

Trabajo Fin de Máster
CARACTERIZACIÓN DEL RÉGIMEN
TEMPORAL DE MASAS DE AGUA NO
PERMANENTES MEDIANTE LA
IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO
HIDROLÓGICO TETIS Y LA
HERRAMIENTA TREHS. APLICACIÓN
EN LA DEMARCACIÓN
HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

Intensificación:
ORDENACIÓN, RESTAURACIÓN Y GESTIÓN DE CUENCAS

Autor:
JUAN PEDRAJAS GARCÍA

Director:
FELIX FRANCÉS GARCÍA
SARA JIMÉNEZ ARGUDO
TEODORO ESTRELA MONREAL

SEPTIEMBRE, 2017



**UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA**

máster en ingeniería
hidráulica y medio ambiente
mihma

Resumen del Trabajo de Fin de Máster

Datos del proyecto
Título: Caracterización del régimen temporal de masas de agua no permanentes mediante la implementación del modelo hidrológico TETIS y la herramienta TREHS. Aplicación en la Demarcación Hidrográfica del Júcar.
Alumno: JUAN PEDRAJAS GARCÍA
Director: DR. FÉLIX FRANCÉS GARCÍA
Codirector/es: SARA JIMÉNEZ ARGUDO, DR. TEODORO ESTRELA MONREAL
Fecha de Lectura: Septiembre, 2017

Resumen
En español (máximo 2000 palabras)
<p>En la Confederación Hidrográfica del Júcar el 20% de las masas de agua tipo río son masas de agua en las que el caudal circulante es nulo durante largos periodos de tiempo. Estas masas de agua tienen un régimen hidrológico en la mayoría de los casos no permanente, sin embargo resulta especialmente importante definir el régimen hidrológico natural así como el grado de alteración.</p> <p>El objeto principal de este estudio es la caracterización del régimen hidrológico en masas de agua no permanentes sin estación de aforos de la demarcación hidrográfica del Júcar, mediante la implementación del modelo hidrológico TETIS.</p> <p>Además el estudio incluye el uso e interpretación de la aplicación TREHS actualmente en desarrollo por la Universidad de Barcelona dentro del marco del proyecto Life TRivers, sobre ríos temporales. Esta aplicación permite por un lado, la caracterización hidrológica de las masas de agua temporales y por otro lado una evaluación del grado de alteración del régimen natural.</p> <p>Se han seleccionado para el presente estudio tres masas de agua con régimen no permanente de la Demarcación Hidrográfica del Júcar, situándose estas en el Barranco del Carraixet, el Río Cervol y la Rambla de Alcalá.</p> <p>Uno de los principales inconvenientes a la hora de modelar ríos no permanentes es la falta de estaciones de aforos, por ello ha sido necesario calibrar previamente el modelo TETIS en las masas de agua seleccionadas que disponen de estaciones de aforo (Carraixet y Cervol), de manera que dichas calibraciones se puedan extrapolar para la modelación de ríos temporales que carecen de estaciones de aforo.</p> <p>También debe considerarse que, en la mayoría de los ríos no permanentes de la Demarcación que disponen de estación de aforo, se trata de series hidrológicas muy antiguas que remontan normalmente a los años 1912 y 1930. Para poder calibrar el modelo TETIS en estas masas (Cervol) ha sido necesario solicitar a AEMET datos de pluviómetros históricos. Para la calibración del modelo TETIS en masas con series hidrológicas aforadas más recientes (Carraixet), se han utilizado datos meteorológicos interpolados del proyecto Spain02 elaborados por AEMET y el Grupo de Meteorología de la Univ. de Cantabria (UNICAN), que recogen precipitación y temperaturas máximas y mínimas diarias sobre una malla regular de alta resolución en su versión 4 (0.11°x0.11°).</p> <p>Se parte del TFM realizado por Hebert Tejada Espinoza, sobre modelación en TETIS en el barranco del Carraixet.</p> <p>Sin embargo, estos modelos iniciales no permiten la representación adecuada de los caudales nulos, ni la variabilidad espacial del régimen hidrológico en estos ríos. Para ello se ha introducido una modificación en el modelo TETIS que incorpora las pérdidas por transmisión en cauce, así como las zonas kársticas y los manantiales. Estas modificaciones han supuesto una mejora muy importante en los resultados obtenidos. A este respecto indicar que la calibración de las pérdidas por transmisión en cauce ha sido realizada en la rambla de la Viuda dentro del TFM de Carlos Israel Montalvo.</p> <p>Posteriormente, se ha implementado el modelo TETIS en el río Cervol y en la rambla de Alcalá, en el río</p>

Cervol existen datos de aforo entre los años 1912 y 1929, para ello se han utilizado los datos pluviométricos históricos proporcionados por AEMET, los datos geológicos del IGME, datos sobre usos del suelo de Corine Land Cover y características del suelo de la Base de Datos Europea de Suelos, entre otros.

En cuanto a la implementación del modelo hidrológico TETIS en la Rambla de Alcalá, debe considerarse que no dispone de estaciones de aforo, por lo que ha sido necesario extrapolar la calibración obtenida de los otros ríos modelados.

En cuanto a la aplicación TREHS, en desarrollo, ésta permite introducir información hidrológica de diferentes fuentes, como modelos, estaciones de aforo, encuestas u observaciones directas. Además permite diferenciar la información que responde al régimen natural no alterado y la información que hace referencia a la situación actual. Con las diferentes fuentes de información clasifica el río de estudio en diferentes hidrotipos.

Una vez obtenidas y validadas las series hidrológicas del régimen natural mediante el modelo TETIS, se introduce esta información dentro de la aplicación TREHS junto con las encuestas y observaciones directas, permitiendo definir el hidrotipo.

En valenciano (máximo 2000 palabras)

. En la Confederació Hidrogràfica del Xúquer el 20% de les masses d'aigua tipus riu són masses d'aigua en què el cabal circulant és nul durant llargs períodes de temps. Estes masses d'aigua tenen un règim hidrològic en la majoria dels casos no permanent, no obstant això resulta especialment important definir el règim hidrològic natural així com el grau d'alteració.

L'objecte principal d'este estudi és la caracterització del règim hidrològic en masses d'aigua no permanents sense estació d'aforaments de la demarcació hidrogràfica del Xúquer, per mitjà de la implementació del model hidrològic TETIS.

A més l'estudi inclou l'ús i interpretació de l'aplicació TREHS actualment en desenvolupament per la Universitat de Barcelona dins del marc del projecte Life TRivers, sobre rius temporals. Esta aplicació permet d'una banda, la caracterització hidrològica de les masses d'aigua temporals i per un altre costat una avaluació del grau d'alteració del règim natural.

S'han seleccionat per al present estudi tres masses d'aigua amb règim no permanent de la Demarcació Hidrogràfica del Xúquer, situant-se estes en el Barranc del Carraixet, el Riu Cervol i la Rambla d'Alcalá.

Un dels principals inconvenients a l'hora de modelar rius no permanents és la falta d'estacions d'aforaments, per això ha sigut necessari calibrar prèviament el model TETIS en les masses d'aigua seleccionades que disposen d'estacions d'aforament (Carraixet i Cervol), de manera que aquestes calibratges es puguin extrapolar per a la modelació de rius temporals que no tenen estacions d'aforament.

També ha de considerar-se que, en la majoria dels rius no permanents de la Demarcació que disposen d'estació d'aforament, es tracta de sèries hidrològiques molt antigues que remunten normalment als anys 1912 i 1930. Per a poder calibrar el model TETIS en estes masses (Cervol) ha sigut necessari sol·licitar a AEMET dades de pluviòmetres històrics. Per a la calibratge del model TETIS en masses amb sèries hidrològiques aforades més recents (Carraixet), s'han utilitzat dades meteorològiques interpolats del projecte Spain02 elaborats per AEMET i el Grup de Meteorologia de la Univ. de Cantàbria (UNICAN), que arpleguen precipitació i temperatures màximes i mínimes diàries sobre una malla regular d'alta resolució en la seua versió 4 (0.11°x0.11°).

Es partix del TFM realitzat per Hebert Tejada Espinoza, sobre modelació en TETIS en el barranc del Carraixet.

No obstant això, aquests models inicials no permeten la representació adequada dels cabals nuls, ni la variabilitat espacial del règim hidrològic en aquests rius. Per a això s'ha introduït una modificació en el model TETIS que incorpora les pèrdues per transmissió en llit, així com les zones kàrstiques i els brolladors. Estes modificacions han suposat una millora molt important en els resultats obtinguts. A este respecte indicar que la calibració de les perdudes per transmissió en llit ha sigut realitzada en la rambla de la Vídua dins del TFM de Carlos Israel Montalvo.

Posteriorment, s'ha implementat el model TETIS en el riu Cervol i en la rambla d'Alcalá, en el riu Cervol hi ha dades d'aforament entre els anys 1912 i 1929, per a això s'han utilitzat les dades pluviomètriques històriques proporcionats per AEMET, les dades geològiques de l'IGME, dades sobre usos del sòl de Corine Land Cover i característiques del sòl de la Base de Dades Europea de Sòls, entre altres.

Quant a la implementació del model hidrològic TETIS en la Rambla d'Alcalá, ha de considerar-se que no disposa d'estacions d'aforament, per la qual cosa ha sigut necessari extrapolar el calibratge obtingut dels altres rius modelats. Quant a l'aplicació TREHS, en desenrotllament, permet introduir informació hidrològica de diferents fonts, com models, estacions d'aforament, enquestes o observacions directes. A més permet diferenciar la informació que respon al règim natural no alterat i la informació que fa referència a la situació actual. Amb les diferents fonts d'informació classifica el riu d'estudi en diferents hidrotipus.

Una vegada obtingudes i validades les sèries hidrològiques del règim natural per mitjà del model TETIS, s'introdueix esta informació dins de l'aplicació TREHS junt amb les enquestes i observacions directes, permetent definir l'hidrotipus.

En inglés (máximo 2000 palabras)

At the Jucar river basin district 20% of the water bodies are water courses in which the flow rate is zero for long periods of time. These water bodies have in most cases a nonpermanent hydrological regime, however it is especially important to define the natural hydrological regime as well as the alteration degree.

The main objective of this study is the characterization of the hydrological regime of nonpermanent water bodies without gauging station in the Jucar river basin district, through the implementation of the hydrological model TETIS.

In addition, the study includes the use and interpretation of the application TREHS, which is currently in development by the University of Barcelona within the framework of the Life TRivers project on temporary rivers. This application allows, on the one hand, the hydrological characterization of the temporal water bodies and on the other hand an evaluation of the degree of alteration of the natural regime.

For this study three nonpermanent water bodies belonging to the Jucar river basin district have been selected, being these the Barranco del Carraixet, the Río Cervol and the Rambla de Alcalá.

One of the main drawbacks when modeling nonpermanent rivers is the lack of gauging stations, so it has been necessary to previously calibrate the TETIS in the selected water bodies that have gauging stations (Carraixet and Cervol), so that calibrations can be extrapolated for the modeling of temporary rivers that lack gauging stations.

It is need to consider that in most of cases, the gauging stations of the nonpermanent rivers of the district are not in operation at present, and their hydrological series go back to the 1910s or 1930s. To be able to calibrate the model in these water bodies (Río Cervol), it has been necessary to request AEMET historical rainfall data. For the calibration of TETIS in water bodies with more recent hydrological series (Barranco del Carraixet and Río Cervol) have been used interpolated meteorological data from the Spain02 project prepared by AEMET and the Meteorology Group of the University of Cantabria (UNICAN), that collect precipitation and daily maximum and minimum temperatures on a regular mesh of high resolution in its version 4 (0.11°x0.11°).

The study starts with the TFM realized by Hebert Tejada Espinoza on modeling with TETIS in Barranco del Carraixet.

Nevertheless, these initial models don't allow to represent adequate representation of the null flow rates nor the spatial variability of the hydrological regime in these rivers. To this end, a modification has been introduced in the TETIS model that incorporates transmission losses into the riverbed, as well as karst areas and springs. These modifications have meant a very important improvement in the results obtained. In this respect indicate that the calibration of transmission losses into the riverbed in the model of the Rambla de la Viuda has been carried out within the TFM of Carlos Israel Montalvo.

Later, TETIS was implemented in the Río Cervol and Rambla de Alcalá, in the first there is a gauging station with data between the years 1912 and 1929, for which the historical rainfall data provided by AEMET have been used, geological data of the IGME, data on land uses of Corine Land Cover and soil characteristics of the European Soil Database, among others.

Regarding the implementation of the hydrological model TETIS in the Rambla de Alcalá, it should be considered that it does not have gauging stations, so it has been necessary to extrapolate the calibration obtained from the other rivers modeled.

With respect to the application TREHS, in development, it allows to introduce hydrological information from different sources, like models, gauging stations, surveys or direct observations. In addition it allows to differentiate the information that responds to the unaltered natural regime and the information that

refers to the current situation. With the different sources of information, it classifies the study river in different hydrotypes.

Once the hydrological series of the natural regime are obtained and validated using TETIS, this information is introduced into the TREHS application along with the surveys and direct observations, allowing to define the hydrotype.

Palabras clave en español (máximo 5): Ríos temporales, modelacion, TETIS, hidrología, Confederación hidrográfica del Júcar

Palabras clave en valenciano (máximo 5): Rius temporals, modelació, TETIS, hidrologia, Confederació hidrogràfica del Xúquer

Palabras clave en inglés (máximo 5): Nonpermanent rivers, modeling, TETIS, hydrology, Jucar river water authority

Agradecimientos

Agradecer a mis directores de trabajo final de master, Dr. Félix Francés García, Sara Jiménez Argudo y Teodoro Estrela Monreal, por su confianza y gran apoyo en el desarrollo de este estudio.

A todos los miembros de la Oficina de Planificación Hidrológica de la Confederación Hidrográfica del Júcar, por su tiempo y aportes al presente trabajo.

A todos los miembros del GIHMA, por su acogida en el equipo y por la gran ayuda en los comienzos con TETIS.

A mis compañeros del MIHMA, por su amistad y todo su apoyo.

De forma especial, agradecer a toda mi familia que siempre me ha apoyado durante el desarrollo de todos mis estudios.

A Sara, por todo el apoyo y todo el ánimo brindado en los momentos más duros.

ÍNDICE

CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN.....	8
1.1 Motivación y objetivos.....	9
1.2 Organización del documento	10
CAPITULO 2. MODELO HIDROLÓGICO TETIS.....	11
2.1 Formulación del modelo	12
2.2 Área Umbral	14
2.3 Parámetros del modelo.....	15
2.4 Propagación de la escorrentía	17
2.5 Submodelo Karst y manantiales	18
2.6 Algoritmo de optimización SCE-UA para la calibración automática del modelo TETIS.	19
CAPITULO 3. Aplicación TREHS	20
3.1 Estados acuáticos.....	21
3.2 Hidrotipos	22
CAPITULO 4. ÁREA DE ESTUDIO	26
4.1 Cuenca hidrológica Barranco del Carraixet	27
4.1.1 Situación Geográfica	27
4.1.2 Características climáticas generales	27
4.1.3 Topografía	28
4.1.4 Marco geológico	29
4.1.5 Marco Hidrogeológico.....	31
4.1.6 Uso de suelo.....	32
4.2 Cuenca hidrológica Rambla de Alcalá	34
4.2.1 Situación geográfica	34
4.2.2 Características climáticas generales	34
4.2.3 Topografía	35
4.2.4 Marco geológico	36
4.2.5 Marco hidrogeológico	37
4.2.6 Usos del suelo	39
4.3 Cuenca hidrológica Río Cervol	41
4.3.1 Situación geográfica	41
4.3.2 Características climáticas generales	41
4.3.3 Topografía	42
4.3.4 Marco geológico	43
4.3.5 Marco hidrogeológico	45
4.3.6 Usos del suelo	46
CAPITULO 5. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA.....	48

5.1	Información meteorológica	49
5.1.1	Series de Precipitación y Temperatura	49
5.1.2	Evapotranspiración de referencia	51
5.2	Información hidrológica.....	53
5.3	Eventos de calibración.....	54
5.3.1	Barranco del Carraixet-Evento del año 2000	54
5.3.2	Rio Cervol-Evento del año 1927	55
CAPITULO 6. ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS PARA LA MODELACIÓN HIDROLÓGICA		56
6.1	Cálculo de los mapas derivados del MED	57
6.1.1	Modelo de elevación digital del terreno	57
6.1.2	Mapa de direcciones de flujo	58
6.1.3	Mapa de celdas drenantes acumuladas	60
6.1.4	Mapa de pendientes	60
6.1.5	Mapa de velocidades de ladera	61
6.2	Cálculo de parámetros derivados de características edafológicas, hidrogeológicas y geomorfológicas.....	63
6.2.1	Capacidad de infiltración	63
6.2.2	Capacidad de percolación del sustrato	64
6.2.3	Parámetros geomorfológicos	66
6.3	Cálculo de parámetros derivados de los usos de los suelo	67
6.3.1	Mapa de cobertura del suelo	67
6.3.2	Valores mensuales del factor de vegetación	71
6.3.3	Capacidad máxima de almacenamiento estático en la capa superior del suelo (Hu) e Intercepción.....	77
6.3.4	Mapas de zonas Karsticas y Manantiales.....	81
CAPITULO 7. IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO		83
7.1	Calibración y validación en el Barranco del Carraixet.....	84
7.1.1	Fase de calibración.....	84
7.1.2	Proceso de validación.....	86
7.2	Calibración y validación en el Rio Cervol.....	89
7.2.1	Fase de calibración.....	89
7.2.2	Proceso de validación.....	91
CAPITULO 8. SIMULACIÓN HIDROLÓGICA		94
8.1	Simulación hidrológica.....	95
CAPITULO 9. Resultados con la Aplicación TREHS		99

9.1	Resultados de TREHS en el Barranco del Carraixet	101
9.2	Resultados de TREHS en el Rio Cervol	102
9.3	Resultados de TREHS en la Rambla de Alcalá	104
CAPITULO 10.	Conclusiones y discusión	106
CAPITULO 11.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	109

LISTA DE TABLAS

Tabla N° 2.1 Factores correctores y parámetros ajustados	17
Tabla N° 3.1 Factores correctores y parámetros ajustados (Gallart et al., 2017)	25
Tabla N° 4.1 Usos del suelo, Barranco del Carraixet.....	33
Tabla N° 4.2 Usos del suelo, Rambla de Alcalá	40
Tabla N° 4.3 Usos del suelo, Rio Cervol.....	47
Tabla N° 5.1 Radiación solar extraterrestre en MJ/ (m ² *día), extraída del anexo 2 tablas meteorológicas del documento de la FAO.....	52
Tabla N° 6.1 Mapas, formato, escala original y parámetros estimados	57
Tabla N° 6.2 Valores de permeabilidad asignados a cada categoría cuantitativa	64
Tabla N° 6.3 Valores adoptados para los coeficientes y exponentes de la OCG	66
Tabla N° 6.4 Relación entre uso de suelo y valor de intercepción.....	77
Tabla N° 6.5 Relación entre uso de suelo y valor del almacenamiento en charcos.....	78
Tabla N° 6.6 Relación entre el uso del suelo y la profundidad de las raíces	79
Tabla N° 7.1 Factores correctores obtenidos en la calibración del Barranco del Carraixet	84
Tabla N° 7.2 Resultados de la calibración del Barranco del Carraixet.....	85
Tabla N° 7.3 Factores correctores obtenidos en la calibración del Rio Cervol	89
Tabla N° 7.4 Resultados obtenidos en la calibración en el Rio Cervol	90

LISTA DE FIGURAS

Figura N° 1.1 Esquema de trabajo a seguir para la estimación de hidrotipos, grado de alteración y calendario de muestreo.....	10
Figura N° 2.1 Esquema conceptual a escala de celda del modelo distribuido TETIS	13
Figura N° 2.2 Flujos horizontales y verticales entre celdas de TETIS	15
Figura N° 2.3 Descripción esquemática de un parámetro efectivo para un flujo a través de un medio poroso heterogéneo (Grayson y Blöschl, 2001)	16
Figura N° 3.1 Gráfico de disposición de las tres métricas principales: Flujo-Pozas-lecho seco. Permanencia del flujo (Mf), Permanencia de pozas (Mp) y permanencia del río seco (Md) (Gallart et al., 2017)	24
Figura N° 3.2 Definición de hidrotipos en el gráfico de disposición de las tres métricas principales: Flujo-Pozas-lecho seco (Gallart et al., 2017).....	24
Figura N° 4.1 Ubicación de la zona de estudio del Barranco del Carraixet	27
Figura N° 4.2 Precipitación media mensual en el Barranco del Carraixet	28
Figura N° 4.3 Temperatura media mensual en el Barranco del Carraixet	28
Figura N° 4.4 Curva Hipsométrica y frecuencia de altitudes – Cuenca Barranco del Carraixet	29
Figura N° 4.5 Mapa geológico, Barranco del Carraixet	30
Figura N° 4.6 Mapa hidrogeológico, Barranco del Carraixet. IGME mapa de permeabilidades	32
Figura N° 4.7 Tipos de usos del suelo, Barranco del Carraixet	33
Figura N° 4.8 Ubicación de la cuenca de la Rambla de Alcalá.....	34
Figura N° 4.9 Precipitación media mensual en la Rambla de Alcalá	35
Figura N° 4.10 Temperatura media mensual en la Rambla de Alcalá	35
Figura N° 4.11 Curva Hipsométrica y frecuencia de altitudes – Cuenca Rambla de Alcalá	36
Figura N° 4.12 Mapa geológico, Rambla de Alcalá	37
Figura N° 4.13 Mapa hidrogeológico, Rambla de Alcalá. IGME mapa de permeabilidades	39
Figura N° 4.14 Tipos de usos del suelo, Rambla de Alcalá.....	40
Figura N° 4.15 Ubicación de la cuenca del Rio Cervol	41
Figura N° 4.16 Precipitación media mensual en el Rio Cervol	42
Figura N° 4.17 Temperatura media mensual en el Rio Cervol	42
Figura N° 4.18 Curva Hipsométrica y frecuencia de altitudes – Cuenca Rio Cervol	43
Figura N° 4.19 Mapa geológico, Rio Cervol	44
Figura N° 4.20 Mapa hidrogeológico, Rio Cervol. IGME mapa de permeabilidades	46
Figura N° 4.21 Tipos de usos del suelo, Rio Cervol	47
Figura N° 5.1 Distribución de la rejilla de datos interpolados Spain02v4, Barranco del Carraixet.....	49
Figura N° 5.2 Distribución de la rejilla de datos interpolados Spain02v4, Rambla de Alcalá.....	50
Figura N° 5.3 Pluviómetros históricos usados en la calibración, Rio Cervol.....	51
Figura N° 5.4 Estación de aforo Betera en el Barranco del Carraixet	53
Figura N° 5.5 Punto de simulación en la Rambla de Alcalá	53
Figura N° 5.6 Estación de aforo ROEA 8002 en el Rio Cervol	54
Figura N° 5.7 Evento de crecida ocurrido en octubre del año 2000 en el Barranco del Carraixet.....	54
Figura N° 5.8 Evento de crecida ocurrido en noviembre de año 1926 en el Rio Cervol	55
Figura N° 5.9 Evento de crecida ocurrido en octubre del año 1927 en el Rio Cervol	55
Figura N° 6.1 Modelo digital de elevación del terreno Barranco del Carraixet	58
Figura N° 6.2 Modelo digital de elevación del terreno Rambla de Alcalá	58
Figura N° 6.3 Modelo digital de elevación del terreno Rio Cervol	58
Figura N° 6.4 Direcciones de flujo según ArcGis.....	59
Figura N° 6.5 Direcciones de flujo en el Barranco del Carraixet.....	59
Figura N° 6.6 Direcciones de flujo en la Rambla de Alcalá	59
Figura N° 6.7 Direcciones de flujo en el Rio Cervol.....	59

Figura N° 6.8 Celdas drenantes acumuladas Carraixet	60
Figura N° 6.9 Celdas drenantes acumuladas Alcalá	60
Figura N° 6.10 Celas drenantes acumuladas Cervol.....	60
Figura N° 6.11 Pendientes (%) Barranco del Carraixet	61
Figura N° 6.12 Pendientes (%) Rambla de Alcalá.....	61
Figura N° 6.13 Pendientes (%) Rio Cervol	61
Figura N° 6.14 Velocidad en ladera (m/s) Barnaco del Carraixet.....	62
Figura N° 6.15 Velocidad en ladera (m/s) Rambla de Alcalá.....	62
Figura N° 6.16 Velocidad en ladera (m/s) Rio Cervol.....	62
Figura N° 6.17 Capacidad de infiltración (mm/hora) Barranco del Carraixet.....	63
Figura N° 6.18 Capacidad de infiltración (mm/hora) Rambla de Alcalá.....	63
Figura N° 6.19 Capacidad de infiltración (mm/hora) Rio Cervol	64
Figura N° 6.20 Capacidad de percolación (mm/hora) Barranco del Carraixet.....	65
Figura N° 6.21 Capacidad de percolación (mm/hora) Rambla de Alcalá.....	65
Figura N° 6.22 Capacidad de percolación (mm/hora) Rio Cervol	66
Figura N° 6.23 Usos del suelo en el Barranco del Carraixet	68
Figura N° 6.24 Usos del suelo en la Rambla de Alcalá	69
Figura N° 6.25 Usos del suelo estimados a principios de siglo y actuales en el Rio Cervol.....	70
Figura N° 6.26 Rangos típicos esperados del valor de Kc para las cuatro etapas del crecimiento	71
Figura N° 6.27 Factores de cultivo en los terrenos regados permanentemente, Rambla de Alcalá	72
Figura N° 6.28 Factores de cultivo en frutales, Rambla de Alcalá.....	72
Figura N° 6.29 Factores de cultivo en mosaicos de cultivos, Rambla de Alcalá	73
Figura N° 6.30 Factores de cultivo de los usos del suelo de la Rambla de Alcalá	73
Figura N° 6.31 Factores de cultivo de tierras en labor de secano, Rio Cervol	74
Figura N° 6.32 Factores de cultivo de terrenos regados permanentemente, Rio Cervol.....	74
Figura N° 6.33 Factores de cultivo de frutales, Rio Cervol.....	75
Figura N° 6.34 Factores de cultivo en olivares, Rio Cervol	75
Figura N° 6.35 Factores de cultivo en mosaico de cultivos, Rio Cervol	76
Figura N° 6.36 Factores de cultivo de los usos del suelo en la cuenca del Rio Cervol	76
Figura N° 6.37 Factores de cultivo de los usos del suelo en la cuenca del Barranco del Carraixet, (Tejada Espinoza, 2012).....	77
Figura N° 6.38 Hu (mm) en el Barranco del Carraixet.....	80
Figura N° 6.39 Hu (mm) en la Rambla de Alcalá.....	80
Figura N° 6.40 Hu (mm) en el Rio Cervol a principios de siglo.....	80
Figura N° 6.41 Hu (mm) en el Rio Cervol en la actualidad	81
Figura N° 6.42 Zonas kársticas y manantiales del Barranco del Carraixet.....	82
Figura N° 6.43 Zonas kársticas y manantiales del Rio Cervol.....	82
Figura N° 7.1 Periodo de calibración del Barranco del Carraixet	85
Figura N° 7.2 Ampliación del pico producido en el periodo de calibración en el Barranco del Carraixet	85
Figura N° 7.3 Periodo de validación 91/93 en el Barranco del Carraixet.....	87
Figura N° 7.4 Periodo de validación 07/08 en el Barranco del Carraixet.....	87
Figura N° 7.5 Curva de permanencia modelo vs curva de permanencia aforo	88
Figura N° 7.6 Comparación curva de permanencia aforo vs modelo vs modelo antiguo	89
Figura N° 7.7 Periodo de calibración en el Rio Cervol	90
Figura N° 7.8 Ampliación del pico producido en el periodo de calibración del Rio Cervol.....	91
Figura N° 7.9 Periodo de validación 1914/15 en el Rio Cervol.....	92
Figura N° 7.10 Periodo de calibración 1917/18 en el Rio Cervol.....	92
Figura N° 7.11 Curva de permanencia modelo vs aforo en el Rio Cervol	93
Figura N° 8.1 Simulación en el Barranco del Carraixet	95

Figura N° 8.2 Simulación en el Rio Cervol	96
Figura N° 8.3 Simulación en la Rambla de Alcalá	96
Figura N° 8.4 Curva de permanencia del modelo en la Rambla de Alcalá con los FC del Carraixet....	97
Figura N° 8.4 Curva de permanencia del modelo en la Rambla de Alcalá con los FC del Carraixet....	98
Figura N° 9.1 Hidrotipos del Barranco del Carraixet a partir de Mf y Sd6.....	101
Figura N° 9.2 Hidrotipos del Barranco del Carraixet a partir de Mf, Md y Mp	102
Figura N° 9.3 Hidrotipos del Rio Cervol a partir de Mf y Sd6.....	103
Figura N° 9.4 Hidrotipos del Rio Cervol a partir de Mf, Md y Mp	103
Figura N° 9.5 Hidrotipos de la Rambla de Alcalá a partid de Mf y Sd6	104
Figura N° 9.6 Hidrotipos de la Rambla de Alcalá a partir de Mf, Md y Mp.....	105



CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN



1.1 Motivación y objetivos

Los ríos temporales son aquellos en los que su cauce queda seco o el flujo de agua cesa de manera recurrente (Williams, 2006). Son muy comunes en muchas regiones del mundo, y se espera que debido al cambio climático y al uso del agua su frecuencia aumente en un futuro cercano (Larned et al., 2010). En Europa, siguiendo la Directiva Marco del Agua se ha de establecer el estado ecológico de las masas de agua. Esto supone todo un desafío en las masas de agua no permanentes (Nikolaidis et al., 2013) ya que la mayoría de índices y herramientas están principalmente desarrollados para ríos no temporales (Cid et al., 2016). En Europa, los ríos temporales son muy característicos de las cuencas mediterráneas. En la Demarcación Hidrográfica del Júcar, el 20% de las masas de agua superficiales de la categoría río son temporales. En muchas ocasiones esta temporalidad se debe a causas naturales pero en otras es debido a causas antrópicas, como la extracción de agua subterránea que produce la desconexión de ríos y acuíferos (CHJ, 2016).

La caracterización hidrológica en este tipo de ríos presenta una serie de peculiaridades respecto a los ríos permanentes, en primer lugar se dispone de pocos datos de aforo, y la mayoría de ellos se refieren únicamente a datos históricos. Por otro lado, la temporalidad del régimen hace necesaria la utilización de modelos que trabajen a escalas diarias e incluso horarias, ya que modelos a escala mensual, ampliamente utilizados por las Confederaciones Hidrográficas para ríos permanentes no permiten simular adecuadamente el régimen hidrológico de los ríos temporales, en la mayoría de los casos.

Por ello, el objeto principal de este estudio es la caracterización del régimen hidrológico natural en masas de agua no permanentes de la Demarcación Hidrográfica del Júcar, mediante la implementación del modelo hidrológico TETIS (GIMHA, 2017) a escala diaria.

Además el estudio incluye el uso e interpretación del software TREHS actualmente en desarrollo dentro del marco de un proyecto Life (TRivers), sobre ríos temporales, en el que participan la Universidad de Barcelona, el Consejo Superior de Investigaciones Científicas, la Confederación Hidrográfica del Júcar y la Agencia Catalana del Agua. Este software permite, primeramente, una caracterización hidrológica de las masas de agua temporales basada en la ecología de los ríos (hidrotipos) y, a partir de esos resultados y de la comparación de datos referentes al régimen natural y actual, determina el calendario de muestreo óptimo para la evaluación del estado de calidad del agua y el grado de alteración hidrológica respecto del régimen natural.



A continuación se muestra un diagrama de flujo con las etapas seguidas para la obtención de resultados:

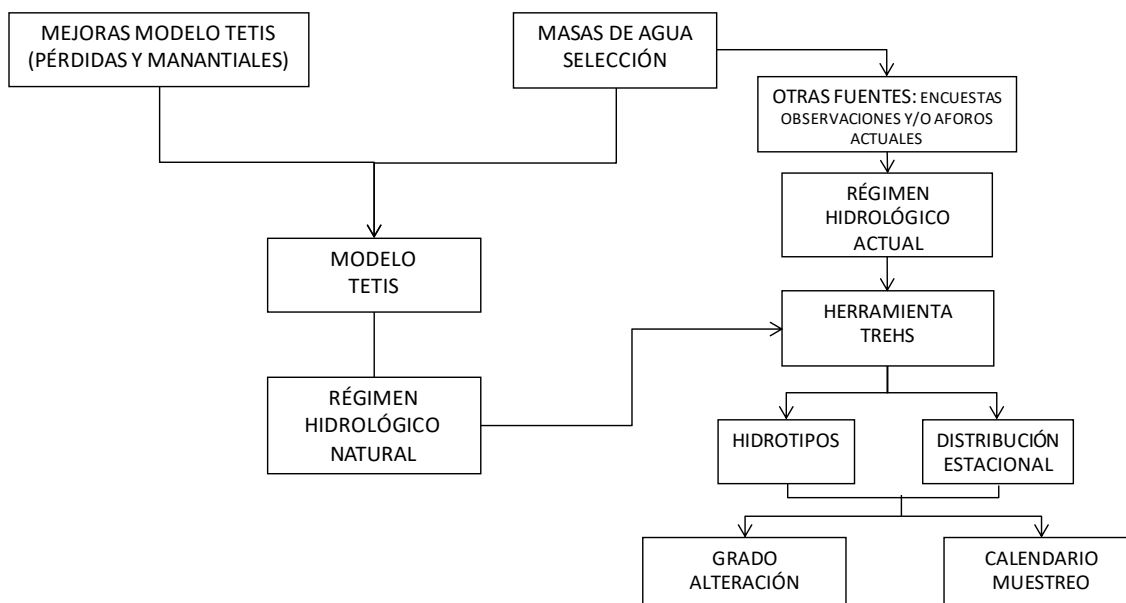


Figura N° 1.1 Esquema de trabajo a seguir para la estimación de hidrotipos, grado de alteración y calendario de muestreo.

Se han seleccionado para el presente estudio tres masas de agua con régimen no permanente de la Demarcación Hidrográfica del Júcar en: el Barranco del Carraixet, el Río Cervol y la Rambla de Alcalá.

Se parte del TFM realizado por Hebert Tejada Espinoza, sobre modelación en TETIS en el barranco del Carraixet.

1.2 Organización del documento



CAPITULO 2. MODELO HIDROLÓGICO TETIS



El modelo TETIS ha sido desarrollado en la Universidad Politécnica de Valencia, por el Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente (IIAMA). TETIS es un modelo conceptual de simulación hidrológica distribuida, cuyo propósito es la representación de la respuesta hidrológica de una cuenca ante un evento de precipitación, el cual puede darse en forma de lluvia o de nieve.

TETIS considera diferentes procesos físicos involucrados en la cuenca, intercepción, detención, evapotranspiración, infiltración, percolación, pérdidas subterráneas, fusión de nieve, escorrentía directa, interflujo y flujo base.

El modelo está pensado para la simulación en cuencas naturales, pero está preparado para considerar la presencia de embalses y el efecto que estos producen.

Incorpora adecuadamente la variabilidad espacial de los ciclos hidrológicos y su base conceptual, por eso necesita de partida datos observados para poder permitir su calibración, cumple con el principio de parsimonia, esto es, ante funcionamientos similares, se selecciona el modelo con menos número de parámetros y con ecuaciones lo más simples posibles, representando todos los procesos significativos (Bussi, 2010).

En los siguientes subapartados, basándose en las referencias: (Vélez, 2001), (Francés, F., Vélez, J.J. et al, 2007), (Vélez, J.J. y Francés, F., 2009), (Bussi, 2010), se realiza una descripción detallada del modelo TETIS, centrándose en la formulación del modelo, los parámetros del modelo, la propagación del flujo en cauce, el submodelo de karst y el algoritmo de calibración automática (SCE-UA).

2.1 Formulación del modelo

El modelo divide la cuenca en celdas formando una malla, de manera que los procesos físicos involucrados están conectados entre celdas. Cada una de las celdas en las que se ha dividido la cuenca está compuesta por seis tanques y seis nodos interconectados entre ellos; estos tanques son el manto de nieve, la intercepción, el almacenamiento estático, el almacenamiento superficial, el almacenamiento gravitacional y el acuífero (Figura 2.1); y están dispuestos en cada celda de forma vertical. El modelo realiza un balance hídrico en cada celda en cada intervalo de tiempo.

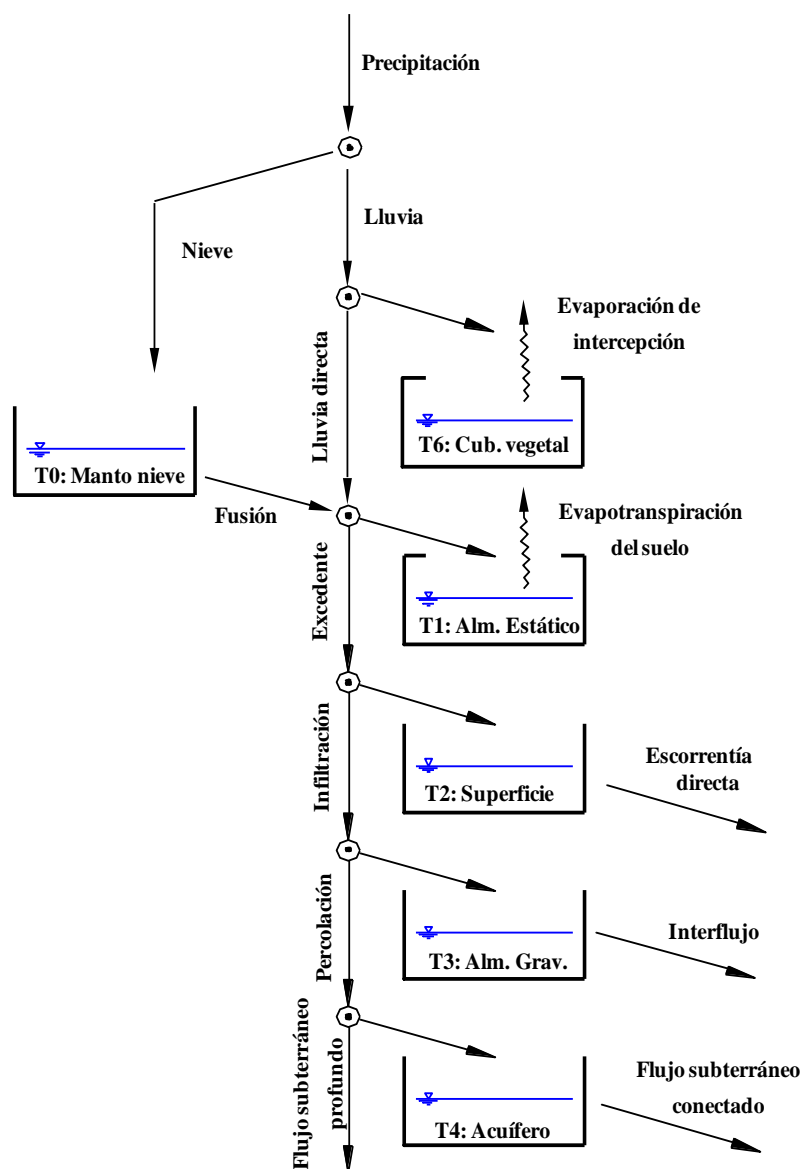


Figura N° 2.1 Esquema conceptual a escala de celda del modelo distribuido TETIS
Fuente: Descripción del modelo conceptual distribuido TETIS, DIHMA, UPV

El flujo entre los tanques depende del almacenamiento de agua en ellos, siendo el volumen almacenado en cada tanque su variable de estado. Los tanques y los nodos de cada celda están conectados como se observa en la figura 2.1; los flujos verticales llegan a un nodo, y de este pueden pasar al nodo inmediatamente inferior o al tanque del mismo nivel del nodo.

En primer lugar, la precipitación si es forma de nieve, se almacena en T0 (manto de nieve).

La precipitación en forma de lluvia se almacena en T6 (tanque de intercepción, de donde solo puede salir en forma de evaporación) hasta alcanzar la capacidad máxima



de este; la lluvia que no ha sido interceptada junto con el flujo de salida del manto de nieve por fusión pasan al siguiente nodo.

Desde este nodo, el flujo es almacenado en el tanque de almacenamiento estático (que representa el almacenamiento superficial y del cual el agua solo puede salir en forma de evapotranspiración) hasta alcanzar la capacidad máxima de este, una vez superada la capacidad, el flujo continua hacia el nodo inmediatamente inferior en forma de excedente.

En este punto, se produce la infiltración, de manera que el flujo pasa al nodo inmediatamente inferior hasta alcanzar la capacidad de infiltración del intervalo de tiempo. El flujo no infiltrado se almacena en T2 (superficie).

El flujo infiltrado percola hacia el último nodo hasta alcanzar el límite de percolación del intervalo de tiempo, y el resto de flujo se almacena en T3 (almacenamiento gravitacional).

Desde el último nodo se producen las pérdidas subterráneas hasta alcanzar el límite de estas en el intervalo temporal, y el flujo restante se almacena en T4 (acuífero).

Una parte del agua infiltrada percola hacia el siguiente nodo, y el agua restante pasa al almacenamiento gravitacional, y de este se produce el interflujo. Por último el flujo que ha sido percolado, se pierde por pérdidas subterráneas o pasa al almacenamiento en el acuífero, y de este fluye en forma de flujo base. En estos procesos, al contrario que en los dos primeros, el almacenamiento en cada uno de los tanques se da cuando la capacidad del terreno para cada uno de los flujos verticales es superada.

Las celdas están conectadas entre ellas; esta conexión viene fijada por la topografía del terreno, de manera que el flujo horizontal de cada celda pasa según la dirección de máxima pendiente a la celda aguas abajo. Los flujos horizontales de cada celda son la escorrentía directa (que se propaga desde el tanque de almacenamiento superficial), el interflujo (que se propaga desde el tanque de almacenamiento gravitacional) y el flujo base (que se propaga desde el acuífero).

2.2 Área Umbral

En TETIS hay tres tipos de celdas según la superficie acumulada de cuenca que vierte a ellas; a estas superficies se les denomina áreas umbral y diferencian tres tipos de celdas, de ladera, de cárcava o de cauce. Cuando los flujos horizontales pasan a una celda de ladera, cada uno de los flujos pasa al tanque correspondiente de la celda destino; en cambio si la celda destino es de cárcava, el flujo base continua por el



acuífero, pero la escorrentía directa y el interflujo pasan a un nuevo tanque llamado cauce; por último, si la celda destino es de cauce, los tres flujos horizontales pasan al nuevo tanque (Figura 2.2). Una vez el agua ha llegado al nuevo tanque, esta se propaga por el tanque cauce de las celdas siguiendo la dirección de máxima pendiente, sin tener posibilidad de pasar a otro tanque. La propagación del flujo en este nuevo tanque se explicará en el apartado 2.4.

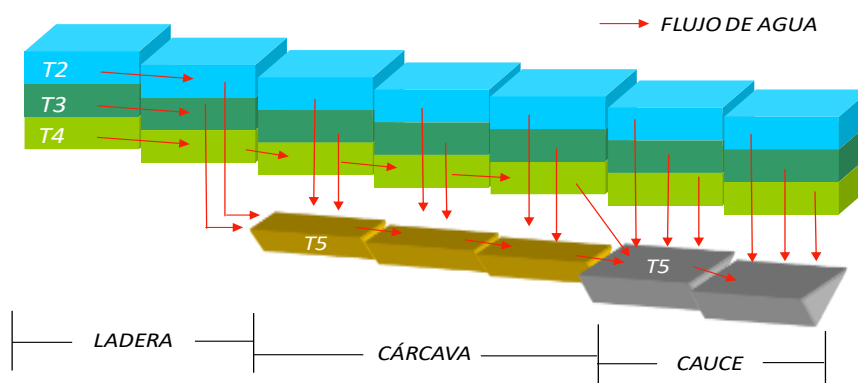


Figura N° 2.2 Flujos horizontales y verticales entre celdas de TETIS
Fuente: Descripción del modelo conceptual distribuido TETIS, DIHMA, UPV

2.3 Parámetros del modelo

En TETIS, a cada una de las celdas en las que se ha dividido la cuenca, le corresponden unos parámetros que representan las características del sistema que se quiere modelar.

Es evidente que existe una fuerte interacción entre la forma en que conceptualizamos el proceso, la estructura del modelo que necesitamos utilizar y, por lo tanto, los parámetros que necesitamos. Suponer que un valor de punto es válido para una celda entera es el enfoque más simple - es decir, suponer que no hay varianza del parámetro dentro de una celda. Es improbable que esta hipótesis sea válida para parámetros como la conductividad hidráulica, porque los bloques de suelo del tamaño de una celda típica se comportan de manera muy diferente a los bloques de suelo del tamaño que se usan en los laboratorios. Esto lleva a la conclusión de que el enfoque de adoptar un valor puntual del parámetro para la celda resulte en un modelo deficiente. Cuando se intenta mejorar el modelo a través, por ejemplo, de calibración, el parámetro calibrado ya no representa el valor de punto, sino más bien algún tipo de promedio para la celda, es decir, un parámetro efectivo (Grayson, R. y Blöschl, G., 2001).



El parámetro que pertenece a una celda debe representar a toda la superficie de la celda, de manera que en TETIS no se usan parámetros medidos puntualmente ya que no representan a toda la superficie de la celda, por ello en TETIS se usan parámetros efectivos, que pretenden representar el valor medio de la celda.

El enfoque del parámetro efectivo intenta superar los problemas conceptuales asociados al valor puntual de un parámetro. Los parámetros efectivos son valores que reproducen el comportamiento de un área finita o de un volumen finito. No pueden entonces ser medidos puntualmente, y no necesitan estar relacionados con mediciones puntuales (Bussi, 2010).

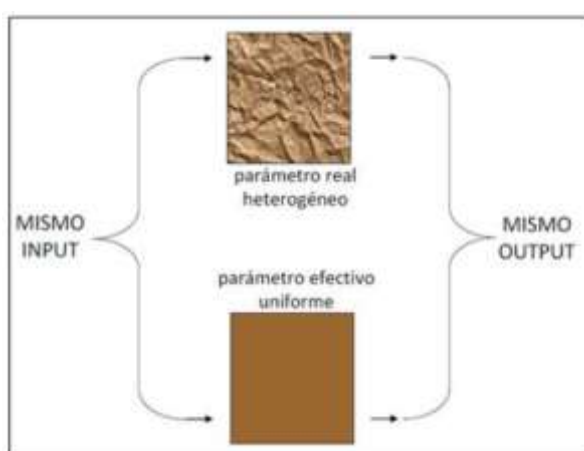


Figura N° 2.3 Descripción esquemática de un parámetro efectivo para un flujo a través de un medio poroso heterogéneo (Grayson y Blöschl, 2001)

En TETIS no se calibra directamente el valor del parámetro, sino que se calibra un factor corrector que afecta al parámetro, este factor es el mismo para un mismo parámetro en todas las celdas, de manera que se respeta la variabilidad y distribución inicial del parámetro en la cuenca. La siguiente ecuación describe este funcionamiento:

$$\theta_{i,j*} = R_i * \theta_{i,j} \quad j=1, \dots, n \quad i=1, \dots, p$$

Donde:

$\theta_{i,j*}$ es el parámetro efectivo i-énimo para la celda j.

R_i es el factor corrector del parámetro i, común para todas las celdas.

$\theta_{i,,}$ es el parámetro estimado para la celda j

n es el número total de celdas.

p es el número total de parámetros por celda.



En la tabla 2.1 se muestran los factores correctores que se calibran en TETIS. El método de los factores correctores es una gran ventaja, ya que mantiene la distribución espacial de los parámetros en la cuenca y reduce notablemente el número de factores a calibrar.

Tabla Nº 2.1 Factores correctores y parámetros ajustados

Factor corrector (Rj)	Parámetro ($\theta_{i,j}$)
FC1	Capacidad de almacenamiento hídrico
FC2	Índice de cobertura de vegetación
FC3	Capacidad de infiltración
FC4	Velocidad del flujo superficial
FC5	Capacidad de percolación
FC6	Velocidad del interflujo
FC7	Capacidad de percolación profunda
FC8	Velocidad del flujo base
FC9	Velocidad del flujo en canal

Fuente: Descripción del modelo TETIS, DIHMA, UPV

2.4 Propagación de la escorrentía

La propagación de la escorrentía se realiza mediante la onda cinemática geomorfológica, que combina la información geomorfológica de la cuenca con la metodología de la onda cinemática (una simplificación de la ecuación de Saint-Venant).

La forma de la sección de flujo se obtiene a partir de las relaciones de geometría hidráulica propuestas por Leopold y Madock (1953), donde se relacionan profundidad, ancho y velocidad en la sección con el caudal mediante las siguientes ecuaciones:

$$y=bQ^\beta$$

$$w=cQ^\varepsilon$$

$$v=pQ^\lambda$$

Donde b , c , p , β , ε y λ son parámetros constantes. La ecuación de continuidad y la homogeneidad dimensional exigen que $b \cdot c \cdot p = 1$ y $\beta + \varepsilon + \lambda = 1$.

Según Leopold, Wolman y Miller (1964) para una zona con condiciones climáticas y morfológicas homogéneas existe una relación entre el caudal a sección llena Q_b en un sitio y el área de cuenca que drena a través de este sitio, de la siguiente manera:

$$Q_b = kA^\varphi$$

Donde k y φ son constantes de validez regional.

El modelo TETIS emplea nueve parámetros geomorfológicos según las relaciones potenciales geomorfológicas que se presentan a continuación:



- *Relación entre el caudal a sección llena Q_b con el área acumulada A de una determinada sección del cauce. Siendo κ el coeficiente y φ el exponente según la expresión:*

$$Q_b = \kappa * A^\varphi$$

- *Relación entre el ancho de la sección transversal a sección llena w_b y el caudal a sección llena Q_b . Siendo c_1 el coeficiente y ε_1 el exponente según la expresión:*

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

- *Relación entre el ancho de la sección transversal w y el caudal Q . Siendo c_2 (*) el coeficiente y ε_2 el exponente según la expresión:*

$$w = c_2 * Q^{\varepsilon_2}$$

(*): En la expresión anterior, no es necesario estimar un valor para el coeficiente a_2 , al estar completamente determinado en función del caudal a banca llena y del ancho de la sección dominante. En efecto, si: $Q_t = Q_b$: $w = w_b$,

$$a_2 = w_b * Q_b - a_2$$

- *Relación entre el diámetro característico del sedimento d , la pendiente del cauce s_0 y el calado y . Siendo c_d el coeficiente y θ el exponente, según la expresión.*

$$d = c_d * (y * s_0)^\theta$$

- *Relación entre el coeficiente de rugosidad n y el diámetro característico del sedimento d . Siendo c_n el coeficiente y ξ el exponente según la expresión:*

$$n = c_n * d^\xi$$

2.5 Submodelo Karst y manantiales

Los karst son formaciones geológicas compuestas por una o varias capas de sustrato soluble, habitualmente roca carbonatada como caliza o dolomita.

Para la representación de la respuesta de las zonas kársticas, se crea un nuevo tipo de celda en las que la respuesta se modela a través de dos tanques, el más superficial correspondiente a la respuesta rápida del acuífero kárstico, y el más profundo que representa la respuesta lenta del acuífero kárstico.

Estas celdas no siguen las reglas de repartición de los flujos según las áreas umbrales que siguen las demás celdas de la cuenca. La precipitación que cae en una celda de karst se puede convertir en escorrentía superficial o infiltrar en el acuífero kárstico, por el cual se propagará hasta alcanzar una salida, representada en Tetis por los manantiales.



2.6 Algoritmo de optimización SCE-UA para la calibración automática del modelo TETIS.

Para la calibración, Tetis usa el método SCE-UA, desarrollado en la Universidad de Arizona, es un método robusto para la calibración de modelos lluvia-escorrentía (Eckhardt y Arnold, 2001; Yapo et al., 1998; Duan et al., 1994 y Sorooshian et al., 1993). El objetivo del método es explorar el conjunto óptimo de parámetros que minimicen una función objetivo, para luego comparar una variable observada y una simulada por el modelo, habitualmente el caudal de salida.

En el modelo TETIS las funciones objetivos que se usarán para la calibración automática de los parámetros son el error cuadrático medio, RMSE y el índice de eficiencia de Nash y Sutcliffe, NSE:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - \hat{Q}_i)^2}{n}}$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Q}_i - Q_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q}_i)^2}$$

Donde:

Q_i es el caudal observado.

\hat{Q}_i es el caudal simulado.

\bar{Q}_i es el valor medio de los caudales observados.

n es el número de observaciones.

Tras la calibración automática se realizara un ajuste manual de la calibración para adaptarse a los objetivos del presente estudio.



CAPITULO 3. APLICACIÓN TREHS



TREHS (Temporary Rivers' Ecological and Hydrological Status) (Gallart et al., 2017) es un software que permite la entrada de información de simulaciones de flujo obtenidas con cualquier modelo de lluvia-escorrentía (para establecer el régimen hidrológico no impactado o natural) y lo compara con la información obtenida de aforos con información hidrológica actual (si está disponible) junto con entrevistas realizadas a la población local y/o agentes medioambientales de la zona, observaciones instantáneas e interpretación de fotografías aéreas. Es una aplicación que se encuentra actualmente en desarrollo dentro del marco de un proyecto Life (TRivers), sobre ríos temporales, en el que participan la Universidad de Barcelona, el Consejo Superior de Investigaciones Científicas, la Confederación Hidrográfica del Júcar y la Agencia Catalana del Agua.

Se definen los estados acuáticos y sus patrones temporales de ocurrencia, así como diferentes índices (como la permanencia del flujo o la presencia de pozas) para determinar los regímenes naturales y observados de los ríos en función de su comportamiento ecológico (hidrotipos) y para evaluar el grado de alteración hidrológica. Desarrolla una nueva clasificación de régimen diseñada específicamente para ríos temporales utilizando las métricas que miden la permanencia relativa de las tres fases principales: flujo, pozas desconectadas y lecho seco. Finalmente, el software caracteriza las diferencias entre los regímenes naturales y reales, diagnostica el estado hidrológico (grado de alteración hidrológica) y recomienda los mejores períodos para muestreos de calidad biológica.

3.1 Estados acuáticos

TREHS se basa en la hipótesis de que lo más importante ecológicamente en un ecosistema fluvial no son los patrones temporales de caudales, sino la ocurrencia de mesohabitats, por ello se definen los estados acuáticos.

Los estados acuáticos reflejan la ocurrencia de los diferentes mesohabitats posibles en un tramo de río en un momento determinado, dependiendo de las condiciones hidrológicas.

En Gallart et al (2012) se definen los estados acuáticos relevantes ecológicamente en ríos temporales:

- Hiperreico: Estado de avenida infrecuente causa un movimiento del lecho del río y el arrastre de la mayor parte de la fauna presente. Este estado crea un fuerte pero corto disturbio de las comunidades acuáticas y su ocurrencia se considera muy importante para la salud de los ecosistemas fluviales.



- **Eurreico:** El caudal es suficiente para que se produzcan todos los mesohabitats posibles en el tramo de río, se produce una sucesión de rápidos y pozas.
- **Oligorreico:** El caudal circulante es bajo, pero suficiente para que todo el tramo del río esté conectado. La mayoría de mesohabitats no están disponibles, únicamente pozas conectadas por hilos de agua.
- **Arreico:** El caudal circulante es nulo o prácticamente nulo, se mantienen pozas desconectadas en el tramo de río que permiten la supervivencia de algunas de las comunidades fluviales.
- **Hyporreico:** La mayor parte del cauce está desprovisto de agua, pero el lecho contiene la humedad suficiente como para albergar vida hiporreica.
- **Edafico:** El cauce está desprovisto de agua y el lecho no contiene agua suficiente como para albergar vida hiporreica.

Para convertir los datos de caudales introducidos a TREHS a estados acuáticos, se han de fijar unos valores umbrales que separan la ocurrencia de cada estado acuático.

3.2 Hidrotipos

La información de los estados acuáticos es demasiado compleja como para trabajar con ella a la hora de elegir un método de evaluación del estado ecológico en una masa de agua, además depende de los umbrales utilizados, por ello para diferenciar el comportamiento ecológico de las masas de agua, en el proyecto Life TRivers, se crearon los hidrotipos o regímenes acuáticos.

Para definir los hidrotipos se crearon seis índices (Gallart et al., 2012):

- **Permanencia de flujo (Mf):** media anual de los meses con flujo, toma valores entre 0 (siempre seco) y 1 (siempre con caudal, río permanente).
- **Permanencia de pozas (Mp):** media anual de los meses con pozas desconectadas, toma valores entre 0 (nunca ocurren pozas desconectadas) y 1 (siempre hay pozas desconectadas)
- **Permanencia de cauce seco (Md):** media anual de los meses en los que no hay agua superficial en el cauce, es complementaria a las dos anteriores, $Md=1-(Mf+Mp)$
- **Predictibilidad de caudales cero (Sd6):** Esta variable toma valores de 0 cuando los caudales cero se producen igual a lo largo de todo el año, y valores de 1 cuando los caudales cero ocurren en el periodo de seis meses más secos.



$$Sd_6 = 1 - \left(\frac{\sum_1^6 Fd_i}{\sum_1^6 Fd_j} \right)$$

- Estacionalidad verano-invierno (SWs): diferencia entre los meses con caudales cero en el periodo de verano y el periodo de invierno. Toma valores de 1 cuando no hay flujo durante el periodo de verano y no hay caudales cero en el periodo de invierno, y toma valores de 0 cuando ocurre lo contrario.
- Estacionalidad equinoccio-solsticio (ESs): diferencia entre las frecuencias de meses con caudales cero entre equinoccios y solsticios. Toma valores de 1 cuando no hay flujo durante los equinoccios y el flujo no cesa durante los solsticios, y valores de 0 cuando ocurre lo contrario.

En Gallart et al. (2017) se definen seis términos:

- Perenne: Flujo permanente salvo en raras ocasiones.
- Fluido: Usualmente con flujo
- Estancado: Usualmente el flujo cesa, quedando el cauce con pozas desconectadas (estado Arreico)
- Alterno: Varía entre flujo, pozas desconectadas y cauce sin agua superficial
- Ocasional: El río generalmente se encuentra seco, pero en alguna ocasión, no con mucha frecuencia, existen pozas desconectadas.
- Episódico: Río seco con caudal o pozas desconectadas de manera infrecuente.

Estos regímenes se combinan para definir nueve hidrotipos. En TREHS hay dos formas de definir los hidrotipos, la primera a partir de Mf, Mp y Md, y la segunda a partir de Mf y Sd6.

En las figuras 3.1 y 3.2, y la tabla 3.1 se observa la forma de diferenciar entre estos nueve hidrotipos, Perennial (Pe), Quasi-Perennial (Qp), Fluent-Stagnant (FS), Alternate-Fluent (AF), Stagnant (St), Alternate-Stagnant (AS), Alternate (Al), Occasional (Oc) y Episodic (Ep).

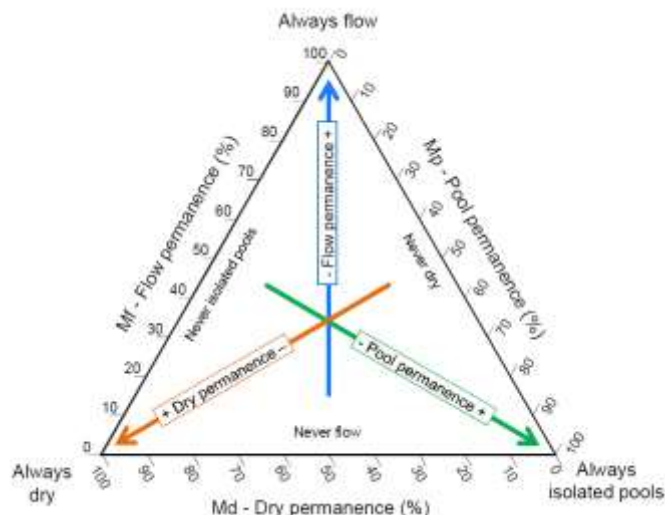


Figura N° 3.1 Gráfico de disposición de las tres métricas principales: Flujo-Pozas-lecho seco. Permanencia del flujo (Mf), Permanencia de pozas (Mp) y permanencia del río seco (Md) (Gallart et al., 2017)

En el gráfico anterior las flechas muestran la progresión de cada una de las tres métricas, mientras que los ejes muestran los valores de cada uno de ellos. El punto central representa un río que sufre las tres fases acuáticas con la misma frecuencia.

A partir de los datos introducidos, TREHS obtiene el gráfico de disposición de las tres métricas principales: Flujo-Pozas-lecho seco para todos los datos introducidos (modelo, aforos, encuestas, observaciones, fotografía aérea, etc), definiendo los hidrotipos correspondientes, el grado de alteración hidrológica y el calendario de muestreo recomendado.

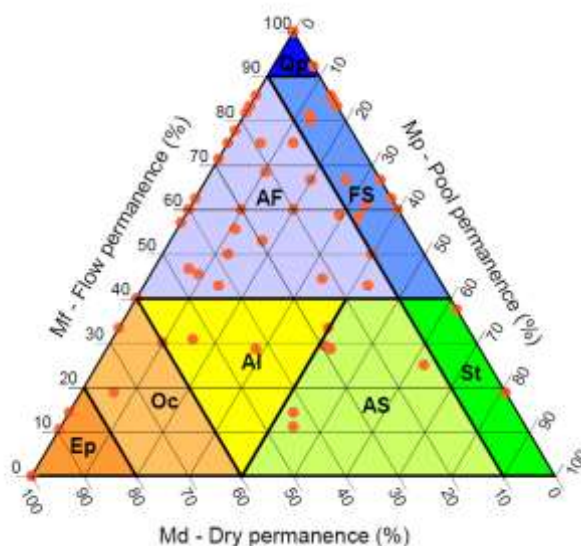


Figura N° 3.2 Definición de hidrotipos en el gráfico de disposición de las tres métricas principales: Flujo-Pozas-lecho seco (Gallart et al., 2017)



En la tabla 3.1 podemos ver los diferentes valores de Mf, Mp y Md entre los que varían los hidrotipos propuestos en el proyecto life TRivers.

Tabla Nº 3.1 Factores correctores y parámetros ajustados (Gallart et al., 2017)

Clase	Permanencia flujo (Mf)	Permanencia pozas (Mp)	Permanencia seco (Md)
Perennial (Pe)	$0.99 < Mf \leq 1.00$	$0.00 \leq Mp < 0.01$	$0.00 \leq Md < 0.01$
Quasi-perennial (Qp)	$0.90 < Mf \leq 0.99$	$0.00 \leq Mp \leq 0.10$	$0.00 \leq Md \leq 0.10$
Stagnant-Fluent (FS)	$0.40 < Mf \leq 0.90$	$0.00 \leq Mp < 0.60$	$0.00 \leq Md < 0.10$
Alternate-Fluent (AF)	$0.40 < Mf \leq 0.90$	$0.00 \leq Mp < 0.50$	$0.10 \leq Md < 0.60$
Stagnant (St)	$0.00 < Mf \leq 0.40$	$0.50 \leq Mp < 1.00$	$0.00 \leq Md < 0.10$
Alternate-Stagnant (AS)	$0.00 < Mf \leq 0.40$	$0.40 \leq Mp < 0.90$	$0.10 \leq Md < 0.60$
Alternate (Al)	$0.00 < Mf \leq 0.40$	$0.00 \leq Mp < 0.40$	$0.20 \leq Md < 0.60$
Occasional (Oc)	$0.00 < Mf \leq 0.40$	$0.00 \leq Mp < 0.40$	$0.60 \leq Md < 0.80$
Episodic (Ep)	$0.00 < Mf \leq 0.20$	$0.00 \leq Mp < 0.20$	$0.80 \leq Md < 1.00$



CAPITULO 4. ÁREA DE ESTUDIO



4.1 Cuenca hidrológica Barranco del Carraixet

4.1.1 Situación Geográfica

La zona de estudio del barranco del Carraixet tiene una superficie de 243.65 Km², se encuentra en la Demarcación Hidrográfica del Júcar, en la provincia de Valencia, su recorrida comienza en el municipio de Gátova, en la Sierra Calderona, y recoge las aguas de la vertiente sur de esta sierra. Desemboca en el municipio de Alboraya hacia el mar Mediterráneo. En la figura 4.1 se observa su localización respecto a la Demarcación Hidrográfica del Júcar.

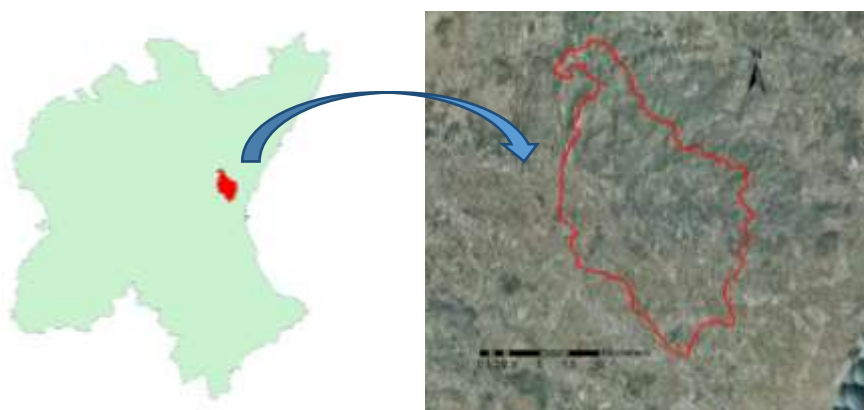


Figura N° 4.1 Ubicación de la zona de estudio del Barranco del Carraixet

4.1.2 Características climáticas generales

El clima de la zona de estudio es típico de la zona mediterránea, las precipitaciones máximas se dan en otoño, mientras que las precipitaciones mínimas coinciden con los meses más calurosos, los meses de verano.

En la figura 4.2 se muestra la distribución temporal de las lluvias medias mensuales, se observa como a lo largo del año existen dos épocas con mayores precipitaciones, la primavera y el otoño, siendo esta última donde se registran las máximas precipitaciones. En el mes de octubre se registra la máxima precipitación media mensual, siendo esta aproximadamente de 85 mm; el mes más seco es Julio, con una precipitación media mensual algo mayor de 10 mm.

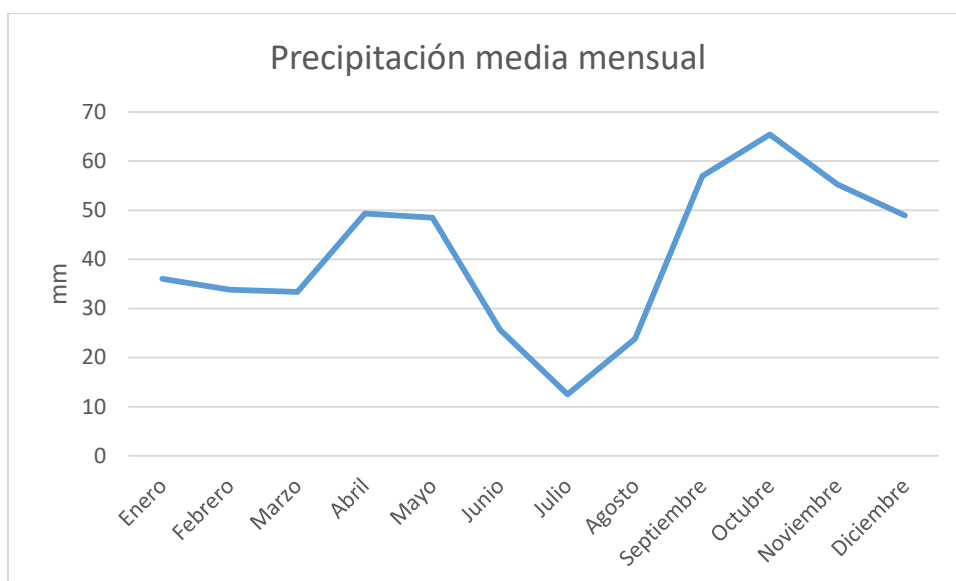


Figura N° 4.2 Precipitación media mensual en el Barranco del Carraixet

En la figura 4.3 se observa la temperatura media mensual en la zona de estudio, se aprecia como las temperaturas máximas se dan en los meses de Julio y Agosto, y las temperaturas mínimas en los meses de enero y diciembre.

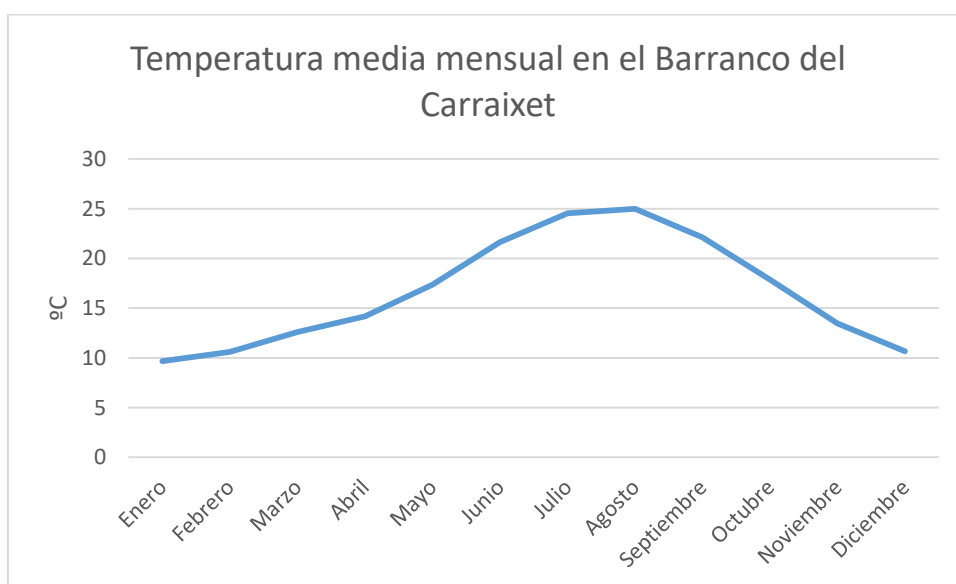


Figura N° 4.3 Temperatura media mensual en el Barranco del Carraixet

4.1.3 Topografía

La topografía de la cuenca del Barranco del Carraixet se ha caracterizado a partir del modelo de elevación digital de resolución 100x100m del Instituto Geográfico Nacional de España (IGN).

La zona de estudio se encuentra entre las cotas 50 y 925 m.s.n.m., teniendo el 50% de sus cotas por debajo de los 275 metros. La curva hipsométrica puede ser utilizada para



interpretar el estado erosivo de la cuenca, cuando la curva hipsométrica se encuentra por debajo de la diagonal se puede decir que en la cuenca dominan los procesos de deposición, siendo una cuenca en fase de vejez; si la curva se encuentra por encima de la diagonal, dominan los procesos erosivos, siendo una cuenca en fase de juventud; si la curva hipsométrica se aproxima a la diagonal es una cuenca en fase de madurez, encontrándose la cuenca en equilibrio.

En la figura 4.4 se observa como la curva de la zona de estudio del Barranco del Carraixet se encontraría por debajo de la diagonal, por lo que podríamos decir que es una cuenca sedimentaria en fase de vejez. En la figura 4.4 también se observan los polígonos de frecuencia, donde se aprecia que el rango de altitud más frecuente se encuentra entre los 50 y los 100 metros.

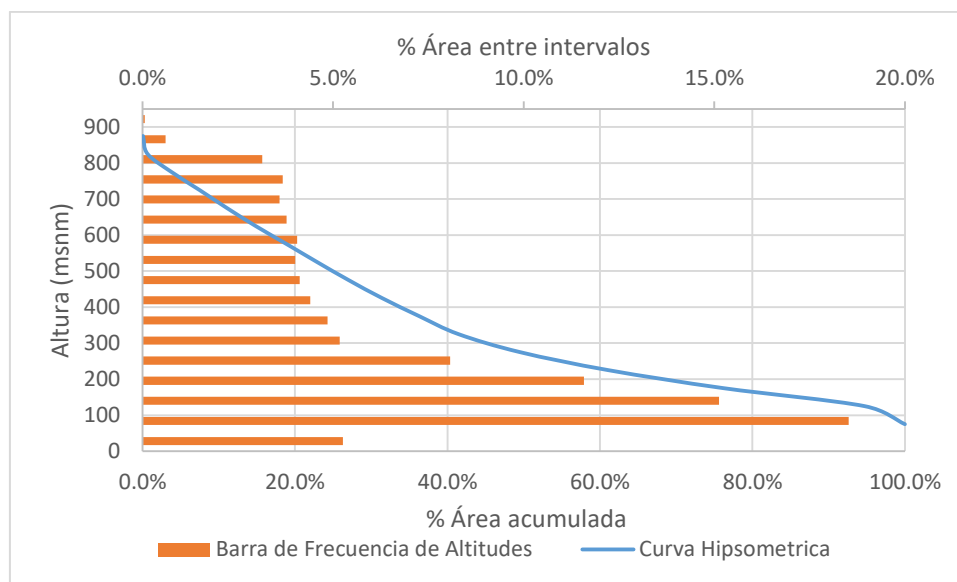


Figura N° 4.4 Curva Hipsométrica y frecuencia de altitudes – Cuenca Barranco del Carraixet

4.1.4 Marco geológico

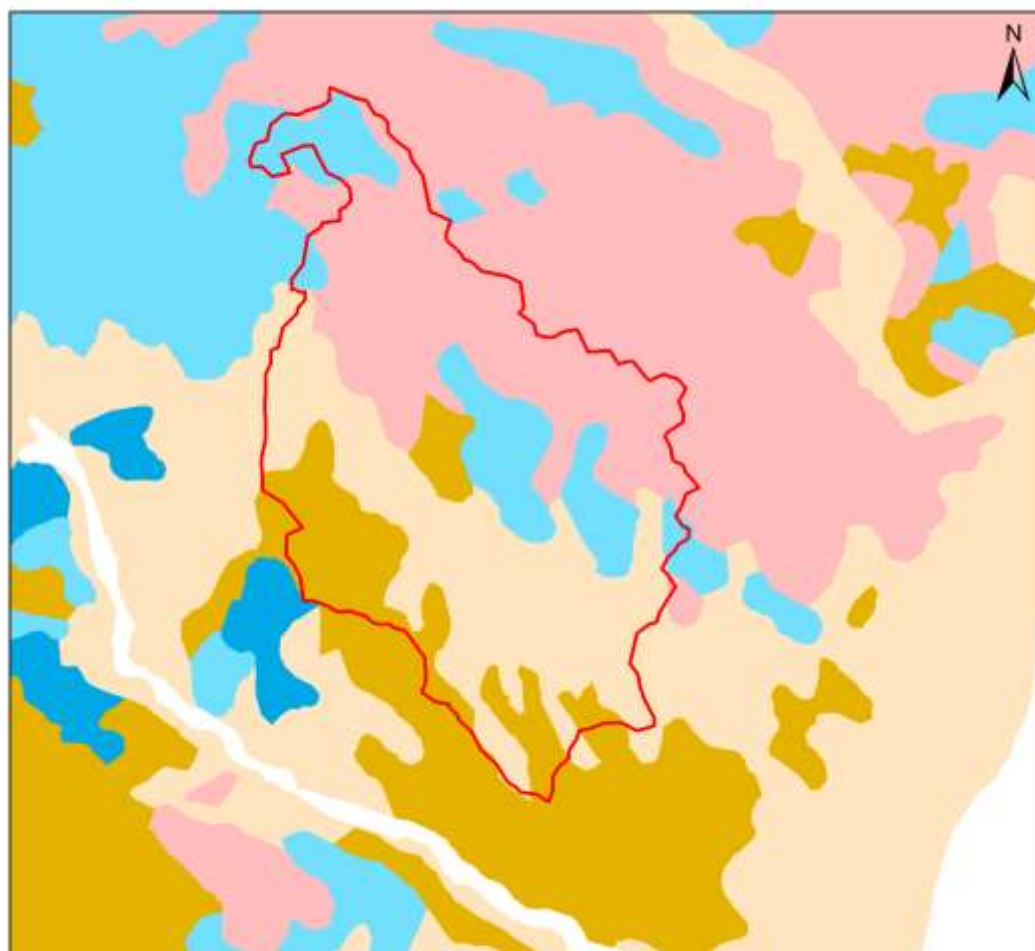
Se pueden distinguir cuatro clases de formaciones geológicas:

- La primera formada por conglomerados, areniscas, calizas, yesos y arcillas versicolores se encuentra en la parte norte de la cuenca, en la Sierra Calderona. Es una de las dos formaciones más abundantes en la cuenca.
- La segunda formada por calizas, dolomías y margas se encuentra en la parte de cabecera del barranco y en la parte central de la cuenca. No es una formación muy abundante en la zona de estudio.
- La tercera formación está formada por gravas, conglomerados, arenas y limos, por esta formación discurre el cauce del barranco a partir de su paso por el municipio de Olocau. Es una de las dos formaciones más abundantes en la zona de estudio.



- La cuarta formación está compuesta por areniscas, conglomerados, arcillas, calizas y evaporitas. No es una formación muy abundante en la cuenca.

En la figura 4.5 se observa el mapa de litologías de la zona de estudio obtenido el IGME.



Legend

- Cuenca Carraxiet
- Gravas, conglomerados, arenas y limos
- Conglomerados, areniscas y lutitas
- Conglomerados, areniscas, arcillas y calizas. Evaporitas
- Conglomerados, areniscas, calizas, yesos y arcillas versicolores
- Conglomerados, areniscas, pizarras y calizas. Carbón
- Areniscas, conglomerados, arcillas, calizas y evaporitas
- Areniscas, pizarras y calizas
- Calizas detríticas, calcarenitas, margas, arcillas y calizas
- Calizas, dolomías y margas. Areniscas y conglomerados
- Dolomías, calizas y margas. Areniscas
- Cuarzitas, pizarras, areniscas y calizas
- Pizarras, grauwackas, cuarzitas y conglomerados
- Micaesquistos, filitas, areniscas, mármoles, calizas, dolomías y margas
- Gneisses
- Migmatitas, mármoles y granitoides indiferenciados
- Vulcanitas y rocas volcanoclásticas
- Otros granitoides
- Granitoides de dos micas
- Serpentinitas y peridotitas. Rocas básicas y ultrabásicas
- Rocas volcánicas félsicas
- Rocas volcánicas máficas y félsicas
- Rocas volcánicas máficas
- Rocas plutónicas félsicas
- Rocas plutónicas máficas y félsicas

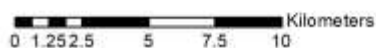


Figura N° 4.5 Mapa geológico, Barranco del Carraxiet



4.1.5 Marco Hidrogeológico

Para la caracterización de la hidrogeología en la zona de estudio se ha utilizado el mapa de permeabilidad del IGME, en él se distinguen tres formaciones diferentes y dentro de cada una de estas formaciones, dos tipos de acuíferos; en la zona de estudio encontramos los tres tipos de formaciones y cinco tipos de acuíferos.

- En la zona del cauce del barranco a partir de Olocau encontramos formaciones detríticas permeables en general no consolidadas. Dentro de estas formaciones encontramos dos tipos de acuíferos:
 - En la parte final del recorrido del barranco encontramos acuíferos generalmente extensos, muy permeables y productivos.
 - En la zona media del barranco encontramos acuíferos extensos, discontinuos y locales de producción moderada.
- En la zona norte de la cuenca, se encuentra una pequeña zona con formaciones de baja permeabilidad, por donde discurre el barranco en un pequeño tramo; en esta zona encontramos:
 - Formaciones generalmente impermeables o de muy baja permeabilidad, que pueden albergar acuíferos superficiales por alteración, en general poco extensos y de baja productividad.
- En el resto de la zona de estudio encontramos formaciones carbonatadas permeables por fisuración-karstificación.
 - En la zona norte encontramos acuíferos extensos, discontinuos y locales, de permeabilidad y producción moderados.
 - En la zona sur encontramos acuíferos permeables, generalmente extensos y productivos.

En la figura 4.6 observamos las formaciones hidrogeológicas en la zona de estudio.

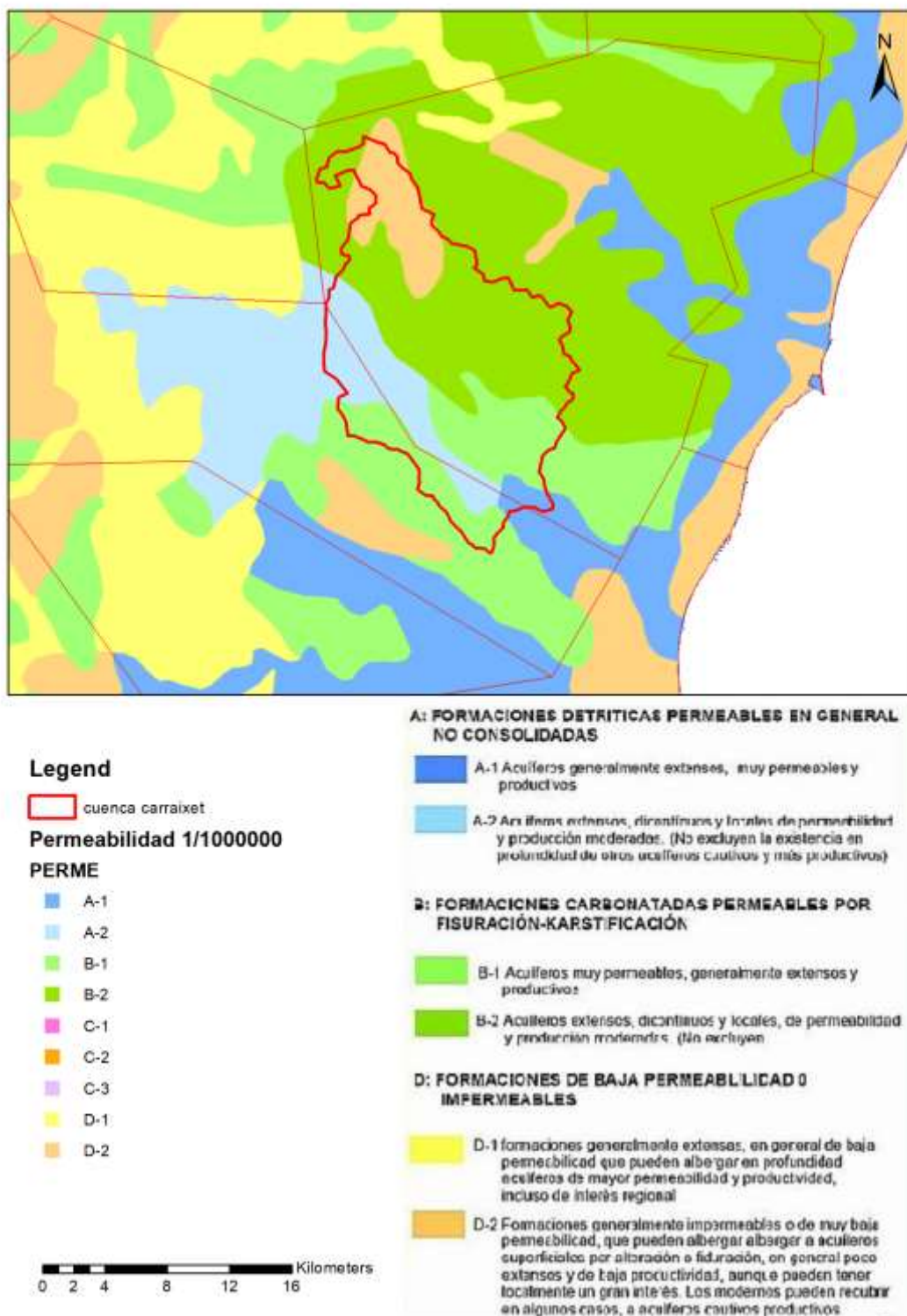


Figura N° 4.6 Mapa hidrogeológico, Barranco del Carraixet. IGME mapa de permeabilidades

4.1.6 Uso de suelo

Para la caracterización del uso del suelo de la zona de estudio se ha usado la cartografía del proyecto Corine Land Cover del año 2006, llevado a cabo por la Agencia Europea de Medio Ambiente.



En la tabla 4.1 se observan los usos de suelo presentes en la zona de estudio, se puede observar como el uso más abundante es el de cultivo de frutales, con 59.8 Km² y un 24.59% de la zona de estudio, seguido muy de cerca de matorrales esclerófilos y matorrales boscosos de transición.

En la figura 4.7 se observa una comparación unificando los usos del suelo en urbano, cultivo, bosques, matorrales y espacios con vegetación escasa. De esta forma el tipo de uso suelo más abundante es el cultivo, seguido de los matorrales

Tabla Nº 4.1 Usos del suelo, Barranco del Carraixet

Codigo	Uso del suelo	Area (Ha)	Porcentaje
111	Tejido urbano continuo	304	1.25%
112	Tejido urbano discontinuo	1590	6.54%
121	Zonas industriales o comerciales	23	0.09%
142	Instalaciones deportivas y recreativas	96	0.39%
222	Frutales	5980	24.59%
223	Olivares	1100	4.52%
242	Mosaico de cultivos	2491	10.24%
243	Terrenos principalmente agrícolas, pero con importantes espacios de vegetación natural y semi-natural	1274	5.24%
312	Bosque de coníferas	1896	7.80%
321	Pastizales naturales	71	0.29%
323	Matorrales esclerófilos	4681	19.25%
324	Matorral boscoso de transición	4694	19.30%
331	Playas, dunas y arenales	38	0.16%
333	Espacios con vegetación escasa	82	0.34%

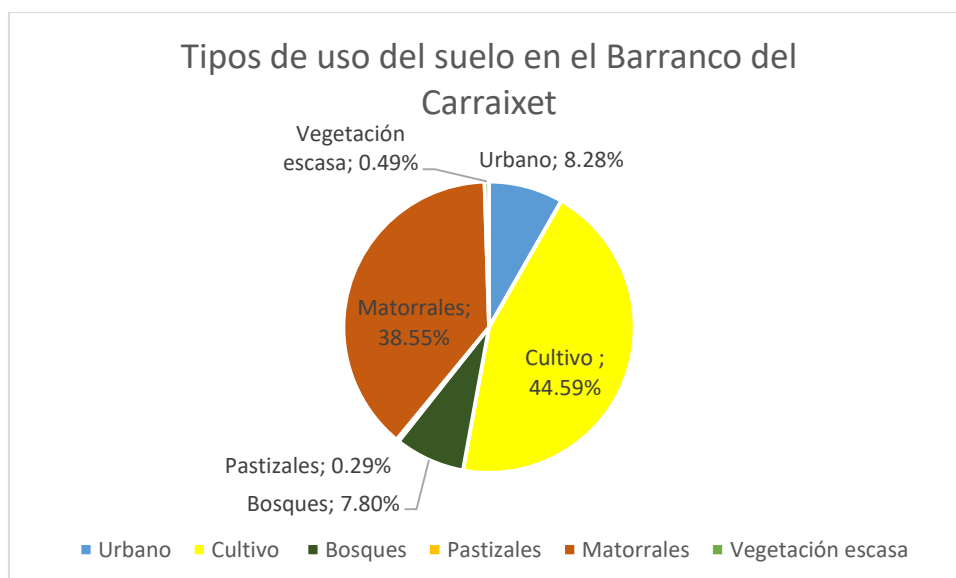


Figura Nº 4.7 Tipos de usos del suelo, Barranco del Carraixet

4.2 Cuenca hidrológica Rambla de Alcalá

4.2.1 Situación geográfica

La cuenca de la Rambla de Alcalá tiene una superficie de 165.71 Km², se encuentra en la Demarcación Hidrográfica del Júcar, en la provincia de Castellón, su recorrida comienza en el municipio de Alcalá de Xivert, recoge las aguas de la vertiente oeste de la Serra d'Irta. Desemboca al sur del municipio de Benicarló hacia el mar Mediterráneo. En la figura 4.8 se observa su localización respecto a la Demarcación Hidrográfica del Júcar.

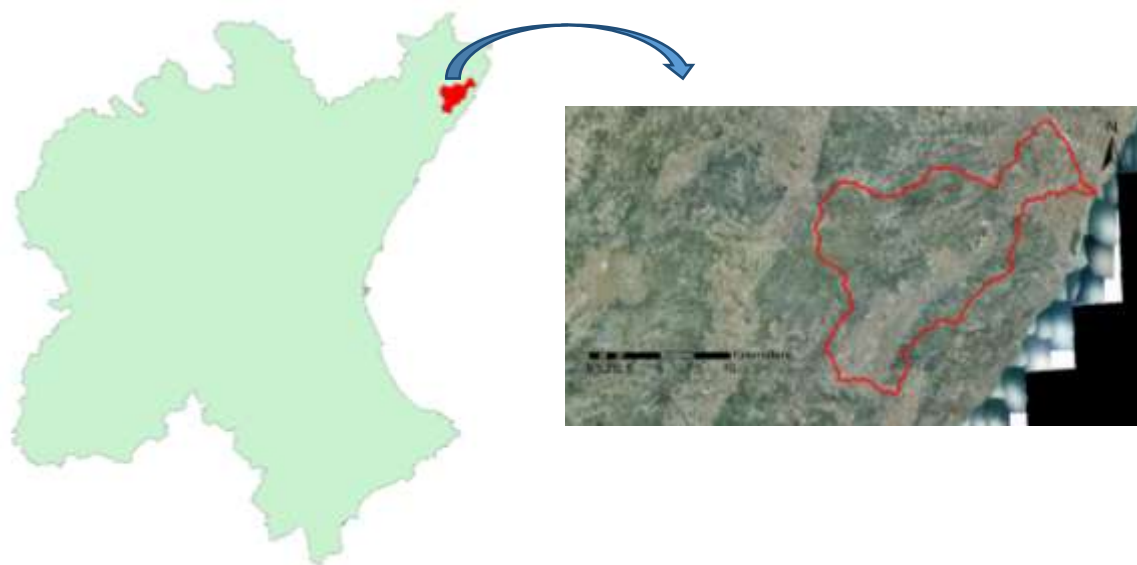


Figura N° 4.8 Ubicación de la cuenca de la Rambla de Alcalá

4.2.2 Características climáticas generales

El clima de la zona de estudio es típico de la zona mediterránea, las precipitaciones máximas se dan en otoño, mientras que las precipitaciones mínimas coinciden con la época de mayores temperaturas, en el verano.

En la figura 4.9 se observan las temperaturas medias mensuales a lo largo del año en la cuenca de la Rambla de Alcalá; al igual que en la cuenca del Carraixet, existen dos picos de precipitaciones a lo largo del año, en primavera y en otoño, siendo mayores los registros en otoño. El mes con mayor precipitación media mensual es octubre, siendo esta algo menor de 85 mm, mientras que la precipitación mínima se registra en Julio, siendo esta de unos 25 mm.

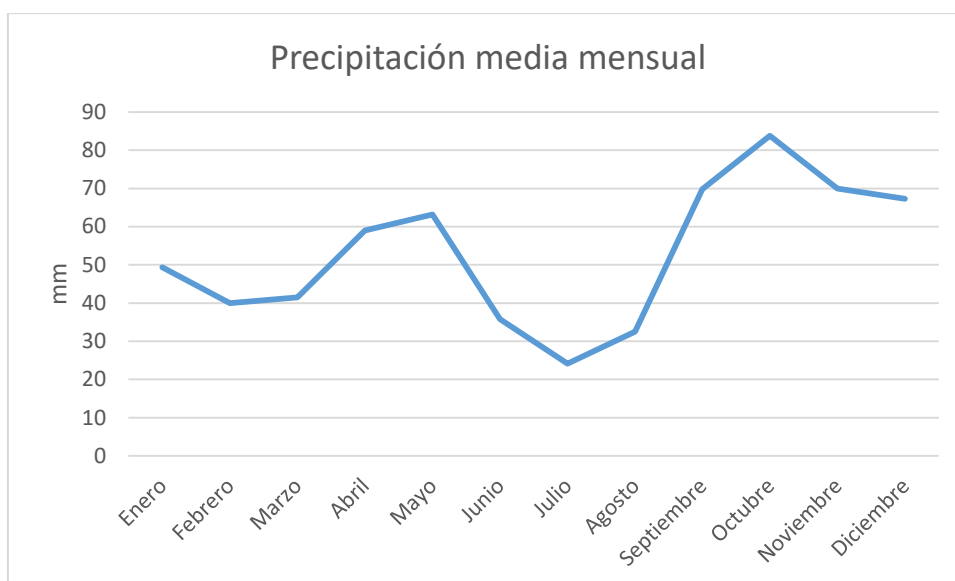


Figura N° 4.9 Precipitación media mensual en la Rambla de Alcalá

En la figura 4.10 se observa la temperatura media mensual en la zona de estudio, se aprecia como las temperaturas máximas se dan en los meses de Julio y Agosto, y las temperaturas mínimas en los meses de enero y diciembre.

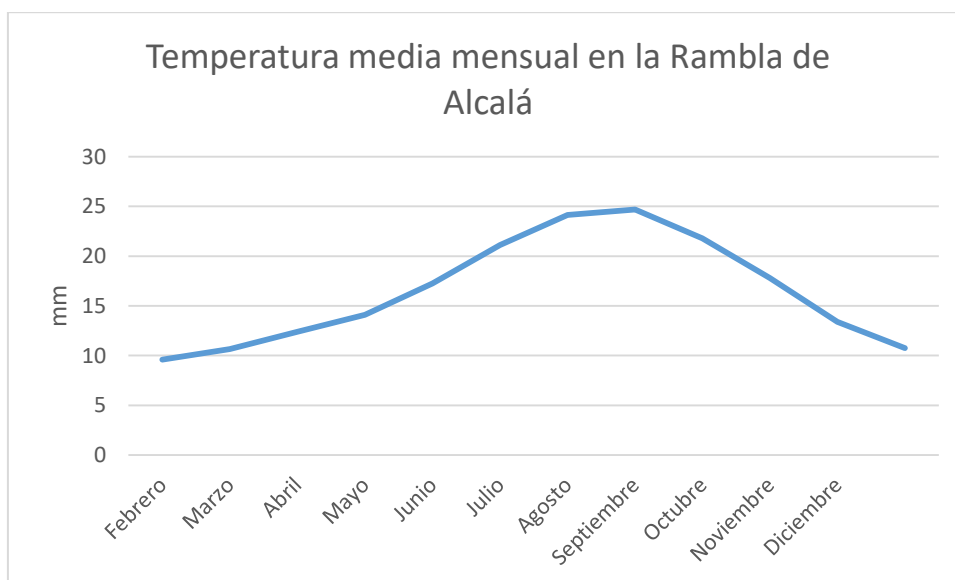


Figura N° 4.10 Temperatura media mensual en la Rambla de Alcalá

4.2.3 Topografía

La topografía de la cuenca de la Rambla de Alcalá se ha caracterizado a partir del modelo de elevación digital de resolución 100x100m del Instituto Geográfico Nacional de España (IGN).



La zona de estudio se encuentra entre las cotas 0 y 700 m.s.n.m., teniendo el 50% de sus cotas por debajo de los 225 metros.

En la figura 4.11 se observa como la curva de la cuenca de la Rambla de Alcalá se encontraría por debajo de la diagonal, por lo que podríamos decir que es una cuenca sedimentaria en fase de vejez. En la figura 4.11 también se observan los polígonos de frecuencia, donde se aprecia que el rango de altitud más frecuente se encuentra entre los 150 y los 200 metros.

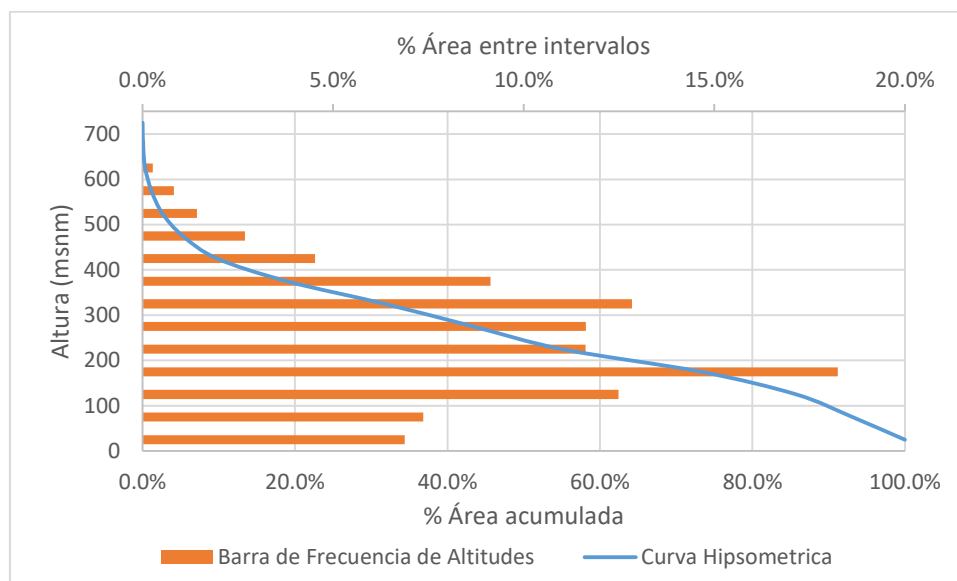


Figura N° 4.11 Curva Hipsométrica y frecuencia de altitudes – Cuenca Rambla de Alcalá

4.2.4 Marco geológico

Se pueden distinguir cuatro clases de formaciones geológicas:

- La primera formada por calizas, dolomías y margas se encuentra en la parte oeste de la cuenca. Es la formación más abundante en la cuenca.
- La segunda formada por dolomías calizas y margas se encuentra en la parte de cabecera del barranco y en la parte norte de la cuenca. No es una formación muy abundante en la zona de estudio.
- La tercera formación está formada por gravas, conglomerados, arenas y limos, por esta formación discurre el cauce del barranco.
- La cuarta formación está compuesta por areniscas, conglomerados, arcillas, calizas y evaporitas.

En la figura 4.12 se observa el mapa de litologías de la zona de estudio obtenido el IGME.

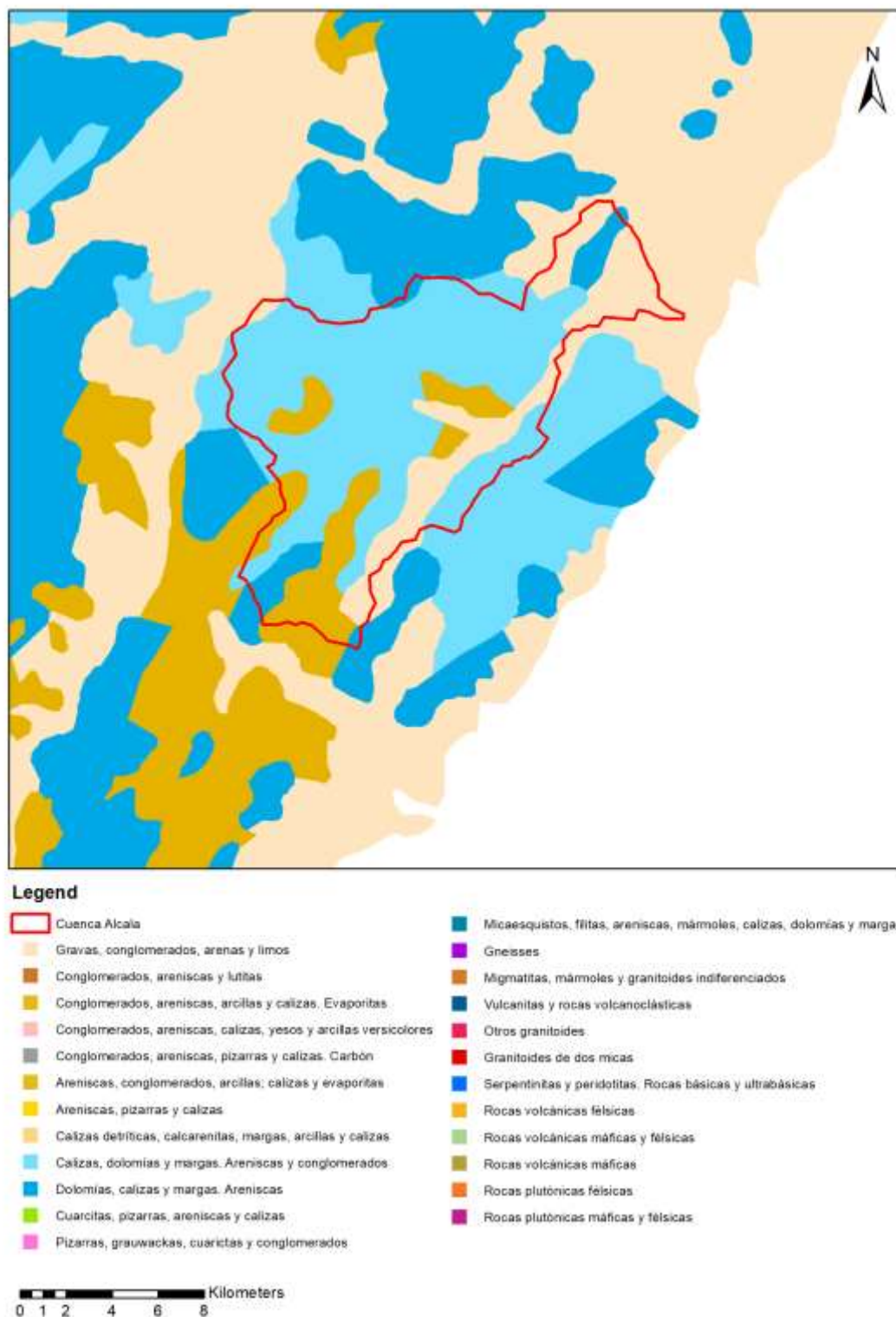


Figura N° 4.12 Mapa geológico, Rambla de Alcalá

4.2.5 Marco hidrogeológico

Para la caracterización de la hidrogeología en la zona de estudio se ha utilizado el mapa de permeabilidad del IGME, en él se distinguen tres formaciones diferentes y



dentro de cada una de estas formaciones, dos tipos de acuíferos; en la zona de estudio encontramos los tres tipos de formaciones y tres tipos de acuíferos.

- En la mayor parte de la cuenca encontramos formaciones carbonatadas permeables por fisuración-karstificación. Dentro de estas formaciones encontramos:
 - Acuíferos generalmente extensos, muy permeables y productivos.
- En el recorrido del cauce encontramos formaciones de baja permeabilidad:
 - Formaciones generalmente extensas, en general de baja permeabilidad, que pueden albergar en profundidad acuíferos de mayor permeabilidad y productividad.
- En parte final de la cuenca, la más cercana al mar, encontramos formaciones detríticas permeables en general no consolidadas.
 - En la zona norte encontramos acuíferos generalmente extensos muy permeables y productivos.

En la figura 4.13 observamos las formaciones hidrogeológicas en la zona de estudio.

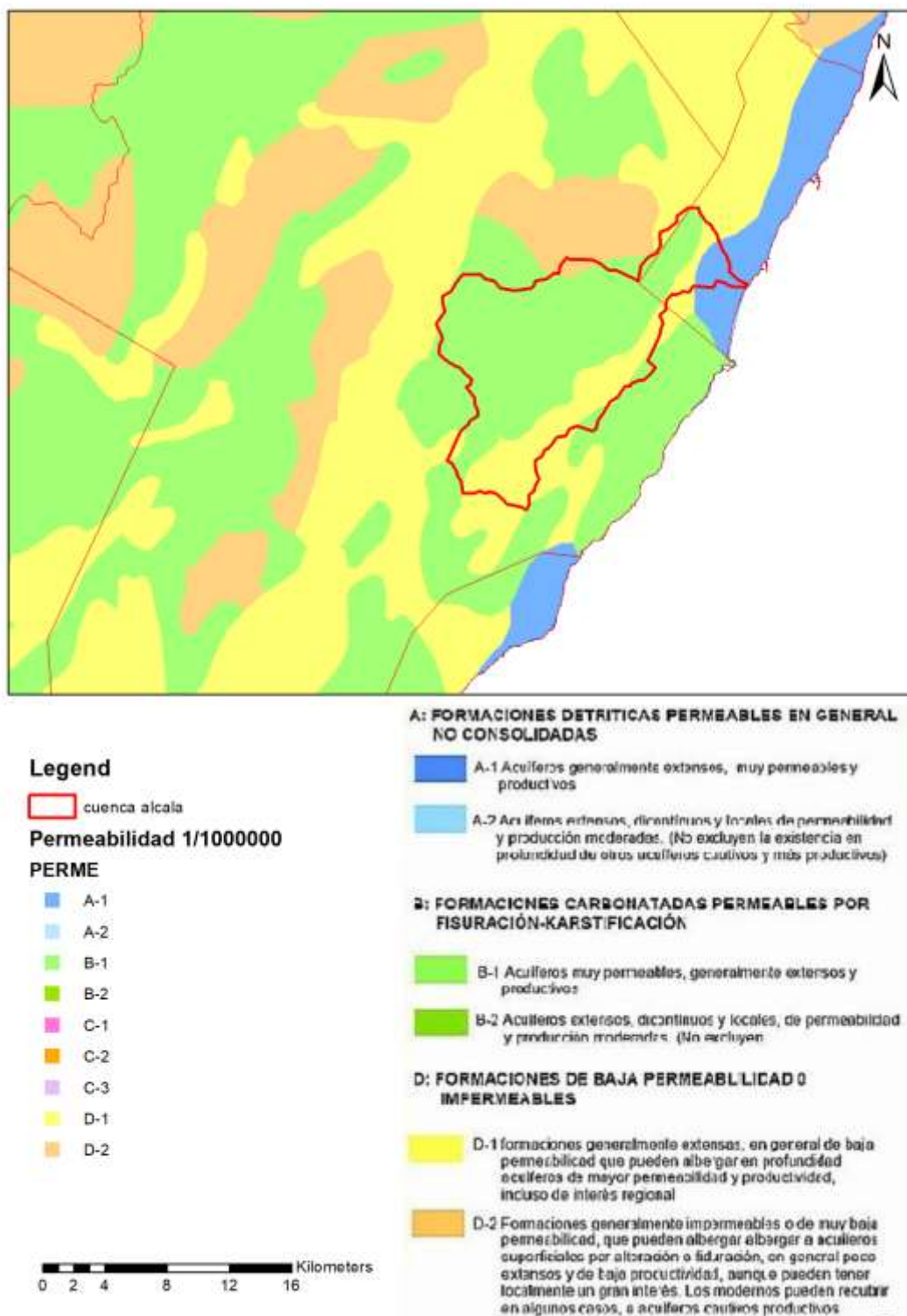


Figura N° 4.13 Mapa hidrogeológico, Rambla de Alcalá. IGME mapa de permeabilidades

4.2.6 Usos del suelo

Para la caracterización del uso del suelo de la zona de estudio se ha usado la cartografía del proyecto Corine Land Cover del año 2006, llevado a cabo por la Agencia Europea de Medio Ambiente.



En la tabla 4.2 se observan los usos de suelo presentes en la zona de estudio, se puede observar como el uso más abundante es el de matorrales esclerófilos, con 67.8 Km² y un 40.91% de la cuenca, seguido muy de cerca mosaico de cultivos.

En la figura 4.14 se observa una comparación unificando los usos del suelo en urbano, cultivo, bosques, matorrales y espacios con vegetación escasa. De esta forma el tipo de uso suelo más abundante son los matorrales, seguido del cultivo.

Tabla Nº 4.2 Usos del suelo, Rambla de Alcalá

Código	Uso del suelo	Área (Ha)	Porcentaje
111	Tejido urbano continuo	59	0.36%
112	Tejido urbano discontinuo	5	0.03%
121	Zonas industriales o comerciales	56	0.34%
212	Terrenos regados permanentemente	262	1.58%
222	Frutales	163	0.98%
242	Mosaico de cultivos	6779	40.91%
243	Terrenos principalmente agrícolas, pero con importantes espacios de vegetación natural y semi-natural	137	0.83%
312	Bosques de coníferas	340	2.05%
323	Matorrales esclerófilos	6905	41.67%
324	Matorral boscoso de transición	1266	7.64%
333	Espacios con vegetación escasa	599	3.61%

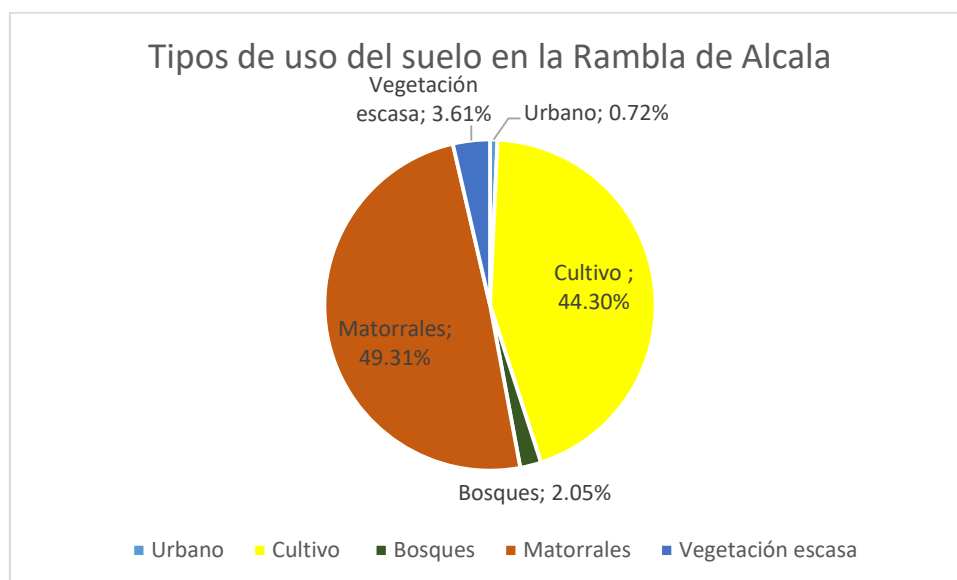


Figura Nº 4.14 Tipos de usos del suelo, Rambla de Alcalá

4.3 Cuenca hidrológica Río Cervol

4.3.1 Situación geográfica

La cuenca del Río Cervol tiene una superficie de 348 Km², se encuentra en la Demarcación Hidrográfica del Júcar, la mayor parte de su cuenca se encuentra en la provincia de Castellón, y una parte de la cuenca en la provincia de Teruel, su recorrida comienza en el municipio de Morella, recoge las aguas de los montes de Benifassà y la Sierra de Turmell entre otros. Desemboca al sur del municipio de Vinaroz hacia el mar Mediterráneo. En la figura 4.15 se observa su localización respecto a la Demarcación Hidrográfica del Júcar.



Figura N° 4.15 Ubicación de la cuenca del Río Cervol

4.3.2 Características climáticas generales

El clima de la zona de estudio es típico de la zona mediterránea, las precipitaciones máximas se dan en otoño, mientras que las precipitaciones mínimas suelen darse en los meses de verano.

En la figura 4.16 se muestran las precipitaciones medias mensuales en la cuenca del Río Cervol; se observa como la distribución temporal es similar a las otras dos cuencas del estudio, pero en este caso los dos picos de precipitaciones están más equilibrados, aunque continua siendo mayor el de otoño.

La precipitación máxima se produce en octubre, siendo cercana a los 85 mm, mientras que la mínima se registra en Julio, con un valor de 30 mm.

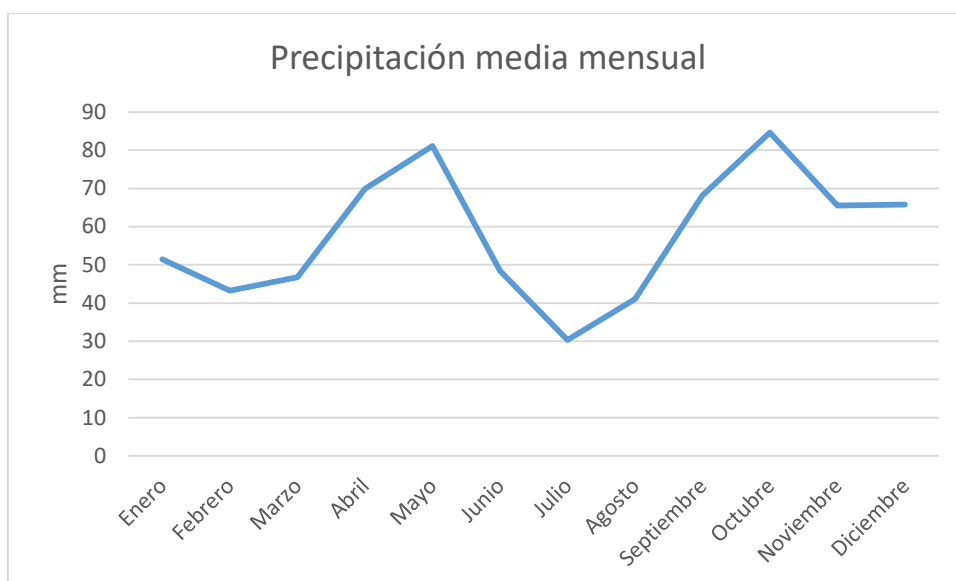


Figura N° 4.16 Precipitación media mensual en el Rio Cervol

En la figura 4.17 se observa la temperatura media mensual en la zona de estudio, se aprecia como las temperaturas máximas se dan en los meses de Julio y Agosto, y las temperaturas mínimas en los meses de enero y diciembre.

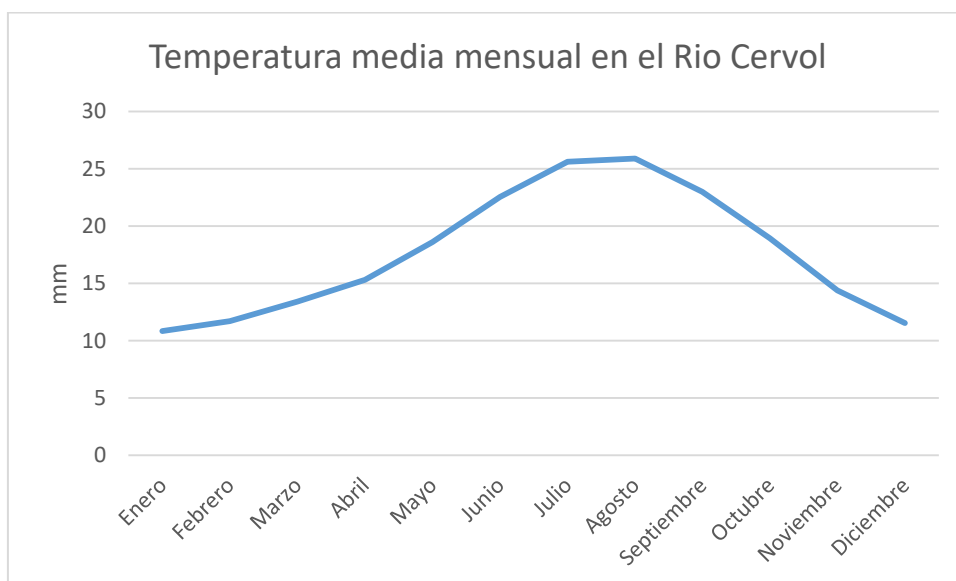


Figura N° 4.17 Temperatura media mensual en el Rio Cervol

4.3.3 Topografía

La topografía de la cuenca del Río Cervol se ha caracterizado a partir del modelo de elevación digital de resolución 100x100m del Instituto Geográfico Nacional de España (IGN).



La zona de estudio se encuentra entre las cotas 0 y 1250 m.s.n.m., teniendo el 50% de sus cotas por debajo de los 575 metros.

En la figura 4.18 se observa como la curva de la cuenca del Río Cervol se encontraría aproximadamente en la diagonal, por lo que podríamos decir que es una cuenca en equilibrio en estado de madurez. En la figura 4.18 también se observan los polígonos de frecuencia, donde se aprecia que el rango de altitud más frecuente se encuentra entre los 300 y los 350 metros.

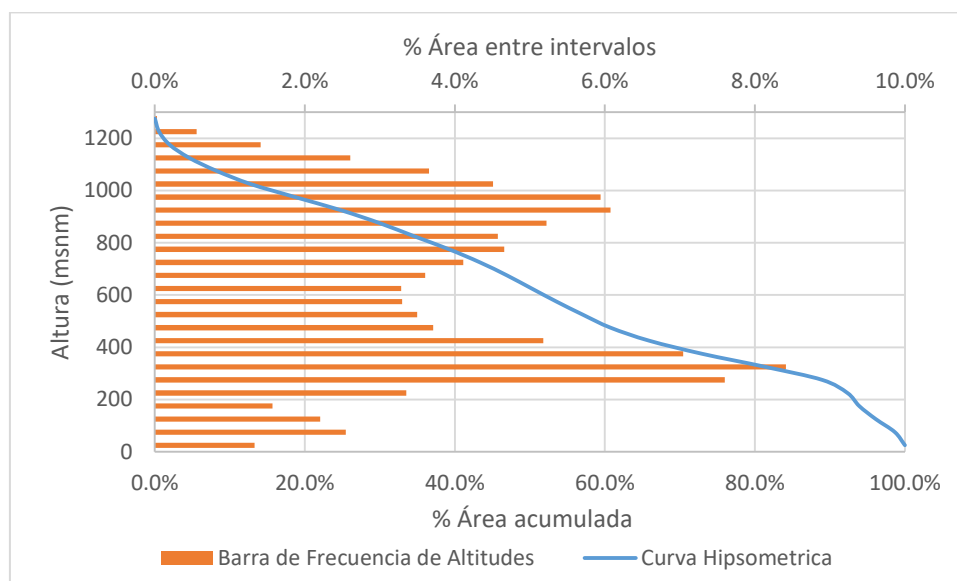


Figura N° 4.18 Curva Hipsométrica y frecuencia de altitudes – Cuenca Rio Cervol

4.3.4 Marco geológico

Se pueden distinguir cuatro clases de formaciones geológicas:

- La primera formada por calizas, dolomías y margas se encuentra en la parte oeste de la cuenca, en la parte de cabecera de la cuenca. Es una formación bastante abundante en la cuenca.
- La segunda formada por dolomías calizas y margas se encuentra en la parte de cabecera del barranco, al oeste de la cuenca. Es una formación abundante en la zona de estudio.
- La tercera formación está formada por gravas, conglomerados, arenas y limos, por esta formación discurre el cauce del río a partir de la mitad de la cuenca. Es una formación muy abundante en la cuenca.



- La cuarta formación está compuesta por conglomerados, areniscas, arcillas, calizas y evaporitas. Solo se encuentran pequeñas zonas en el norte de la cuenca, en la parte central de esta.

En la figura 4.19 se observa el mapa de litologías de la zona de estudio obtenido el IGME

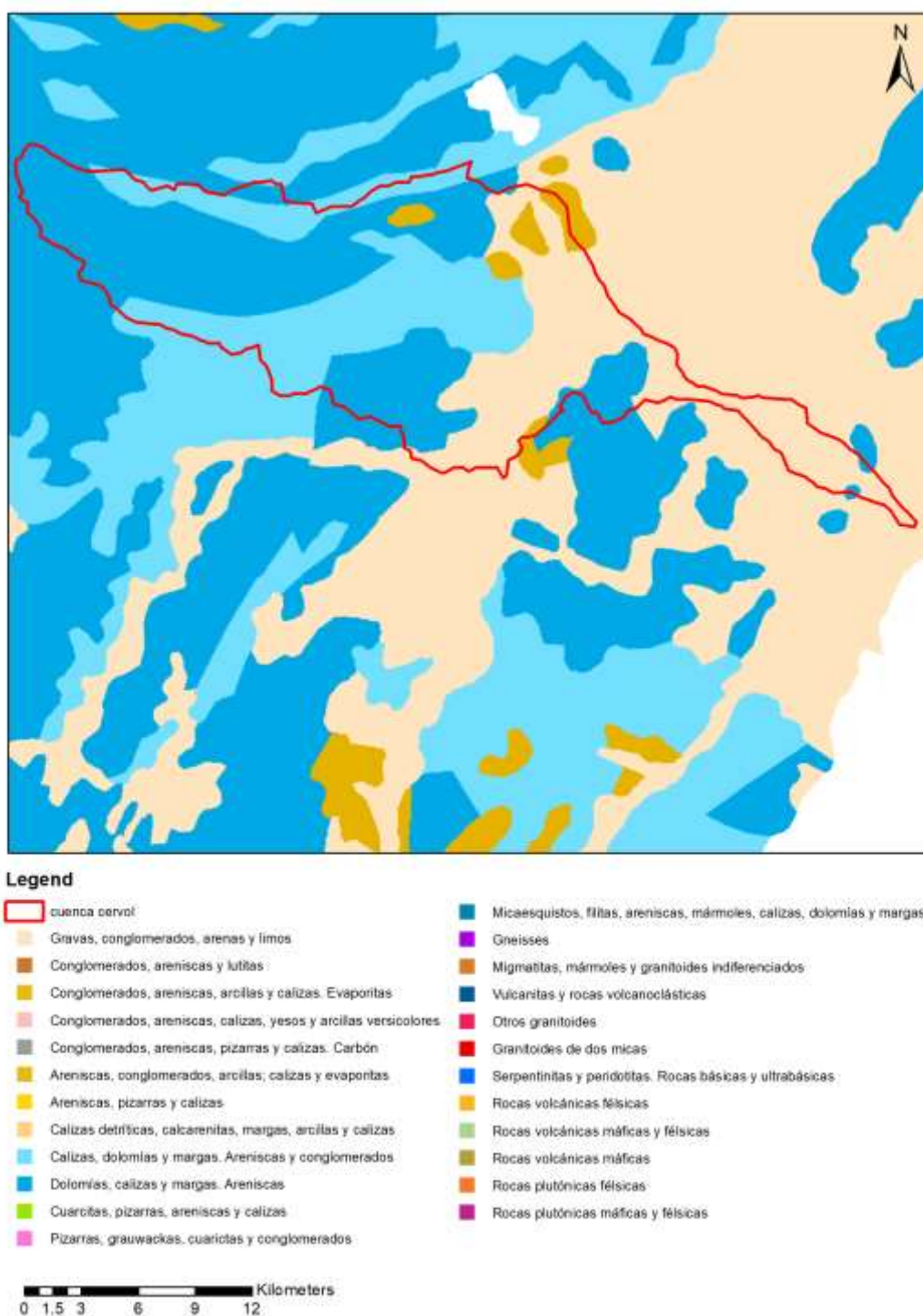


Figura N° 4.19 Mapa geológico, Rio Cervol



4.3.5 Marco hidrogeológico

En la zona de estudio encontramos los tres tipos de formaciones y tres tipos de acuíferos.

- En la mayor parte de la cuenca encontramos formaciones de baja permeabilidad o impermeables. Dentro de estas formaciones encontramos:
 - En la parte alta de la cuenca, formaciones generalmente impermeables o de muy baja permeabilidad, que pueden albergar acuíferos superficiales por alteración, en general poco extensos y de baja productividad.
 - En toda la mitad inferior de la cuenca, formaciones generalmente extensas, generalmente de baja permeabilidad, que pueden albergar en profundidad acuíferos de mayor permeabilidad y productividad
- En la zona central de la cuenca encontramos formaciones carbonatadas permeables por fisuración-karstificación:
 - Acuíferos muy permeables, generalmente extensos y productivos.
- En parte final de la cuenca, la más cercana al mar, encontramos formaciones detríticas permeables en general no consolidadas.
 - Acuíferos generalmente extensos muy permeables y productivos.

En la figura 4.20 observamos las formaciones hidrogeológicas en la zona de estudio.

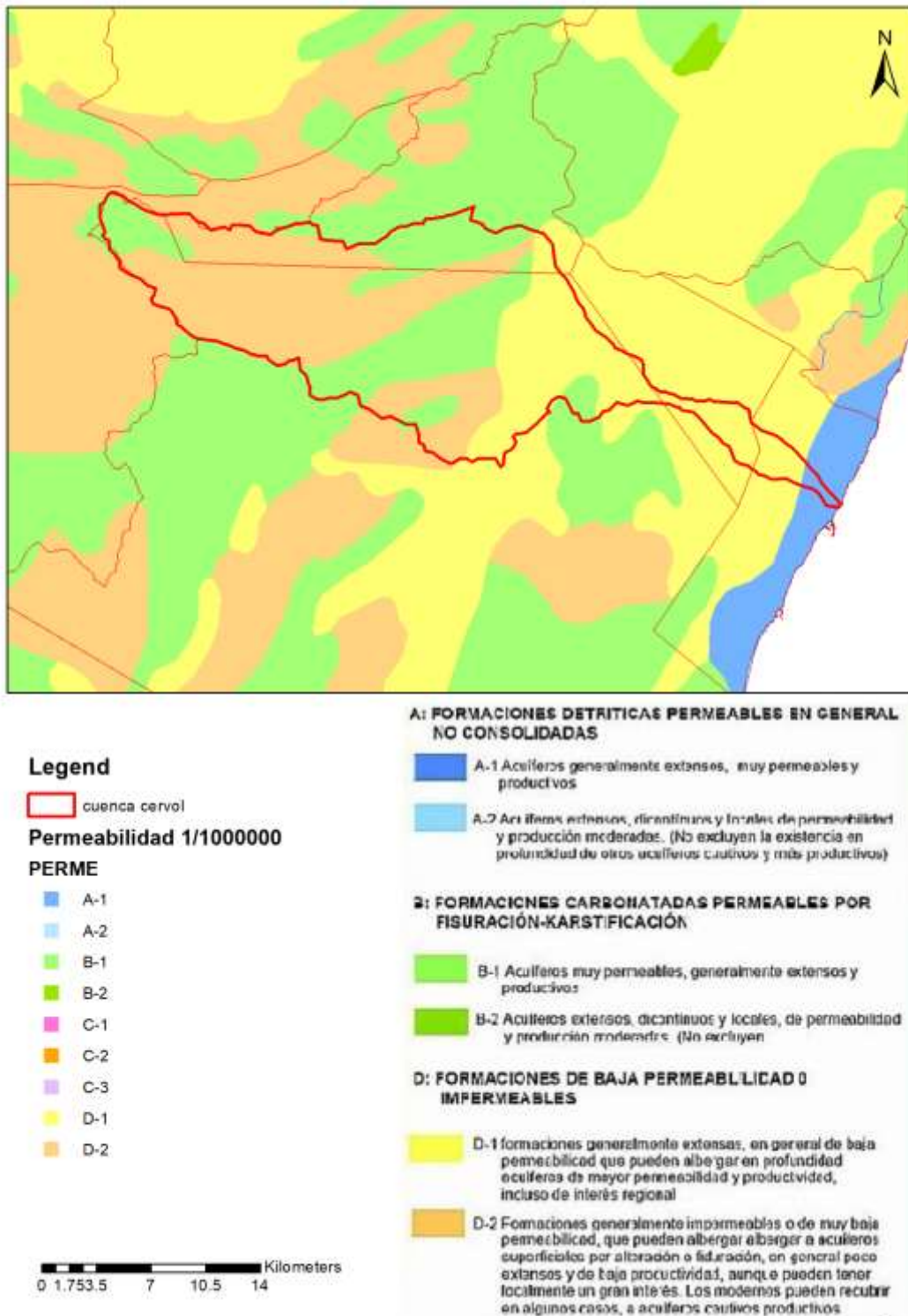


Figura N° 4.20 Mapa hidrogeológico, Rio Cerro. IGME mapa de permeabilidades

4.3.6 Usos del suelo

Para la caracterización del uso del suelo de la zona de estudio se ha usado la cartografía del proyecto Corine Land Cover del año 2006, llevado a cabo por la Agencia Europea de Medio Ambiente.



En la tabla 4.3 se observan los usos de suelo presentes en la zona de estudio, se puede observar como el uso más abundante es el cultivo de olivares, con 81.8 Km² y un 23.51% de la cuenca, seguido muy de bosque mixto y matorrales esclerófilos.

En la figura 4.21 se observa una comparación unificando los usos del suelo en urbano, cultivo, bosques, matorrales y espacios con vegetación escasa. De esta forma el tipo de uso suelo más abundante es el cultivo, seguido muy de cerca por los matorrales; en esta cuenca el porcentaje de bosque es de un 25%, considerablemente mayor al de los otros casos de estudio.

Tabla Nº 4.3 Usos del suelo, Rio Cervol

Código	Uso del suelo	Área (Ha)	Porcentaje
111	Tejido urbano continuo	29	0.08%
112	Tejido urbano discontinuo	35	0.10%
121	Zonas industriales o comerciales	23	0.07%
211	Tierras de labor en secano	292	0.84%
212	Terrenos regados permanentemente	34	0.10%
222	Frutales	1575	4.53%
223	Olivares	8183	23.51%
242	Mosaico de cultivos	2313	6.65%
243	Terrenos principalmente agrícolas, pero con importantes espacios de vegetación natural y semi-natural	795	2.28%
311	Bosques de frondosas	1077	3.09%
312	Bosques de coníferas	696	2.00%
313	Bosque mixto	7054	20.27%
321	Pastizales naturales	1085	3.12%
323	Matorrales esclerófilos	7058	20.28%
324	Matorral boscoso de transición	4205	12.08%
333	Espacios con vegetación escasa	346	0.99%

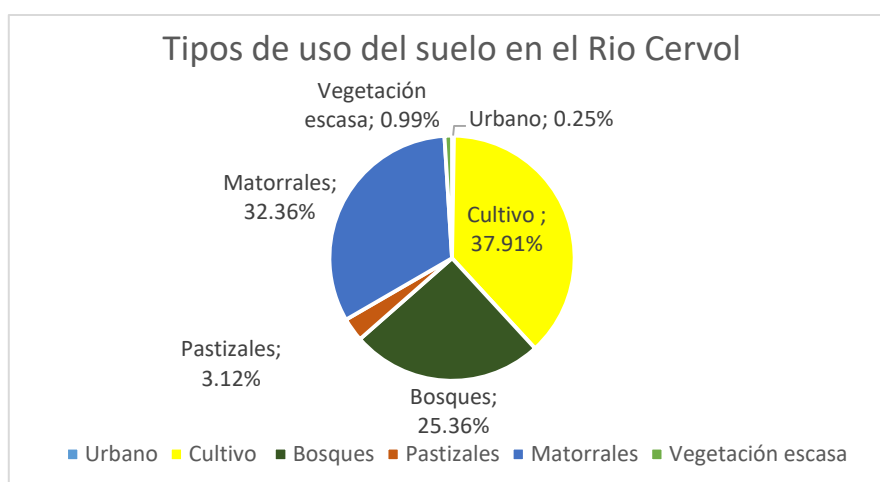


Figura Nº 4.21 Tipos de usos del suelo, Rio Cervol



CAPITULO 5. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA



5.1 Información meteorológica

5.1.1 Series de Precipitación y Temperatura

La información meteorológica de precipitación y temperatura usadas en la calibración del modelo se ha obtenido de datos meteorológicos interpolados del proyecto Spain02 elaborados por AEMET y el Grupo de Meteorología de la Univ. de Cantabria (UNICAN), que recogen precipitación y temperaturas máximas y mínimas diarias sobre una malla regular de alta resolución en su versión 4 (0.11°x0.11°). Los datos usados tienen registros desde el año 1971 hasta el 2008.

En las Figuras 5.1, 5.2 y 53 se observan las distribuciones espaciales de las rejillas del proyecto Spain02V4 en la cuenca del Barranco del Carraixet y Rambla de Alcalá respectivamente. De fondo se observa el modelo digital del terreno de cada zona.

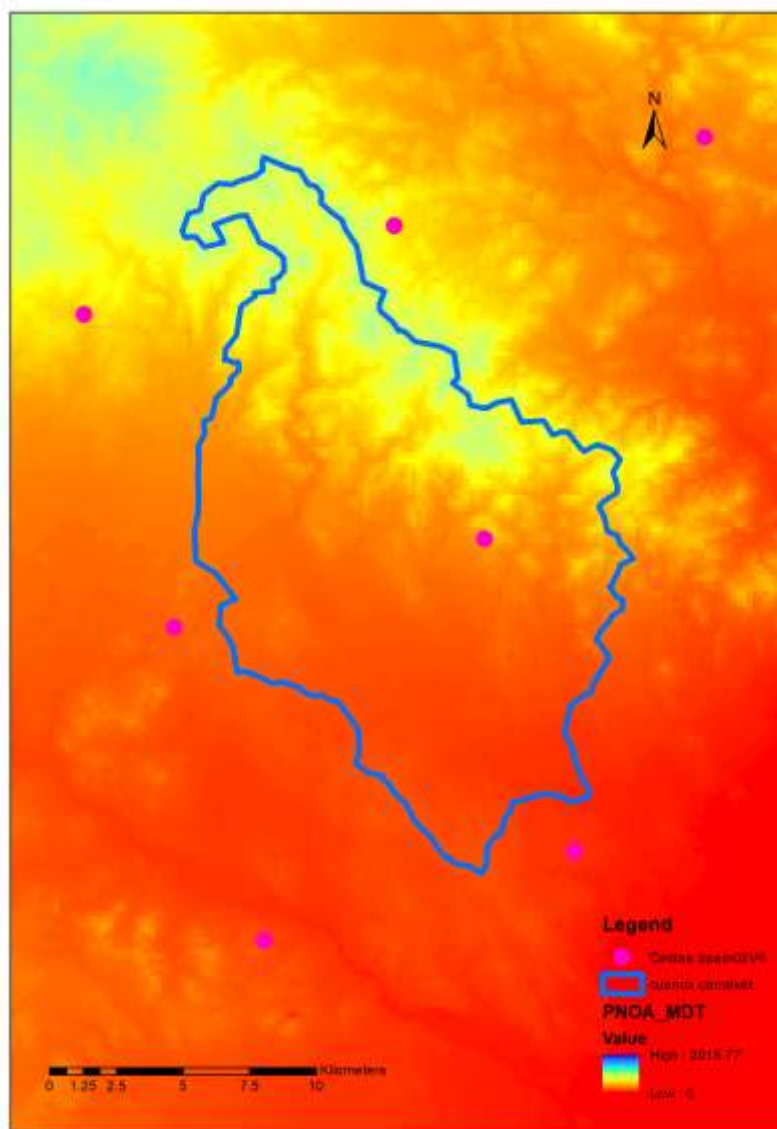


Figura N° 5.1 Distribución de la rejilla de datos interpolados Spain02v4, Barranco del Carraixet

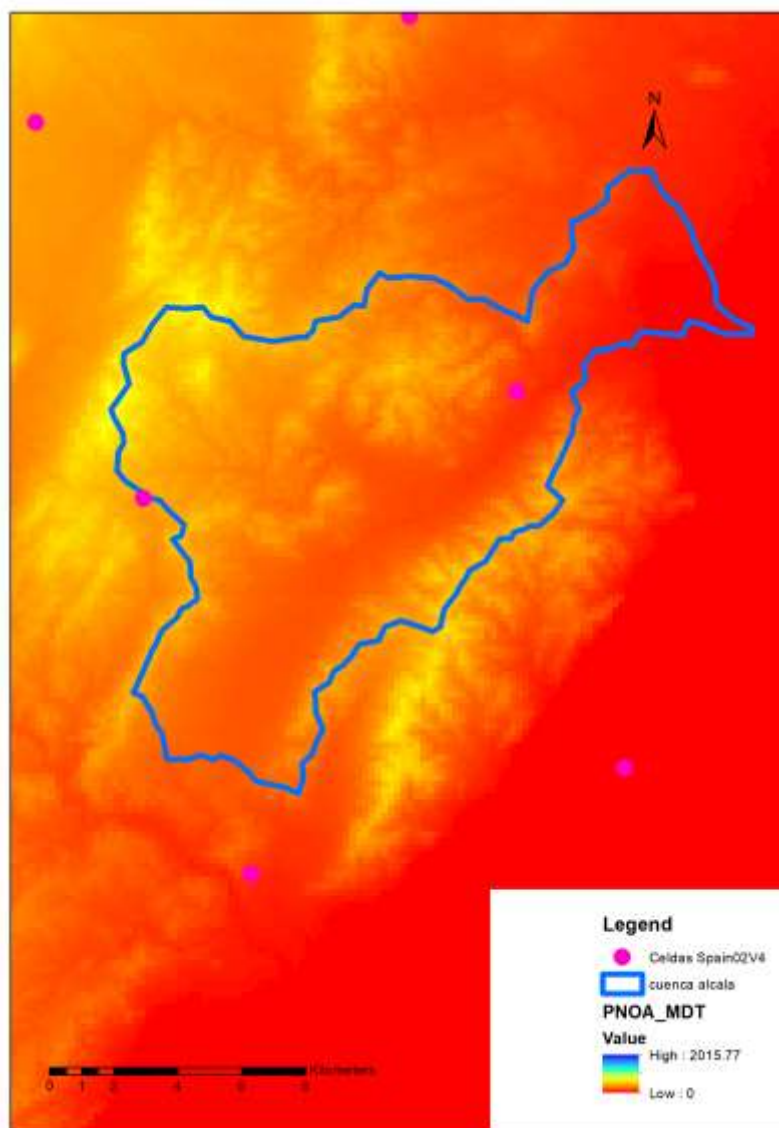


Figura N° 5.2 Distribución de la rejilla de datos interpolados Spain02v4, Rambla de Alcalá

Uno de los principales inconvenientes a la hora de modelar ríos no permanentes es la falta de estaciones de aforos y cuando éstas existen, también existen lagunas en los datos; también debe considerarse que, en la mayoría de los ríos no permanentes de la Demarcación que disponen de estación de aforo, se trata de series hidrológicas muy antiguas que remontan normalmente a los años 1912 y 1930. Esto ocurre en el caso del Rio Cervol, en el cual se disponen de datos de aforos de principio de siglo, por lo que para poder calibrar el modelo TETIS en esta esta cuenca ha sido necesario solicitar a AEMET datos diarios de pluviómetros históricos.

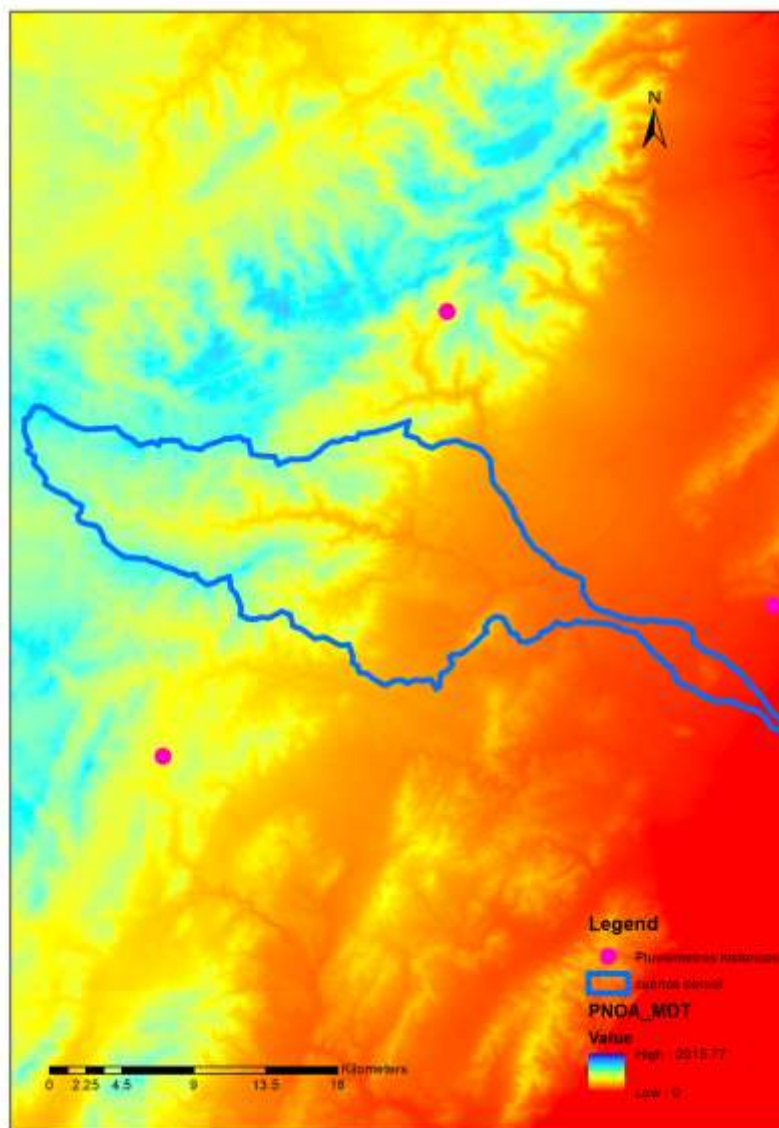


Figura N° 5.3 Pluviómetros históricos usados en la calibración, Rio Cerval

5.1.2 Evapotranspiración de referencia

EXPLICAR HARGREAVES POR FALTA DE DATOS La evapotranspiración potencial se calcula a partir de la ecuación de Hargreaves (Hargreaves y Samani, 1982), mediante la ecuación (4).

$$ET0=0.0135 * (\bar{\tau}+17.78) * Rs$$

Donde $ET0$ es la evapotranspiración potencial, $\bar{\tau}$ es la temperatura media en °C y Rs es la radiación solar incidente en mm/día.

La radiación solar incidente se calcula a partir de la radiación extraterrestre (obtenida del documento de la FAO56). Donde $ET0$ es la evapotranspiración potencial, $\bar{\tau}$ es la temperatura media en °C y Rs es la radiación solar incidente en mm/día. Con la



ecuación propuesta en Hargreaves y Samani (1982) mostrada en la siguiente ecuación (5).

$$R_s = R_0 \cdot K_t \cdot V \cdot (t_{\max} - t_{\min})$$

Donde R_0 es la radiación solar extraterrestre en mm/día, K_t es un coeficiente empírico adimensional. Hargreaves recomienda usar valores de $K_t = 0.162$ para el interior y de 0.19 para las zonas costeras (Samani, 2000).

Tabla Nº 5.1 Radiación solar extraterrestre en MJ/ (m²*día), extraída del anexo 2 tablas meteorológicas del documento de la FAO.

Lat.	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
70	0	2.6	10.4	23	35.2	42.5	39.4	28	14.9	4.9	0.1	0
68	0.1	3.7	11.7	23.9	35.3	42	38.9	28.6	16.1	6	0.7	0
66	0.6	4.8	12.9	24.8	35.6	41.4	38.8	29.3	17.3	7.2	1.5	0.1
64	1.4	5.9	14.1	25.8	35.9	41.2	38.8	30	18.4	8.5	2.4	0.6
62	2.3	7.1	15.4	26.6	36.3	41.2	39	30.6	19.5	9.7	3.4	1.3
60	3.3	8.3	16.6	27.5	36.6	41.2	39.2	31.3	20.6	10.9	4.4	2.2
58	4.3	9.6	17.7	28.4	37	41.3	39.4	32	21.7	12.1	5.5	3.1
56	5.4	10.8	18.9	29.2	37.4	41.4	39.6	32.6	22.7	13.3	6.7	4.2
54	6.5	12	20	30	37.8	41.5	39.8	33.2	23.7	14.5	7.8	5.2
52	7.7	13.2	21.1	30.8	38.2	41.6	40.1	33.8	24.7	15.7	9	6.4
50	8.9	14.4	22.2	31.5	38.5	41.7	40.2	34.4	25.7	16.9	10.2	7.5
48	10.1	15.7	23.3	32.2	38.8	41.8	40.4	34.9	26.6	18.1	11.4	8.7
46	11.3	16.9	24.3	32.9	39.1	41.9	40.6	35.4	27.5	19.2	12.6	9.9
44	12.5	18	25.3	33.5	39.3	41.9	40.7	35.9	28.4	20.3	13.9	11.1
42	13.8	19.2	26.3	34.1	39.5	41.9	40.8	36.3	29.2	21.4	15.1	12.4
40	15	20.4	27.2	34.7	39.7	41.9	40.8	36.7	30	22.5	16.3	13.6
38	16.2	21.5	28.1	35.2	39.9	41.8	40.8	37	30.7	23.6	17.5	14.8
36	17.5	22.6	29	35.7	40	41.7	40.8	37.4	31.5	24.6	18.7	16.1
34	18.7	23.7	29.9	36.1	40	41.6	40.8	37.6	32	25.6	19.9	17.3
32	19.9	24.8	30.7	36.5	40	41.4	40.7	37.9	32.8	26.6	21.1	18.5
30	21.1	25.8	31.4	36.8	40	41.2	40.6	38	33.4	27.6	22.2	19.8
28	22.3	26.8	32.2	37.1	40	40.9	40.4	38.2	33.9	28.5	23.3	21
26	23.4	27.8	32.8	37.4	39.9	40.6	40.2	38.3	34.5	29.3	24.5	22.2
24	24.6	28.8	33.5	37.6	39.7	40.3	39.9	38.3	34.9	30.2	25.5	23.3
22	25.7	29.7	34.1	37.8	39.5	40	39.6	38.4	35.4	31	26.6	24.5
20	26.8	30.6	34.7	37.9	39.3	39.5	39.3	38.3	35.8	31.8	27.7	25.6
18	27.9	31.5	35.2	38	39	39.1	38.9	38.2	36.1	32.5	28.7	26.8
16	28.9	32.3	35.7	38.1	38.7	38.6	38.5	38.1	36.4	33.2	29.6	27.9
14	29.9	33.1	36.1	38.1	38.4	38.1	38.1	38	36.7	33.9	30.6	28.9
12	30.9	33.8	36.5	38	38	37.6	37.6	37.8	36.9	34.5	31.5	30
10	31.9	34.5	36.9	37.9	37.6	37	37.1	37.5	37.1	35.1	32.4	31
8	32.8	35.2	37.2	37.8	37.1	36.3	36.5	37.2	37.2	35.6	33.3	32
6	33.7	35.8	37.4	37.6	36.6	35.7	35.9	36.9	37.3	36.1	34.1	32.9
4	34.6	36.4	37.6	37.4	36	35	35.3	36.5	37.3	36.6	34.9	33.9



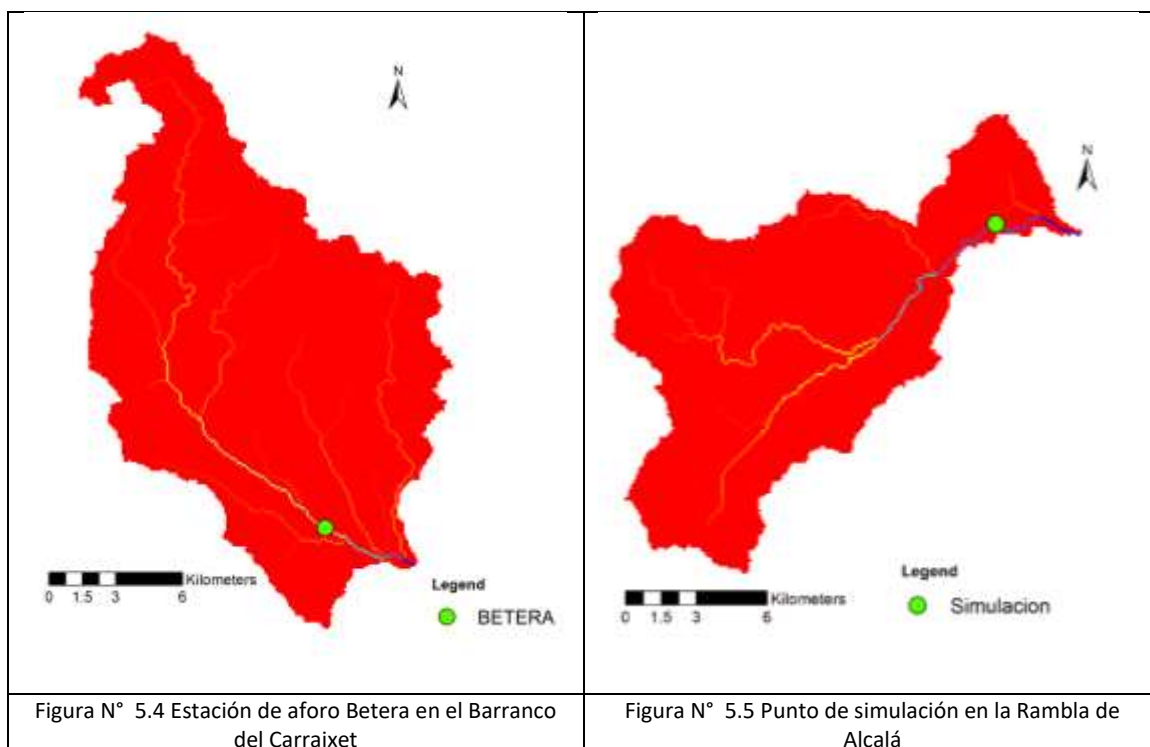
2	35.4	37	37.8	37.1	35.4	34.2	34.6	36.1	37.3	37	35.6	34.8
0	36.2	37.5	37.9	36.8	34.8	33.4	33.9	35.7	37.2	37.4	36.3	35.6

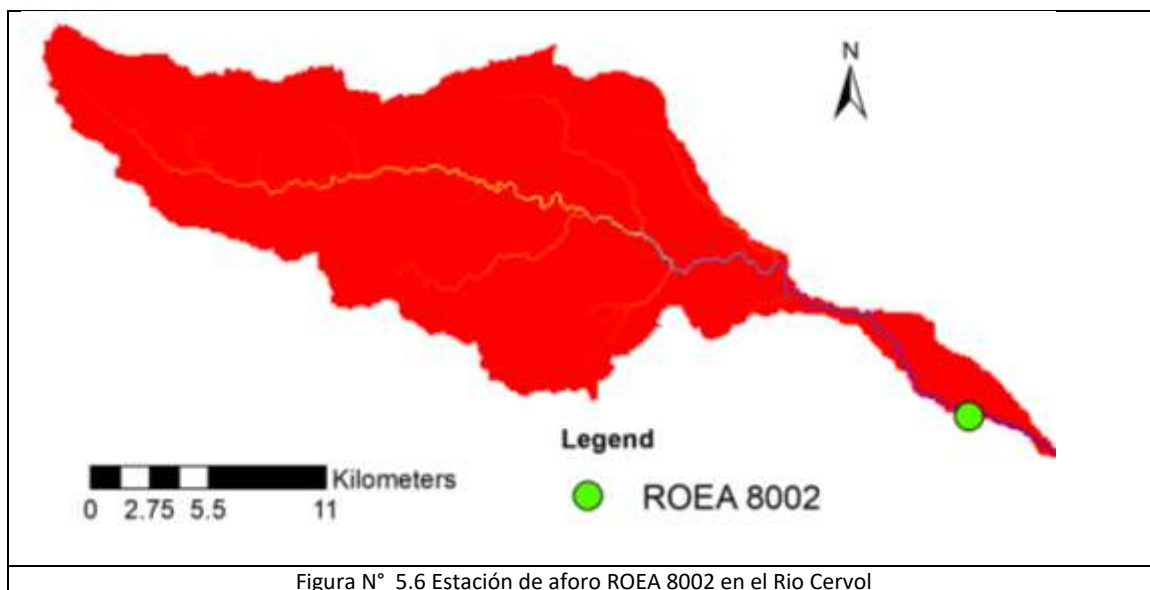
5.2 Información hidrológica

Se disponen de datos de aforo en el Barranco del Carraixet proporcionados por el S.A.I.H. Los datos son de la única estación de aforo en la cuenca, Betera, con coordenadas UTM 718374, 4386368, con disponibilidad de datos de aforo diarios. En la figura 5.4 se muestra la localización de la estación de aforo respecto a la cuenca del Barranco del Carraixet.

Como se ha dicho, en el caso del Rio Cervol, los datos disponibles son de principio de siglo, pertenecen a la estación 8002 de la ROEA, está ubicada en el término municipal de Vinaroz, en la provincia de Castellón. La serie de datos comienza en el año 1911 y finaliza en el año 1929. En la figura 5.6 se muestra la localización de dicha estación de aforo.

En la cuenca de la Rambla de Alcalá no existen estaciones de aforo, en la figura 5.5 se muestra el punto en el que se realizan las simulaciones.





5.3 Eventos de calibración

5.3.1 Barranco del Carraixet-Evento del año 2000

Para la calibración del modelo en el Barranco del Carraixet se utilizara el mismo evento que el usado por Tejada Espinoza (2016) en su trabajo final de master, este evento comienza en octubre de 1999 y finaliza en septiembre de 2001, y dentro de él podemos encontrar la avenida ocurrida en octubre del año 2000 en el Barranco, en la figura 5.7 observamos los caudales y precipitaciones ocurridos en esta avenida.

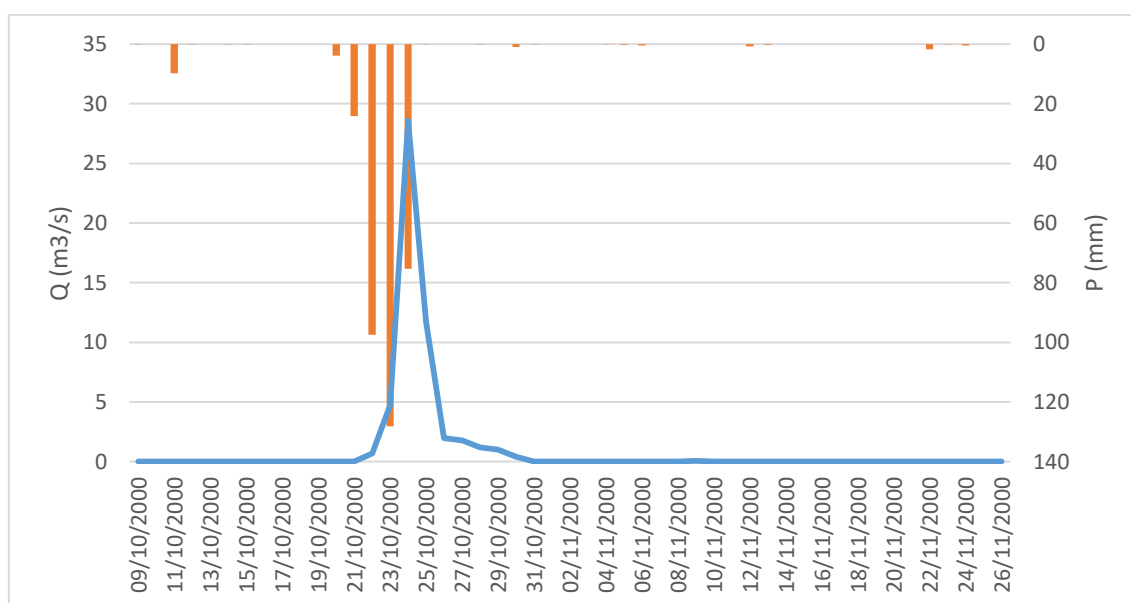


Figura N° 5.7 Evento de crecida ocurrido en octubre del año 2000 en el Barranco del Carraixet



5.3.2 Río Cervol-Evento del año 1927

Como ya se ha mencionado, los datos disponibles en el Río Cervol se remontan a principios de siglo, por lo que en ocasiones los datos de precipitaciones no concuerdan con los datos de caudales aforados, ya que en ocasiones el coeficiente de escorrentía de algunos eventos supera la unidad.

Para la calibración del modelo se utilizarán los caudales y precipitaciones ocurridos desde el 1/01/1926 hasta el 31/12/1927, en este periodo encontramos dos eventos principales que podemos ver en las figuras 5.8 y 5.9.

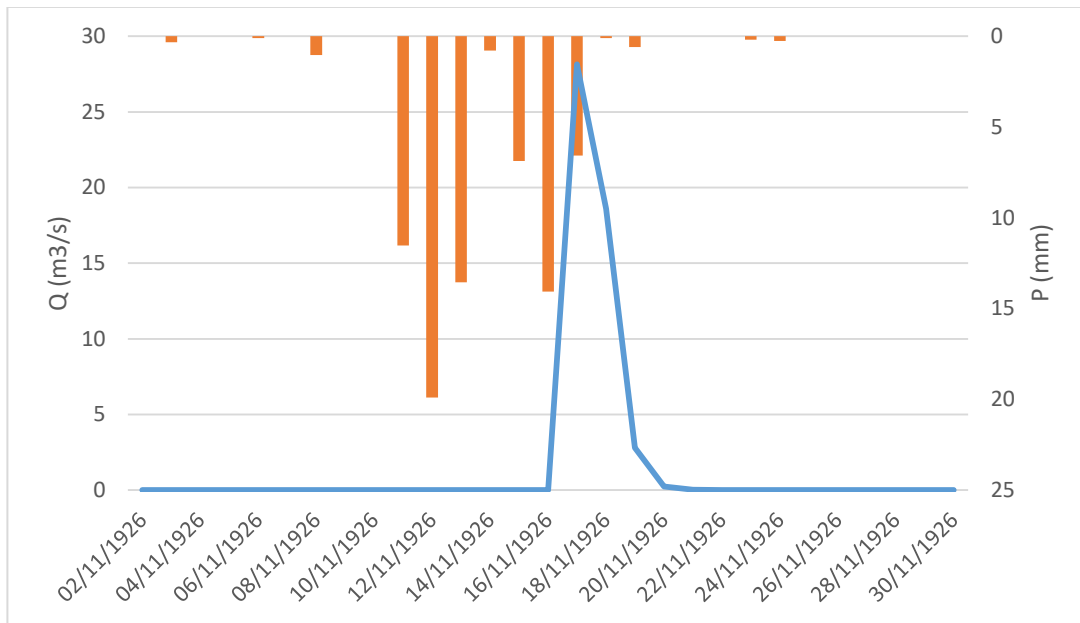


Figura N° 5.8 Evento de crecida ocurrido en noviembre de año 1926 en el Río Cervol

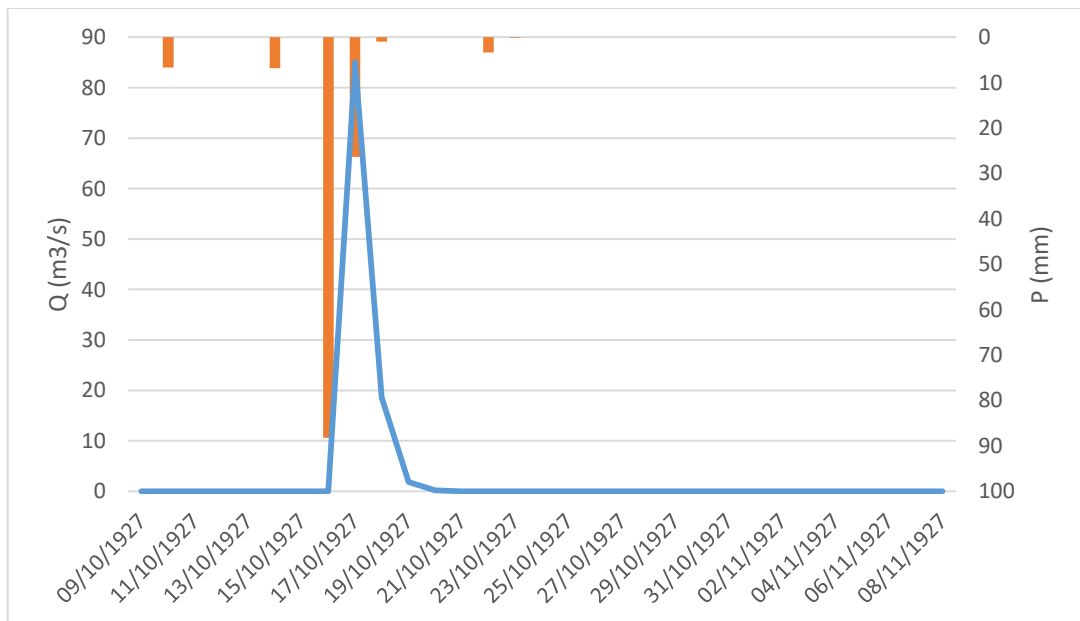


Figura N° 5.9 Evento de crecida ocurrido en octubre del año 1927 en el Río Cervol



CAPITULO 6. ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS PARA LA MODELACIÓN HIDROLÓGICA



Para la implementación del modelo TETIS es necesario la estimación de unos parámetros para representar la variabilidad espacial de los suelos, cobertura vegetal, topografía, etc. En la Tabla Nº 6.1 se muestra el resumen de la información básica para la implementación de TETIS:

Tabla Nº 6.1 Mapas, formato, escala original y parámetros estimados

MAPAS	FORMATO ORIGINAL Y ESCALA	PÁRAMETROS ESTIMADOS
Modelo de Elevación Digital	Digital, pixel 100x100	Mapa de pendiente, Mapa de direcciones de flujo, Mapa de celdas acumuladas y Mapa de velocidad de flujo en la ladera.
Corine Land Cover 2006	Digital, 1:100.000	Mapa de almacenamiento estático del suelo, Mapa de interceptación, Mapa de almacenamiento superficial por depresiones en el terreno.
Base de datos de Suelo Europea (ESDB)	Digital, 1:1.000.000	Mapa de almacenamiento estático del suelo y de conductividades hidráulicas horizontal y vertical del suelo.
Mapa litoestratigráfico y de Permeabilidades de España.	Digital, 1:200.000	Mapa de permeabilidad horizontal y vertical del acuífero y mapa de velocidad de recarga del acuífero.

En el presente estudio también son necesarios las localizaciones de los manantiales y los mapas con las zonas kársticas de las cuencas.

Los mapas de la cuenca del Carraixet fueron obtenidos por Tejada Espinoza (2016) en su trabajo final de master, excepto el mapa de las zonas kársticas y la localización de los manantiales, que han sido obtenidos en el presente estudio.

6.1 Cálculo de los mapas derivados del MED

Las características físicas de la cuenca se obtienen mediante la aplicación de algoritmos ya implementados en sistemas de información geográfica al modelo de elevación digital del terreno.

6.1.1 Modelo de elevación digital del terreno

Los modelos digitales del terreno en formato raster empleados en el desarrollo del estudio proceden del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG), el tamaño de celda usado es de 100mx100m. El MED ha de ser corregido en las zonas de los cauces, realizando un hundimiento en estas zonas, esto se realiza antes de obtener los mapas derivados de este.



En las figuras 6.1, 6.2 y 6.3 se observan los MED de las cuencas del Barranco del Carraixet, la Rambla de Alcalá y el Rio Cervol respectivamente.

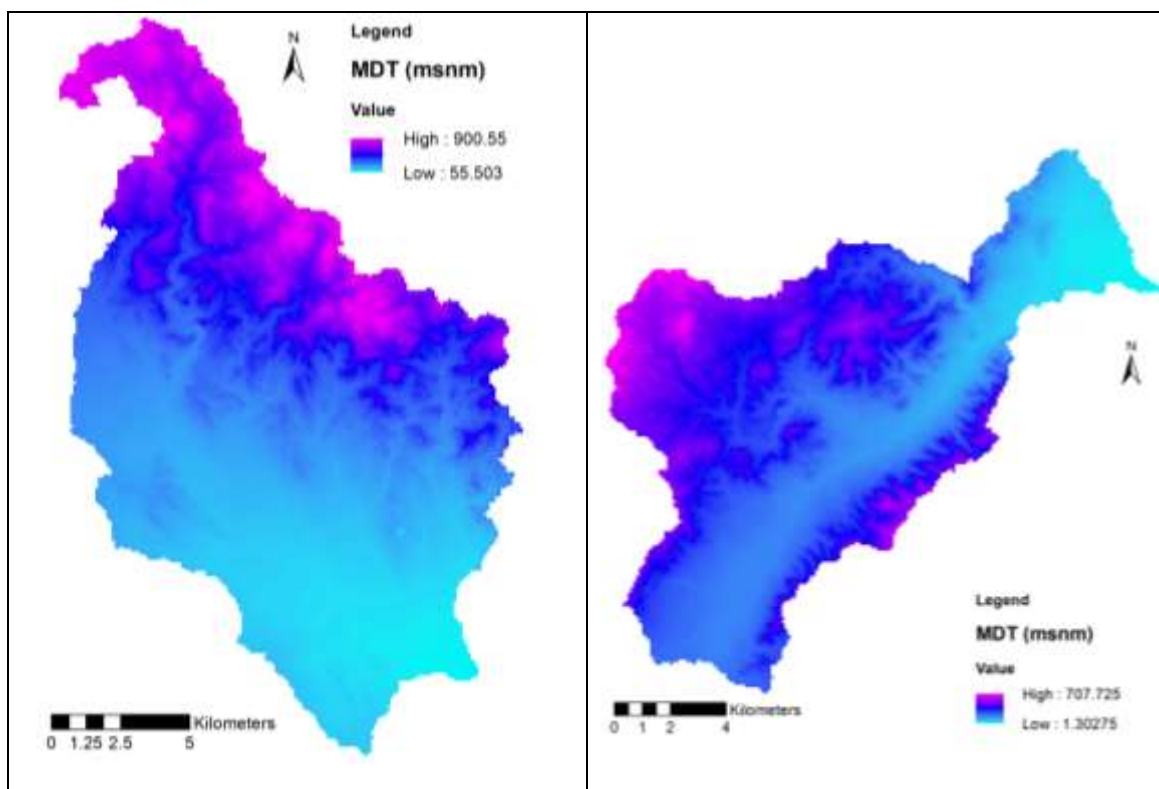


Figura N° 6.1 Modelo digital de elevación del terreno Barranco del Carraixet

Figura N° 6.2 Modelo digital de elevación del terreno Rambla de Alcalá

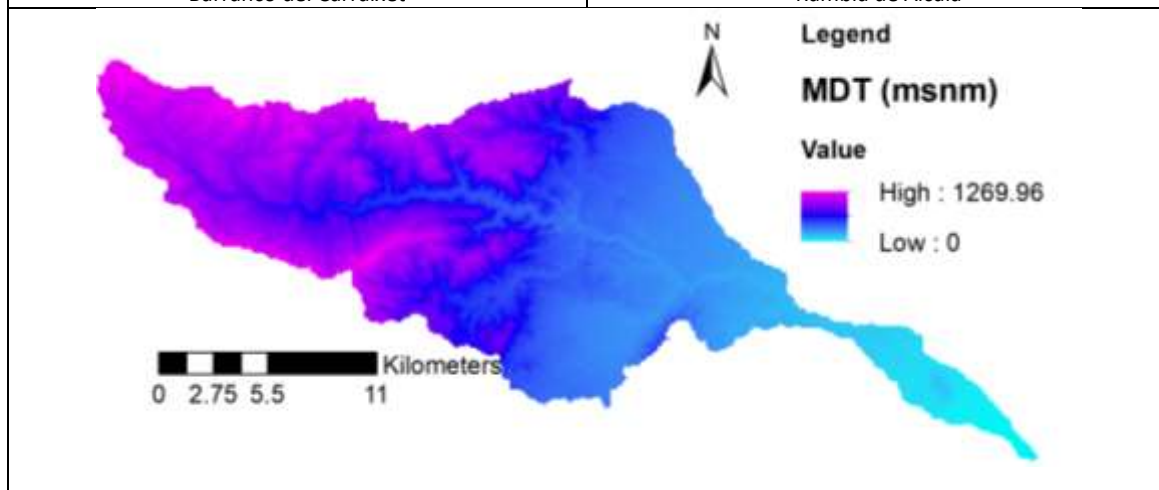


Figura N° 6.3 Modelo digital de elevación del terreno Rio Cervol

6.1.2 Mapa de direcciones de flujo

El mapa de direcciones de flujos será el que defina las direcciones de flujo que use Tetis, las cuales pueden ser N, NE, E, SE, S, SO, O y NO. Tetis lee las direcciones de flujo que usa ArcGIS, las cuales podemos ver en la figura 6.4.

En las figuras 6.5, 6.6 y 6.7 se observan los mapas de direcciones de flujo de las cuencas del Barranco del Carraixet, la Rambla de Alcalá y el Rio Cervol respectivamente

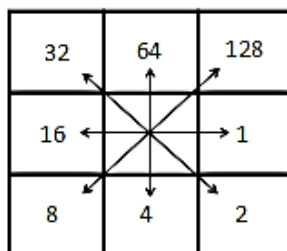


Figura N° 6.4 Direcciones de flujo según ArcGis.

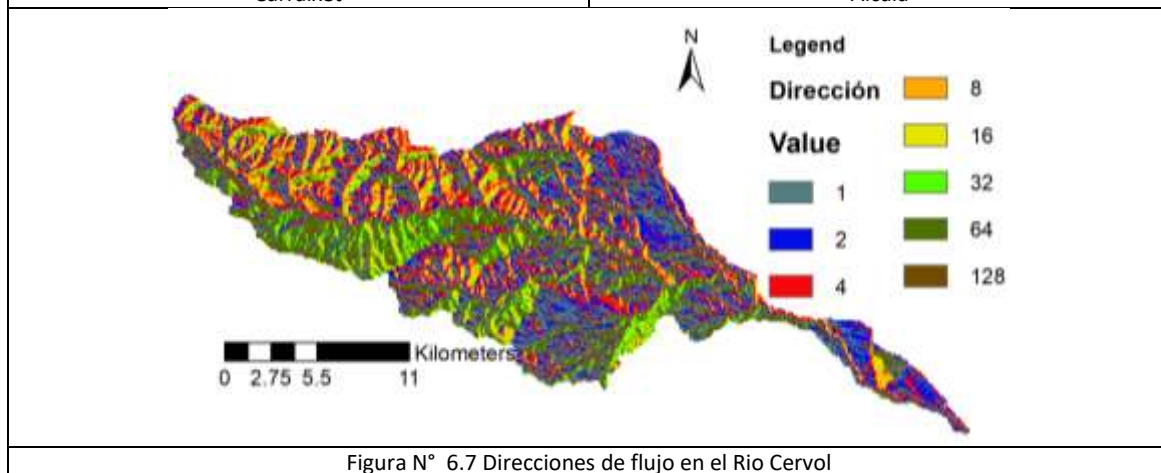
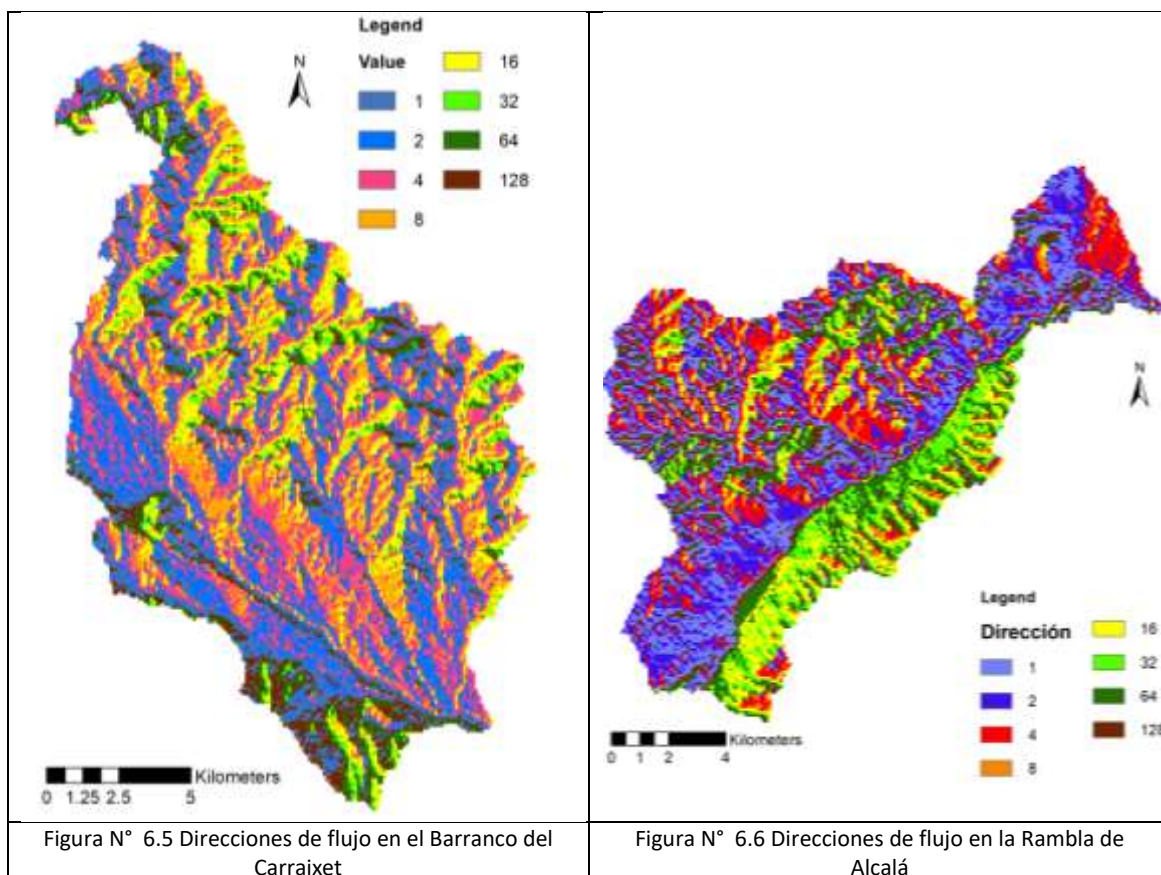


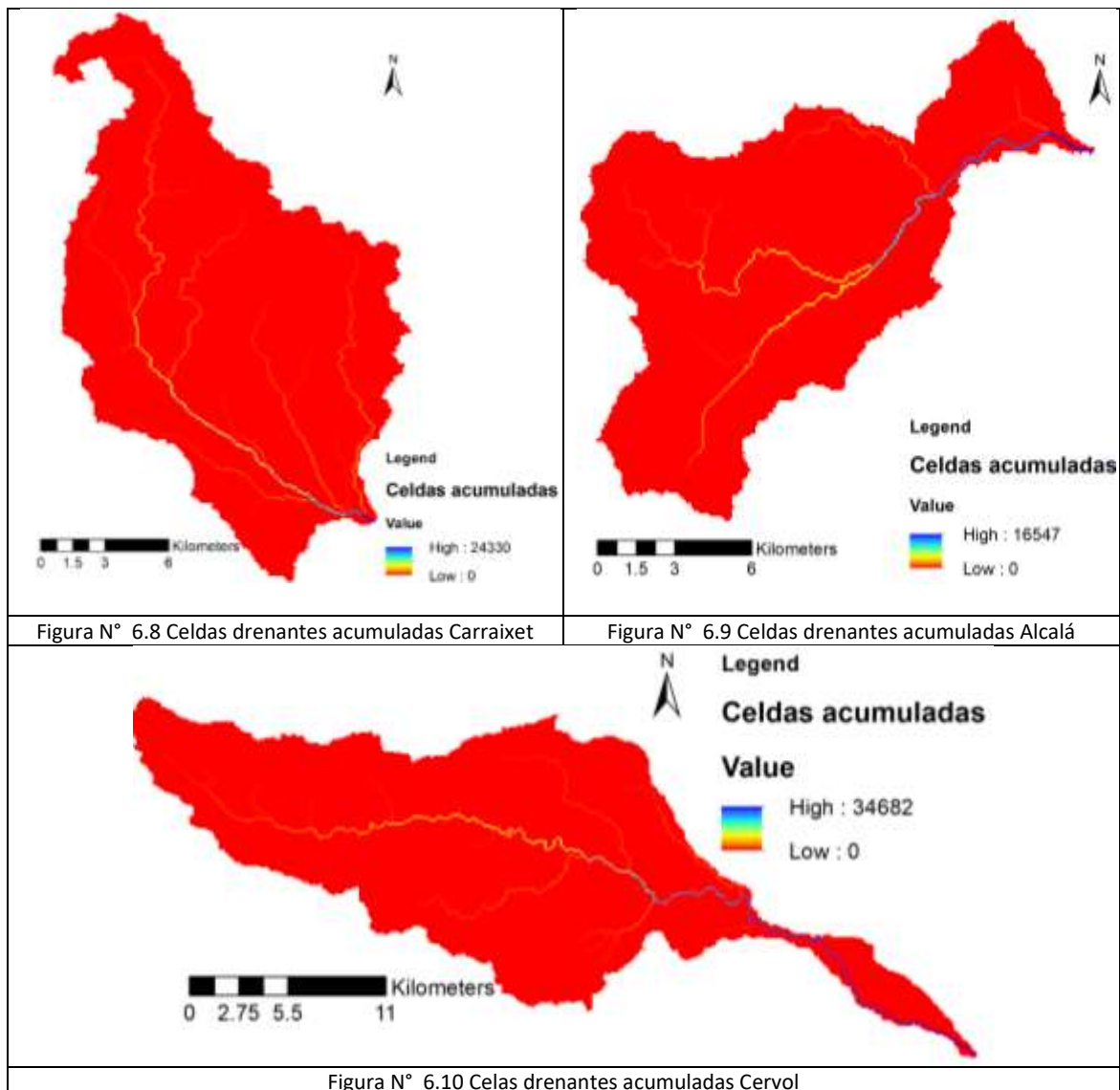
Figura N° 6.7 Direcciones de flujo en el Rio Cervol



6.1.3 Mapa de celdas drenantes acumuladas

A partir del mapa de direcciones de flujo se obtiene el mapa de celdas drenantes acumuladas, el valor de cada celda en este mapa representa el número de celdas total que drenan a ella.

En las figuras 6.8, 6.9 y 6.10 se observan los mapas de celdas drenantes acumuladas de las cuencas del Barranco del Carraixet, la Rambla de Alcalá y el Rio Cervol respectivamente.

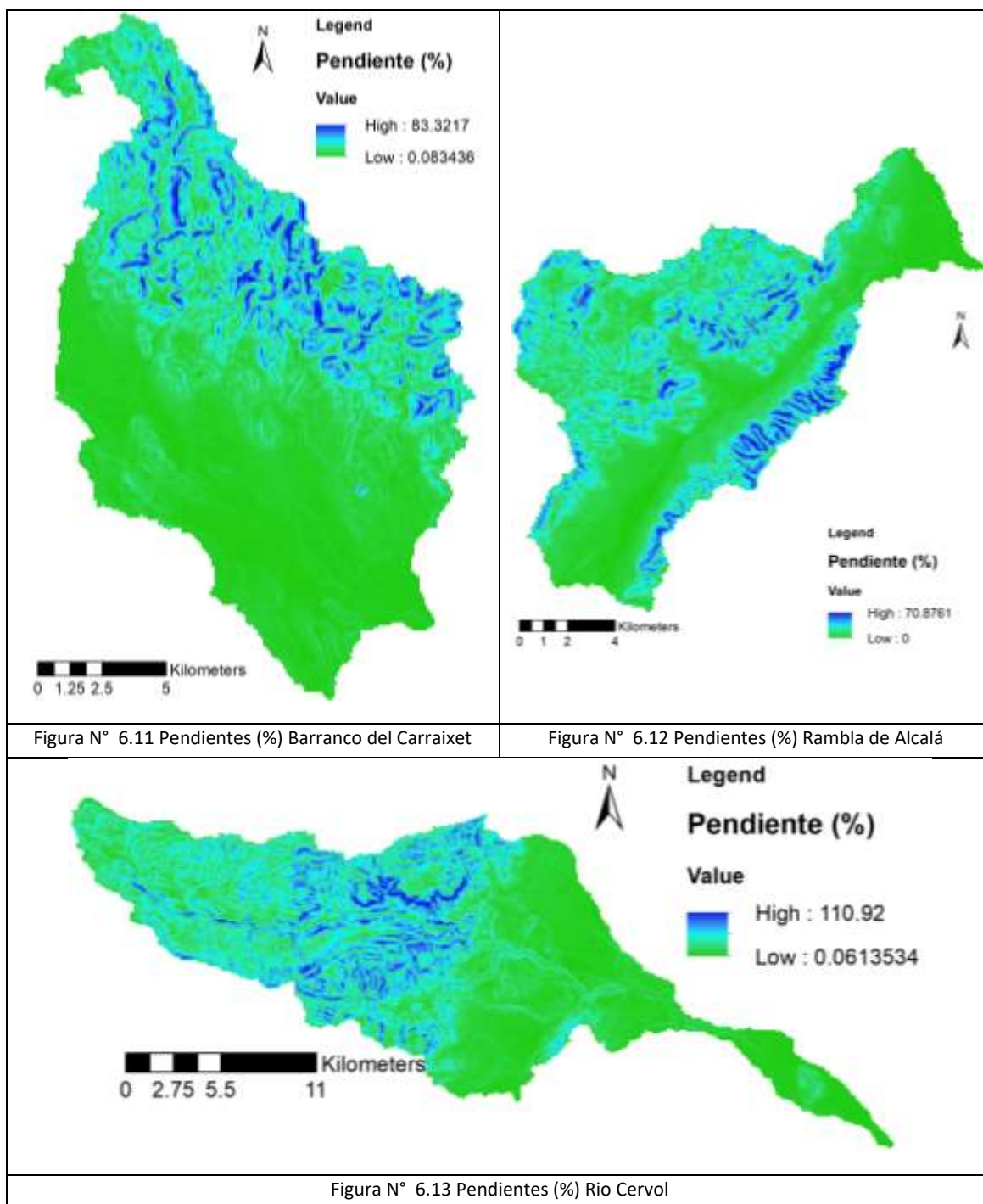


6.1.4 Mapa de pendientes

El mapa de pendientes debe de estar en m/m, se obtiene directamente a partir del modelo de elevación digital del terreno.



En las figuras 6.11, 6.12 y 6.13 se observan los mapas de pendientes de las cuencas del Barranco del Carraixet, la Rambla de Alcalá y el Rio Cervol respectivamente.



6.1.5 Mapa de velocidades de ladera

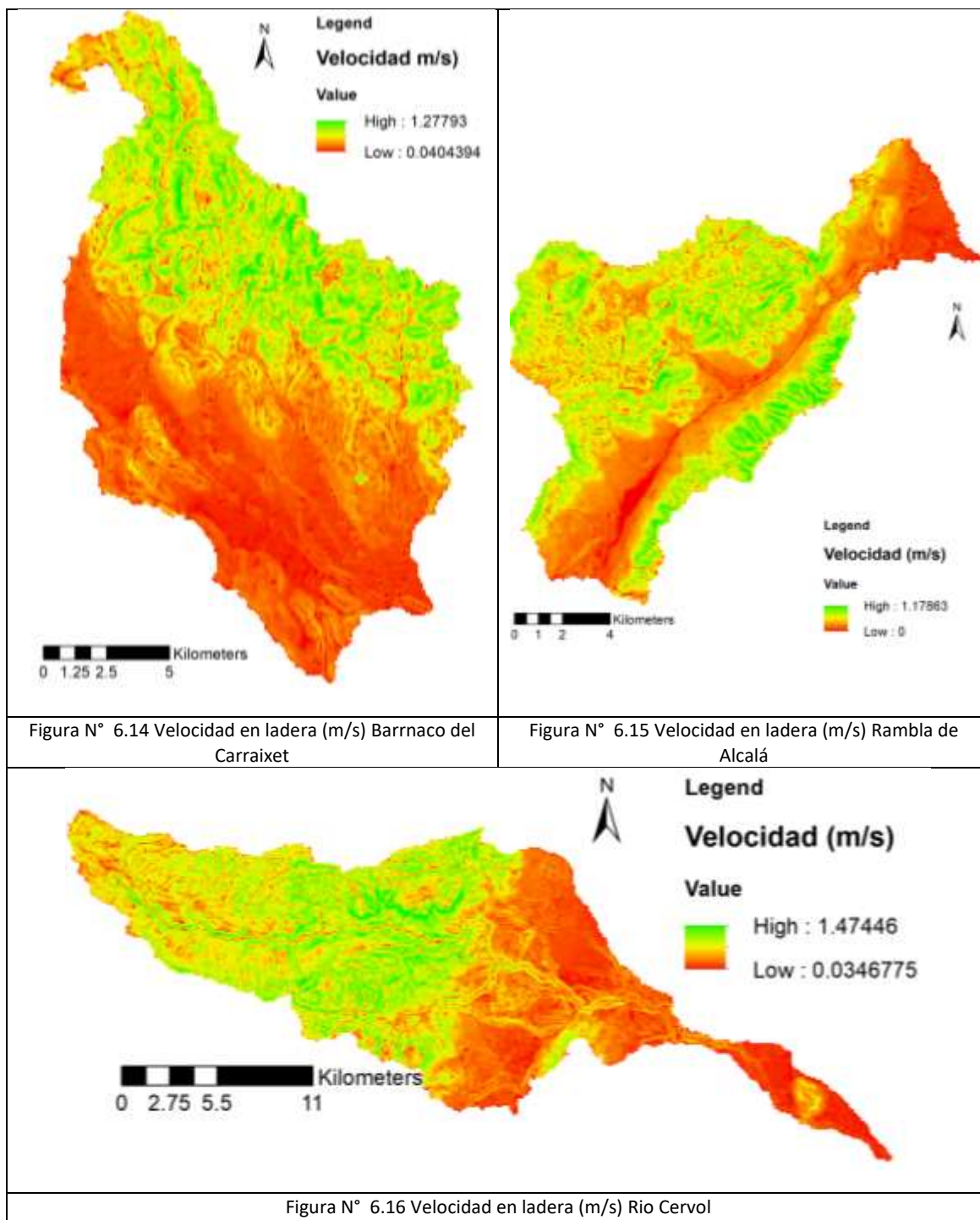
La velocidad del flujo en ladera se considera como estacionaria en toda la celda, pero es distinta según la pendiente de la celda. El cálculo se hace a partir de la siguiente fórmula:



$$v = 1.414 * \sqrt{\text{pendiente (m/m)}}$$

Donde, v es la velocidad en m/s.

En las figuras 6.14, 6.15 y 6.16 se observan los mapas de velocidades de las cuencas del Barranco del Carraixet, la Rambla de Alcalá y el Rio Cervol respectivamente.





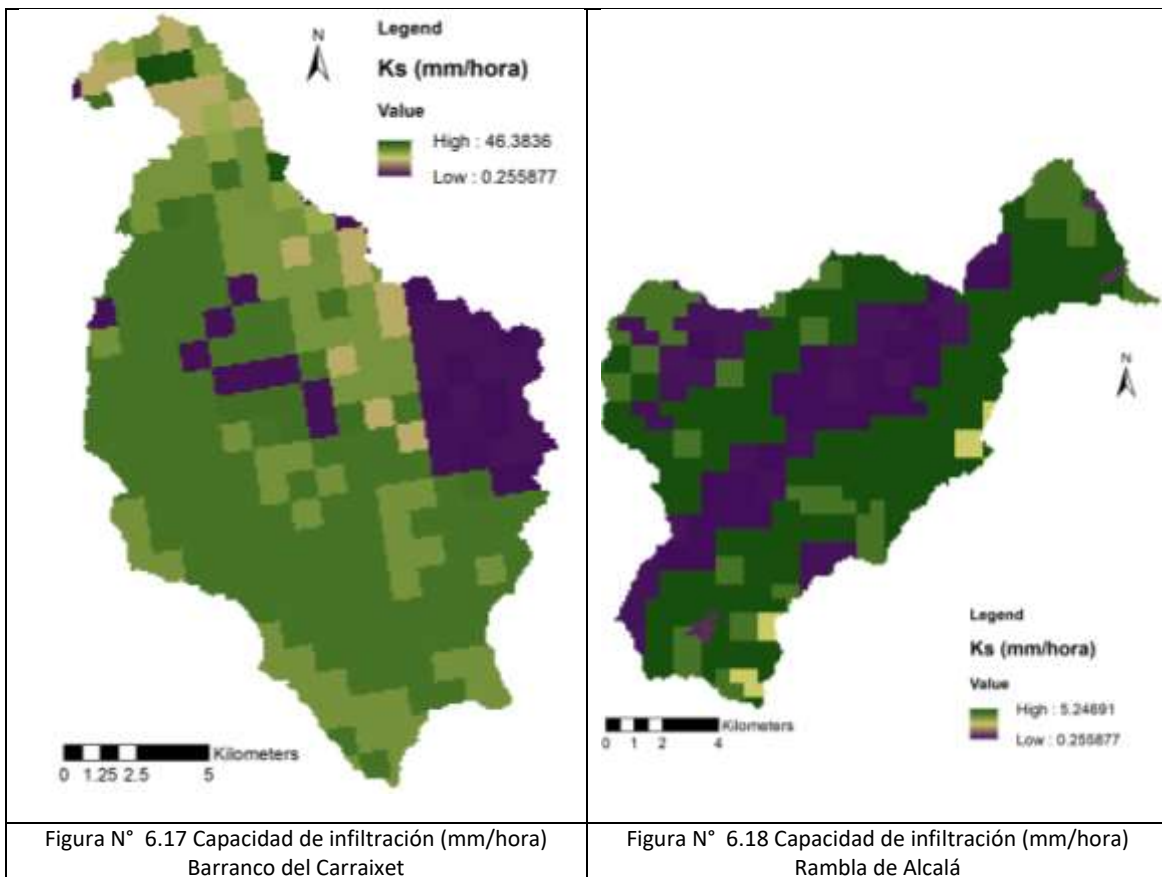
6.2 Cálculo de parámetros derivados de características edafológicas, hidrogeológicas y geomorfológicas.

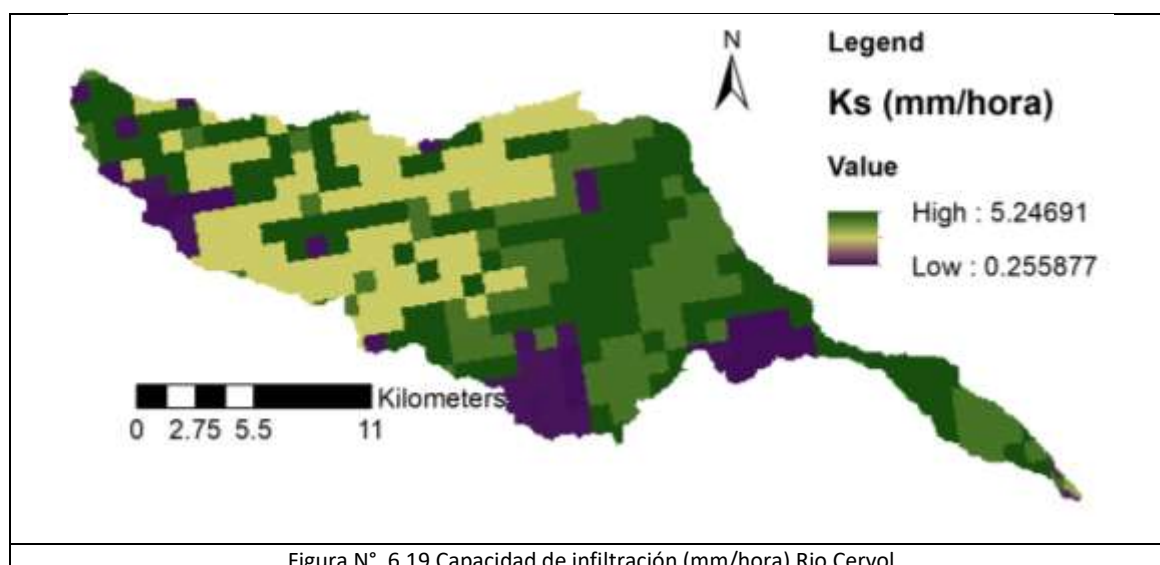
6.2.1 Capacidad de infiltración

Los mapas de capacidades de infiltración (K_s en TETIS), se obtienen aplicando a las características físicas del suelo, procedentes de la Base de Datos del Suelo Europea ESDB, las funciones de pedo-transferencia de Saxton y Rawls (2006), las cuales relacionan parámetros hidráulicos con las características físicas del suelo.

Para el mapa de conductividad hidráulica del interfluo (K_{ss} en TETIS) se utilizará el mismo mapa que en la capacidad de infiltración, ya que posteriormente cada uno es corregido por su propio factor corrector.

En las figuras 6.17, 6.18 y 6.19 se observan los mapas de capacidad de infiltración de las cuencas del Barranco del Carraixet, la Rambla de Alcalá y el Rio Cervol respectivamente.





6.2.2 Capacidad de percolación del sustrato

Los mapas de capacidades de percolación del sustrato (K_p en TETIS) se obtienen a partir del mapa de permeabilidad cualitativa del IGME, para ello se emplean las relaciones mostradas en la tabla 6.2, siendo estos valores los empleados por Rios Pacheco (2007) en su trabajo final de master, después de comparar tres relaciones diferentes.

Tabla N° 6.2 Valores de permeabilidad asignados a cada categoría cuantitativa

Categoría	Tipo de roca	K_p (mm/h)
C-MB	rocas carbonaticas	0.041667
C-B	rocas carbonaticas	0.416667
C-A	rocas carbonaticas	4.166667
C-MA	rocas carbonaticas	416.666667
E-MB	yesos	0.041667
E-B	yesos	0.416667
E-M	yesos	4.166667
D-MB	arcilla y limo	0.041667
D-B	arcilla y limo	0.416667
D-M	arena y limo	4.166667
D-A	arena y limo	416.666667
D-MA	arena y limo	4166.666667
M-MB	areniscas	0.041667
M-B	areniscas	0.416667
M-M	areniscas	4.166667
Q-B	gravas con arenas y limos	0.416667
Q-M	gravas con arenas y limos	4.166667
Q-A	gravas con arenas y limos	416.666666
Q-MA	gravas con arenas y limos	41666.666666



V-MB	ígneas	0.041667
V-B	ígneas	0.416667
I-MB	ígneas	0.041667
I-B	ígneas	0.416667

Donde la primera letra corresponde a la unidad litológica: (C) Caliza, (E) Evaporitas, (D) Detrítica, (M) Metadetrítica, (Q) Cuaternario, (V) Volcánico, (I) Ígnea. Y la segunda al grado cualitativo de permeabilidad: (MB) Muy baja, (B) Baja, (M) Media, (A) Alta, (MA) Muy alta.

Para los mapas de conductividad hidráulica del acuífero (Ksa en TETIS) y del acuífero profundo (Kps en TETIS) se emplea el mismo mapa de capacidad de percolación del sustrato, ya que posteriormente cada uno será corregido por su propio factor corrector.

En las figuras 6.20, 6.21 y 6.22 se observan los mapas de capacidad de percolación del sustrato de las cuencas del Barranco del Carraixet, la Rambla de Alcalá y el Rio Cervol respectivamente.

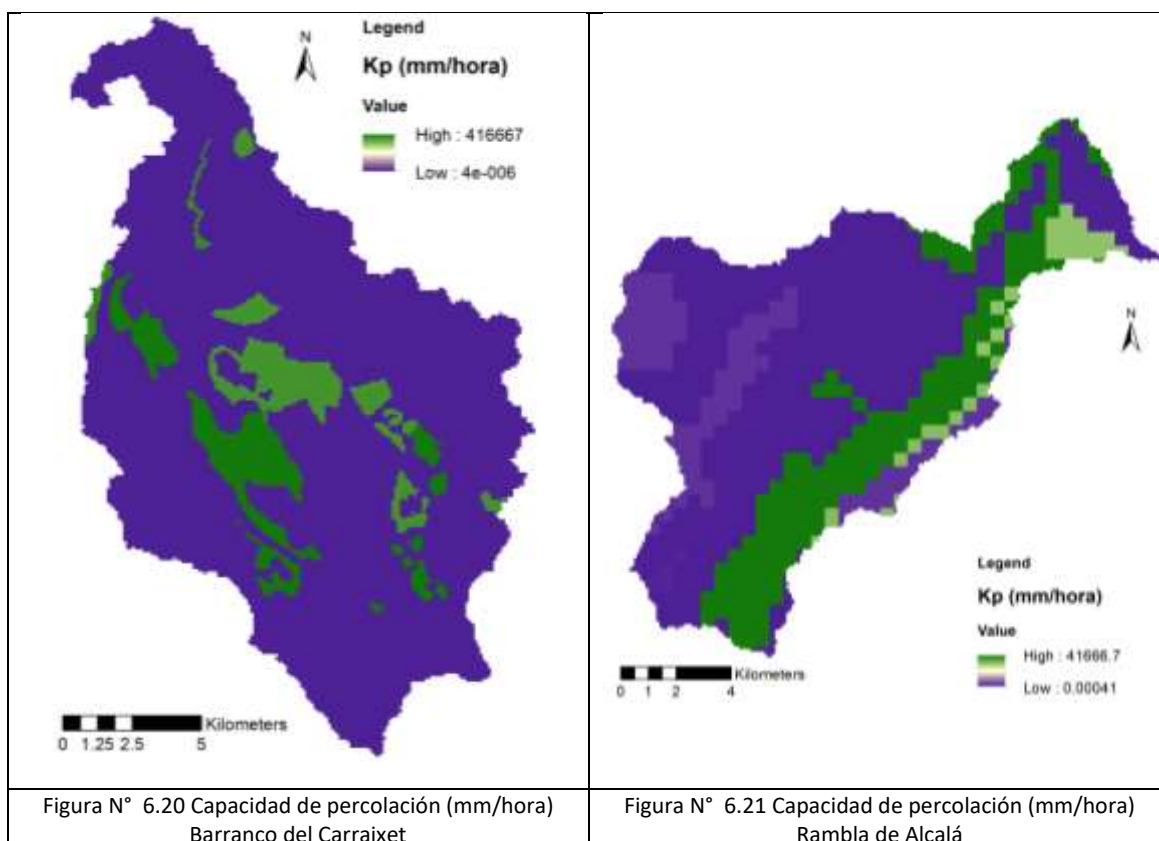
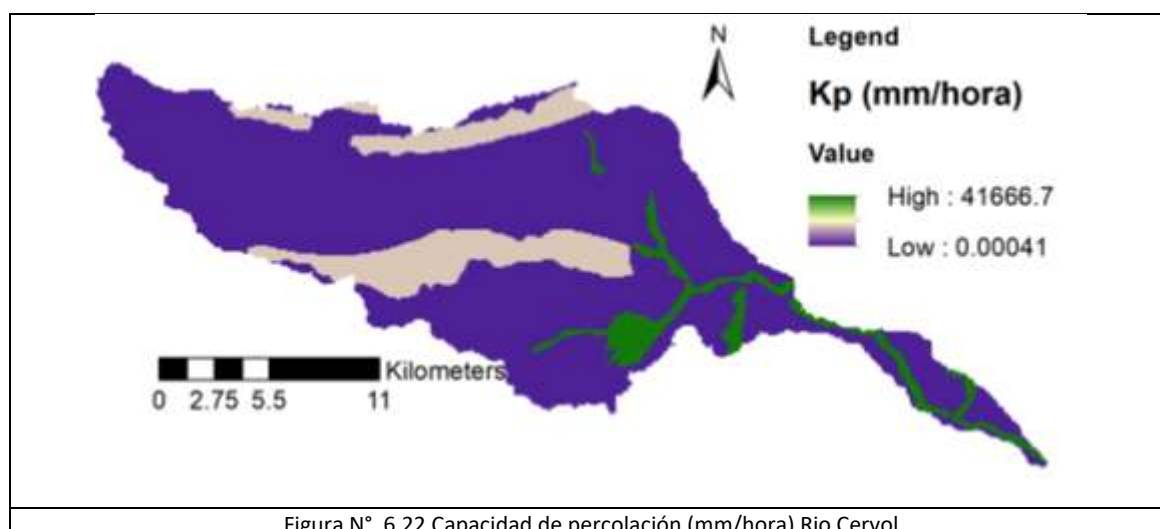


Figura N° 6.20 Capacidad de percolación (mm/hora) Barranco del Carraixet

Figura N° 6.21 Capacidad de percolación (mm/hora) Rambla de Alcalá



6.2.3 Parámetros geomorfológicos

Como ya se ha mencionado, en TETIS se utilizan las ecuaciones de la onda cinemática geomorfológica para la determinación de la propagación del flujo en cauce, para ello son necesarios nueve parámetros.

En el presente estudio se emplean los valores obtenidos en la cuenca del Tajo (DIHMA, 2001), que se muestran en la tabla 6.3.

Tabla N° 6.3 Valores adoptados para los coeficientes y exponentes de la OCG

Relación	Coeficiente		Exponente	
Q_b vs Λ	k	1.2968	ϕ	0.7571
w_b vs Q_b	c_1	3.1301	ϵ_1	0.5088
w vs Q	-	-	ϵ_2	0.3253
d vs γ^*s_0	c_d	6.5156	θ	0.6548
n vs d	c_n	0.0470	ξ	0.1667

TETIS necesita la determinación de unas áreas umbrales para la diferenciación entre ladera, cárcava y cauce, estas áreas umbrales representan la superficie acumulada que drena a cada celda. Son necesarias dos áreas umbrales, la primera para separar entre ladera y cárcava; y la segunda para separar entre cárcava y cauce. En el presente estudio no se dispone de información para diferenciar el comportamiento en cuanto a propagación de flujo entre cauce y cárcava, por lo que solo se diferenciará entre ladera y cauce. El área umbral obtenida para separar la ladera del cauce es de 0.01 km² para el Barranco del Carraixet y 0.015 km² para la Rambla de Alcalá y el Rio Cervol.



6.3 Cálculo de parámetros derivados de los usos de los suelo

6.3.1 Mapa de cobertura del suelo

La información de la cobertura del suelo actual de las cuencas en estudio ha sido obtenida del Proyecto Corine Land Cover para el año 2006.

Como ya se ha dicho, los datos de aforo disponibles en el Rio Cervol, corresponden a principios de siglo, por lo que para la cobertura del suelo actual no se corresponderá con la presente en el tiempo en el que la estación de aforo se encontraba disponible, por ello a partir de una interpretación del Vuelo del 57, se ha estimado una tendencia, según la cual en el pasado la existencia de bosque era menor, ocupando su lugar principalmente los matorrales, por ello el mapa de cobertura del suelo usado en la calibración de TETIS en el Rio Cervol ha sido modificado.

En las imágenes 6.23 y 6.24 se muestra la cobertura del suelo en el Barranco del Carraixet y en la Rambla de Alcalá respectivamente.

En la imagen 6.25 se muestra el mapa de cobertura del suelo estimado a principio de siglo y actual en el Rio Cervol.

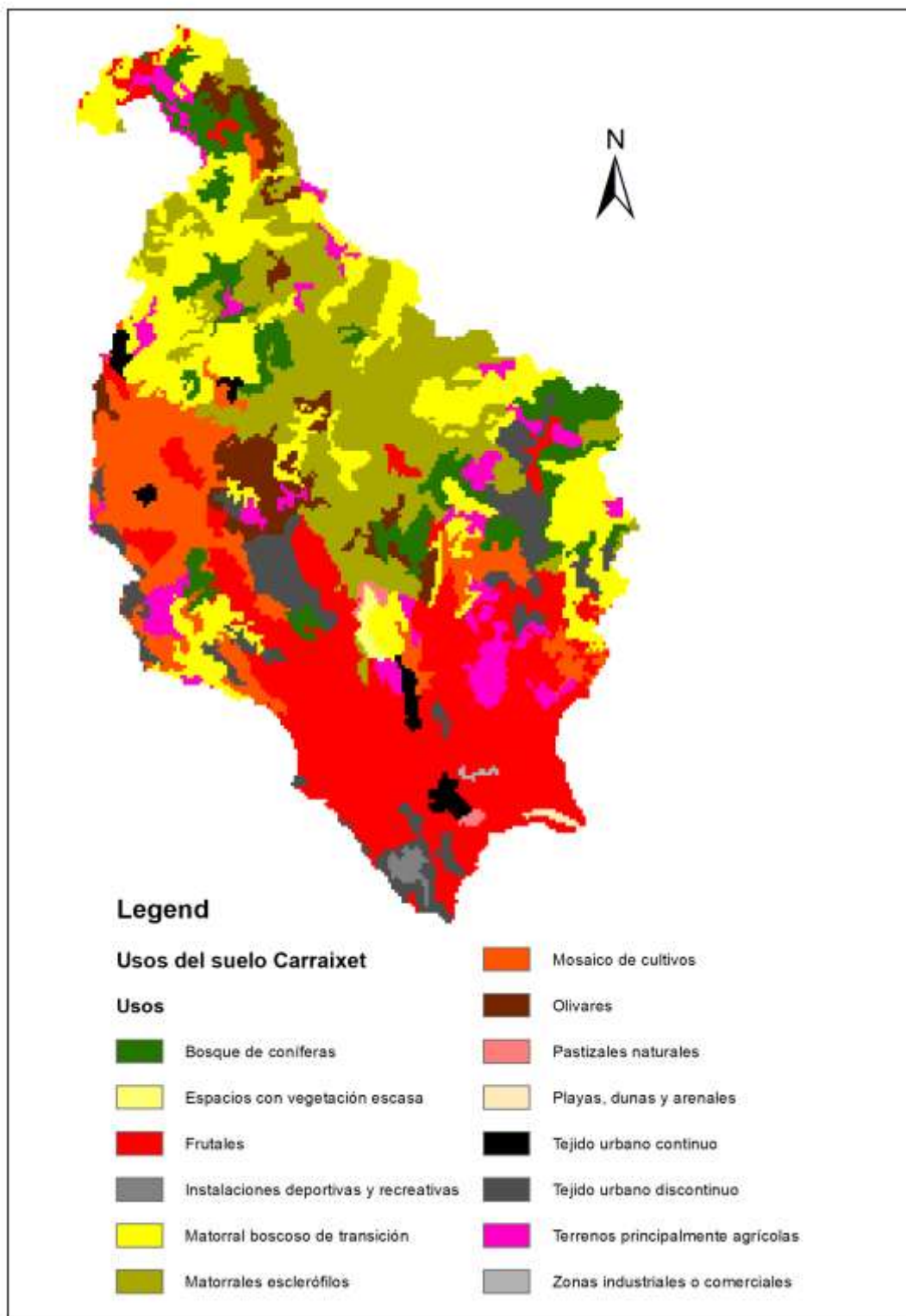


Figura N° 6.23 Usos del suelo en el Barranco del Carraxet

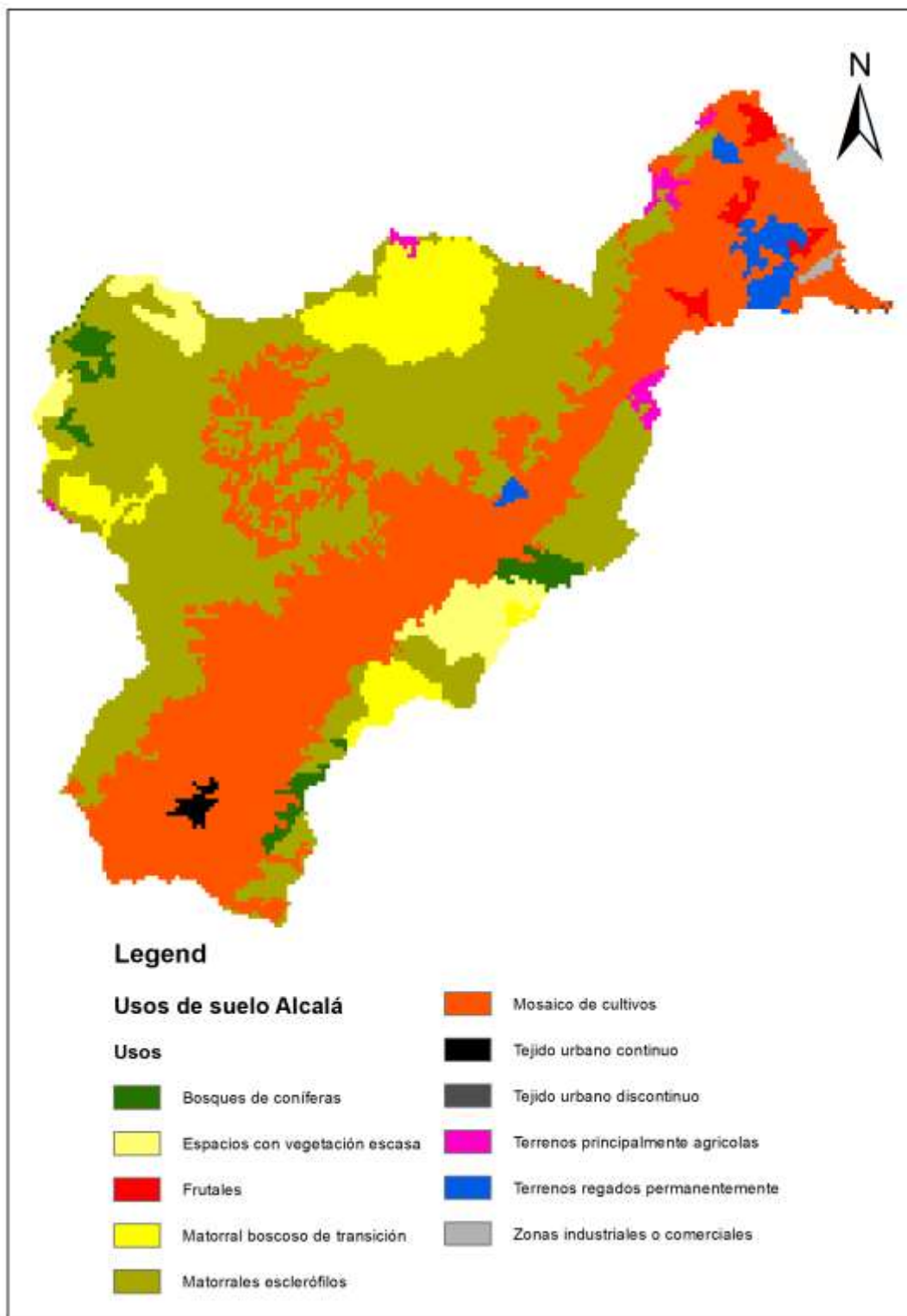


Figura N° 6.24 Usos del suelo en la Rambla de Alcalá

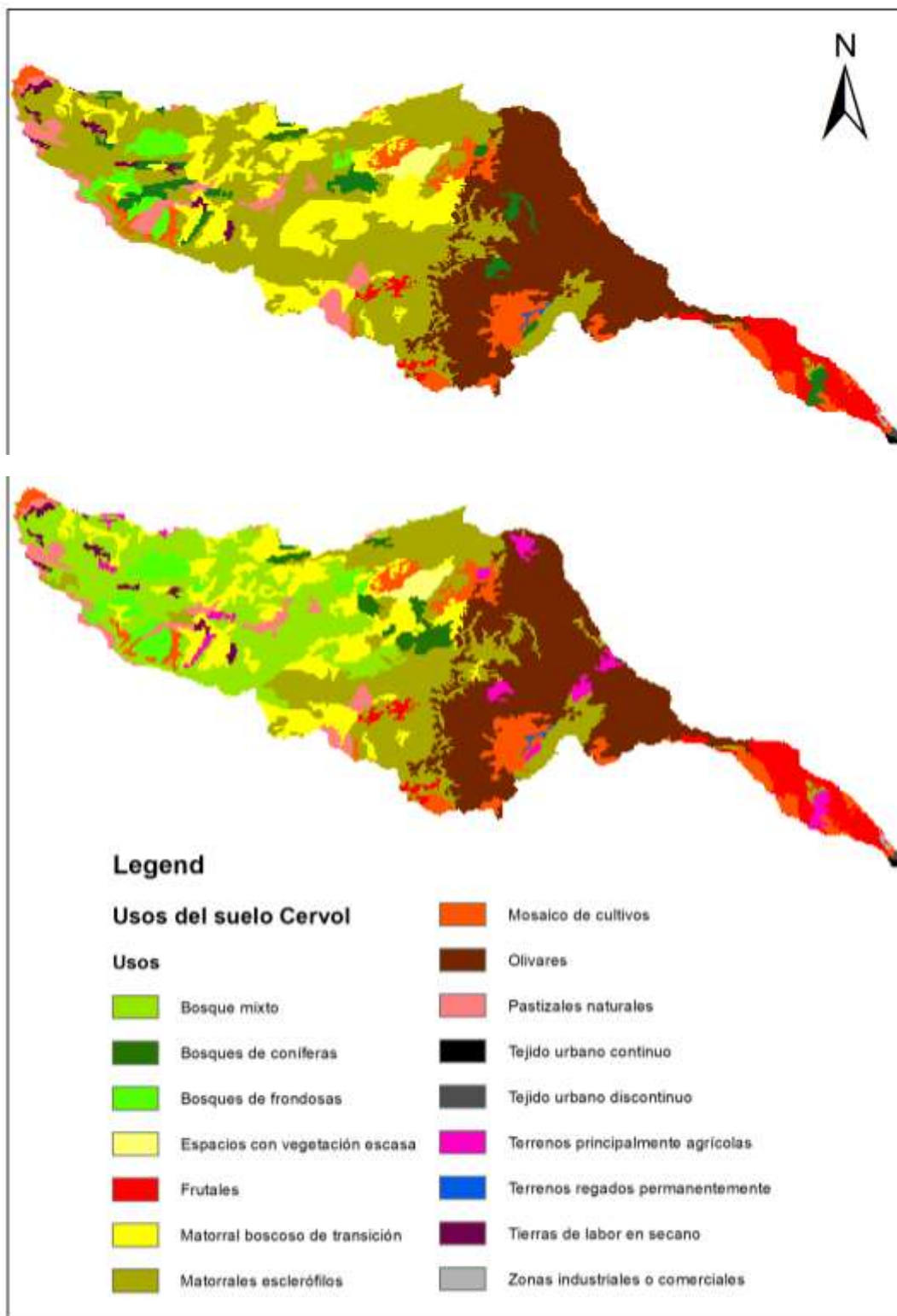


Figura N° 6.25 Usos del suelo estimados a principios de siglo y actuales en el Rio Cervol



6.3.2 Valores mensuales del factor de vegetación

El factor de vegetación mide la contribución de la cubierta vegetal a la evapotranspiración; para el cálculo del factor de vegetación en superficies cultivadas se sigue la metodología de la FAO, en la que se determinan cuatro fases de desarrollo del cultivo, según la figura 6.26.

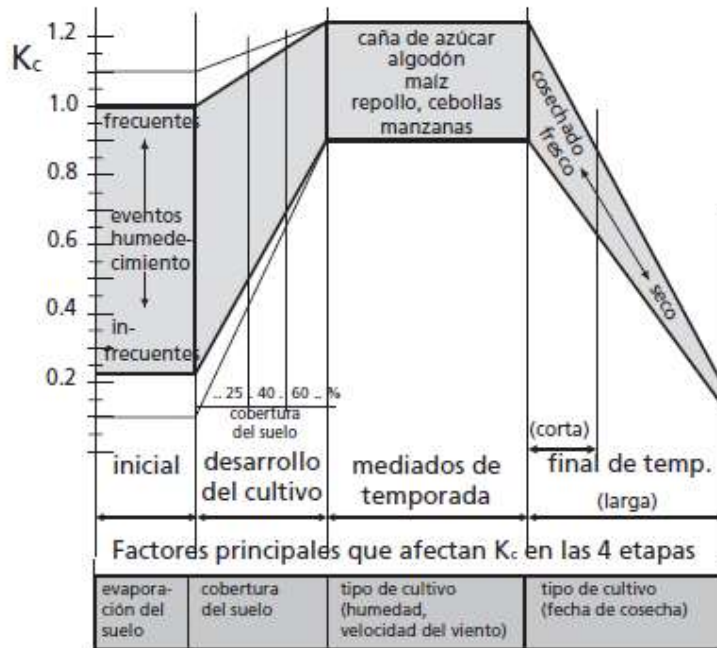


Figura N° 6.26 Rangos típicos esperados del valor de K_c para las cuatro etapas del crecimiento
Fuente: Documento FAO N° 56 Riego y Drenaje

En el resto de usos de suelo se han usado los factores de vegetación asumidos en estudios similares.

Rambla de Alcalá

En la Rambla de Alcalá los usos de suelo con cultivo que encontramos son terrenos regados permanentemente (formados por alcachofa, sandía, lechuga, apio y tomate), frutales (formado por cítricos, olivos y almendros) y mosaico de cultivos (formado por olivo, tomates, almendros, cítricos y alcachofas).

En las figuras 6.27, 6.28 y 6.29 se muestran los factores de vegetación de cada cultivo.

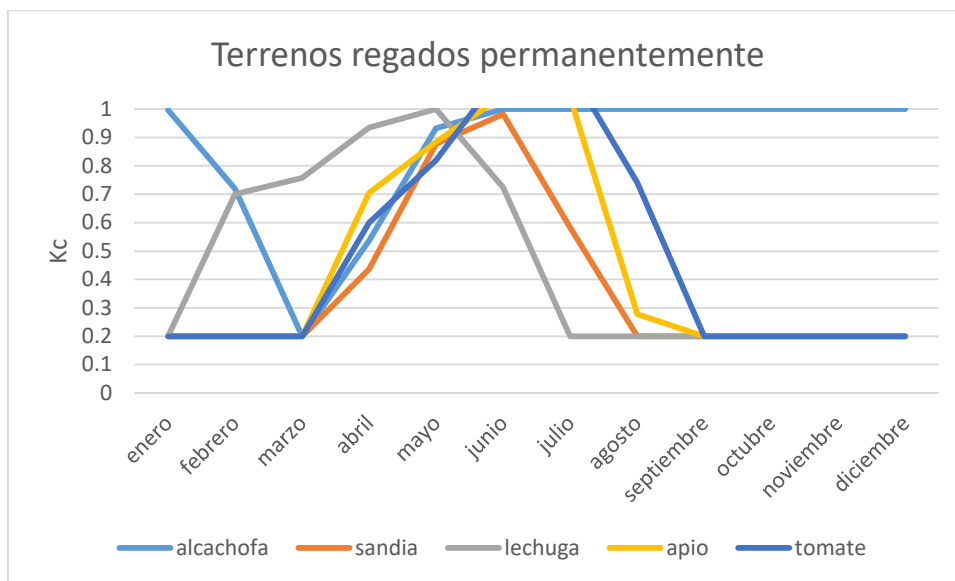


Figura N° 6.27 Factores de cultivo en los terrenos regados permanentemente, Rambla de Alcalá

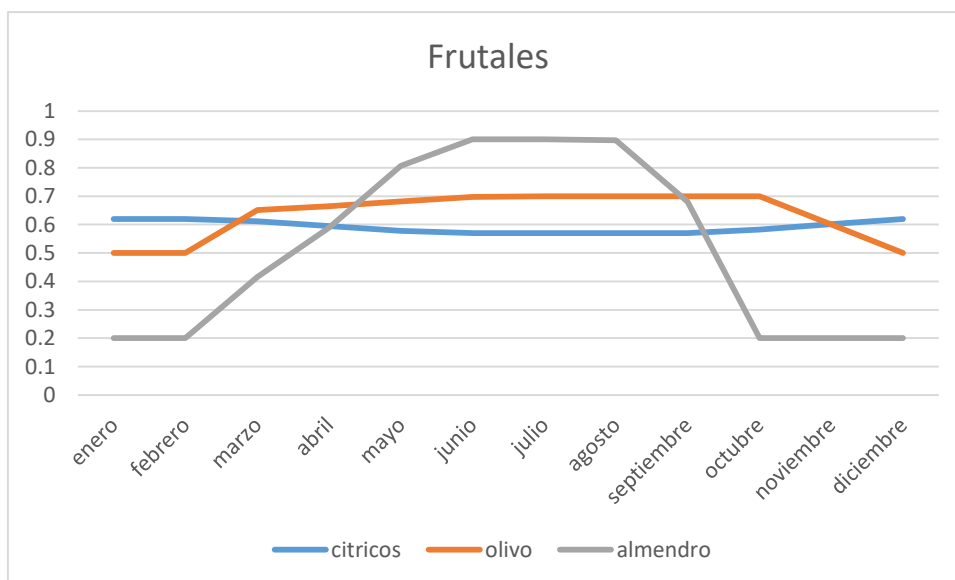


Figura N° 6.28 Factores de cultivo en frutales, Rambla de Alcalá

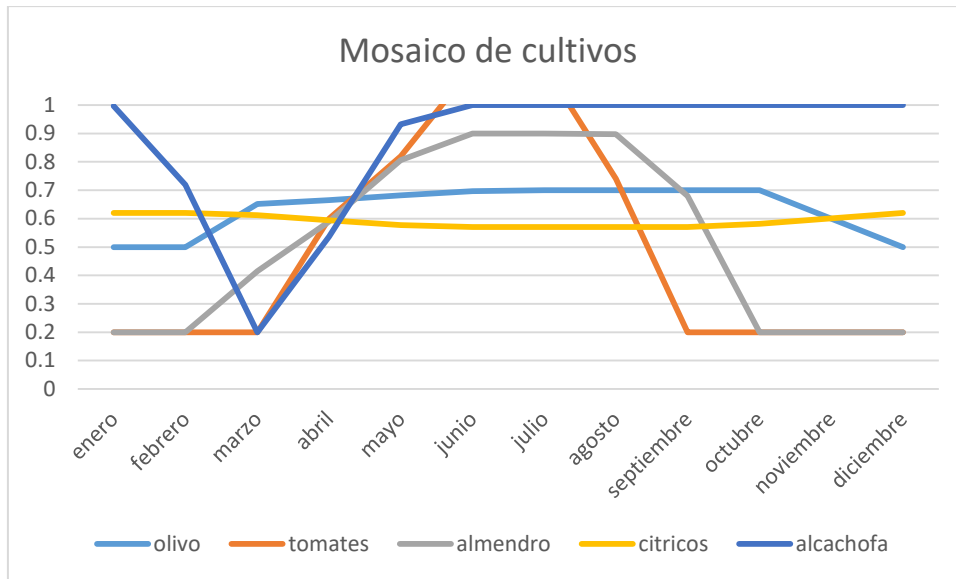


Figura N° 6.29 Factores de cultivo en mosaicos de cultivos, Rambla de Alcalá

En la figura 6.30 se muestran los factores de vegetación de cada uso del suelo en la Rambla de Alcalá.

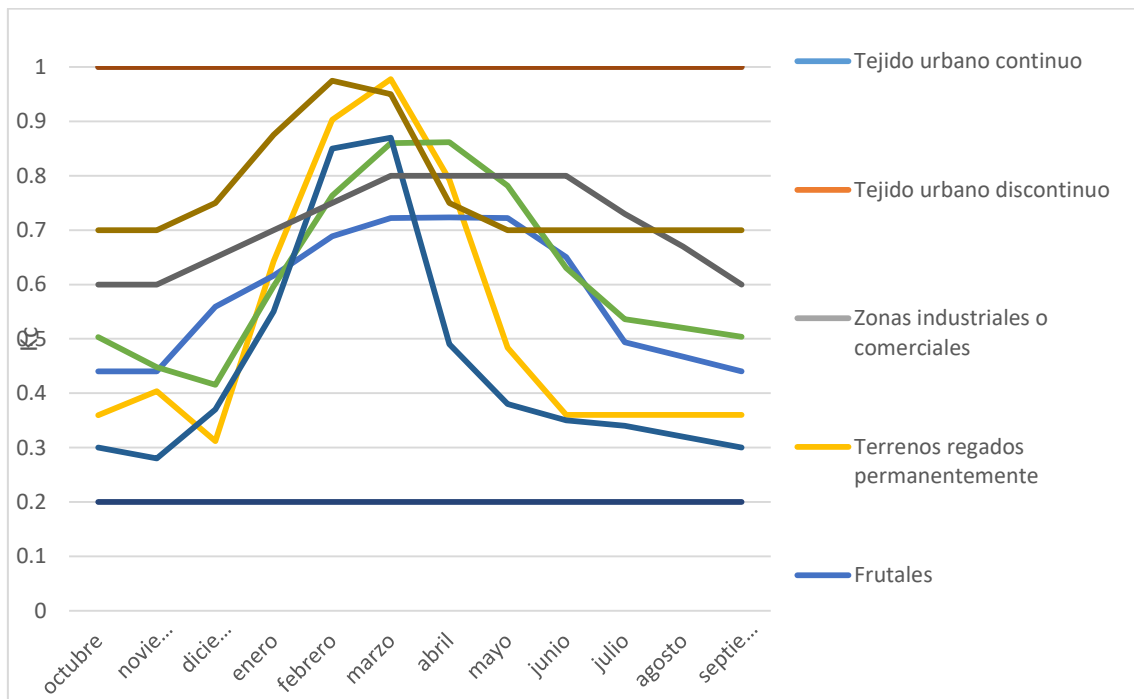


Figura N° 6.30 Factores de cultivo de los usos del suelo de la Rambla de Alcalá

Rio Cervol

En el Rio Cervol los usos del suelo con cultivo presentes en la cuenca son tierras en labor de secano (formado por olivos y almendros), terrenos regados permanentemente (formado por alcachofa, sandía y lechuga), frutales (formado por cítricos), olivares y mosaico de cultivos (formado por tomates, olivo, almendros y cítricos).



En las figuras 6.31, 6.32, 6.33, 6.34 y 6.35 se muestran los factores de vegetación de cada cultivo.

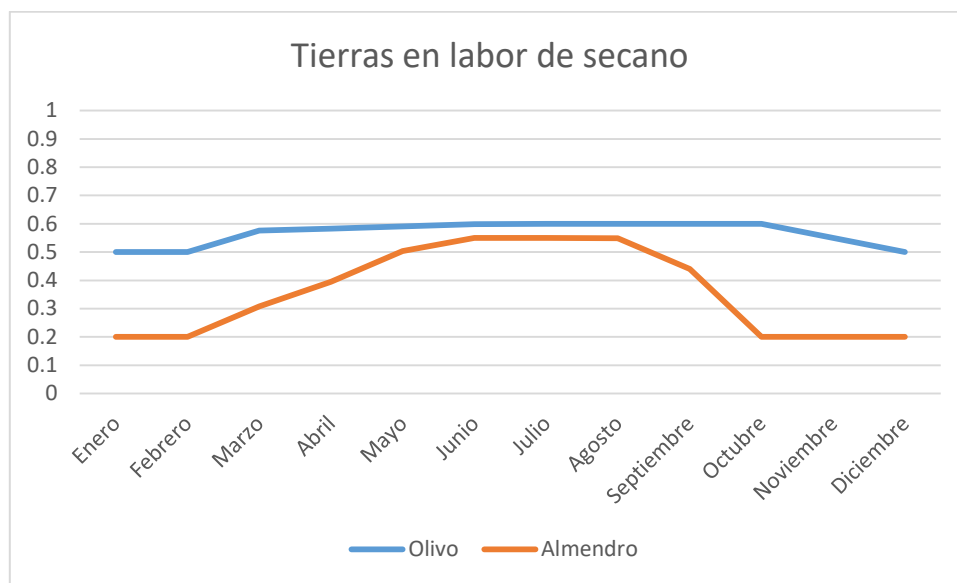


Figura N° 6.31 Factores de cultivo de tierras en labor de secano, Rio Cervol

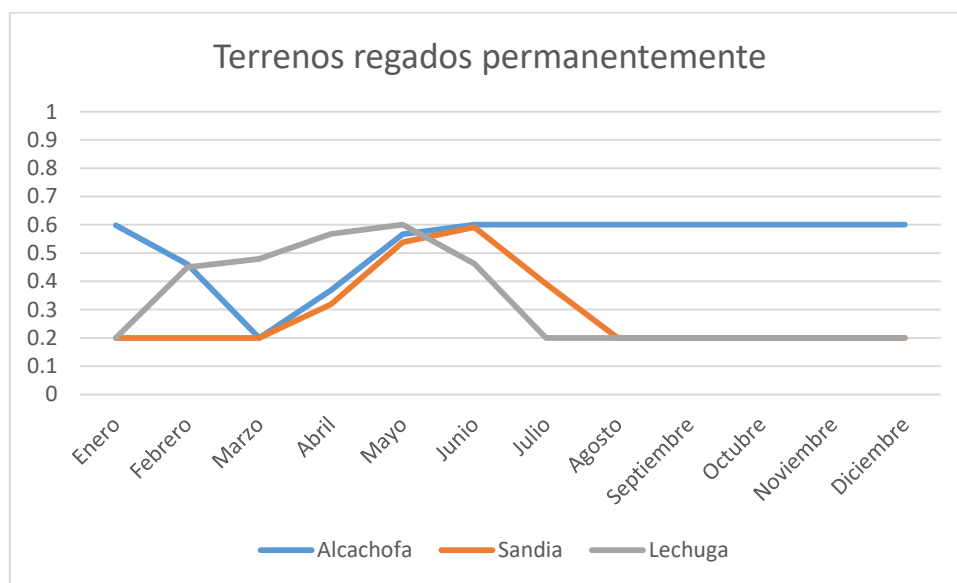


Figura N° 6.32 Factores de cultivo de terrenos regados permanentemente, Rio Cervol

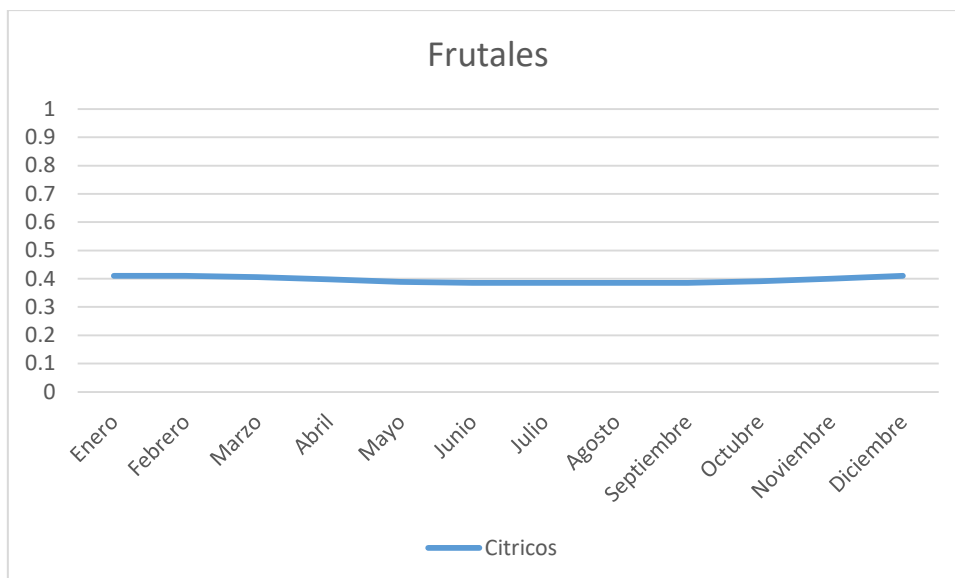


Figura N° 6.33 Factores de cultivo de frutales, Rio Cervol

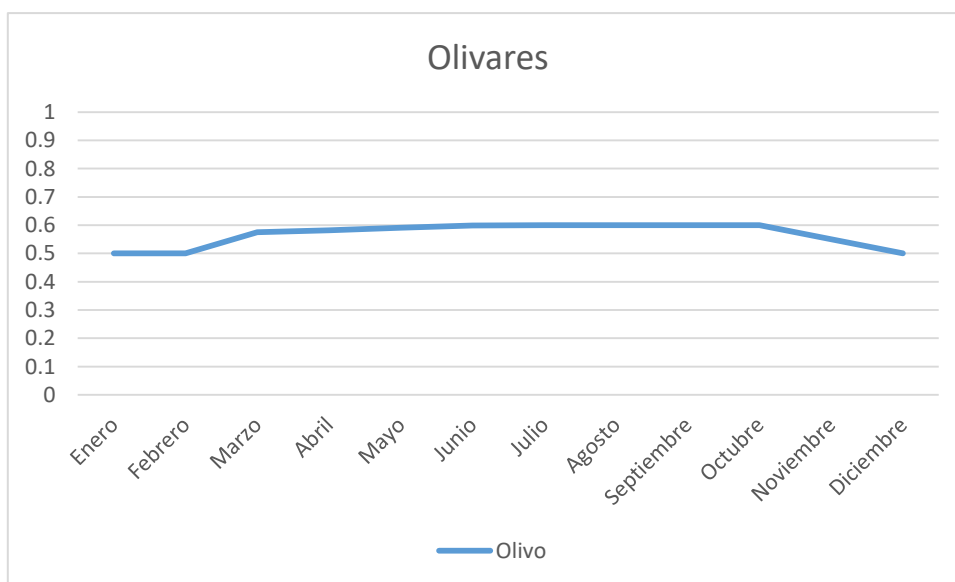


Figura N° 6.34 Factores de cultivo en olivares, Rio Cervol

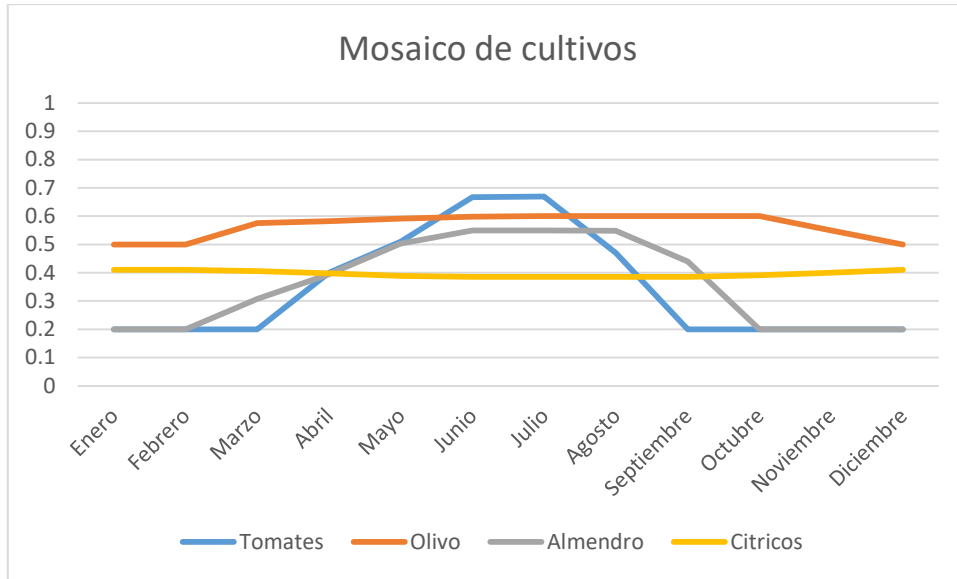


Figura N° 6.35 Factores de cultivo en mosaico de cultivos, Rio Cervol

En la figura 6.36 se muestran los factores de vegetación de cada uso del suelo en el Rio Cervol

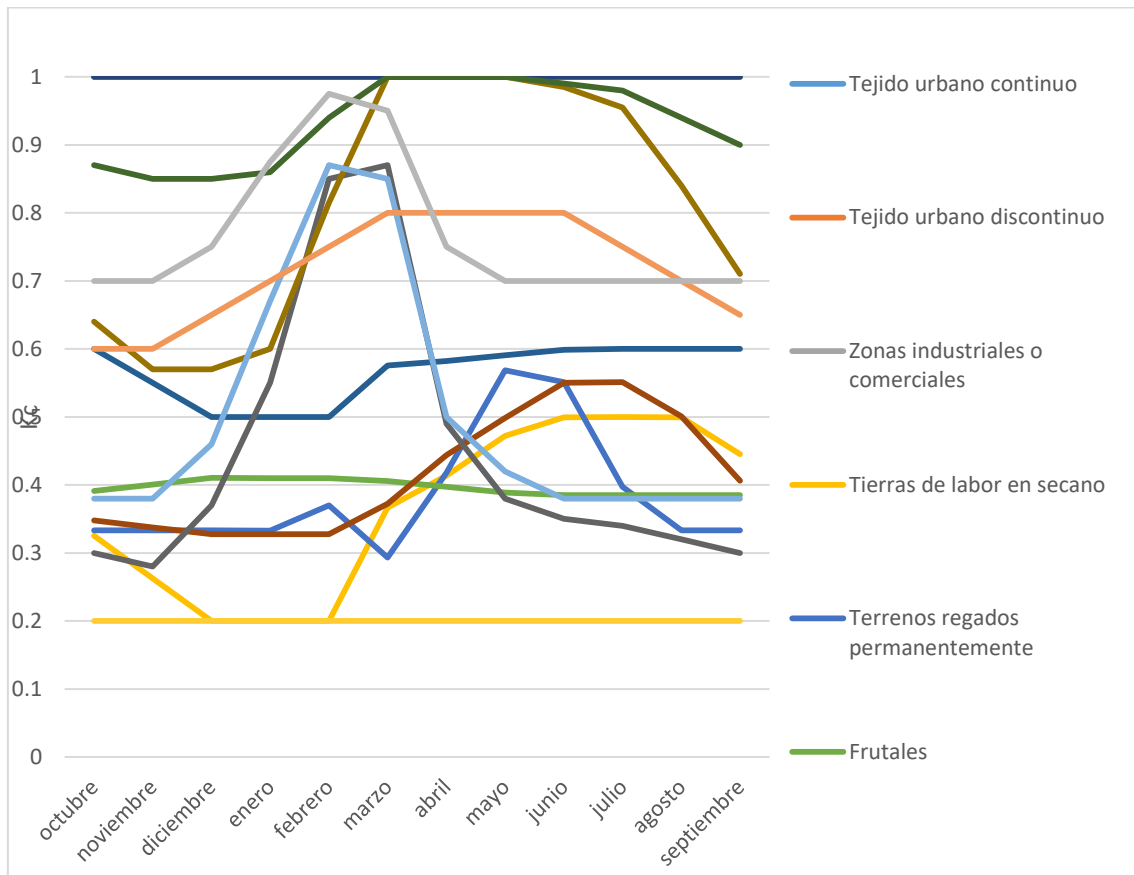


Figura N° 6.36 Factores de cultivo de los usos del suelo en la cuenca del Rio Cervol



Barranco del Carraixet

Los factores de vegetación usados en el Barranco del Carraixet son los estimados por Tejada Espinoza (2016) en su trabajo final de master; pueden verse en la figura 6.37.

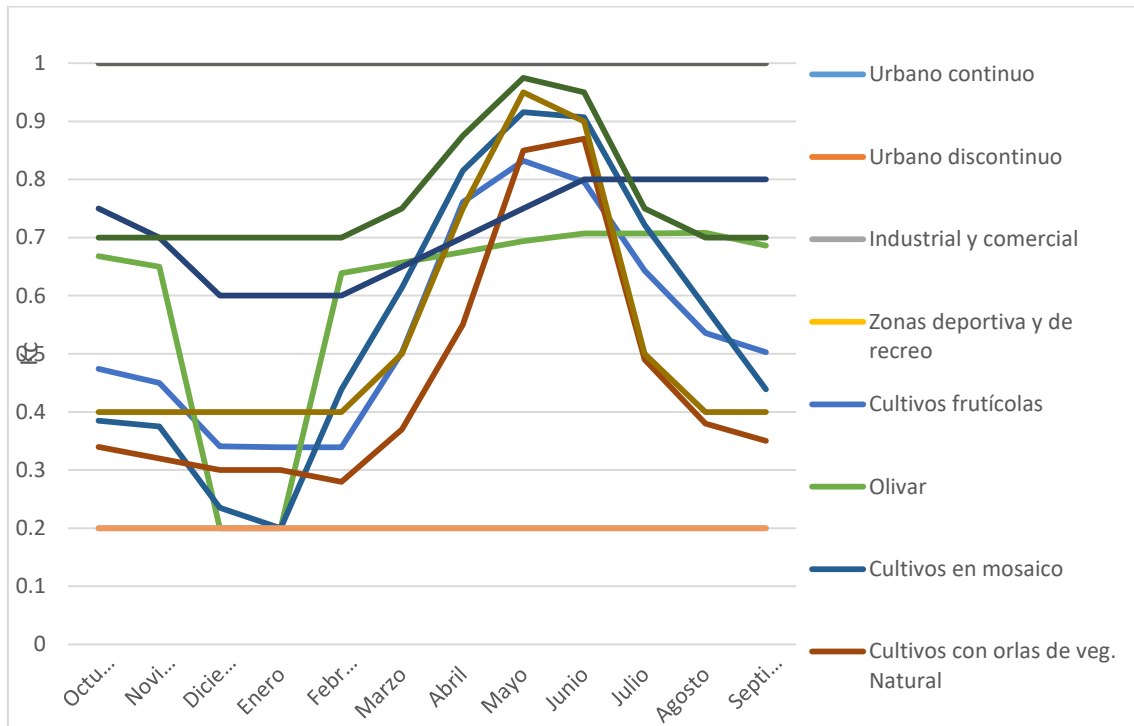


Figura N° 6.37 Factores de cultivo de los usos del suelo en la cuenca del Barranco del Carraixet, (Tejada Espinoza, 2012)

6.3.3 Capacidad máxima de almacenamiento estático en la capa superior del suelo (Hu) e Intercepción.

6.3.3.1 Intercepción máxima

Tabla N° 6.4 Relación entre uso de suelo y valor de intercepción

Uso del suelo	Intercepción (mm)
Tejido urbano continuo	0
Tejido urbano discontinuo	3
Zonas industriales o comerciales	0
Tierras en labor de secano	1
Terrenos regados permanentemente	1
Frutales	1
Olivares	1
Mosaico de cultivos	1
Terrenos principalmente agrícolas, pero con importantes espacios de vegetación natural y semi-natural	5
Bosques de frondosas	9



Bosques de coníferas	9
Bosque mixto	9
Pastizales naturales	3
Matorrales esclerófilos	4
Matorral boscoso de transición	5
Espacios con vegetación escasa	0

6.3.3.2 Capacidad máxima de almacenamiento estático en la capa superior del suelo (Hu)

La Capacidad máxima de almacenamiento estático se calcula como la suma del almacenamiento en ladera, que es función de la cubierta del suelo y de la pendiente, con el almacenamiento capilar, a través de la siguiente ecuación:

$$Hu + Alm.Sup.+ AWC_TOP \times MIN(Prof.raices;ROO)$$

Donde Hu es el almacenamiento estatico total (mm), Alm.Sup es el almacenamiento en charcos (mm), AWC_TOP es el contenido de agua disponible en el suelo (mm/m), Prof.raices es la profundidad alcanzada por las raíces sin obstáculos (m) y ROO la profundidad del primer obstáculo significativo para el desarrollo de raíces (m).

Función de la cubierta

La parte del almacenamiento en ladera que es función de la cubierta del suelo se calcula según la siguiente tabla:

Tabla Nº 6.5 Relación entre uso de suelo y valor del almacenamiento en charcos

Uso del suelo	Alm. charcos (mm)
Tejido urbano continuo	0
Tejido urbano discontinuo	5
Zonas industriales o comerciales	6
Tierras en labor de secano	6
Terrenos regados permanentemente	6
Frutales	6
Olivares	6
Mosaico de cultivos	6
Terrenos principalmente agrícolas, pero con importantes espacios de vegetación natural y semi-natural	6
Bosques de frondosas	4
Bosques de coníferas	4
Bosque mixto	4
Pastizales naturales	6
Matorrales esclerófilos	6



Matorral boscoso de transición	5
Espacios con vegetación escasa	2

Función de la pendiente

La parte del almacenamiento en ladera que es función de la pendiente se calcula a partir de la siguiente fórmula:

$$A_{pendiente} = 10 - 130 * i \quad \text{para } i > 0.075$$

Donde i es la pendiente en % y $A_{pendiente}$ el almacenamiento en pendiente en mm.

Almacenamiento capilar

El almacenamiento capilar se calcula según la siguiente fórmula:

$$A_{capilar} = AWC_TOP * \text{MIN}(\text{Prof. raices}; ROO)$$

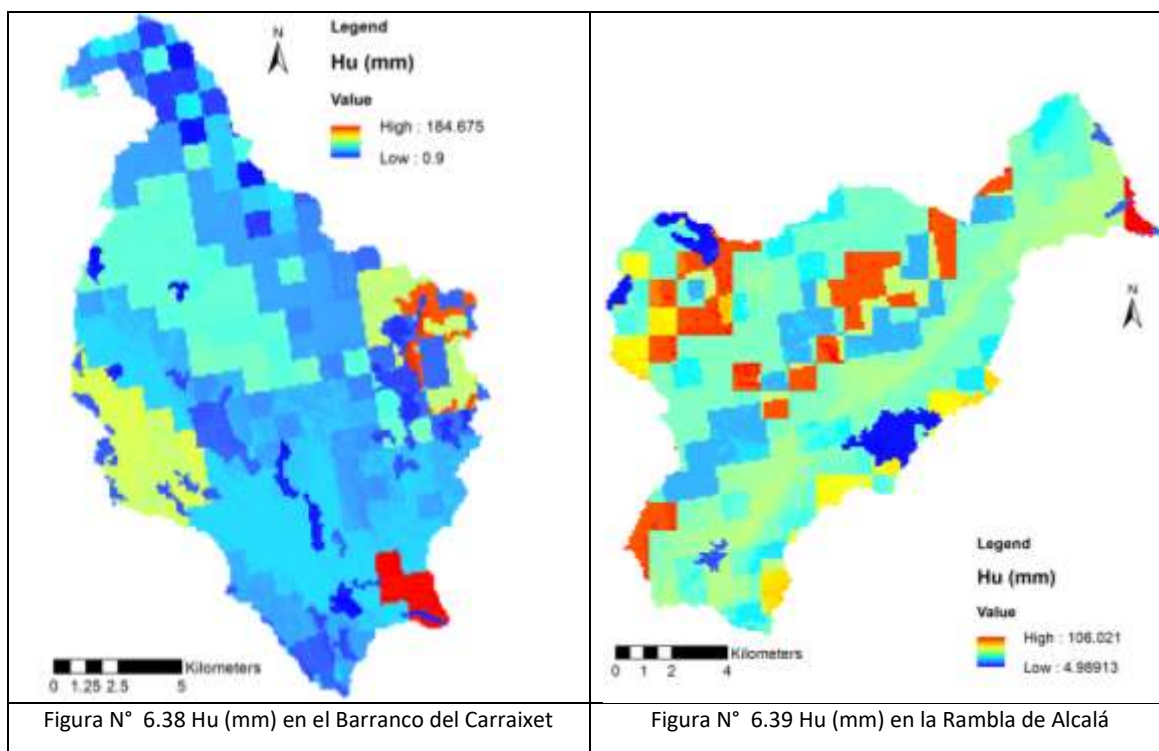
Donde $A_{capilar}$ es el almacenamiento capilar en mm, AWC_TOP es el contenido de agua disponible en el suelo (mm/m), Prof. raices es la profundidad alcanzada por las raíces sin obstáculos (m) y ROO la profundidad del primer obstáculo significativo para el desarrollo de raíces (m).

Tabla Nº 6.6 Relación entre el uso del suelo y la profundidad de las raíces

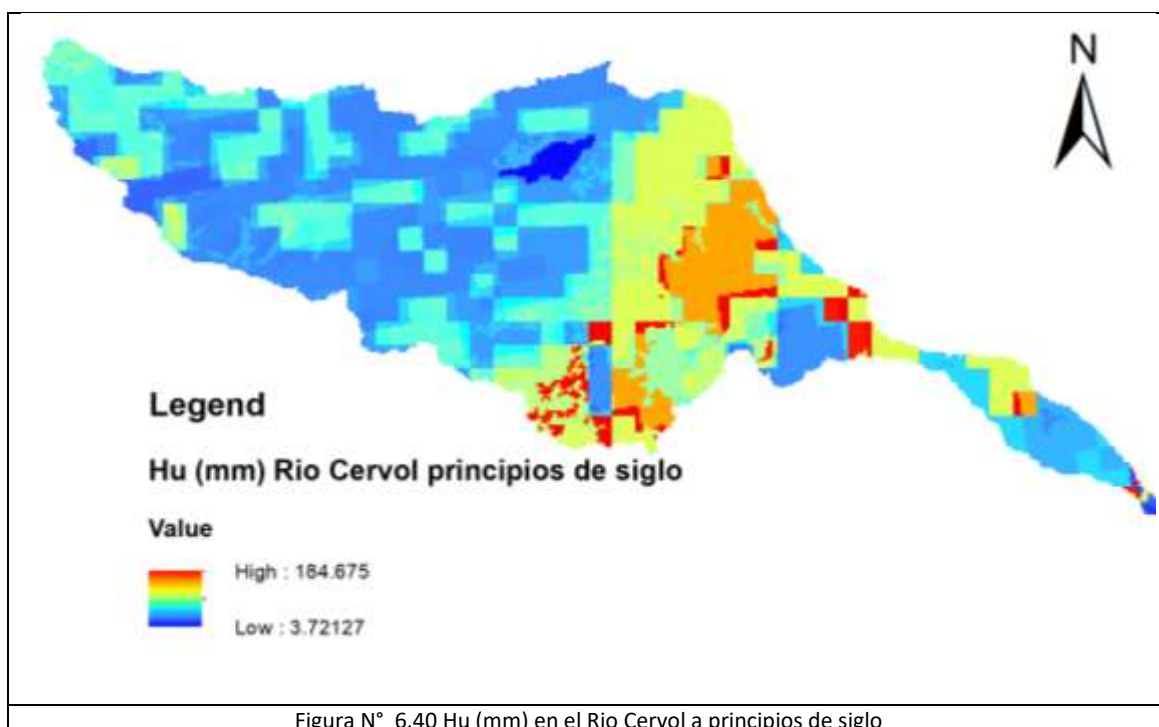
Uso del suelo	Prof.raíces (m)
Tejido urbano continuo	0.06
Tejido urbano discontinuo	0.1
Zonas industriales o comerciales	0.06
Tierras en labor de secano	0.8
Terrenos regados permanentemente	0.5
Frutales	1.5
Olivares	1.45
Mosaico de cultivos	0.7
Terrenos principalmente agrícolas, pero con importantes espacios de vegetación natural y semi-natural	0.75
Bosques de frondosas	1
Bosques de coníferas	1.25
Bosque mixto	1
Pastizales naturales	0.6
Matorrales esclerófilos	0.7
Matorral boscoso de transición	0.7
Espacios con vegetación escasa	0.02

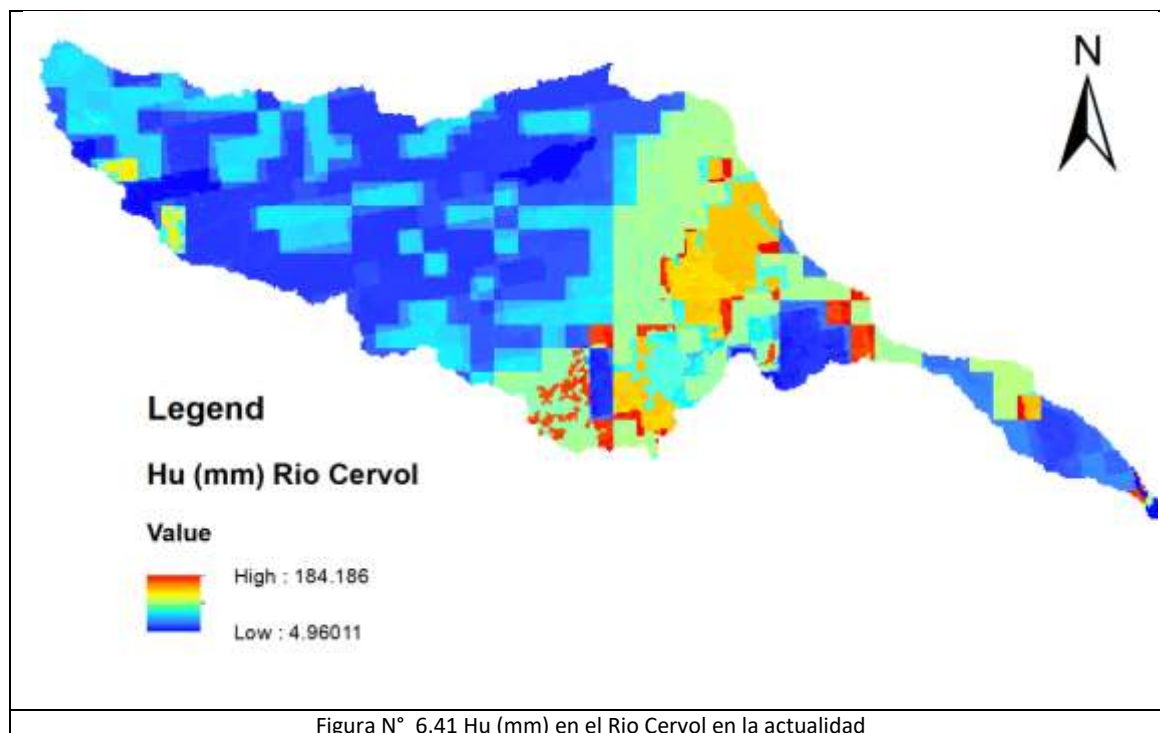


En las figuras 6.38 y 6.39 se muestran los mapas de Hu del Barranco del Carraixet y de la Rambla de Alcalá respectivamente.



En las figuras 6.40 y 6.41 se muestran los mapas de Hu para el Rio Cervol en la época actual y el estimado para principios de siglo.





6.3.4 Mapas de zonas Karsticas y Manantiales

Para la representación de los procesos kársticos y de los manantiales en las cuencas del estudio se utiliza el mapa de zonas kársticas de España, y para los manantiales se utilizara un inventario realizado por la guardería fluvial de la Confederación Hidrográfica del Júcar en el que se muestran las coordenadas de los manantiales de toda la Demarcación Hidrográfica del Júcar.

Como ya se ha dicho, en TETIS el agua presente en las zonas kársticas sale a superficie al llegar a un manantial o al finalizar las zonas kársticas; para que el agua del karst salga únicamente por los manantiales, las zonas kársticas han de ser recortadas de forma que solo estén presentes en las cuenca vertientes de los manantiales, de esta forma el agua saldrá superficie únicamente por los manantiales conocidos y TETIS no creara otros manantiales en los bordes de las zonas kársticas.

Las coordenadas de los manantiales presente en el inventario de la guardería fluvial son marcadas con GPS, por lo que en algunas ocasiones por el error del aparato, los manantiales caen en una celda del modelo que no tiene celdas vertientes a ella; por este motivo las coordenadas de los manantiales han sido revisadas mediante el empleo de GIS.

De los tres casos del estudio, encontramos zonas kársticas y manantiales en dos de ellos, estos son el Barranco del Carraixet y el Rio Cervol. En las figura 6.42 se observan



las zonas kársticas y los manantiales de la Cuenca del Barranco del Carraixet, y en la figura 6.43 los de la cuenca del Rio Cervol. Las zonas kársticas se muestran sombreadas en color negro, y los manantiales se muestran como puntos rojos.

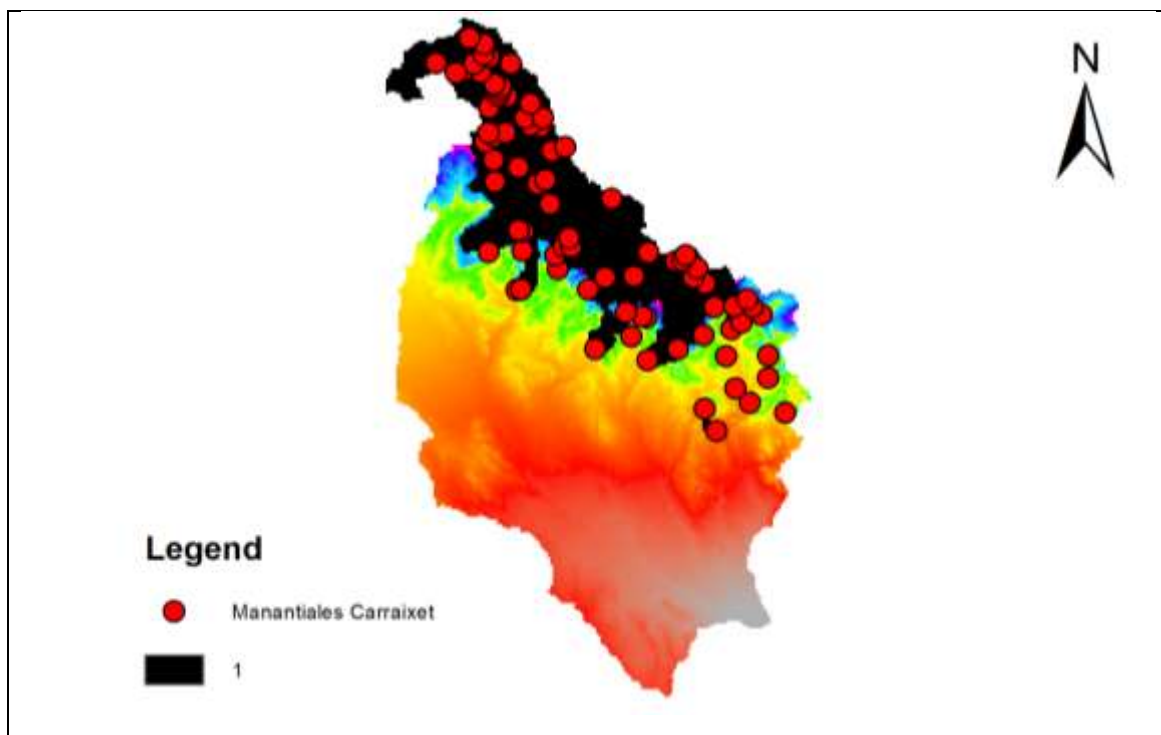


Figura N° 6.42 Zonas kársticas y manantiales del Barranco del Carraixet

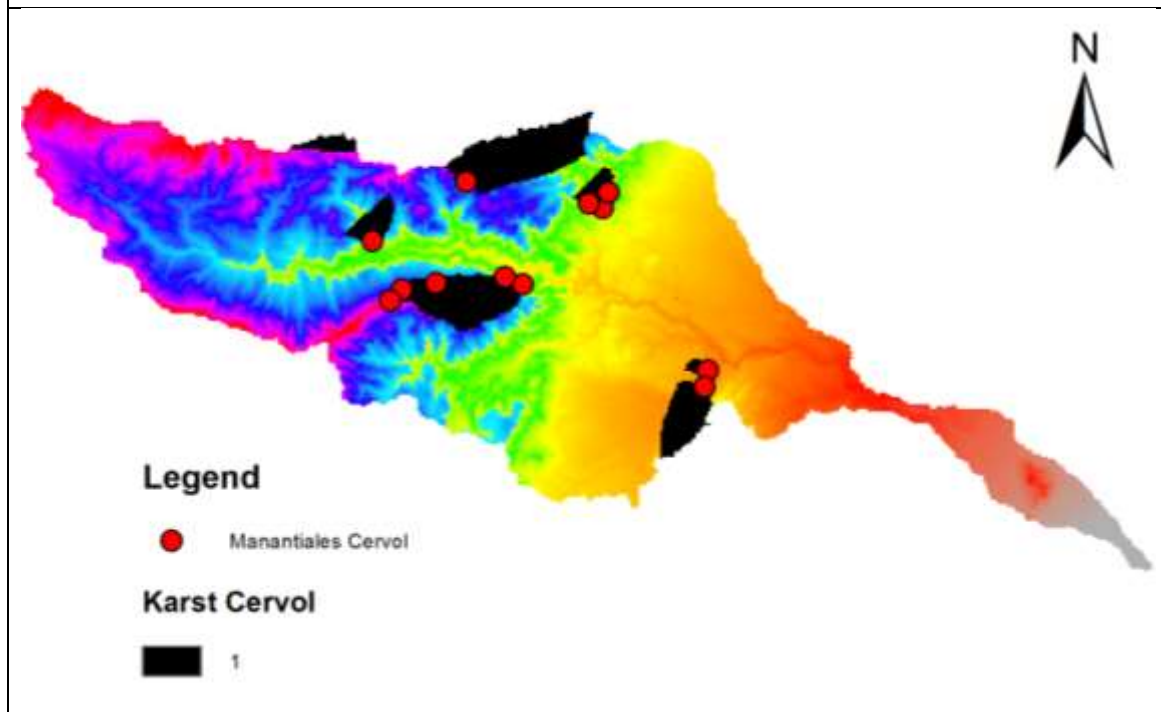


Figura N° 6.43 Zonas kársticas y manantiales del Rio Cervol



CAPITULO 7. IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO



La calibración del modelo se ha realizado de forma automática con el algoritmo SCE-UA de TETIS, con esta calibración se persigue ajustar de la mejor manera los caudales generados en avenidas, y tras esta calibración se ha realizado un ajuste manual para mejorar la representación de los caudales bajos y nulos.

Como ya se ha dicho, en TETIS la calibración se realiza sobre ocho factores correctores, cada uno de los cuales afecta a un parámetro.

Tras la calibración se ha de realizar un proceso de validación, con el objetivo de medir la bondad del modelo. Para la validación de los modelos se comparan los caudales simulados y observados en dos periodos, y las curvas de permanencia generadas con los caudales aforados y simulados.

7.1 Calibración y validación en el Barranco del Carraixet

7.1.1 Fase de calibración

En la tabla 7.1 se muestran los factores correctores en la calibración del modelo para el Barranco del Carraixet en el periodo 01/10/1999-30/09/2001.

Los resultados obtenidos en la calibración se pueden considerar buenos, obteniendo un caudal máximo simulado de 25.672 m³/s contra un caudal máximo observado de 28.652 m³/s, con un coeficiente de Nash de 0.7951 y un error en volumen de -20.261%. Comparando estos resultados con los obtenidos por Tejada Espinoza (2016) en la calibración realizada en su Trabajo Final de Master, podemos ver como el coeficiente de Nash obtenido en este estudio es inferior, pero en la curva de permanencia mostrada en el proceso de validación se podrá comprobar que con este modelo nos ajustamos de una forma más adecuada a los objetivos del estudio.

En la figura 7.1 se muestra la comparación entre los caudales aforados y simulados en el periodo de calibración empleado en el Barranco del Carraixet, y en la figura 7.2 se muestra una ampliación del caudal pico generado en este periodo.

Tabla N^o 7.1 Factores correctores obtenidos en la calibración del Barranco del Carraixet

Factor corrector	Valor
FC1	0.88870
FC2	0.44697
FC3	2.59335
FC4	1.15939
FC5	29924.16676
FC6	1.00157
FC7	2585.51580
FC8	0.02625



FC9	0.09811
-----	---------

Tabla Nº 7.2 Resultados de la calibración del Barranco del Carraixet

Caudal max. obs. (m3/s)	85.00
Caudal max. sim. (m3/s)	69.46
RMSE	1.79
Volumen observado (Hm3)	13.46
Volumen simulado (Hm3)	10.17
Error en volumen (%)	-24.45
NSE	0.83

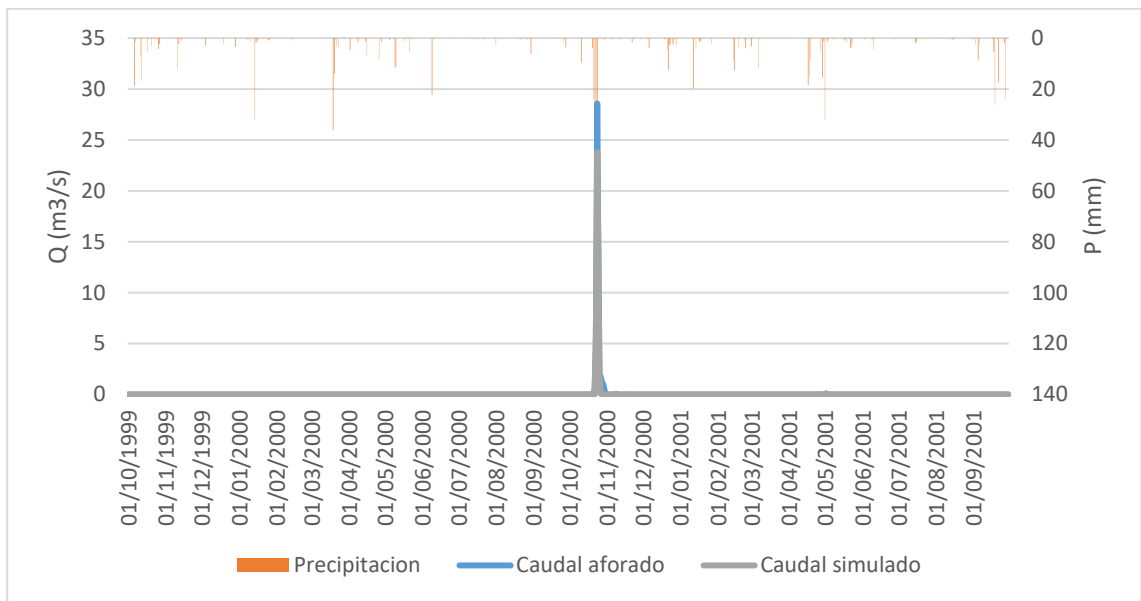


Figura Nº 7.1 Periodo de calibración del Barranco del Carraixet

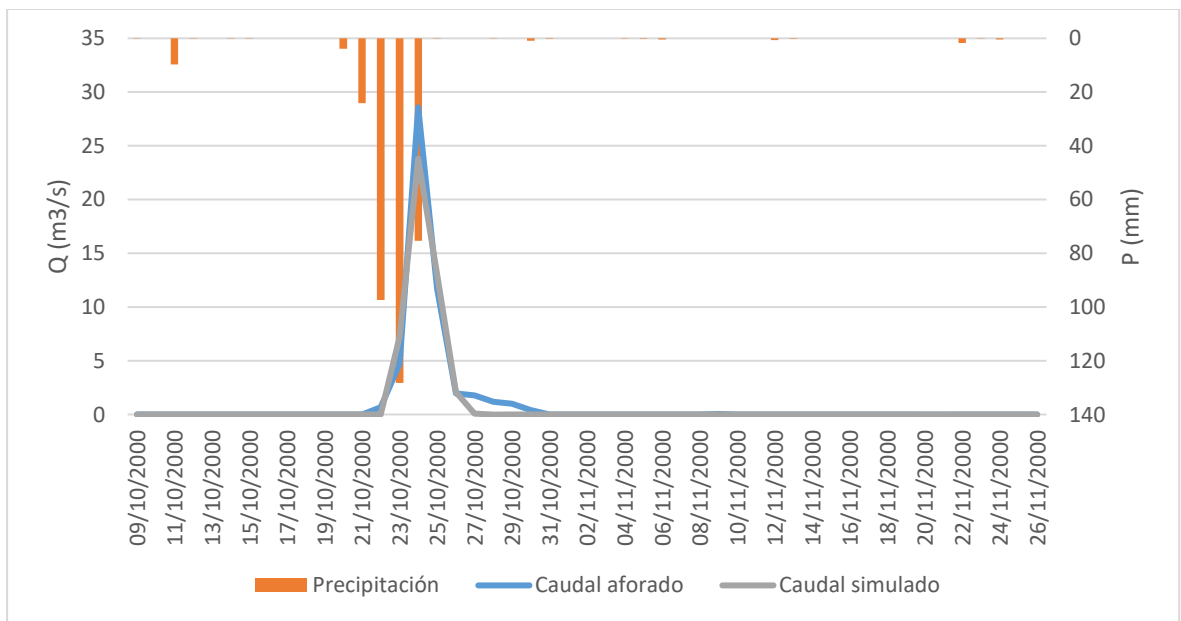


Figura Nº 7.2 Ampliación del pico producido en el periodo de calibración en el Barranco del Carraixet



7.1.2 Proceso de validación

Para la validación se han usado los periodos 01/04/1991-30/04/1993 y 01/11/2007-28/02/2008. En el primer periodo se obtiene un coeficiente de Nash de 0.178, debido a que el caudal máximo observado es de 2 m³/s y el simulado de 0.6 m³/s, a pesar del coeficiente de Nash obtenido, los caudales nulos y bajos si se representan correctamente.

En el segundo periodo de calibración se obtiene un coeficiente de Nash de 0.251, en este periodo el caudal máximo observado es de 1 m³/s, y el simulado de 0.3 m³/s, por este motivo el coeficiente de Nash no alcanza un valor elevado, a pesar de esto, en este caso los caudales nulos y bajos también se representan correctamente.

En las figuras 7.3 y 7.4 se muestran los dos periodos de validación empleados.

La forma más representativa de validar el modelo para los objetivos del presente estudio es mediante la curva de permanencia; la curva de permanencia es una gráfica donde se muestra la probabilidad de que un determinado caudal sea superado, de manera que en el eje de ordenadas se muestran los caudales, y en el eje de abscisas la probabilidad de superación. En la figura 7.5 se muestra la curva de permanencia en el Barranco del Carraixet, en ella se puede ver como la permanencia de los caudales aforados es de 1%, y la permanencia de la simulación es de 1.4%, pero se puede ver como los caudales por encima del 1% de permanencia en la simulación son menores a 1 l/s por lo que se podrían considerar despreciables. En la gráfica mostrada solo se observan los caudales con una probabilidad de ocurrencia menor al 2%, se muestra de esta manera ya que por encima de este porcentaje todos los caudales son nulos, y de esta forma se pueden observar con mayor detalle las diferencias entre las curvas mostradas.

Con las validaciones, especialmente con la curva de permanencia, podemos decir que el modelo en el Barranco del Carraixet se adapta a las necesidades del estudio.

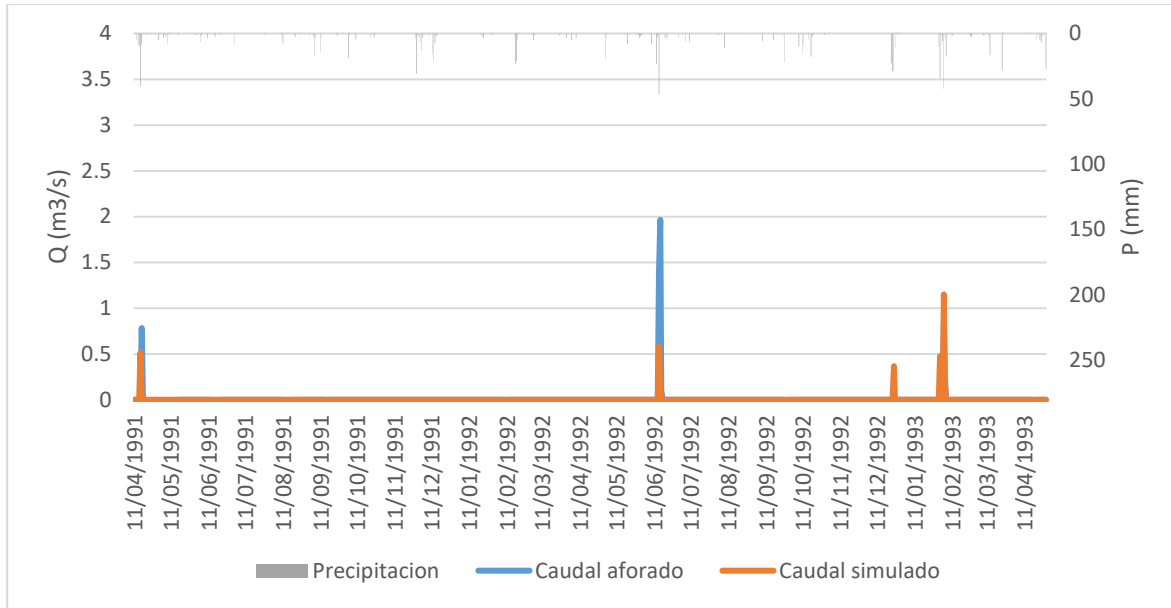


Figura N° 7.3 Periodo de validación 91/93 en el Barranco del Carraixet

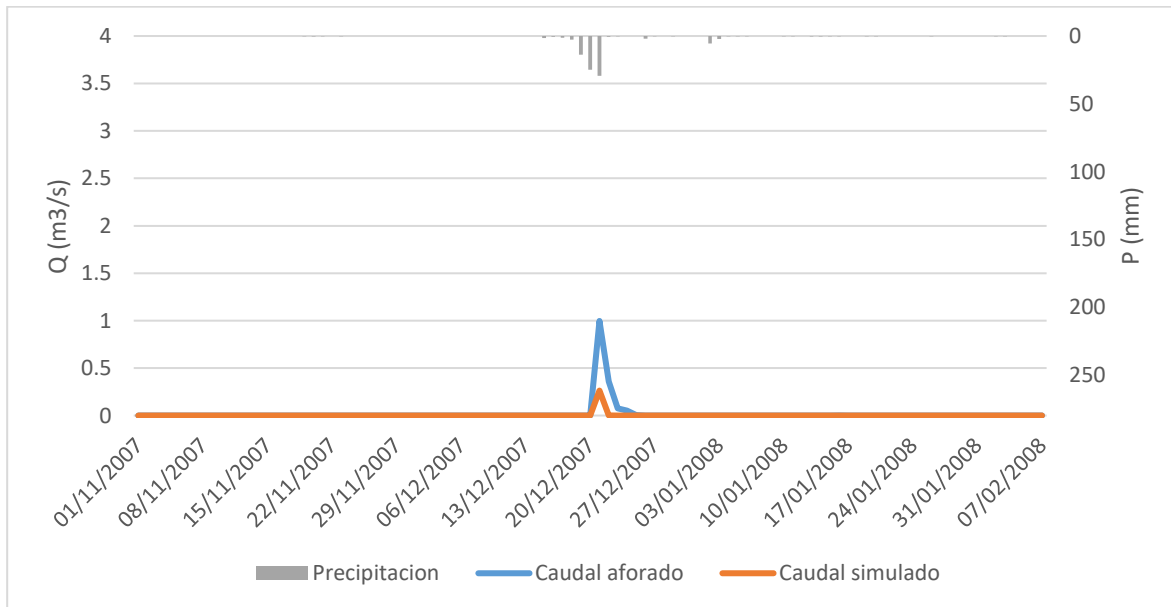


Figura N° 7.4 Periodo de validación 07/08 en el Barranco del Carraixet

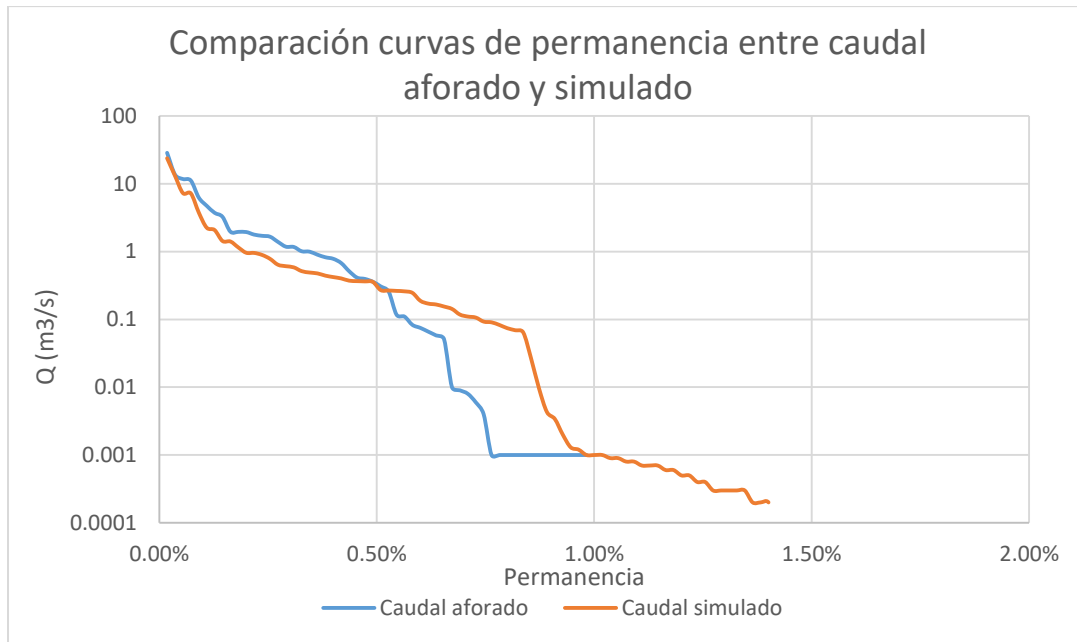


Figura N° 7.5 Curva de permanencia modelo vs curva de permanencia aforo

En la figura 7.6 se muestra una comparativa entre las curvas de permanencia obtenidas con los caudales aforados, los caudales obtenidos con el modelo TETIS en este estudio, y los obtenidos por Tejada Espinoza (2016) en su Trabajo Final de Master, que es el modelo con el que se partía.

Se puede ver como el modelo de este estudio ha mejorado considerablemente en la representación del comportamiento del Barranco, ya que antes de incluir las mejoras, la permanencia del modelo superaba el 50%, mientras que la obtenida con los caudales aforados es del 1%.

Esta mejora conseguida en la adaptación del modelo a la curva de permanencia es la aportación más importante del presente estudio, esta ha sido conseguida gracias a las modificaciones que se han introducido en el modelo implementado con TETIS, que como ya se ha mencionado anteriormente, son el uso del submodelo de zonas kársticas y de manantiales de TETIS, y la introducción de pérdidas por transmisión en cauce.

Las pérdidas se introducen en el modelo de forma puntual, por lo que para conseguir aproximarse a la realidad, donde estas pérdidas se dan a lo largo del todo el cauce, se ha introducido una pérdida en el cauce por cada kilómetro de cauce, esta pérdida dependerá del ancho medio del kilómetro de cauce anterior al punto donde se introducen las pérdidas; de esta forma, las pérdidas no depende del caudal circulante, sino del área de cauce. Las pérdidas fueron estimadas en otro estudio realizado en Rambla de la Viuda entre las dos estaciones de aforo presentes, el estudio realizado por Montalvo Israel, obtuvo unas pérdidas medias de $8.71 \cdot 10^{-4}$ l/s por cada m² de cauce.



Si no se hubieran logrado estas mejoras, sería complicado lograr el objetivo principal del estudio, la estimación del hidrotipo de ríos temporales, ya que esta depende en gran medida de la permanencia.

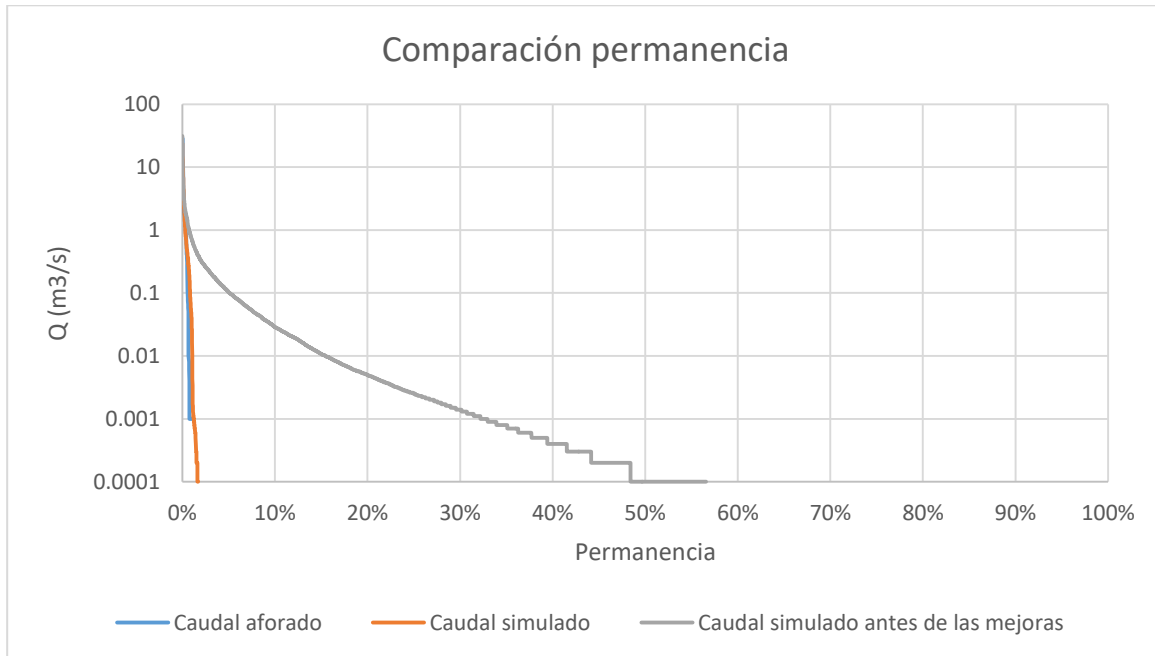


Figura N° 7.6 Comparación curva de permanencia aforo vs modelo vs modelo antiguo

7.2 Calibración y validación en el Río Cervol

7.2.1 Fase de calibración

En la tabla 7.3 se muestran los factores correctores en la calibración del modelo para el Barranco del Carraixet en el periodo 01/01/1926-30/11/1927.

Los resultados obtenidos en la calibración se pueden considerar buenos, obteniendo un caudal máximo simulado de 69.456 m³/s contra un caudal máximo observado de 85.000 m³/s, con un coeficiente de Nash de 0.8311 y un error en volumen de -24.446%. Estos resultados pueden considerarse muy buenos, sobre todo teniendo en cuenta que los datos usados corresponden a principios de siglo.

En la figura 7.7 se muestra la comparación entre los caudales aforados y simulados en el periodo de calibración empleado en el Río Cervol, y en la figura 7.8 se muestra una ampliación del caudal pico generado en este periodo.

Tabla N° 7.3 Factores correctores obtenidos en la calibración del Río Cervol

Factor corrector	Valor
FC1	1.09910
FC2	0.93550



FC3	1.19940
FC4	0.78020
FC5	29944.02539
FC6	0.91420
FC7	2686.11914
FC8	0.04630
FC9	0.09430

Tabla Nº 7.4 Resultados obtenidos en la calibración en el Rio Cervol

Caudal max. obs. (m3/s)	28.65
Caudal max. sim. (m3/s)	25.67
RMSE	0.40
Volumen observado (Hm3)	6.38
Volumen simulado (Hm3)	5.09
Error en volumen (%)	-20.26
NSE	0.80

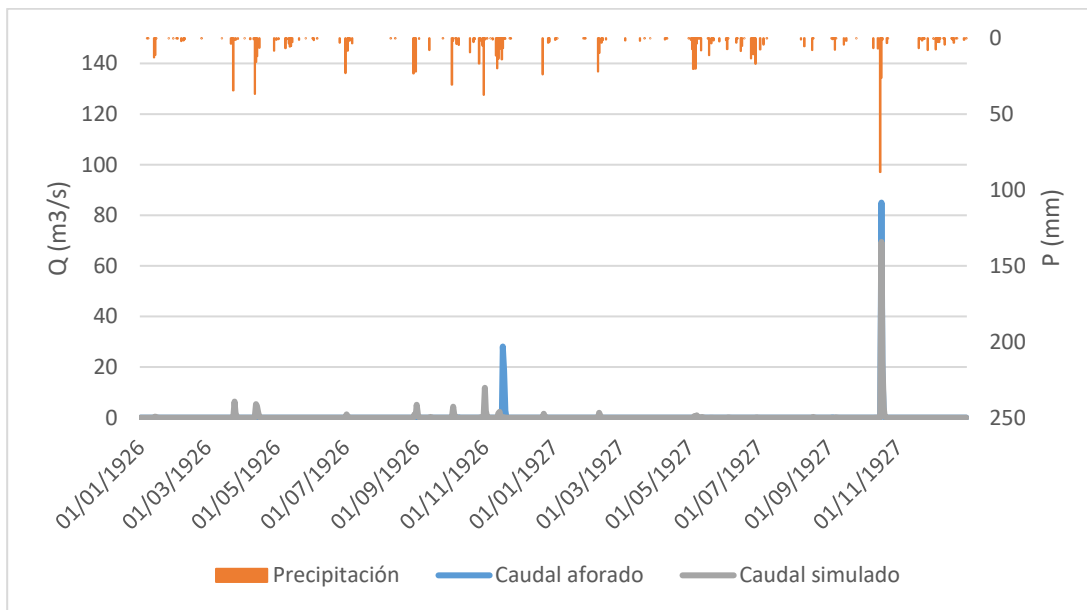


Figura Nº 7.7 Periodo de calibración en el Rio Cervol

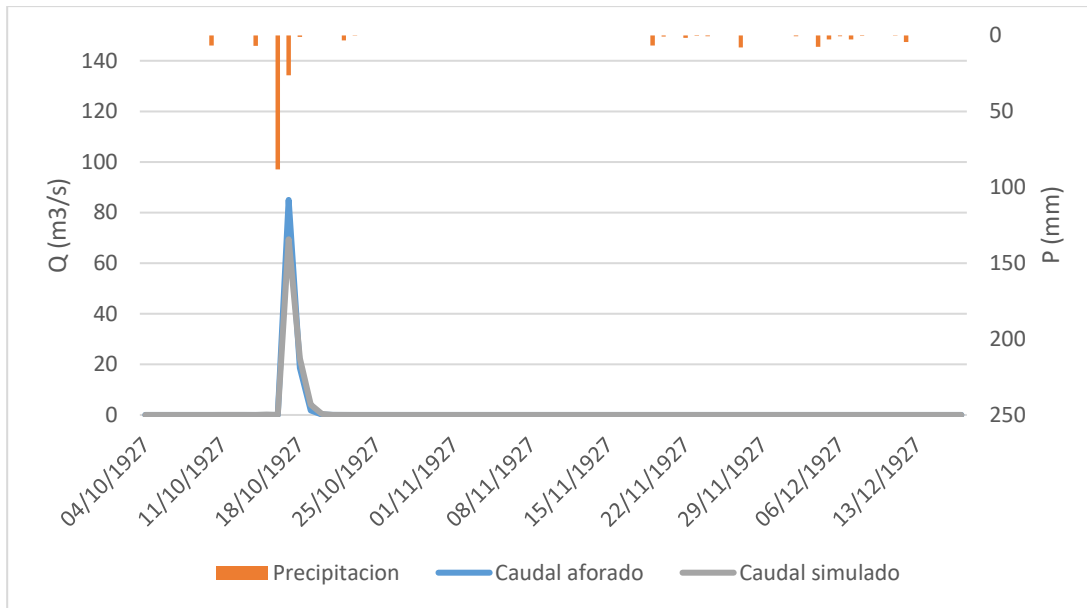


Figura N° 7.8 Ampliación del pico producido en el periodo de calibración del Rio Cervol

7.2.2 Proceso de validación

Para las validaciones en el Rio Cervol se han empleado los periodos 15/08/1914-15/04/1915 y 15/11/1917-15/11/1918, la elección de los periodos en el caso del Rio Cervol es complicada, ya que en muchas ocasiones la precipitación registrada no coincide con el caudal aforado debido a la antigüedad de los datos, y en otras ocasiones los datos parecen estar desplazados unos de otros. En el primer periodo se obtiene un coeficiente de Nash de 0.130, a pesar de ser un valor bajo, en la figura 7.9 se puede observar como el modelo si simula caudal en los días en los que hay caudal aforado, pero en un caso sobreestima y en otro infravalora, en cuanto a los caudales nulos y bajos si son representados correctamente.

En el segundo periodo, mostrado en la figura 7.10, el coeficiente de Nash obtenido es negativo, de -0.063, esto puede ser debido a que los caudales aforados o las precipitaciones registradas están desplazadas, ya que en muchas ocasiones, el modelo simula un caudal parecido a un caudal aforado que se ha registrado un par de días antes o después del caudal simulado.

En la validación realizada con la curva de permanencia los resultados son mejores que los obtenidos con el resto de validaciones, algo positivo ya que como se ha dicho esta validación es la más adecuada para los objetivos del estudio. La permanencia obtenida con los caudales aforados es de un 6.5% y con los resultados obtenidos en el modelo de un 10%; los caudales del modelo por encima del 6% obtenidos en la simulación son inferiores a 10 l/s, mientras que en los caudales aforados no hay prácticamente ningún caudal por debajo de este umbral, por ello se podría hacer la suposición de que la estación no era capaz de captar unos caudales tan bajos.

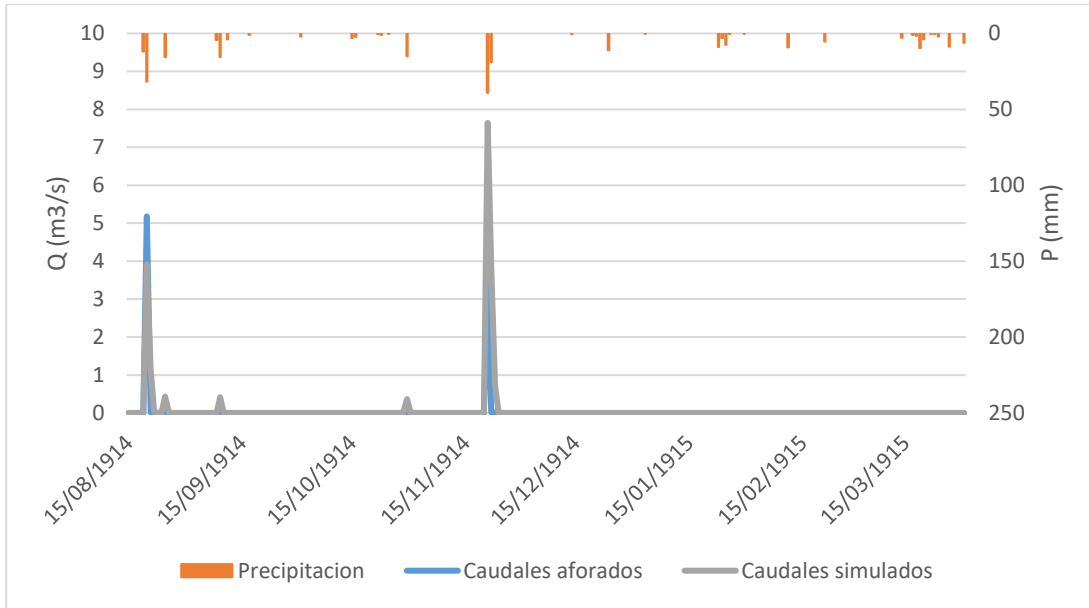


Figura N° 7.9 Periodo de validación 1914/15 en el Rio Cervol

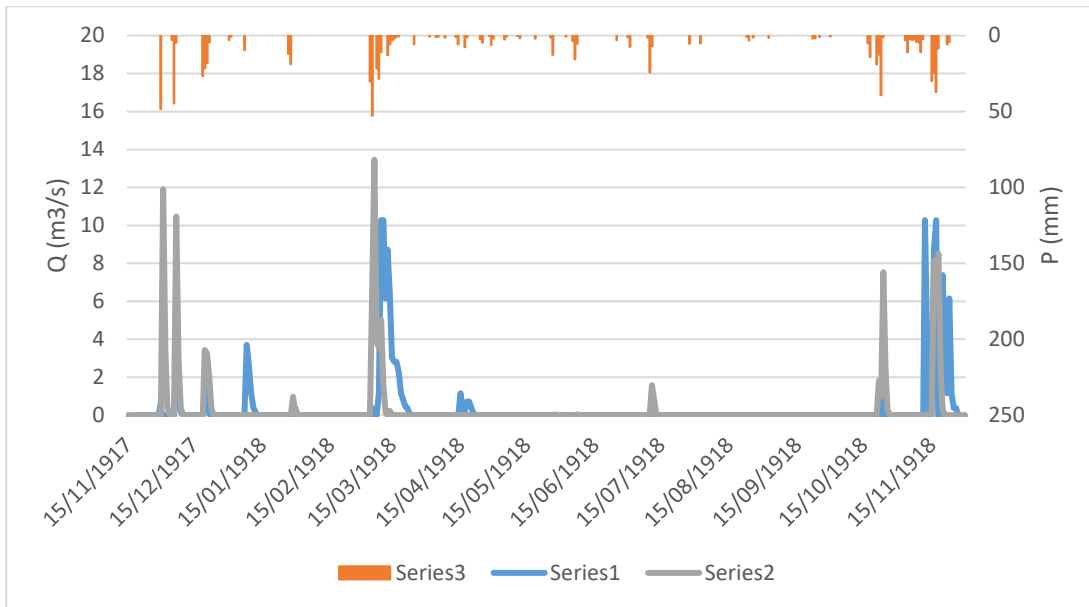


Figura N° 7.10 Periodo de calibración 1917/18 en el Rio Cervol

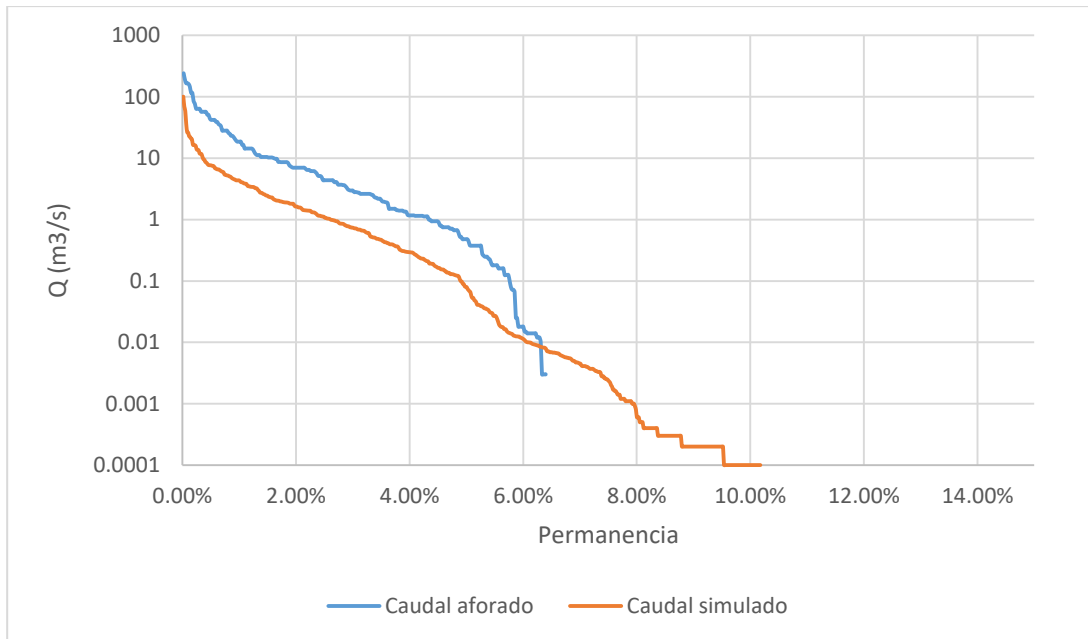


Figura N° 7.11 Curva de permanencia modelo vs aforo en el Río Cerval



CAPITULO 8. SIMULACIÓN HIDROLÓGICA



8.1 Simulación hidrológica

En la figura 8.1 se muestra la simulación hidrológica en el Barranco del Carraixet, simulando con los datos disponibles del proyecto Spain02 en su versión cuarta.

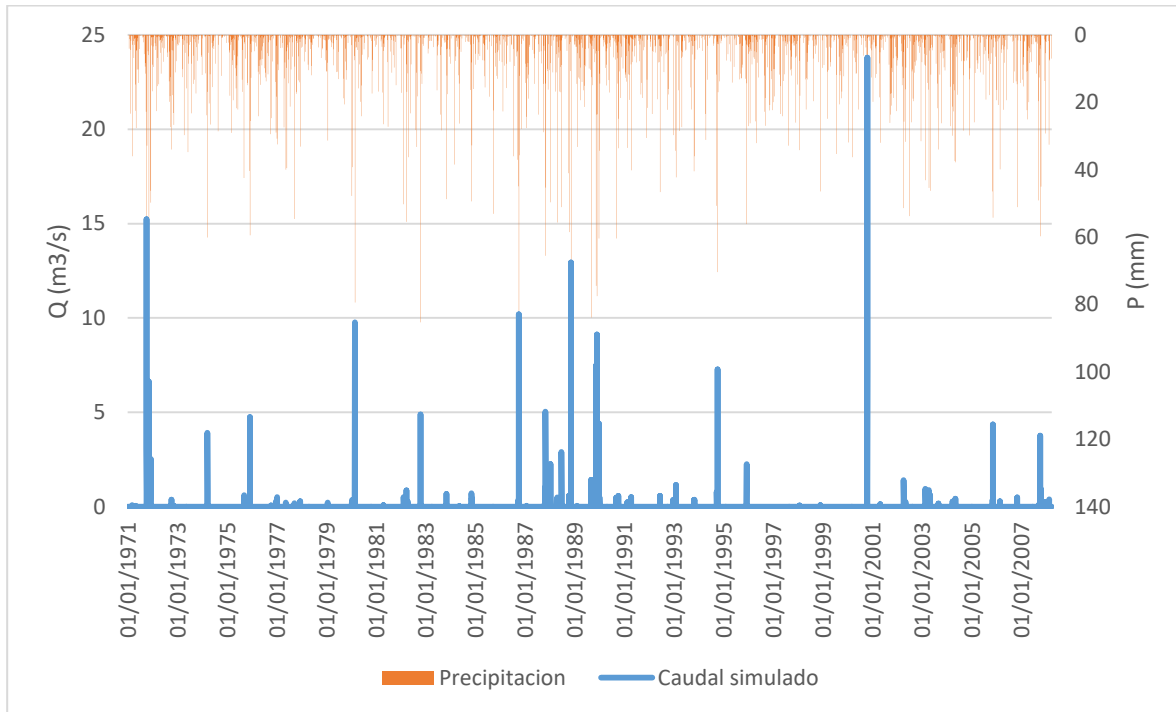


Figura N° 8.1 Simulación en el Barranco del Carraixet

En la figura 8.2 se muestra la simulación realizada en el Río Cervol, esta va desde noviembre de 1988 hasta enero de 2017, en esta simulación no se han utilizado los datos del proyecto Spain02 debido a que la calibración se hizo con pluviómetros, por ello se ha decidido realizar la simulación de la misma manera.

En la simulación todo parece correcto excepto una avenida que se produce en octubre del 2000, donde sí que hay constancia de inundaciones en la cuenca del Río Cervol, pero el modelo da un pico de 1000 m³/s, algo que parece bastante exagerado teniendo en cuenta que los caudales mostrados son caudales medios diarios.

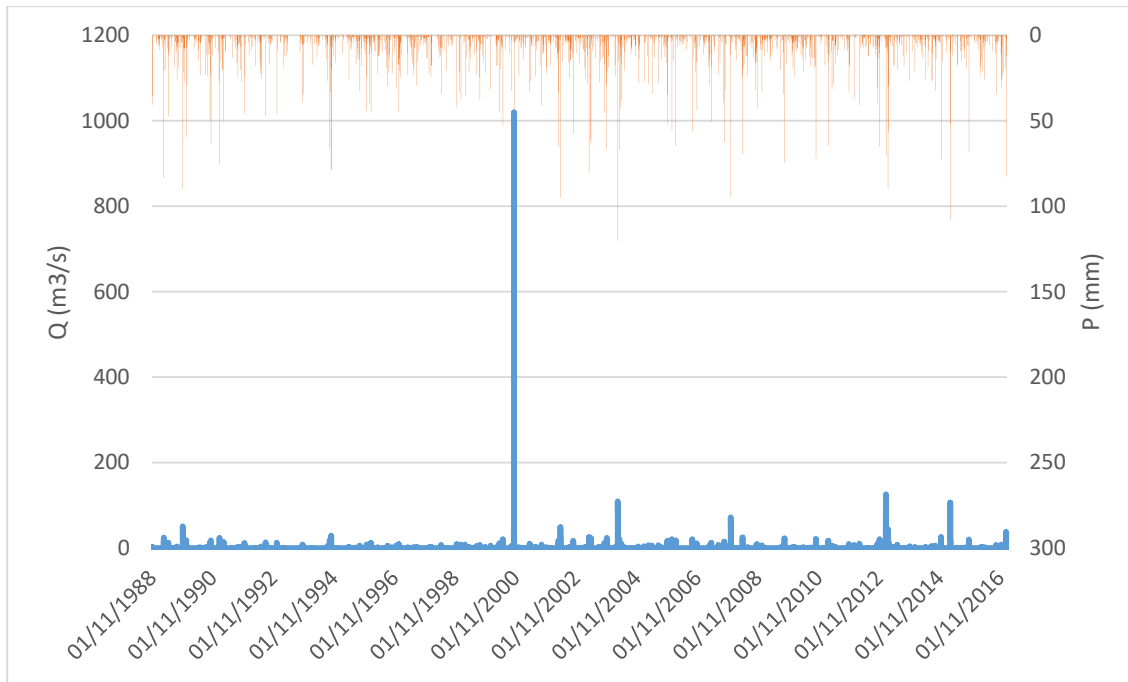


Figura N° 8.2 Simulación en el Rio Cervol

Para la simulación realizada en la Rambla de Alcalá se han empleado los factores correctores obtenidos en la calibración del modelo en el Barranco del Carraixet, se han elegido estos factores correctores en lugar de los del Rio Cervol debido a que según las encuestas realizadas por la guardería fluvial, el comportamiento de la Rambla de Alcalá es más parecido al Carraixet que al Cervol.

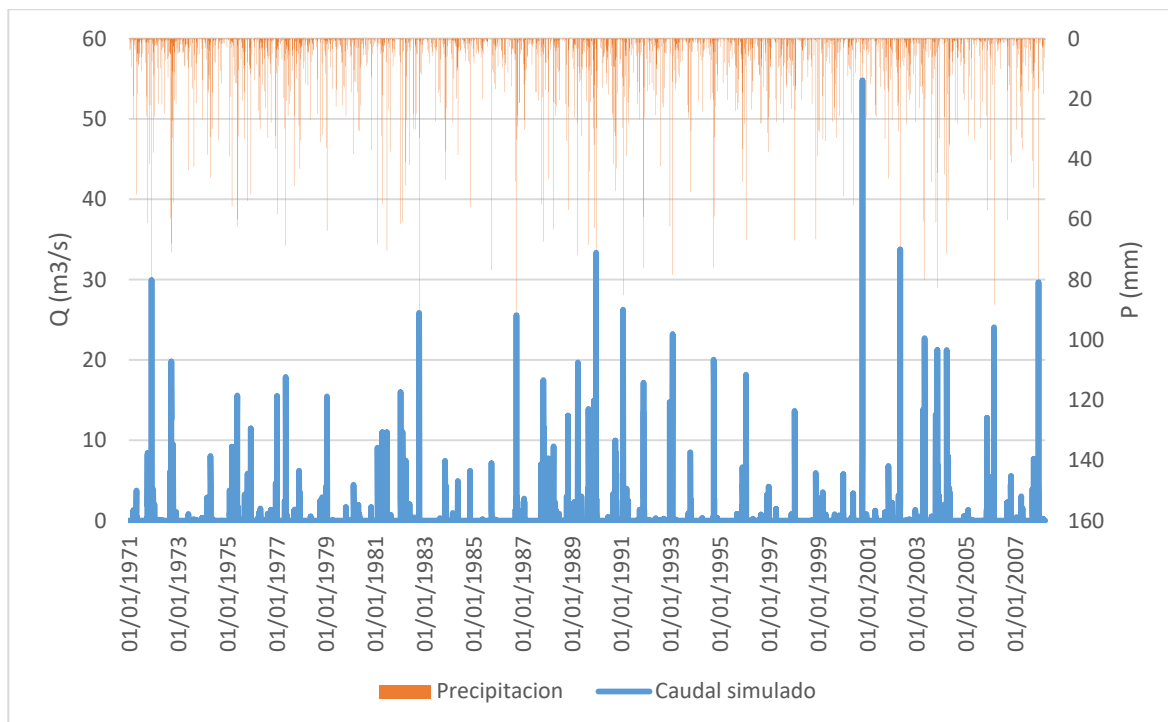


Figura N° 8.3 Simulación en la Rambla de Alcalá



En la figura 8.4 se puede ver la curva de permanencia de la Rambla de Alcalá obtenida con los resultados del modelo, en ella se puede observar como la permanencia llega al 6%, muy cercana a la que se obtiene de las encuestas realizadas por la guardería fluvial, que sitúan a esta en un 4%. Teniendo en cuenta la permanencia obtenida con el modelo y la que muestran las encuestas, podríamos decir que el modelo es válido para representar a la masa de agua, teniendo en cuenta que no se dispone otra manera para realizar la validación.

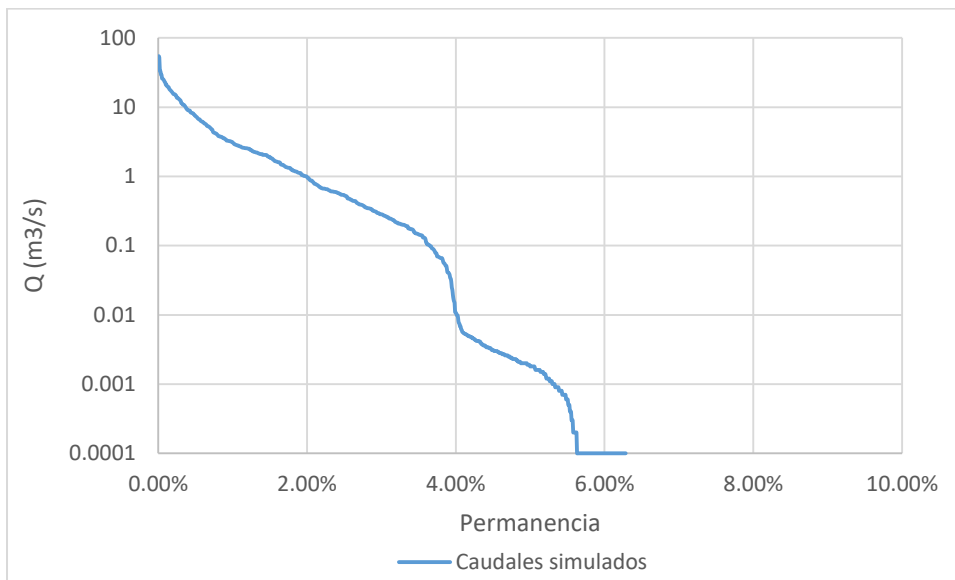


Figura N° 8.4 Curva de permanencia del modelo en la Rambla de Alcalá con los FC del Carraixet.

El principal inconveniente a la hora de modelar las masas de agua no aforadas lo encontramos a la hora de elegir los factores correctores a emplear en TETIS, por ello se ha decidido realizar una simulación en la cuenca de la Rambla de Alcalá con los factores correctores obtenidos en la calibración del Río Cervol, para comprobar hasta que punto estos factores afectarán al resultado obtenido. En la figura 8.5 podemos observar la curva de permanencia obtenida en la Rambla de Alcalá con los FC del Río Cervol, en este caso la permanencia alcanza un valor de 8%, que no se acerca tanto a los valores de las encuestas como la simulación anterior, pero se puede considerar un buen resultado.

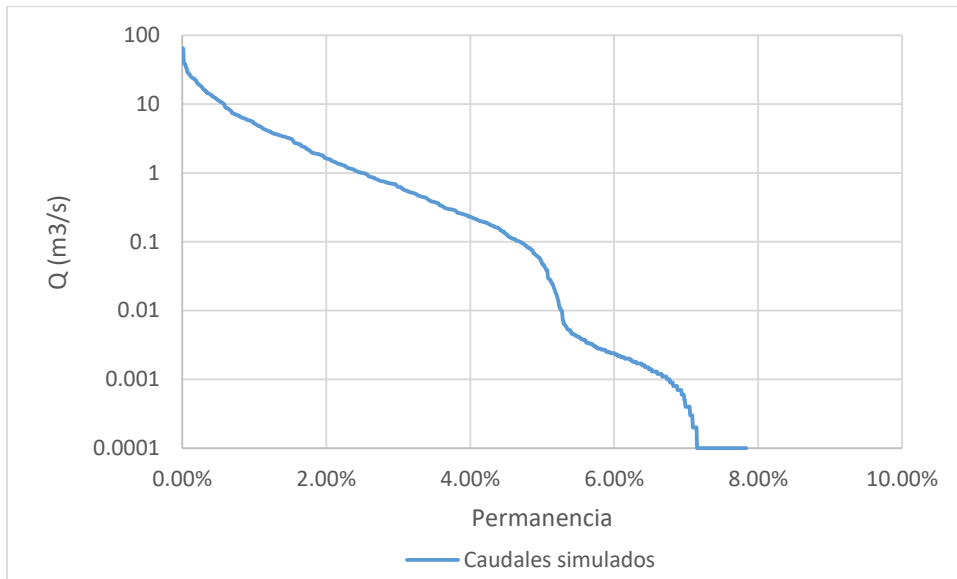


Figura N° 8.5 Curva de permanencia del modelo en la Rambla de Alcalá con los FC del Carraixet.



CAPITULO 9. RESULTADOS CON LA APLICACIÓN TREHS



Con la aplicación TREHS se puede obtener el hidrotipo de una masa de agua a partir de datos de caudales o datos no tan habituales como pueden ser las encuestas o datos de observaciones directas.

El objetivo principal de este estudio es la obtención del hidrotipo de masas de agua no aforadas, para ello, como ya se ha explicado, se modelan estas masas de agua con TETIS utilizando los factores correctores obtenidos en masas de agua con un comportamiento similar, y los resultados son introducidos en TREHS. Para comprobar que este proceso es válido, se han comparado en apartados anteriores las curvas de permanencia obtenidas con TETIS con las obtenidas con datos de aforos, obteniendo buenos resultados; en este siguiente paso, se introducen los resultados de TETIS y los aforos de cada masa de agua en TREHS, de esta manera se puede comprobar si el modelo TETIS se ajusta dentro de la aplicación TREHS a los datos de aforo, y así poder asegurar que al aplicar esta metodología en masas de agua no aforadas, los errores cometidos son aceptables

El hidrotipo puede obtenerse de dos formas:

- La primera a partir de la permanencia de flujo y la estacionalidad; de esta forma se diferencia entre río efímero, intermitente-seco, intermitente-pozas y permanente.
- La segunda a partir de la permanencia de flujo, la permanencia de pozas, y la permanencia de cauce seco

De la primera forma, el hidrotipo puede ser obtenido directamente a partir de los caudales introducidos, mientras que de la segunda forma se han de fijar unos caudales umbral que separen entre lo que se considera flujo, lo que se considera pozas, y lo que se considera cauce seco; en un principio se podría pensar que cualquier caudal no nulo introducido debiera ser considerado flujo, pero al introducir los datos en forma de caudales medios mensuales, un solo día de caudal produciría un caudal mensual no nulo, de manera que se contabilizaría ese como flujo, mientras que en realidad la mayoría del mes el cauce ha estado ocupado por pozas o ha estado seco.

Para fijar estos umbrales de una forma exacta sería necesario realizar un estudio hidráulico de cada masa de agua, lo cual no es abarcado por este estudio, por ello los umbrales usados en este estudio son los proporcionados por la propia aplicación TREHS mediante un análisis estadístico.



9.1 Resultados de TREHS en el Barranco del Carraixet

En la figura 9.1 se muestra un gráfico con el hidrotipo obtenido a partir de la permanencia de flujo y a estacionalidad, con los datos del modelo, los datos de caudales y los datos de encuestas. Se puede comprobar como los tres diferentes tipos de datos caen en la zona de hidrotipo efímero, quedando los tres puntos prácticamente juntos

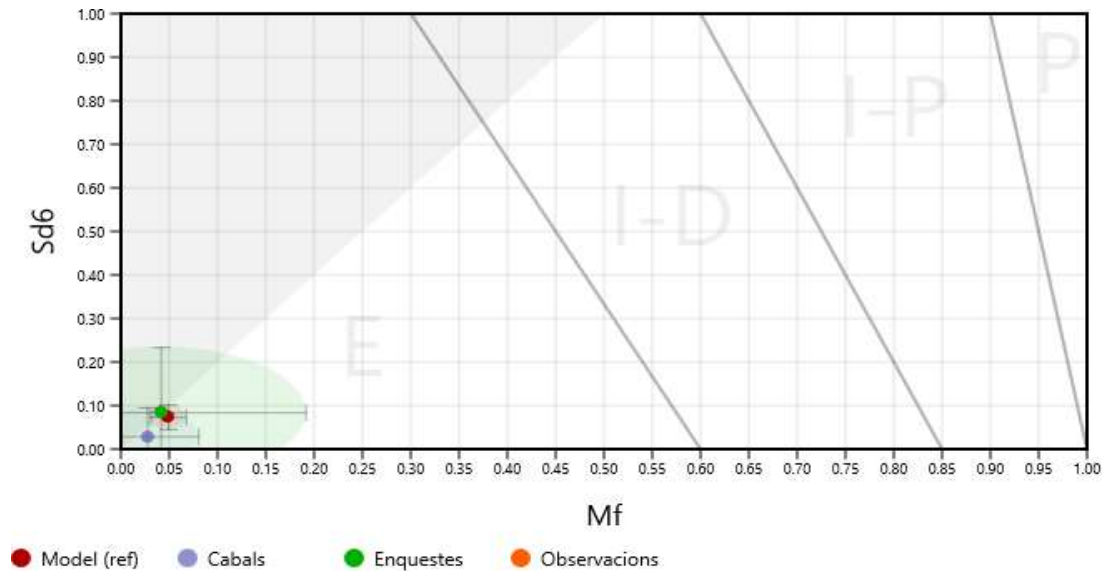


Figura N° 9.1 Hidrotipos del Barranco del Carraixet a partir de Mf y Sd6

En la figura 9.2 se observan los hidrotipos obtenidos esta vez a partir de la permanencia de flujo, de pozas y de cauce seco; de esta forma se muestran todos los hidrotipos explicados anteriormente, y en ocasión obtenemos que las encuestas y el modelo obtienen un hidrotipo episódico, y los datos de aforo un hidrotipo ocasional, pero se observa que el punto del modelo queda entre los datos de encuestas y los datos de aforo, quedando muy cerca de ambos.

Con estos resultados obtenidos, se puede decir que el modelo representa adecuadamente los datos de aforo, obteniendo de una forma el mismo hidrotipo que los datos de aforo, y de la segunda forma quedando los dos puntos cercanos, pasando de un hidrotipo episódico a un hidrotipo ocasional, siendo estos dos hidrotipos muy parecidos y tratándose de la misma forma a la hora de evaluar el estado ecológico.

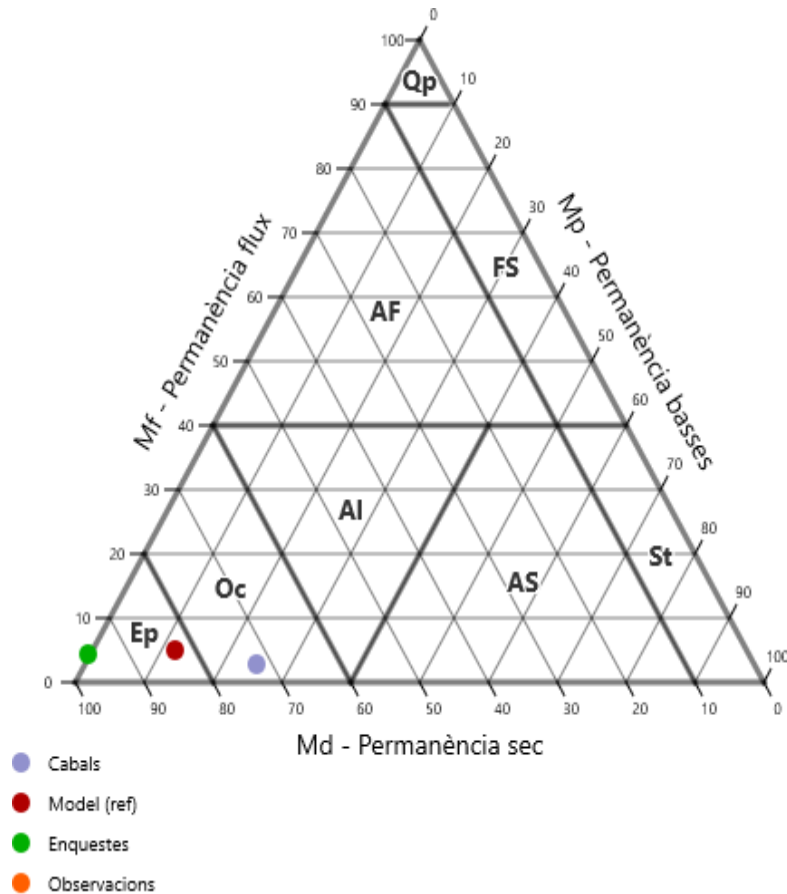


Figura N° 9.2 Hidrotipos del Barranco del Carraixet a partir de Mf, Md y Mp

9.2 Resultados de TREHS en el Rio Cervol

En los resultados del hidrotipo del Rio Cervol a partir de la permanencia de flujo y la estacionalidad, el modelo y el aforo obtienen un resultado muy cercano, mientras que con las encuestas, a pesar de obtener también un hidrotipo efímero, queda más alejada de las otras dos fuentes de información. Estos resultados se muestran en la figura 9.3.

Al obtener los hidrotipos de la segunda forma, los resultados del modelo y del aforo quedan muy cercanos, pero de esta forma el hidrotipo si cambia, pasando de ocasional, con los aforos, a alternante con el modelo; este cambio es algo mayor que el de ocasional a episódico, pero si se observa el grafico de la figura 9.4, se puede ver como el resultado obtenido con el modelo se encuentra en la línea divisoria entre ocasional y alternante, quedando muy cerca del punto del aforo.

Con estos dos resultados, se puede decir que el modelo representa de una forma adecuada el comportamiento de las masas de agua, tanto en el Barranco del Carraixet como en el Rio Cervol.

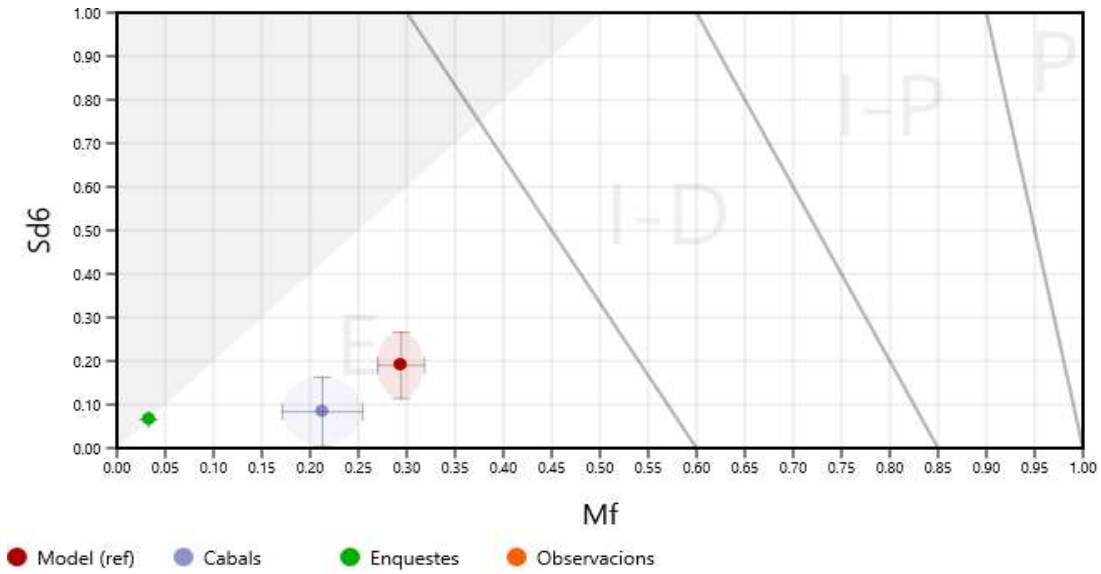


Figura N° 9.3 Hidrotipos del Rio Cervol a partir de Mf y Sd6

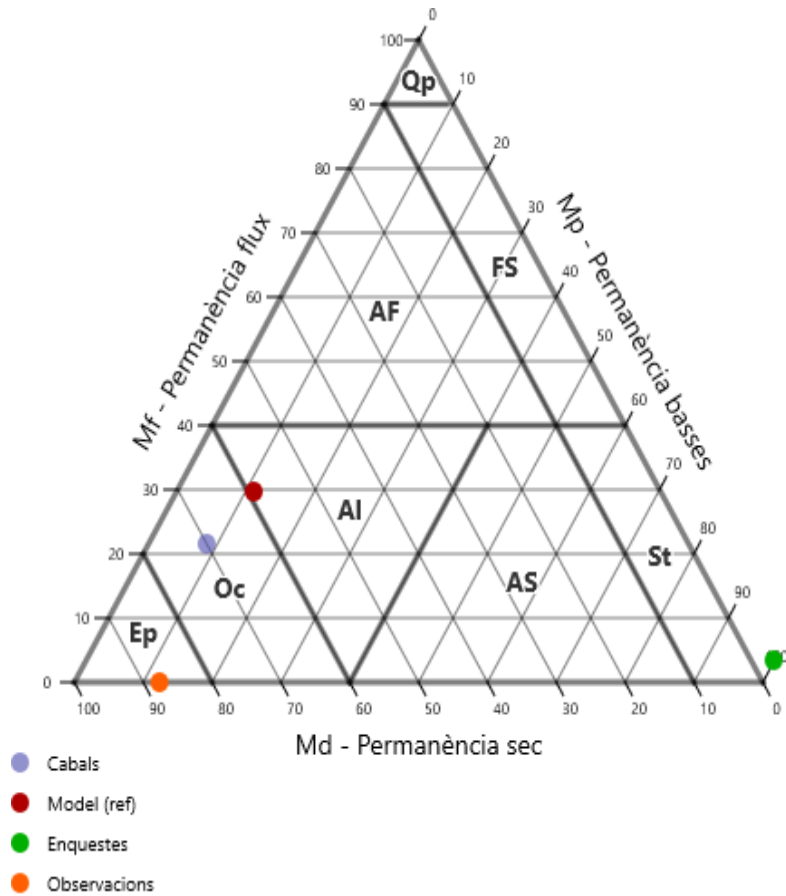


Figura N° 9.4 Hidrotipos del Rio Cervol a partir de Mf, Md y Mp



9.3 Resultados de TREHS en la Rambla de Alcalá

Los resultados de TREHS obtenidos con el modelo en la Rambla de Alcalá no se pueden comparar con datos de aforo, pero existe la posibilidad de compararlas con datos de encuestas o de observaciones directas.

En las figuras 9.5 y 9.6 se muestran los hidrotipos obtenidos con el modelo, con las encuestas y con observaciones directas a través de los dos métodos. Con el primer método los resultados con observaciones no se muestran debido a que no hay suficientes datos introducidos como para calcular la estacionalidad, por ello a pesar de que en el segundo método si se muestran resultados para esta fuente de información, sería necesario introducir más observaciones para que sea una fuente fiable de datos.

En la obtención del hidrotipo a partir de la permanencia de flujo y la estacionalidad, el modelo y las encuestas muestran el mismo hidrotipo, efímero, pero al observar el grafico, los puntos quedan bastante separados.

Al obtener el hidrotipo a partir de la permanencia de flujo, de pozas y de cauce seco, las encuestas y las observaciones marcan un hidrotipo episódico, quedando los dos puntos bastante cercanos, mientras que el punto del modelo marca un hidrotipo ocasional; como ya se ha dicho, la diferencia entre estos hidrotipos es mínima, por lo que el modelo da resultados similares a las encuestas, también se ha de tener en cuenta que las encuestas son un dato subjetivo, por lo que al no disponer de datos de aforo, y ser los resultados del modelo similares a los de las encuestas, se puede considerar que el modelo representa adecuadamente el comportamiento de la masa de agua, y la metodología empleada es correcta para evaluar el hidrotipo de masas de agua no aforadas y a partir de él, elegir la mejor forma de evaluar el estado ecológico de estas.

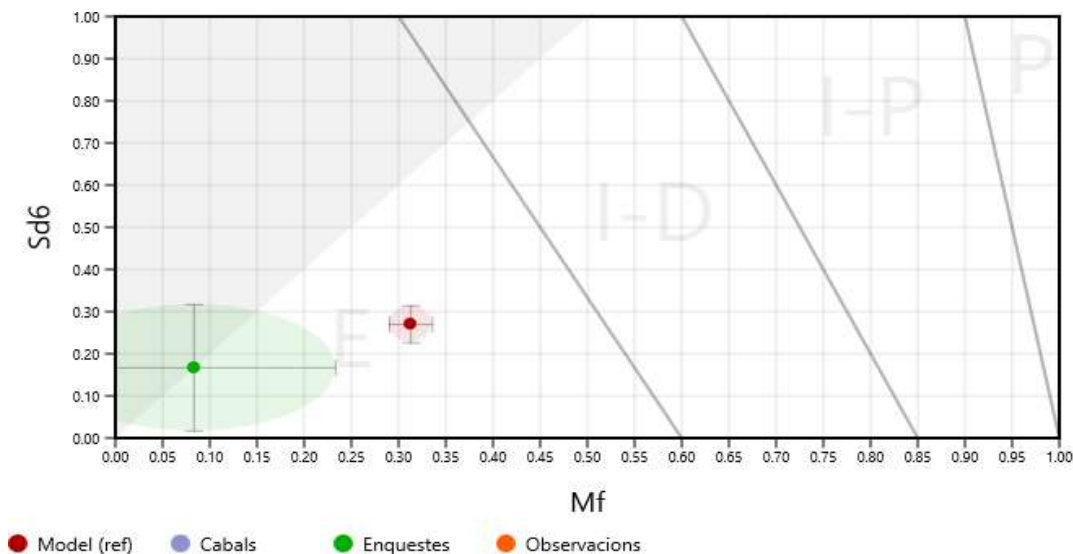


Figura N° 9.5 Hidrotipos de la Rambla de Alcalá a partir de Mf y Sd6

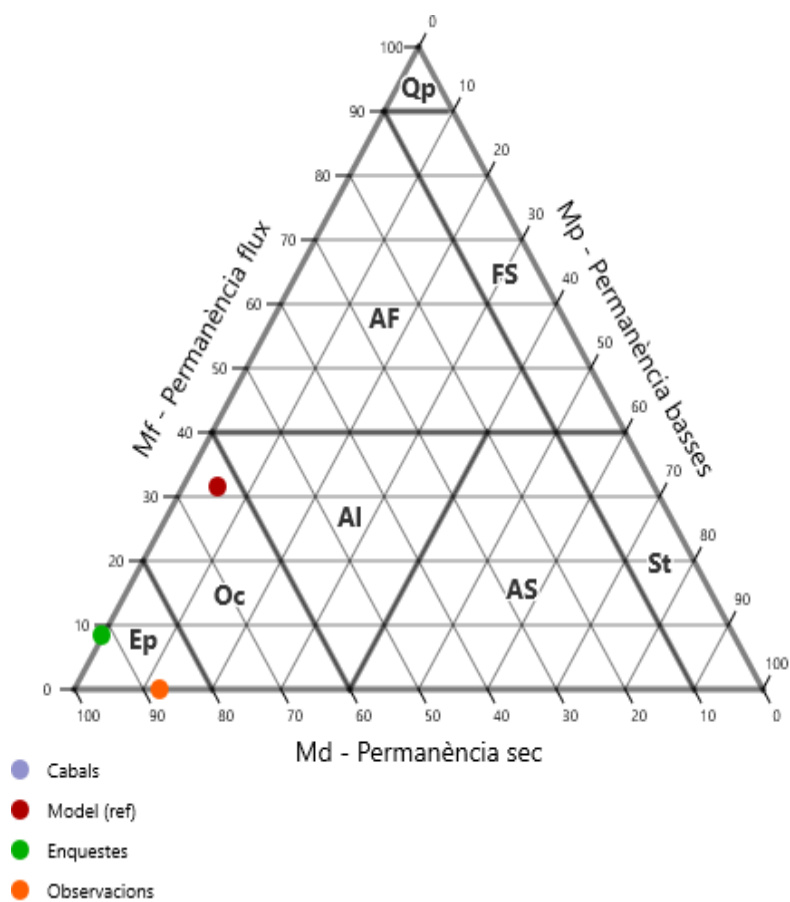


Figura N° 9.6 Hidrotipos de la Rambla de Alcalá a partir de Mf, Md y Mp



CAPITULO 10. CONCLUSIONES DISCUSIÓN

Y



En cuanto al modelo Tetis, se puede decir que, tras la introducción en el modelo de las pérdidas por transmisión en cauce, las zonas kársticas y los manantiales, se ha conseguido representar de una forma adecuada el comportamiento de las masas de agua no permanentes, ajustándose en términos de duración de caudales y permanencia de una forma adecuada a la realidad. A pesar de esto, al comparar las curvas de permanencia obtenidas con los resultados del modelo, con las obtenidas a partir de los datos de aforo, se podría decir que el modelo tiende a infravalorar el valor de los caudales altos de las estaciones de aforo, quedando la parte izquierda de la curva obtenida con el modelo por debajo de la obtenida con el aforo, esto se hace más evidente en los resultados en el Rio Cervol, ya que en el Barranco del Carraixet no es mucha la diferencia entre aforo y modelo; en cuanto a los caudales más bajos, llega un momento en el que las curvas de aforo y modelo se cruzan, y la curva del modelo pasa a estar por encima. Esto puede ser debido a que las pérdidas introducidas en los modelos son constantes, es decir, no varían según el caudal circulante, por ello una vía de investigación futura podría consistir en tratar de introducir en el modelo Tetis pérdidas variables según el caudal; otra posible explicación, esta solo para los caudales bajos, podrían ser las estaciones de aforo, ya que es posible que estas no sean capaces de medir con precisión estos caudales. A pesar de estas diferencias entre aforo y modelo, se puede marcar como cumplido el objetivo de representar de una forma adecuada el comportamiento de las masas de agua no permanentes, en todo su rango de caudales, con TETIS.

Si nos fijamos en la extrapolación realizada a las masas de agua sin estaciones de aforo, el resultado obtenido en la Rambla de Alcalá puede considerarse bueno, pero ha de tenerse en cuenta que la validación ha sido llevada a cabo a partir de encuestas; otra forma de validar los modelos en masas de agua sin aforo es a partir de observaciones puntuales, pudiendo obtenerse entre otros métodos, por imágenes de satélite o por visitas a campo periódicas. Este método requiere conocer el comportamiento de la masa de agua a modelar, ya que es necesario calibrar a partir de otra masa de agua cuyo comportamiento sea similar, y aplicar factores correctores en su caso; para saber que masas de agua se comportan de forma similar, es posible hacerlo comparando las encuestas de varias masas de agua, para ello lo más conveniente es tener varias encuestas de cada masa de agua, ya que al tratarse de una información subjetiva, es más conveniente hacer una media entre la información obtenida de varias personas con conocimiento de la masa de agua, como pueden ser vecinos que vivan cerca de esta, la guardería fluvial de la demarcación correspondiente, aficionados a la naturaleza, etc. Se ha comprobado que tanto con los factores correctores obtenidos en Carraixet, como con los obtenidos en Cervol, se representa de forma adecuada el comportamiento de la Rambla de Alcalá, por lo que se resta algo de importancia a elegir la



masa de agua más similar en su comportamiento a la masa de agua en estudio; ha de tenerse en cuenta que a pesar de tener el Barranco del Carraixet y la Rambla de Alcalá un comportamiento más similar entre ellos que con el Río Cervol, el comportamiento de este no es muy distinto, por ello no se ha de descuidar la elección de los factores correctores.

En cuanto a la aplicación TREHS, se podría concluir que los datos obtenidos con el modelo Tetis tras las modificaciones son comparables a los resultados obtenidos mediante datos de aforo, lo que permite la aplicación del modelo a ríos temporales para la definición de los hidrotipos asociados al régimen natural.

Con todo esto, se pueden dar por cumplidos los objetivos, dejando para futuros estudios la alteración hidrológica, que TREHS permite obtener comparando las diferentes fuentes de datos; también podría ser otro camino la posibilidad de aplicar la metodología de TREHS en una escala diaria, ya que es posible que en algunas ocasiones la escala mensual sea insuficiente, a pesar de ser más representativa ecológicamente (Gallart et al., 2012).



CAPITULO 11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS



Bussi, G. (2010). Calibración de un modelo conceptual distribuido del ciclo de sedimentos. Aplicación a la cuenca experimental de Goodwin Creek (EEUU). Universidad Politecnica de Valencia: Trabajo de Investigación. Departamento de Ingenieria Hidraulica y Medio Ambiente.

CHJ. (2016). Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar. <http://www.chj.es>

Cid, N., Verkaik, I., García-Roger, E., Rieradevall, M., Bonada, N., Sánchez-Montoya, M., et al. (2016). A biological tool to assess flow connectivity in reference temporary streams from the Mediterranean Basin. *Sci. Total Environ.* 540, 178–190.

Duan, Q., Sorooshian, S. y Gupta, V. K. (1994). Optimal use of the SCE-UA global optimization method for calibrating watershed models. *Journal of Hydrology*, Vol. 158, p. 265-284.

Eckhardt, K. y Arnold, J. G. (2001). Automatic calibration of a distributed catchment model. *Journal of Hydrology*, Technical note, Vol. 251, p. 103-109.

Francés, F., Vélez, J.J. et al. (2007). Split-parameter structure for the automatic calibration of distributed hydrological models. *Journal of Hydrology*, 332: 226 -240.

Gallart, F., Cid, N., Latron, J., Llorens, P., Bonada, N., Jeuffroy, J., et al. (2017). TREHS: an open-access software tool for investigating and evaluating temporary river regimes as a first step for their ecological status assessment. *Science of the Total Environment*.

Gallart, F., Prat, N., García-Roger, E.M., Latron, J., Rieradevall, M., Llorens, P., et al. (2012). A novel approach to analysing the regimes of temporary streams in relation to their controls on the composition and structure of aquatic biota. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 16, 3165–3182.

GIMHA. (2017). Descripción del modelo conceptual distribuido de simulación hidrológica TETIS. Universitat Politècnica de València.

Grayson, R. y Blöschl, G. (2001). Spatial Patterns in Catchment Hydrology. En *Spatial modelling of catchment dynamics* (págs. 51-81). Cambridge: Cambridge University Press.

Hargreaves, G. H., & Samani, Z. A. (1982). Estimating potential evapotranspiration. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, 108(3), 225–230.

Larned, S.T., Datry, T., Arscott, D.B., Tockner, K. (2010). Emerging concepts in temporary river ecology. *Freshw. Biol.* 55, 717–738.

Nikolaidis, N.P., Demetropoulou, L., Froebrich, J., Jacobs, C., Gallart, F., Prat, N., et al. (2013). Towards sustainable management of Mediterranean river basins: policy recommendations on management aspects of temporary streams. *Water Policy*, 15, 830–849.

Samani, Z. (2000). Estimating Solar Radiation and Evapotranspiration Using Minimum Climatological Data. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 126(4), 265–267.

Sorooshian, S., Duan, Q. y Gupta, V. K. (1993). Stochastic parameter estimation procedures for hydrologic rainfall-runoff models: Correlated and Heteroscedastic error cases. *Water Resources Research*, Vol. 29, Nº 4, p. 1185-1194



Tejada Espinoza, H. E. (2016). Caracterización del régimen de crecidas mediante la implementación del modelo hidrológico TETIS en la cuenca del barranco del Carraixet - Valencia.

Vélez, J. I. (2001). Desarrollo de un modelo hidrológico conceptual y distribuido orientado a la simulación de las crecidas. Universidad Politécnica de Valencia: Tesis Doctoral. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente.

Vélez, J.J. y Francés, F. (2009). Calibración automática de las condiciones iniciales de humedad para mejorar la predicción de eventos de crecida. Avances Recursos Hidráulicos.

Williams, D.D. (2006). The Biology of Temporary Waters. Oxford University Press, New York.

Yapo, P. O., Gupta, H. V., & Sorooshian, S. (1996). Automatic calibration of conceptual rainfall-runoff models: sensitivity to calibration data. Journal of Hydrology, 181(1), 23–48.