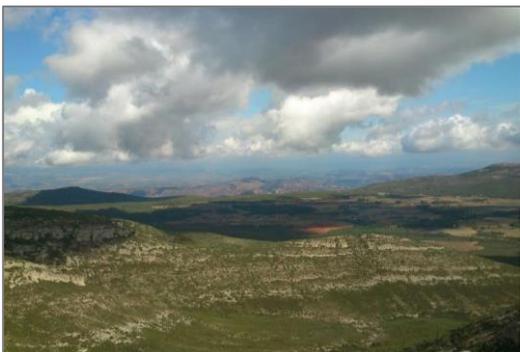


Figura A.5-1. Para alta de la Unidad Hidrológica 1 donde se aprecia el estado degradado del monte y la roca existente.



Figura A.5-4. Cultivo predominante en Siete Aguas. Vid en la Unidad Hidrológica 1.



Figura A.5-2. Parte alta de la Unidad Hidrológica 1. Matorral degradado dominado principalmente por coscoja (*Quercus coccifera*).



Figura A.5-5. Detalle de campo labrado sin cultivar en campo agrícola en la Unidad Hidrológica 1. En el fondo se observan las montañas degradadas.



Figura A.5-3. Presencia de matas de encinas (*Quercus ilex subsp. ballota*) en la Unidad Hidrológica 1.



Figura A.5-6. Presencia de cárcavas en la Unidad Hidrológica 1.



Figura A.5-7. Cultivos con y sin bancales en la parte baja de la Unidad Hidrológica 1.



Figura A.5-10. Deterioro de bancal en la Unidad Hidrológica 2.



Figura A.5-8. Municipio de Siete Aguas visto hacia aguas arriba.

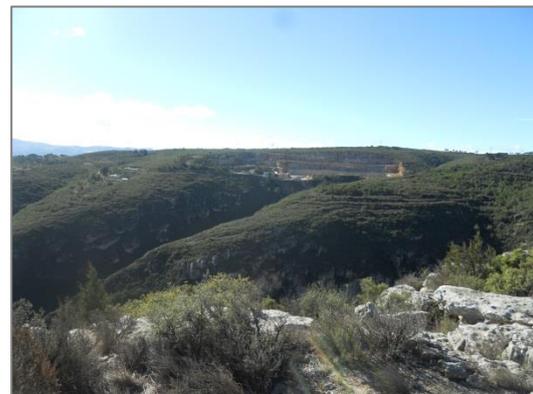


Figura A.5-11. Unidad hidrológica 3 con detalle de cantera al fondo.



Figura A.5-9. Unidad Hidrológica 2 vista cercana a la divisoria de aguas norte.



Figura A.5-12. Dique existente en la Unidad Hidrológica 3 en zona de barranco encajonado.



Figura A.5-13. Dique visto desde aguas abajo hacia aguas arriba.



Figura A.5-16. Vista aguas abajo en la Unidad Hidrológica 3. Se aprecia el municipio de Buñol al fondo.

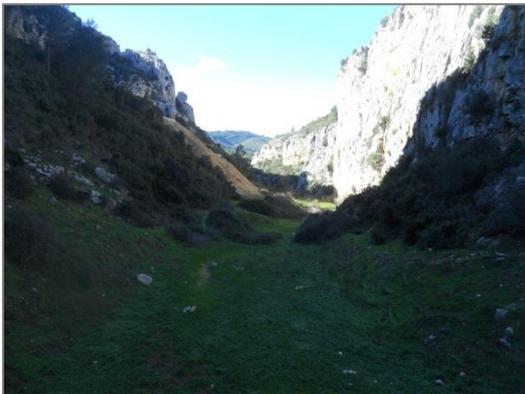


Figura A.5-14. Vista desde el dique hacia aguas arriba.



Figura A.5-17. Vista desde Buñol hacia el cierre de la cuenca (fondo de la fotografía).



Figura A.5-15. Parte media de la Unidad Hidrológica 3 mirando hacia aguas arriba.