

**Trabajo Fin de Máster**  
***NFLUENCIA DE LOS CAMBIOS  
HISTÓRICOS DEL USO DEL SUELO EN  
EL RÉGIMEN HÍDRICO DEL  
BARRANCO DEL CARRAIXET***  
**Intensificación: *RECURSOS HÍDRICOS***

**Autor:**

***HUGO DAVID ALVA PRETEL***

**Director:**

***DR. FÉLIX FRANCÉS GARCÍA***

**ENERO,2017**



**UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA**

máster en ingeniería  
hidráulica y medio ambiente  
**mihma**



## Resumen del Trabajo de Fin de Máster

### Datos del proyecto

**Título del TFM en español:** INFLUENCIA DE LOS CAMBIOS HISTÓRICOS DEL USO DEL SUELO EN EL RÉGIMEN HÍDRICO DEL BARRANCO DEL CARRAIXET

**Título del TFM en valenciano:** INFLUÈNCIA DELS CANVIS HISTÒRICS DE L'ÚS DEL SÒL EN EL RÈGIM HÍDRIC DEL BARRANC DEL CARRAIXET

**Título del TFM en inglés:** INFLUENCE OF HISTORICAL CHANGES OF LAND USE IN THE WATER REGIME OF BARRANCO CARRAIXET

**Alumno:** HUGO DAVID ALVA PRETEL

**Director:** DR. FÉLIX FRANCÉS GARCÍA

**Codirector/es:** Haga clic aquí para escribir texto.

**Fecha de Lectura:** Enero, 2017

### Resumen

#### En español (máximo 2000 palabras)

La demanda, de la creciente población mundial, de materias primas para satisfacer las necesidades de la sociedad actual, ponen sobre la mesa de debate del mundo académico, cuáles serán los impactos generados en el medio ambiente por las actividades económicas. En este sentido, el mundo ahora está en zozobra por los cambios que se producen en el planeta producto de las actividades humanas. El presente trabajo continúa un trayecto de investigaciones que buscan mejorar el conocimiento de las influencias generadas en el régimen hídrico, producto de los cambios en los usos del suelo.

El caso de estudio es la cuenca del barranco del Carraixet, esta cuenca característica de la zona mediterránea, es una zona que presenta riesgos de inundación, es por eso que el estudio puede servir de base para la implementación de medidas para reducir los costos asociados a las inundaciones. El trabajo se desarrolló empleando la implementación en cuenca del barranco del Carraixet, llevada a cabo por Tejada Espinoza (2016) del modelo distribuido TETIS desarrollado por el Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente de la Universidad Politécnica de Valencia. El modelo distribuido es adecuado para introducir los cambios en los usos del suelo, ya que los parámetros son variables en el espacio.

La información cartográfica de los usos del suelo que fue empleada, procede de fuentes diferentes. Se empleó la información cartográfica procedente de Pascual Aguilar (2002) y la información cartográfica de usos del suelo procedente del proyecto Corine Land Cover. Esta información al proceder de fuentes diferentes, no contiene información homogénea para hacer la evaluación, es por eso que se llevó a cabo un proceso de unificación de leyenda para tener información homogénea que nos



permita comparar los cambios. Con la cartografía ya uniformizada, se hizo una evaluación de la evolución de los usos del suelo. A partir de la cartografía de Corine Land Cover del año 2006, que fue la empleada para calibrar el modelo, se formulan tres escenarios de cambios extremos: el primero supone que toda la cuenca está cubierta por bosque de coníferas. El segundo supone que el bosque de coníferas y el matorral esclerófilo sufren un incendio. El tercero, supone que todos los usos de cultivos son ocupados por urbano discontinuo.

Los resultados muestran que el proceso que predomina en la cuenca del barranco del Carraixet es la evapotranspiración, influyendo fuertemente en los demás procesos del ciclo hidrológico. La evapotranspiración determina la dinámica del ciclo hidrológico en la cuenca del barranco del Carraixet. Este hecho conlleva a que los cambios en los usos del suelo repercutan en todo el ciclo hidrológico.

En los eventos de crecidas, los resultados muestran un incremento marcado de los caudales al presentarse un incendio en los bosques de coníferas y el matorral esclerófilo. Esto provoca un incremento de los riesgos de inundación.

#### **En valenciano (máximo 2000 palabras)**

La demanda, de la creixent població mundial, de matèries primes per a saciar les necessitats de la societat actual, fiquen sobre la taula de debat del món acadèmic, quins seran els impactes generats en el medi ambient per les activitats econòmiques. En aquest sentit, el món ara està en sotsobra per els canvis que es produeixen en el planeta producte de les activitats humanes. El present treball continua un trajecte d'investigacions que busquen millorar el coneixement de les influències generades en el règim hídic, producte dels canvis en els usos del sòl.

El cas d'estudi és la conca del barranc del Carraixet, aquesta conca característica de la zona mediterrània, es una zona que presenta riscos d'inundació, es per això que aquest estudi pot servir de base per a la implementació de mesures per a reduir els costos associats a les inundacions. El treball es desenvolupa utilitzant la implementació en la conca del barranc del Carraixet, duta a terme per Tejada Espinoza (2016) del model distribuït TETIS desenvolupat per el Departament d'Enginyeria Hidràulica y Medi Ambient de la Universitat Politècnica de Valencia. El model distribuït es adequat per a introduir els canvis en els usos del sòl, ja que els paràmetres són variables en l'espai.

La informació cartogràfica dels usos del sòl que va ser utilitzada, procedeix de fonts diferents; per un banda es va utilitzar la informació cartogràfica procedent de Pascual Aguilar (2002) i per l'altra banda la informació cartogràfica dels usos del sòl procedent del projecte Corine Land Cover. Aquesta informació al procedir de diferents fonts, no contenen informació homogènia per a fer l'avaluació, és per això que es va dur a terme un procés d'unificació de llegenda per a tindre informació homogènia que ens permeta comparar els canvis. Amb la cartografia ja uniformitzada, es va fer una avaluació de l'evolució dels usos del sòl. A partir de la cartografia de Corine Land



Cover de l'any 2006, que va ser utilitzada per a calibrar el model, es formulen tres escenaris extrems de canvis: el primer suposa que tota la conca esta coberta de bosc de coníferes, el segon suposa que el bosc de coníferes i el matoll esclerofil•le patixen un incendi i el tercer suposa que tots els usos de cultius són ocupats per urbà discontinu.

Els resultats mostren que el procés que predomina en la conca del barranc del Carraixet és l'evapotranspiració, influint fortament en la resta de processos del cicle hidrològic. L'evapotranspiració determina la dinàmica del cicle hidrològic en la conca del barranc del Carraixet, aquest fet comporta a què els canvis en els usos del sòl repercutisquen en tot el cicle hidrològic.

En els esdeveniments de crescudes, els resultats mostren un increment marcat dels cabals al presentar-se un incendi als boscos de coníferes i al matoll esclerofil•le, comportant açò a l'increment dels riscos d'inundació.

**En inglés (máximo 2000 palabras)**

The demand, of the growth of the world population, of commodities to satisfy the current needs of the society, opens the debate in the academic realm, what will be the impact of the economic activities in the environment. Thereupon, the world is worried about the changes that are taking place on the planet result of the human activities. This project work follows an investigation path that seeks to improve the knowledge of the influence generated by the change of land use in the water regime.

The case study is the catchment of Barranco of Carraixet. This catchment, typical of the Mediterranean area, is an area that presents risk of flooding. Due to that, this case study can serve as a base for the implementation of measures to reduce costs associated with floods. This work was carried out applying the implementation of the distributed model TETIS in the catchment of Barranco of Carraixet, carried out by Tejada Espinoza (2016). The distributed model is the best to introduce the changes in the land use, this is because the parameters are variable in space.

The cartographic information of the land use that were applied, come from different sources. The cartographic information from Pascual Aguilar (2002) and the cartographic information of the land use from Corin Land Cover's project was also applied. Being from different sources, the information collected is not homogeneous for evaluation, that is why a unification process of the caption was done in order to obtain a homogeneous information that will allow us to compare changes. With the cartography now uniformed an evolutional evaluation of the land use was done. Based on Corine Land Cover's cartographic information of the year 2006, that was applied to calibrate the model, three extreme scenarios of changes are formulated: the first supposes that all the catchment is covered by a coniferous forest. The second supposes that the coniferous forest and the sclerophyll bush suffers a conflagration. The third, supposes that all the crop use are occupied a discontinued urban.

The results show that the process that prevails in the catchment of Barranco of Carraixet is the evapotranspiration. This process has a strong influence in the process



of other hydrologic cycles. The evapotranspiration determines the hydrologic cycle in the catchment of Barranco of Carraixet. This leads to changes in the land use that impacts the entire hydrologic cycle.

In the flood events, the results show a marked increment of the water level when a conflagration of the coniferous forests and sclerophyll bush are presented. This provokes an increase in the risk of flooding.

**Palabras clave en español (máximo 5):** Régimen hídrico / Uso del suelo / Balance hídrico / Eventos extremos. Water regime/ Land use/ hydric balance/ extreme events.

**Palabras clave en valenciano (máximo 5):** Règim hídric/ usos del sòl/ events extrems/ i balanç hídric.

**Palabras clave en inglés (máximo 5):** Water regime/ Land use/ hydric balance/ extreme events.



*A Dios, por su amor infinito y por haberme conducido todos estos años de mi vida,*

*A mi padre y a mi madre porque todo lo que soy es gracias a ellos,*

*Al amor de mi vida y mi bendición, Rubí, por su apoyo incondicional*

*A mis hermanos y familia por todo lo que hacen por mí.*





## **Agradecimientos**

*Primeramente debo agradecer a mi director de fin de master, Dr. Félix Francés García, ya que este trabajo no se hubiese podido realizar sin su apoyo.*

*Quiero expresar asimismo mi gratitud al Grupo de Investigación en Modelación Hidrológica y Ambiental, por todo el apoyo brindado y por su cálida acogida que tuvieron durante el desarrollo del presente trabajo.*

*Deseo de la misma manera agradecer a mis compañeros y amigos del Master en Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente, por su apoyo y por haberme alentado cada momento a seguir adelante en el camino.*

*De modo muy especial, quiero agradecer a mi familia que siempre me apoyan incondicionalmente y brindan su confianza para salir adelante.*



# INDICE

---

1	INTRODUCCIÓN .....	1
1.1	MOTIVACIÓN Y OBJETIVOS.....	2
1.2	ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO .....	3
2	USOS DEL SUELO Y RÉGIMEN HÍDRICO .....	5
2.1	LA VEGETACIÓN EN EL CICLO HIDROLÓGICO .....	6
2.2	CAMBIOS EN LOS USOS DEL SUELO Y REGIMEN HIDRICO.....	8
3	MODELO HIDROLÓGICO TETIS .....	10
3.1	MODELACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE ESCORRENTIA.....	11
3.2	MODELACIÓN DE LA PROPAGACIÓN EN CAUCES .....	13
3.3	PARAMETROS DEL MODELO .....	14
3.4	ALGORITMO DE OPTIMIZACIÓN SCE-UA PARA LA CALIBRACIÓN AUTOMÁTICA DEL MODELO TETIS	15
4	DESCRIPCIÓN DEL CASO DE ESTUDIO.....	17
4.1	CUENCA HIDROLÓGICA BARRANCO DEL CARRAIXET .....	18
4.1.1	Situación geográfica .....	18
4.1.2	Características climáticas generales.....	20
4.1.3	Topografía .....	20
4.1.4	Marco geológico .....	22
4.1.5	Marco hidrogeológico .....	24
4.1.6	Uso del suelo .....	25
4.2	INFORMACIÓN METEOROLÓGICA .....	28
4.2.1	Series de precipitación y temperatura .....	28
4.2.2	Evapotranspiración potencial.....	31
4.3	INFORMACIÓN HIDROLÓGICA.....	33
5	LA EVOLUCIÓN DE LOS USOS DEL SUELO .....	34
5.1	INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA DE LOS USOS DEL SUELO.....	35
5.2	PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA DE LOS USOS DEL SUELO .....	37
5.3	EL MOMENTO DE REFERENCIA.....	39
5.4	CAMBIOS CUALITATIVOS.....	40
5.5	CAMBIOS CUANTITATIVOS .....	49
6	ESTIMACIÓN DE PARAMETROS PARA LA MODELACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO.....	56
6.1	CÁLCULO DE LOS MAPAS DERIVADOS DEL MED .....	58
6.1.1	Modelo de elevación digital del terreno .....	58

6.1.2	Mapa de direcciones de flujo .....	59
6.1.3	Mapa de celdas drenantes acumuladas .....	60
6.1.4	Mapa de pendientes.....	61
6.1.5	Mapa de velocidades de ladera.....	62
6.2	CALCULO DE PARAMETROS DERIVADOS DE CARACTERISTICAS EDAFOLÓGICAS, HIDROGEOLOGICAS Y GEOMORFOLOGICAS .....	63
6.2.1	Capacidad de infiltración.....	63
6.2.2	Capacidad de percolación del sustrato .....	66
6.2.3	Parámetros geomorfológicos .....	68
6.3	CALCULO DE PARÁMETROS DERIVADOS DE LOS USOS DEL SUELO .....	69
6.3.1	Valores mensuales del factor de vegetación.....	69
6.3.2	Intercepción.....	73
6.3.3	Capacidad máxima de almacenamiento estático en la capa superior del suelo (Hu)...	74
6.4	CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN.....	78
6.4.1	Fase de calibración .....	78
6.4.2	Fase de validación .....	80
7	RESULTADOS.....	81
7.1	SIMULACIÓN HIDROLÓGICA.....	82
7.1.1	Simulación para el escenario de usos del suelo de 1956 .....	83
7.1.2	Simulación para el escenario de usos del suelo de 1978 .....	83
7.1.3	Simulación para el escenario de usos del suelo de 1991 .....	84
7.1.4	Simulación para el escenario de usos del suelo de 1998 .....	84
7.1.5	Simulación para el escenario de usos del suelo de 2000 .....	85
7.1.6	Simulación para el escenario de usos del suelo de 2006 .....	85
7.1.7	Simulación para el escenario de los usos del suelo asumiendo toda la cuenca como bosque de coníferas .....	86
7.1.8	Simulación para el escenario de los usos del suelo asumiendo que el bosque de coníferas y el matorral esclerófilo se incendian.....	86
7.1.9	Simulación para el escenario de los usos del suelo asumiendo que los usos de cultivos son ocupados por uso urbano discontinuo .....	87
7.2	ANÁLISIS DEL BALANCE HÍDRICO EN LA CUENCA.....	88
7.2.1	Evapotranspiración total .....	89
7.2.2	Escorrentía Directa .....	91
7.2.3	Infiltración y flujo subterráneo profundo.....	92
7.3	ANÁLISIS DE LA FRECUENCIA DE LAS CRECIDAS.....	93
7.3.1	Funciones de distribución de probabilidad .....	94

7.3.2	Método de máxima verosimilitud para el ajuste de funciones de distribución.....	95
7.3.3	Máximos anuales de caudales diarios.....	95
7.3.4	Picos por encima de un límite de caudales diarios .....	100
7.4	ANÁLISIS DE LA INTERMITENCIA .....	104
8	RESUMEN Y CONCLUSIONES .....	106
9	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	109

## LISTA DE TABLAS

Tabla 4.1. Radiación solar extraterrestre en MJ/ (m <sup>2</sup> *día), extraída del anexo 2 tablas meteorológicas del documento de la FAO.....	32
Tabla 5.1. Usos de suelo de la cartografía de los mapas de 1956, 1978, 1991 y 1998. ....	37
Tabla 5.2. Equivalencias de los usos de Pascual con los de Corine.....	38
Tabla 5.3. Reclasificación de usos de la cartografía de Pascual. ....	38
Tabla 5.4. Cartografía de Pascual adaptada a Corine.....	39
Tabla 6.1. Mapas, formato, escala original y parámetros estimados (Tejada Espinoza, 2016). ....	57
Tabla 6.2. Valores de permeabilidad adoptados en función de la categoría cualitativa (Tejada Espinoza, 2016). ....	67
Tabla 6.3. Valores adoptados para los coeficientes y exponentes. OCG (Tejada Espinoza, 2016). ....	69
Tabla 6.4. Valores mensuales del factor de vegetación según usos del suelo del tipo Corine Land Cover presentes en la cuenca del Barranco del Carraixet.....	71
Tabla 6.5. Valores de interceptación máxima para los diferentes usos del suelo. ....	73
Tabla 6.6. Valores adoptados para la profundidad de raíces de cada uso del suelo. ....	74
Tabla 6.7. Almacenamiento en charcos para los diferentes usos del suelo. ....	75
Tabla 6.8. Factores correctores obtenidos de la calibración automática, serie Spain02_V4. ....	78
Tabla 6.9. Características del evento de simulación TETIS para los factores correctores de la serie Spain02_V4.....	79
Tabla 6.10. Características del evento de simulación TETIS, validación año hidrológico 2003- 2004. .	80
Tabla 7.1. Valores de los flujos totales en (mm/año) para los diferentes escenarios de usos del suelo. ....	88
Tabla 7.2. Cambios en porcentajes respecto al momento de referencia (año 1956), de los diferentes flujos del balance en %.....	89
Tabla 7.3. Parámetros de la funciones de distribución TCEV para cada escenario de uso del suelo....	96
Tabla 7.4. Cuantiles para cada escenario de usos del suelo mediante el ajuste a la función de distribución TCEV y los porcentajes de cambio respecto al momento de referencia. ....	97
Tabla 7.5. Parámetros de la funciones de distribución Generalizada de Pareto para cada escenario de uso del suelo.....	101
Tabla 7.6. Cuantiles para los diferentes escenarios del ajuste a la función de distribución GDP.....	102
Tabla 7.7. Número de registros iguales a cero por año y porcentajes respecto al total de registros para cada escenario. ....	105

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1. Componentes del ciclo hidrológico terrestre. A) General; B) intervención de la vegetación en el ciclo (Pascual Aguilar, 2002). .....	7
Figura 3-1 Esquema conceptual de tanques a nivel de celda del modelo TETIS.....	11
Figura 3-3. Descripción esquemática de un parámetro efectivo para un flujo a través de un medio poroso heterogéneo (Grayson & Blöschl, 2001). .....	15
Figura 4-1. Ubicación del área de estudio (Tejada Espinoza, 2016).....	18
Figura 4-2. Ubicación del punto de desagüe, Puente Autovía A7 (Tejada Espinoza, 2016).....	19
Figura 4-3. Temperatura media anual, cuenca Barranco del Carraixet (Tejada Espinoza, 2016). .....	20
Figura 4-4. Temperatura media mensual, cuenca Barranco del Carraixet (Tejada Espinoza, 2016). ...	20
Figura 4-5. Curva hipsométrica y frecuencia de altitudes – Cuenca Barranco del Carraixet (Tejada Espinoza, 2016). .....	21
Figura 4-6. Mapa geológico, Barranco del Carraixet (Tejada Espinoza, 2016).....	23
Figura 4-7. Mapa hidrogeológico continuo, Barranco del Carraixet (Tejada Espinoza, 2016). .....	25
Figura 4-8. Usos del suelo de 2006 del Barranco del Carraixet según Corine Land Cover.....	27
Figura 4-9. Distribución de la rejilla de datos interpolados Spain02v4 (resolución 0.11 <sup>º</sup> ) (Tejada Espinoza, 2016). .....	29
Figura 4-10. Precipitación anual en el periodo 1971-2008 en el barranco del Carraixet. ....	30
Figura 5-1. Mapa de usos del suelo de 1956.....	41
Figura 5-2. Mapa de usos del suelo de 1978.....	42
Figura 5-3. Mapa de usos del suelo de 1991.....	44
Figura 5-4. Mapa de usos del suelo de 1998.....	45
Figura 5-6. Mapa de usos del suelo de 2006.....	48
Figura 5-7. Mapas de usos del suelo de los escenarios propuestos: A) Toda la cuenca cubierta por bosque de coníferas; B) el bosque de coníferas y el matorral esclerófilo incendiados; C) todo el cultivo como urbano discontinuo. ....	49
Figura 5-8. Porcentajes de la superficie cubierta por cada uso del suelo en 1956.....	50
Figura 5-9. Porcentajes de la superficie cubierta por cada uso del suelo en 1978.....	51
Figura 5-10. Porcentajes de la superficie cubierta por cada uso del suelo en 1991.....	52
Figura 5-11. Porcentajes de la superficie cubierta por cada uso del suelo en 1998.....	52
Figura 5-12. Porcentajes de la superficie cubierta por cada uso del suelo en 2000.....	54
Figura 5-13. Porcentajes de la superficie cubierta por cada uso del suelo en el escenario de incendio. ....	55
Figura 5-14. Porcentajes de la superficie cubierta por cada uso del suelo en el escenario de uso urbano discontinuo. ....	55
Figura 6-1. Mapa del modelo de elevación digital del terreno, Barranco del Carraixet (Tejada Espinoza, 2016). .....	59
Figura 6-2. Direcciones de flujo según ArcGIS (Tejada Espinoza, 2016). .....	59
Figura 6-3. Direcciones de Flujo, Barranco del Carraixet (Tejada Espinoza, 2016). .....	60
Figura 6-4. Mapa de celdas drenantes acumuladas, Barranco del Carraixet (Tejada Espinoza, 2016). ..	61
Figura 6-5. Mapa de pendientes, Barranco del Carraixet (Tejada Espinoza, 2016). .....	62
Figura 6-6. Mapa de velocidad de ladera, Barranco del Carraixet (Tejada Espinoza, 2016).....	63
Figura 6-7. Mapa capacidad de infiltración Ks para la cuenca del barranco del Carraixet (mm/h).....	64
Figura 6-8. a) Mapa de capacidad de infiltración del escenario que los cultivos pasan a ser urbano discontinuo; Mapa de capacidad de infiltración de: b) 1956, c) 1978, d) 1991, e) 1998, f) 2000. ....	65
Figura 6-9. Mapa de capacidad de infiltración del 2006. ....	66
Figura 6-10. Mapa Conductividad hidráulica del acuífero Kp (mm/h) (Tejada Espinoza, 2016).....	68



Figura 6-11. Distribución mensual del factor de vegetación según usos del suelo. ....	72
Figura 6-12. Mapa de almacenamiento Estático.....	76
Figura 6-13. Mapa de almacenamiento estático de: a) 1956, b) 1978, c) 1991, d) 1998, e) 2000, f) escenario de toda la cuenca cubierta por bosque de coníferas, g) escenario de todo el bosque de coníferas y el matorral esclerófilo incendiados y h) escenario de todos los cultivos como urbano discontinuo.....	77
Figura 6-15. Hidrograma resultante de la simulación con la serie Spain02_V4, validación año hidrológico -2004. ....	80
Figura 7-1. Simulación para los usos del suelo de 1956.....	83
Figura 7-2. Simulación para los usos del suelo de 1978.....	83
Figura 7-3. . Simulación para los usos del suelo de 1991.....	84
Figura 7-4. . Simulación para los usos del suelo de 1998.....	84
Figura 7-5. . Simulación para los usos del suelo del año 2000.....	85
Figura 7-6. Simulación para los usos del suelo del año 2006.....	85
Figura 7-7. Simulación para el escenario de toda la cuenca cubierta por bosque de coníferas.....	86
Figura 7-8. Simulación para el escenario en el que el bosque de coníferas y el matorral esclerófilo se incendian.....	87
Figura 7-9. Simulación para el escenario en el que los cultivos pasan a ser uso urbano discontinuo..	87
Figura 7-10. Cambios en los flujos para los distintos escenarios.....	89
Figura 7-11. Variación de la evapotranspiración con los diferentes escenarios.....	90
Figura 7-12. Variación de la escorrentía directa para los escenarios de usos del suelo.....	91
Figura 7-13. Esquema de almacenamiento sobre la superficie de la ladera (Francés et al., 2012).....	92
Figura 7-14. Variación de la infiltración y el flujo subterráneo profundo para los escenarios de usos del suelo.....	93
Figura 7-15. Máximo caudal de toda la serie simulada para cada escenario y los cuantiles de 5 y 50 años.....	98
Figura 7-16. Ajuste de la función de distribución TCEV y empírica para los escenarios históricos de usos del suelo.....	99
Figura 7-18. Serie de tiempo de picos por encima de un límite (Frcés, 2015).....	101
Figura 7-19. Ajuste de la función de distribución GDP y función de distribución empírica, para los escenarios históricos de usos del suelo.....	103
Figura 7-20. Ajuste de la función de distribución GDP y función de distribución empírica, para los escenarios extremos de usos del suelo.....	104
Figura 7-21. Representación de los valores iguales a cero en la serie aforada SAIH y los valores de la simulación del periodo de calibración.....	105

# 1 INTRODUCCIÓN

---

## 1.1 MOTIVACIÓN Y OBJETIVOS

A lo largo de la historia de la humanidad, el agua es el recurso fundamental en el que se basa nuestra supervivencia; es por eso que el hombre, desde épocas muy tempranas, busca un mejor entendimiento de su comportamiento para asegurar así su supervivencia. Si bien el ciclo hidrológico y cada uno de los procesos que lo componen son muy complejos, el ser humano ha ido desarrollando conocimientos acerca de su comportamiento; es así que ahora hay una serie de teorías que describen de manera muy precisa los fenómenos involucrados en el ciclo, pero la complejidad y a veces la imposibilidad de aplicar las teorías nos lleva a seguir esforzándonos en el afán de conocer mejor el sistema, así como los procesos que lo componen.

El desarrollo económico conlleva el desarrollo de determinadas actividades tales como agricultura, minería, construcción, etc. En vista de que el desarrollo económico a lo largo de la historia genera muchos problemas sociales y ambientales, se desarrollan conocimientos que nos lleven a una mejor comprensión de la naturaleza, esto nos permitirá tener una herramienta de decisión y así garantizar la mejor solución para el desarrollo de la comunidad. El conocimiento de la influencia que tienen los cambios de los usos del suelo, estos en su mayoría dictados por el desarrollo económico, sobre el régimen hídrico; nos permitirá llevar a cabo una ordenación del territorio que nos evite lo mejor posible posibles impactos tanto a las comunidades como al medio ambiente.

Una de las consecuencias del cambio climático, es que la vegetación esta que cambia a nivel mundial; si bien se desarrollan estudios de como el cambio climático esta que afecta el ciclo hidrológico, es necesario conocer también como los cambios en la vegetación influyen en el régimen hídrico, ya que al entender mejor como responde el sistema hidrológico frente a los cambios de la vegetación, nos permitirá tomar medidas para mitigar los impactos causados por el cambio climático.

El barranco del Carraixet, que es el área en la que se enmarca el presente estudio, es una cuenca que presenta características climáticas mediterráneas. El clima mediterráneo presenta eventos de crecidas que pueden ser muy catastróficos como los registrados en septiembre de 1949, octubre de 1950, octubre de 1957 y octubre del año 2000. Al igual que muchas ramblas mediterráneas, la del Carraixet tiene asentamientos urbanos en las llanuras de inundación, configurando así un alto riesgo de producirse catástrofes que conlleven un costo social como económico. Se hace necesario conocer como varia la respuesta hidrológica de la cuenca, ante los cambios en los usos del suelo.

El presente trabajo tiene como objetivo general la evaluación de la influencia que tienen los cambios de los usos del suelo en el régimen hídrico. Para evaluar la influencia se empleará el modelo distribuido TETIS, implementado por Tejada Espinoza (2016), en la cuenca del barranco del Carraixet. El modelo por ser distribuido y por la incorporación de gran parte de los procesos involucrados en el ciclo hidrológico, nos permitirá llevar a cabo una mejor evaluación de impactos producidos en el régimen hídrico por diferentes cambios en los usos del suelo.

Para poder desarrollar el objetivo general de manera satisfactoria, se desarrollara los siguientes apartados:

- I. Evaluación de los cambios históricos de los usos del suelo, así como también de los cambios que se producen al suponer escenarios extremos.
- II. La evaluación de los cambios en el balance de la cuenca, generados por los cambios de los usos del suelo.
- III. Análisis de frecuencia de crecidas para los diferentes usos históricos del suelo y de los escenarios extremos, para determinar la influencia que tienen estos cambios en los eventos de crecidas.
- IV. Evaluar la influencia de los cambios de los usos del suelo en la intermitencia de la cuenca del barranco del Carraixet.

## 1.2 ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO

En este apartado se desarrollara una breve descripción de los ocho capítulos del presente trabajo, esto con el fin de presentar una perspectiva general de la estructura del trabajo.

En el capítulo 1 se presenta la introducción general del trabajo, en el cual se explican los motivos que llevaron a la realización del presente trabajo.

En el capítulo 2 se presenta un marco conceptual acerca de las relaciones que existen entre los usos del suelo y el régimen hídrico. Se describe el rol de la vegetación en el ciclo hidrológico; por otro lado, se presenta como afectan algunos cambios de la cobertura superficial, diferentes a los de la vegetación, en el ciclo hidrológico.

Se presenta un resumen del modelo hidrológico distribuido TETIS en el capítulo 3, mostrando como se integran los parámetros del modelo; también se describe el algoritmo de optimización que emplea el modelo TETIS para la calibración.

En el capítulo 4 se realiza una descripción de la cuenca que es el caso de estudio del presente trabajo. Se hace una descripción de la cuenca del barranco del Carraixet; su ubicación, topografía, la geología y los usos del suelo usados en la calibración. Se describe la información hidrometeorológica del caso de estudio.

En el capítulo 5 se describe los trabajos que se realizaron para preparar la información cartográfica, así como la descripción de la evolución de los usos del suelo.

El capítulo 6 trata sobre la estimación de parámetros iniciales que el modelo necesita, para determinar los parámetros efectivos del modelo.

En el capítulo 7 se presentan los resultados que son: las series simuladas, resultados del balance hídrico de la cuenca, análisis de frecuencia de crecidas y por último el análisis de la intermitencia del sistema fluvial.

Finalmente en el capítulo 8 se presenta un breve resumen del trabajo y las conclusiones a las que nos conduce.

## 2 USOS DEL SUELO Y RÉGIMEN HÍDRICO

---

En el presente capítulo, se muestra una visión general del rol que tiene la vegetación en el ciclo hidrológico. Es preciso conocer como la vegetación interviene en cada uno de los procesos del ciclo hidrológico, ya que es una herramienta de apoyo en la estimación de los parámetros que son influenciados por los cambios de los usos del suelo. Los diferentes estudios que existen sobre los procesos que están influenciados por la vegetación o de manera más general la cubierta superficial, nos servirán de referentes para poder establecer las relaciones entre los cambios en el régimen hídrico y los cambios en los usos del suelo.

## 2.1 LA VEGETACIÓN EN EL CICLO HIDROLÓGICO

La vegetación constituye un elemento fundamental del ciclo hidrológico (Dingman, 1994), ya que interviene en varios de los procesos que lo conforman. Situada entre la fase aérea (atmosfera) y terrestre del ciclo, la cubierta vegetal es uno de los principales participantes (junto con la precipitación, topografía, etc.) en la recarga de los suelos y la formación de escorrentía (Pascual Aguilar, 2002).

Según Pascual Aguilar (2002), la vegetación introduce un subciclo con una doble dirección (Figura 3-1). La vegetación interviene tanto en la propia dinámica del agua, como también sus propias necesidades de consumo. En la parte atmosférica del ciclo la vegetación interviene en el movimiento del agua, modificando la precipitación que incide en el suelo; la vegetación divide la precipitación en tres componentes; intercepción, trascolación y la escorrentía cortical.

La trascolación es la cantidad de agua que alcanza directamente el suelo a través de los claros dejados por la vegetación, o lo hace por goteo de hojas, yemas, ramas, ramillas, etc. La escorrentía cortical es el flujo del agua a través de las partes que componen la planta, para así al final llegar a la superficie del suelo.

La intercepción se define como la fracción de precipitación incidente que no llega a la superficie del suelo ni por trascolación ni por escorrentía cortical (Kittredge, 1948). La intercepción así considerada incluye, por una parte, la escorrentía cortical que no alcanza el suelo y, por otra, el agua que se evapora desde la cubierta durante la precipitación y la que sirve para saturar las copas de los árboles evaporándose después de la precipitación o que es parcialmente absorbida por la propia vegetación.

(González Hernández, López Arias, & Minaya Gallego, 1993).

El agua interceptada por la vegetación vuelve a la atmosfera como vapor de agua al ser evaporada de las hojas, ramas y tallos de las plantas. Los factores que controlan las pérdidas son: tipo de precipitación, disponibilidad de energía calorífica, la intensidad del viento y la capacidad de almacenaje de las plantas. Pero la vegetación, además de reducir la entrada de agua, también capta precipitaciones mediante la trascolación y el flujo cortical. Su importancia radica, por la redistribución de la lluvia que realizan, en los volúmenes aportados al suelo; induciendo a pensar en la adaptación de las especies vegetales como mecanismos colectores, canalizadores y almacenadores de agua. Son las especies herbáceas y arbustivas netamente

mediterráneas las que mayor volumen de escorrentía cortical canalizan hacia la base e inmediaciones del tronco (Pascual Aguilar, 2002).

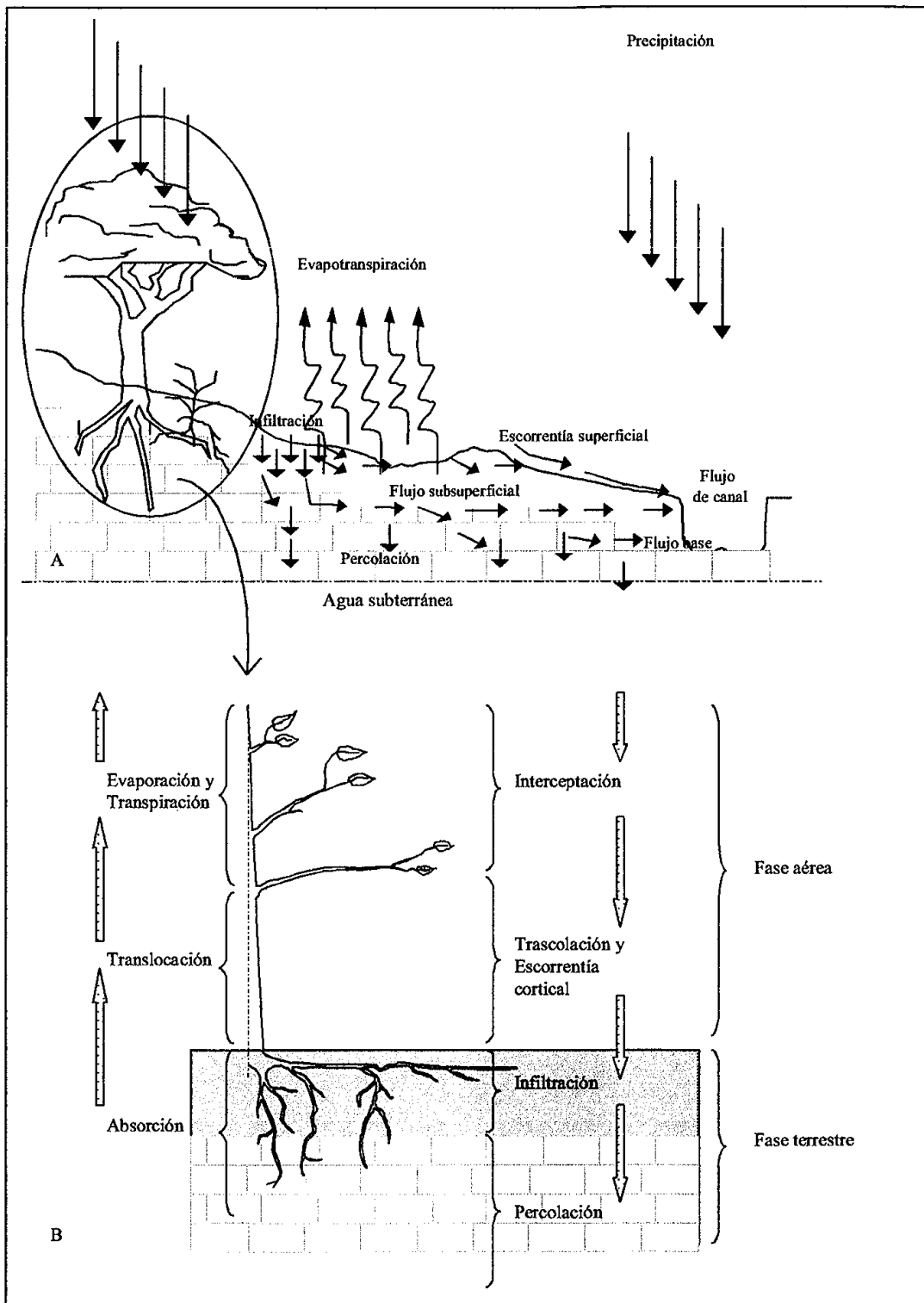


Figura 2-1. Componentes del ciclo hidrológico terrestre. A) General; B) intervención de la vegetación en el ciclo (Pascual Aguilar, 2002).



En la fase terrestre del ciclo hidrológico, la vegetación modifica la precipitación que alcanza la superficie del suelo y por otra también altera la infiltración del agua en el suelo, entendiéndose por infiltración el proceso mediante el cual el agua penetra desde la superficie del terreno hacia el suelo (Chow, Maidment, & Mays, 1994). La infiltración es un proceso altamente variable tanto en el espacio como en el tiempo; esta variabilidad viene determinada por factores como la precipitación, la conductividad hidráulica del suelo, la humedad del suelo, pendiente y rugosidad del terreno, características químicas del suelo y del agua (Dingman, 1994).

“La vegetación produce una alteración en algunas de las propiedades del suelo y de la superficie, el aumento de la permeabilidad y la capacidad de infiltración de los suelos por la presencia de raíces y aumento de la macroporosidad” (Greenway, 1987).

Faulkner (citado por Pascual Aguilar, 2002), demuestra la estrecha relación entre densidad de cubierta vegetal y tasa de infiltración; En sus experimentos, llevados a cabo en áreas semiáridas de Estados Unidos, las tasas de infiltración disminuyen con la reducción del porcentaje de cubierta vegetal; llegando en ocasiones a ser el doble en cubiertas del 100% que en las que no presentan porcentajes mayores al 39%.

Por último la componente biológica de la vegetación en el ciclo hidrológico es un elemento importante del ciclo, aproximadamente el 70% de la precipitación que incide sobre la superficie retorna a la atmosfera por los fenómenos de evapotranspiración, esto es de considerable importancia en los recursos hídricos (Raudkivi, 1969). Por tanto, la transpiración también afecta a la humedad de los suelos, a su contenido de humedad inicial y a la formación de escorrentía; Sus efectos son la disminución de los picos de crecida y los volúmenes de descarga (Viles, 1990).

## 2.2 CAMBIOS EN LOS USOS DEL SUELO Y REGIMEN HIDRICO

La naturaleza por si sola mantiene un equilibrio entre sus diferentes componentes; dentro de ese equilibrio, se produce algunos cambios de manera natural que modifican sus distintos componentes. En lo que a los elementos del ciclo hidrológico respecta, estos van cambiando en el tiempo de manera natural, pero el creciente aumento de la población introduce nuevos agentes de cambio, estas alteraciones antrópicas cada vez cobran mayor importancia por la creciente demanda de recursos por parte de la población.

Lambin (1998) distingue tres tipos de cambios introducidos en los ecosistemas por las actividades humanas: (1) la transformación de la cubierta superficial con procesos de alteración radical de lo existente como la deforestación, la urbanización y los abancalamientos; (2) la degradación de la superficie, sujeta a procesos como la erosión, salinización, contaminación de los suelos, etc. y (3) la intensificación de los usos del suelo, mediante la introducción de nuevas técnicas de cultivo como la irrigación, la utilización intensiva de fertilizantes o la integración de diferentes actividades productivas.

Es conocido que los cambios en las prácticas agrarias, como la extensión o introducción de los cultivos de regadío, así como la creciente expansión de la superficie urbanizada, generan incrementos en la demanda de agua y afectan al ciclo hidrológico (infiltración, recarga de acuíferos, etc.); influyendo en la producción de escorrentía y en la calidad de las aguas (García, Belmonte, & Bellés, 2007).

Los cambios en la cobertura por incendios o deforestación también producen ajustes en la hidrología de la cuenca. Como consecuencia de la desaparición del almacenaje evaporativo de interceptación y de la drástica reducción de la transpiración vegetal, se produce un aumento del agua contenida en los suelos e incrementos considerables de los volúmenes de caudal (Bari, Smith, Ruprecht, & Boyd, 1996).

### 3 MODELO HIDROLÓGICO TETIS

---

El modelo TETIS, desarrollado por el Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente, es un modelo de simulación hidrológica distribuida. El modelo en principio realiza simulación hidrológica en cuencas naturales, pero también simula el efecto de los embalses y del riego agrícola.

El modelo TETIS es un modelo conceptual que considera los procesos físicos de interceptación, detención, infiltración, evapotranspiración, fusión de nieve, percolación, recarga del acuífero, escorrentía directa, interflujo y flujo base (Vélez Upegui & García, 2008).

El modelo 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, Montoya, & Francés, 2010).

### 3.1 MODELACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE ESCORRENTIA

El modelo se basa en esquemas conceptuales en cada celda, el cual está compuesto por seis tanques de almacenamiento y seis nudos, se puede ver en la figura 4-1. En cada celda el modelo realiza un balance de masa para cada intervalo de tiempo.

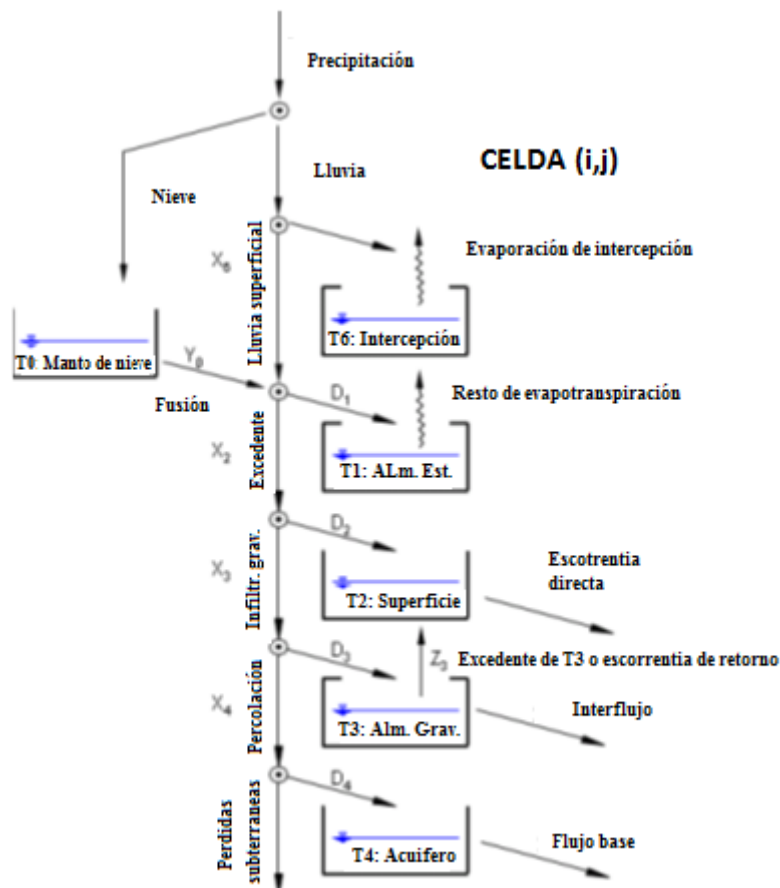


Figura 3-1 Esquema conceptual de tanques a nivel de celda del modelo TETIS.

La precipitación; si la temperatura del aire es menor que la temperatura base ( $T_b$ ), cuyo valor se encuentra en torno a  $0^\circ\text{C}$ , entra al tanque  $T_0$  que es el almacenamiento del manto de nieve; de lo contrario la precipitación entra a la celda en forma de lluvia. En el tanque de intercepción se realiza un balance, y pasa el agua que ya no puede ser interceptada después que el almacenamiento máximo en el intervalo de tiempo ha sido alcanzado. La única forma que el agua sale del tanque de intercepción es por evaporación (Francés, Vélez, Munera, Medici, & Busii, 2012).

En el tanque estático se hace una simplificación, toda el agua que llega entra al tanque estático hasta que su máxima capacidad de almacenamiento ( $H_u$ ) haya sido superada, entonces el agua recién pasa al tanque  $T_2$  de superficie. El almacenamiento estático pierde agua por evapotranspiración, que es la evapotranspiración potencial afectada por un coeficiente de vegetación que es variable a lo largo del año.

En los tanques de almacenamiento  $T_2$ ,  $T_3$  y  $T_4$  hay una conexión tridimensional de cada celda con las celdas contiguas (Figura 4-2); en el tanque de almacenamiento en superficie se produce escorrentía directa, en el tanque de almacenamiento gravitacional se produce inteflujo y en el tanque que representa el acuífero se produce el flujo base; estos flujos siguen las direcciones de flujo que genera el modelo de elevación digital del terreno.

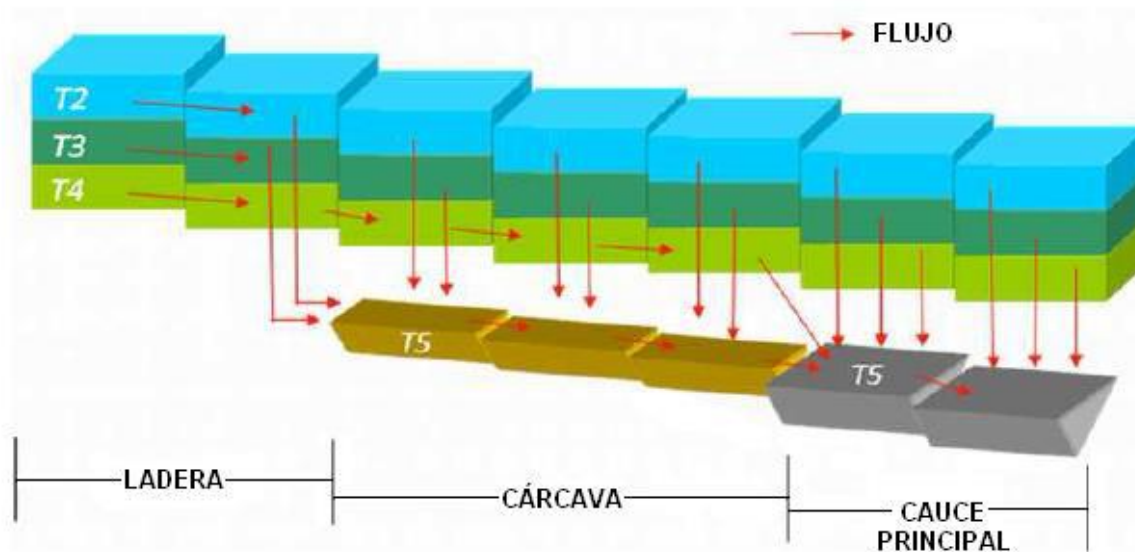


Figura 3-2. Movimiento horizontal propuesto por el modelo TETIS (simplificación 2D) (Francés et al., 2012).

En Tetis podemos diferenciar tres elementos diferentes por los cuales transita el flujo superficial. El primero es la ladera la cual se representa como un canal equivalente en cada celda y para la velocidad del flujo en ladera se consideran distintas posibilidades. Una de ellas es asumir que la velocidad es estacionaria y constante sobre toda la cuenca y determinar como parámetro del modelo un valor entre 1 y 0.01 m/s. Otra posibilidad es definir que la velocidad del flujo es estacionaria pero diferente en las distintas celdas de acuerdo a la pendiente  $S_0$  (Francés et al., 2012).

El segundo elemento que se diferencia es la cárcava, la cual transita toda el agua que viene de la escorrentía directa y el interflujo. Cuando se supera el área drenada acumulada del interflujo, este pasa a ser flujo superficial.

El tercer elemento es el cauce principal; al cual se conectan tanto interflujo, escorrentía directa y flujo base. El cauce se inicia una vez el flujo base entre en la celda para la cual el área drenada acumulada del flujo base es mayor. El tránsito en el cauce principal se explicara en el siguiente apartado.

### 3.2 MODELACIÓN DE LA PROPAGACIÓN EN CAUCES

El modelo que TETIS emplea para la propagación del flujo en cauces es el de la onda cinemática geomorfológica; el modelo de onda cinemática es una simplificación de la ecuación de Saint-Venant, en la que se asume como su nombre lo dice, que no se toma en cuenta la aceleración y las fuerzas de presión, luego el movimiento se describe principalmente por la ecuación de la continuidad (Chow et al., 1994). Por otra parte la forma de la sección de flujo en cada uno de los elementos que conforman la red de drenaje puede obtenerse a partir de relaciones de geometría hidráulica previa validación de sus parámetros (Ramírez Solano, 2012).

La forma de la sección de flujo en cada uno de los elementos que conforman la red puede obtenerse a partir de las relaciones de geometría hidráulica previa validación de sus parámetros en la región (Francés et al., 2012). Leopold y Maddock (1953) propusieron unas relaciones potenciales entre los elementos de la geometría hidráulica (ancho  $w$ , profundidad  $y$ , velocidad  $v$ ) y el caudal a través de una sección del cauce de la siguiente manera:

$$y = bQ^\beta$$

$$w = cQ^\varepsilon$$

$$v = pQ^\lambda$$

En donde  $b$ ,  $c$ ,  $p$ ,  $\beta$ ,  $\varepsilon$  y  $\lambda$  son constantes. De acuerdo a fuertes evidencias empíricas se han determinado dos grupos de valores para estos coeficientes y exponentes que han sido denominados “para la estación” y “para aguas abajo” (Francés et al., 2012). Los valores para aguas abajo indican la variación de la geometría hidráulica a lo largo del cauce, mientras que los valores para la estación nos dan la geometría de diferentes caudales en una misma sección del cauce.

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  $\Lambda$ , de la siguiente manera:

$$Q_b = k\Lambda^\varphi$$

Los parámetros  $k$  y  $\varphi$  son constantes de validez regional. En distintas regiones del mundo donde se ha analizado esta expresión se han obtenido valores para el exponente  $\varphi$  entre 0.65

y 0.80. Leopold, Wolman y Miller proponen como valor promedio de gran aplicabilidad 0.75 (Francés et al., 2012).

El modelo emplea nueve parámetros geomorfológicos, usando primero la relación del caudal a sección llena y el área drenada acumulada hasta ese punto ( $\Lambda$ ); por otro lado usa la relación del ancho a sección llena y el caudal a sección llena:

$$w = c_1 Q^{\varepsilon_1}$$

La siguiente relación es entre el ancho y el caudal en cualquier instante de tiempo:

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

Donde el coeficiente  $c_2$  puede determinarse al momento de hacer q el caudal que pasa la sección sea el caudal a sección llena.

El modelo también emplea la relación entre el diámetro característico del sedimento  $d$ , la pendiente del cauce  $S_0$  y el calado  $y$ . Siendo  $c_d$  el coeficiente y  $\theta$  el exponente, según la siguiente expresión (Francés et al., 2012):

$$d = c_d \cdot (y S_0)^\theta$$

Por último la relación entre el coeficiente de rugosidad  $n$  y el diámetro característico del sedimento  $d$ :

$$n = c_n d^\xi$$

Siendo  $c_n$  el coeficiente y  $\xi$  el exponente.

### 3.3 PARAMETROS DEL MODELO

Los parámetros caracterizan a un sistema, son necesarios para ajustar un modelo hidrológico a la realidad observada. En términos generales, los parámetros pueden o no permanecer constantes en el tiempo. Sin embargo los referidos al medio físico (tales como los vinculados con la litología y los suelos) son comúnmente considerados como temporalmente constantes (Puricelli, 2003).

TETIS no usa parámetros medidos puntualmente, ya que estos no son representativos del toda la superficie de la celda; es por eso que el modelo calibra el parámetro, manteniendo la distribución espacial del valor físico, este valor que adquiere es un valor medio para toda la celda (Figura 3). 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 et al., 2010).

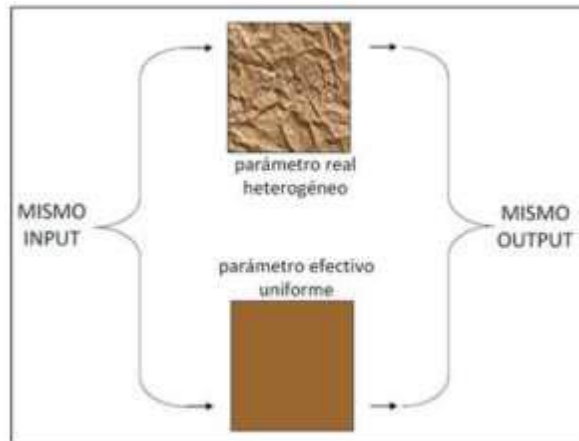


Figura 3-3. Descripción esquemática de un parámetro efectivo para un flujo a través de un medio poroso heterogéneo (Grayson & Blöschl, 2001).

El valor medido, es decir la estimación inicial del parámetro, representa la variabilidad espacial del medio y también tiene sentido físico. Es razonable suponer que el factor corrector sea común para todas las zonas de la cuenca, o al menos para un número limitado de regiones dentro de la cuenca; guardando en general el patrón de su distribución. Además, siendo todas las celdas del mismo tamaño, los efectos de escala son iguales para toda la cuenca. La ecuación que describe la estructura del parámetro efectivo es la siguiente:

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

donde  $\theta_{i,j*}$  es el parámetro efectivo  $i$ -enésimo para la celda  $j$ ,  $R_i$  es el factor corrector del parámetro  $i$ , común para todas las celdas,  $\theta_{i,j}$  es el parámetro estimado para la celda  $j$ ,  $n$  es el número total de celdas y  $p$  es el número total de parámetros por celda (Ramírez Solano, 2012).

### 3.4 ALGORITMO DE OPTIMIZACIÓN SCE-UA PARA LA CALIBRACIÓN AUTOMÁTICA DEL MODELO TETIS

“Algunos de los parámetros del modelo hidrológico pueden ser medidos o calculados con aceptable precisión, pero otros deben ser estimados debido a la imposibilidad técnica o económica de medirlos, o bien porque representan una abstracción de la realidad. El proceso de estimación de los valores más adecuados de los parámetros para el funcionamiento del modelo hidrológico, se denomina calibración” (Alonso & Bertoni, n.d.).

El algoritmo automático de optimización “Shuffled Complex Evolution - University of Arizona”, SCE-UA (Q. Duan, 1991; Q. Y. Duan, Gupta, & Sorooshian, 1993; Yapo, Gupta, & Sorooshian, 1996) es el que usa TETIS para calibrar los parámetros, este algoritmo de optimización busca la combinación de parámetros que minimicen una determinada función objetivo. En el caso de TETIS por el momento se trata de ajustar al máximo los caudales simulados con el observado; para eso el modelo trabaja con en error cuadrático medio, RMSE, el cual es la función objetivo la cual el algoritmo busca minimizar.



Conforme lo establecen sus autores (Duan et al., 1992), el método SCE-UA es una estrategia de optimización global diseñada para ser efectiva y eficiente frente a un amplio espectro de problemas. La estrategia SCE-UA combina las fortalezas del método local Simplex de Nelder y Mead, con los conceptos de búsqueda aleatoria controlada, evolución competitiva, y el novedoso concepto de mezcla compleja. (Alonso & Bertoni, n.d.)

Para la calibración el modelo usa el RMSE mientras que para validar el modelo se emplea el índice de eficiencia de Nash y Sutcliffe (1970). A continuación se presentan las expresiones de ambas funciones:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - Q_{i,sim})^2}{n}}$$
$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - Q_{i,sim})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i - Q_{med})^2}$$

$Q_{i,sim}$  es el caudal simulado,  $Q_i$  el caudal observado,  $Q_{med}$  el valor medio de los caudales observados y  $n$  el número de observaciones.

## 4 DESCRIPCIÓN DEL CASO DE ESTUDIO

---

En este capítulo se hará una descripción cualitativa de las principales características de la cuenca, de manera específica las que determinen el comportamiento hidrológico y geomorfológico de la cuenca, ya que el modelo trabaja con parámetros hidrológicos para la producción de escorrentía y con parámetros geomorfológicos para la propagación en los cauces. Esta caracterización se usó por Tejada Espinoza (2016) para la estimación de parámetros en la implementación del modelo TETIS en la cuenca del Barranco del Carraixet.

## 4.1 CUENCA HIDROLÓGICA BARRANCO DEL CARRAIXET

### 4.1.1 Situación geográfica

La cuenca en estudio se encuentra situada en la provincia de Valencia, en concreto perteneciente a la cuenca del Barranco del Carraixet, ubicada entre el río Turia y Palancia. Nace en la Sierra Calderona a una altura aproximada de 900 m con una extensión de 248.65 Km<sup>2</sup>.

El cauce principal tras un recorrido de 52 Km alcanza la desembocadura en el mar Mediterráneo, en las inmediaciones de la ermita deis Peixets de Alboraiia (al norte de la ciudad de Valencia) (Camarasa Belmonte, 1991). Este trabajo se basa en el modelo TETIS implementado por Tejada Espinoza (2016), en el cual se toma un área de estudio de 248.65 km<sup>2</sup>; la longitud del cauce del área de estudio es de aproximadamente 35 km (Figura 4-1).

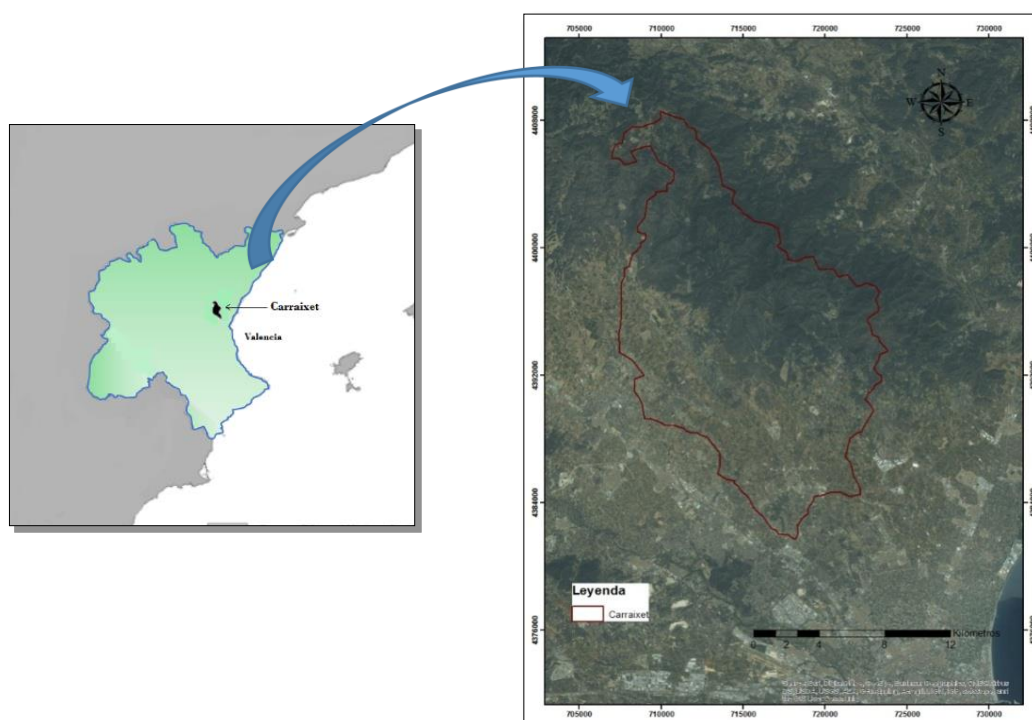


Figura 4-1. Ubicación del área de estudio (Tejada Espinoza, 2016).

Según Pascual Aguilar (2002) el área está dividida en tres sectores de relieve, “ligados también a la distribución litológica y red de drenaje: (1) al oeste, la montaña, sobre rocas consolidadas mayoritariamente calizas, dolomías y areniscas, (2) las zonas de transición o piedemonte, sobre materiales cuaternarios del Pleistoceno (el sector de glaciares) y (3) al este, los llanos, compuestos por materiales cuaternarios sueltos” (Pascual Aguilar, 2002).

Para el presente estudio se tomaron todas las acotaciones del área de estudio que se realizó en la implementación del modelo TETIS en la cuenca, en esta área de estudio el punto de desagüe de la cuenca está en la intercepción del cauce del Barranco del Carraixet y la autovía mediterránea (A7), con coordenadas UTM 4384546, 722023. La representación del punto de desagüe se muestra en la Fig. 4-2. Los criterios para la elección de este punto geográfico según Tejada Espinoza (2016), “es porque se ha evidenciado a través de imágenes satelitales y fotografías hechas en campo, que en los alrededores de dicho punto se presenta una formación de un abanico aluvial, donde se han iniciado y puede volver a iniciarse los procesos de desbordamiento, a esto se suma una leve reducción de su pendiente”. Estas características de este entorno hacen que la infraestructura existente (Puente del Autovía A7) se encuentre vulnerable a un evento de crecida (Tejada Espinoza, 2016).

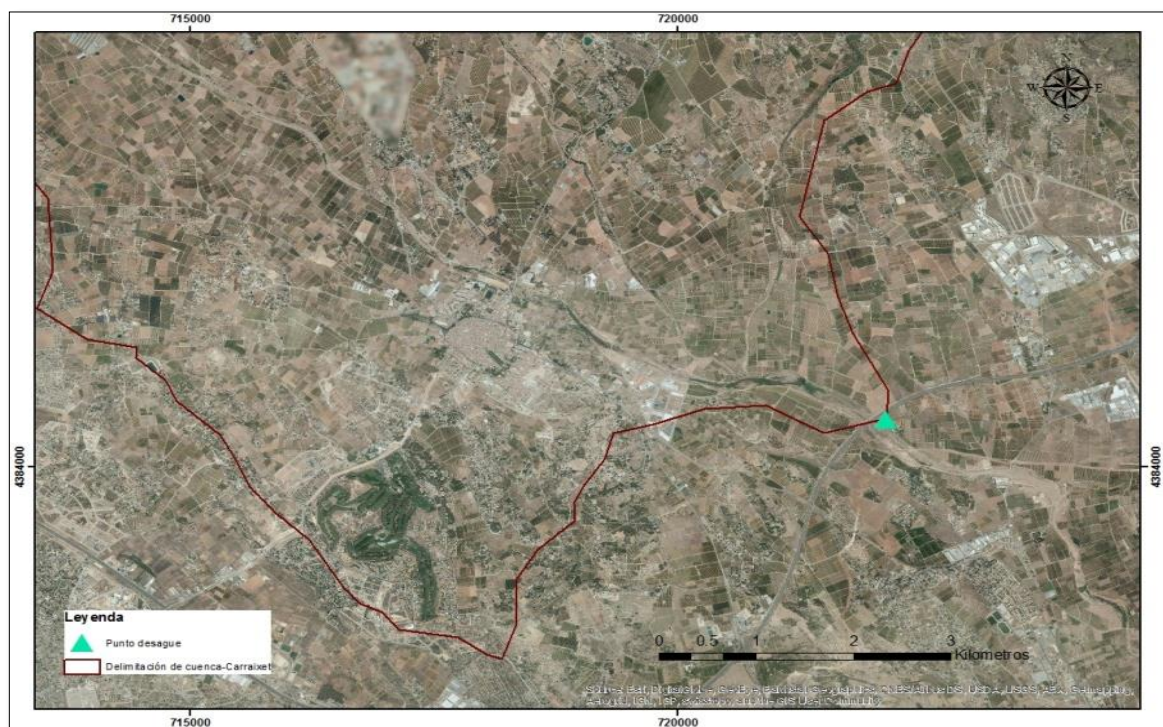


Figura 4-2. Ubicación del punto de desagüe, Puente Autovía A7 (Tejada Espinoza, 2016).

#### 4.1.2 Características climáticas generales

EL clima de la cuenca del Barranco del Carraixet es típico de la zona mediterránea, este clima mediterráneo presenta precipitaciones máximas en octubre y las mínimas en julio; respecto a la temperatura el mes más cálido es agosto, mientras el más frío es enero (Saiz Buendia, n.d.).

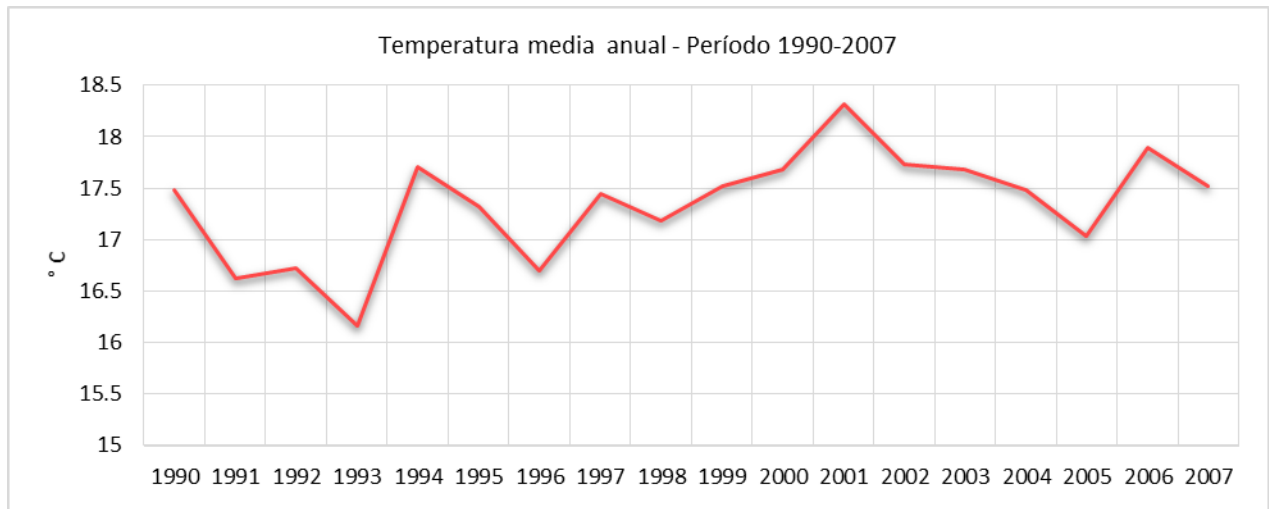


Figura 4-3. Temperatura media anual, cuenca Barranco del Carraixet (Tejada Espinoza, 2016).

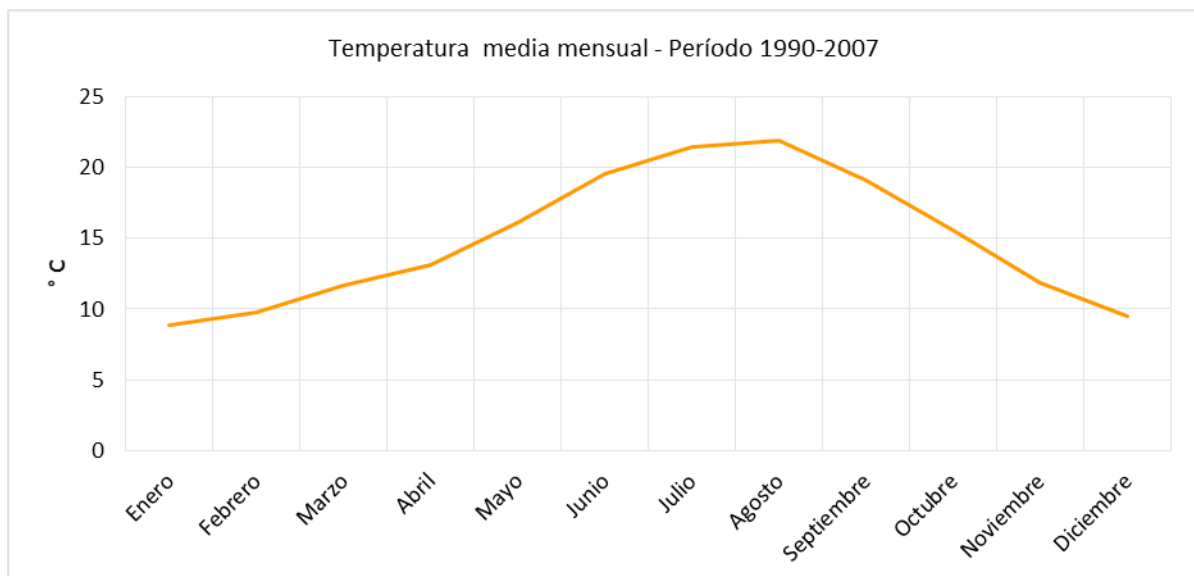


Figura 4-4. Temperatura media mensual, cuenca Barranco del Carraixet (Tejada Espinoza, 2016).

#### 4.1.3 Topografía

Pascual Aguilar (2002) describe tres sectores diferenciados de la topografía, el primero ubicado en la cabecera de la cuenca entre los 400-500 metros, este sector presenta las máximas pendientes de todo el are de estudio, incluso superiores al 20 %; El sector intermedio

entre los 400-500 y 200 metros. Entre los 200 metros y el nivel del mar el sector que ocupa la mayor parte de la superficie de la cuenca.

### Hipsometría

Strahler (1957) define a la curva hipsométrica como una representación de la relación entre las altitudes y superficies, como se distribuye la superficie desde la base hasta el punto más alto; la curva hipsométrica relaciona la altitud y el área que está por encima de esa cota, en la figura 4-5. Se muestra la curva hipsométrica de la cuenca del Barranco del Carraixet y las barras de frecuencia de los intervalos de altitud.

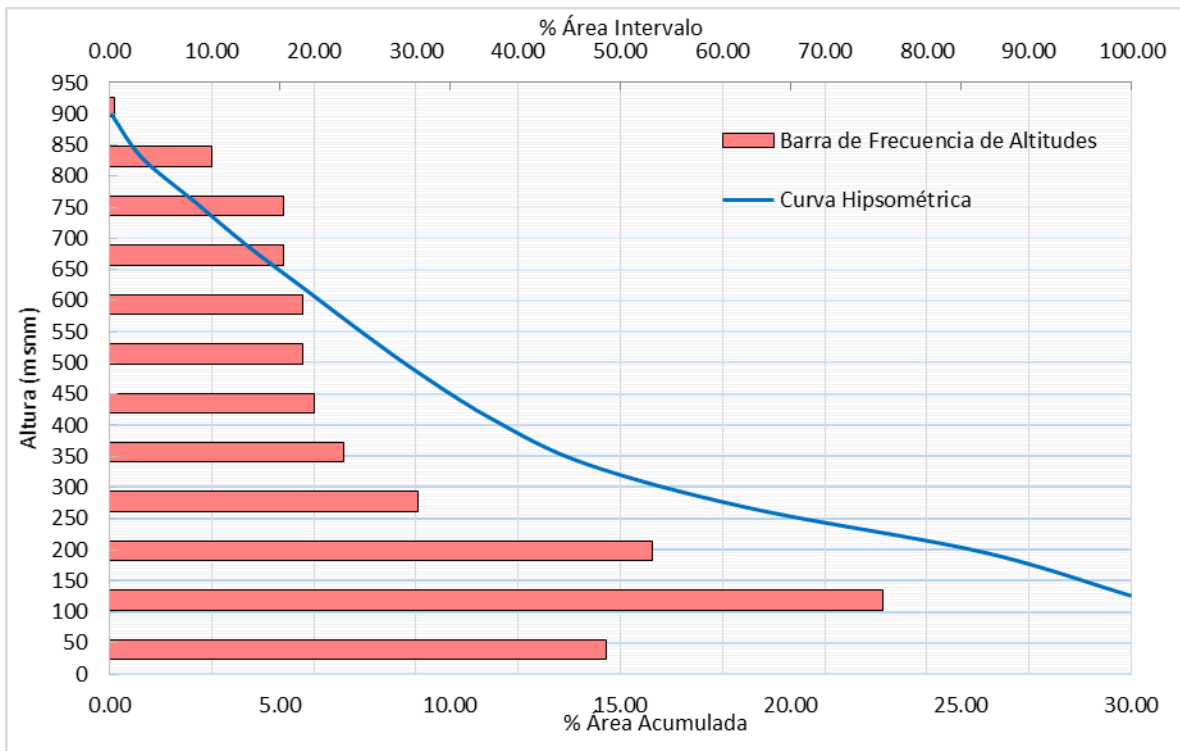


Figura 4-5. Curva hipsométrica y frecuencia de altitudes – Cuenca Barranco del Carraixet (Tejada Espinoza, 2016).

Cuando la curva hipsométrica se aproxima a la diagonal se le llama zona de equilibrio; si la curva está por encima de la zona de equilibrio entonces decimos que la cuenca está en una fase de juventud y dominaran los procesos erosivos en la cuenca. Por el contrario si la curva está por debajo de la diagonal la cuenca está en una fase de vejez y los procesos deposicionales dominan.

La curva hipsométrica nos muestra que en la cuenca del Barranco del Carraixet dominan los procesos de deposición, ya que está por debajo de la diagonal; según Pascual Aguilar (2002) “la cuenca se encuentra en un estado maduro y poco activa en cuanto a escorrentía superficial se refiere”.

#### 4.1.4 Marco geológico

La cuenca del Barranco del Carraixet en la zona montañosa se encuentra formada por facies germánica típica del sistema ibérico, y en la parte del valle se encuentra formada por el cuaternario. “Al norte de Bétera el roquedo dominante lo forman areniscas, dolomías y arcillas, de las facies Bundsandstein, Musckelkalk y Keuper, respectivamente” (Pascual Aguilar, 2002).

“Se encuentra muy desarrollado el triásico inferior, mientras que el espesor del Keuper disminuye mucho” (Buendia, 1972). EL Buntsandstein predomina ampliamente en forma de areniscas rojas y amarillentas, también por arcillas rojas. En las máximas alturas de la cuenca dominan Suprakeuper, igualmente importante es Muschelkalk; el keuper ocupa una pequeña zona al este de Olocau y al oeste de marines (Buendia, 1972).

El Jurásico, escasamente representado, está principalmente constituido por facies carbonatadas (Gómez & Goy, 1979). Los materiales que afloran al norte de Bétera, son calizas y dolomías del Jurásico inferior y medio.

El cuaternario, constituido fundamentalmente por sedimentos recientes, consistentes en cantos rodados, arenas, margas y arcillas, aunque, por otra parte, ocupando menos extensión, se encuentran conglomerados y brechas más o menos cementados, que pertenecen al Pleistoceno, formando un extenso glacis cubierto de brechas encostradas de 15 a 50 cm (costra laminar de 1 a 2 cm y conglomerado semianguloso de matriz color salmón, con cantos heterométricos de 0’5 a 5 cm), que se extiende desde la Serra de Portacoeli hasta el mismo barranco ( pinares de Bétera, la Mallada, etc.) (Buendia, 1972).

En la Fig. N° 4-6, se muestra el mapa geológico descargado del Instituto Geológico y Minero de España (IGME) (Tejada Espinoza, 2016).

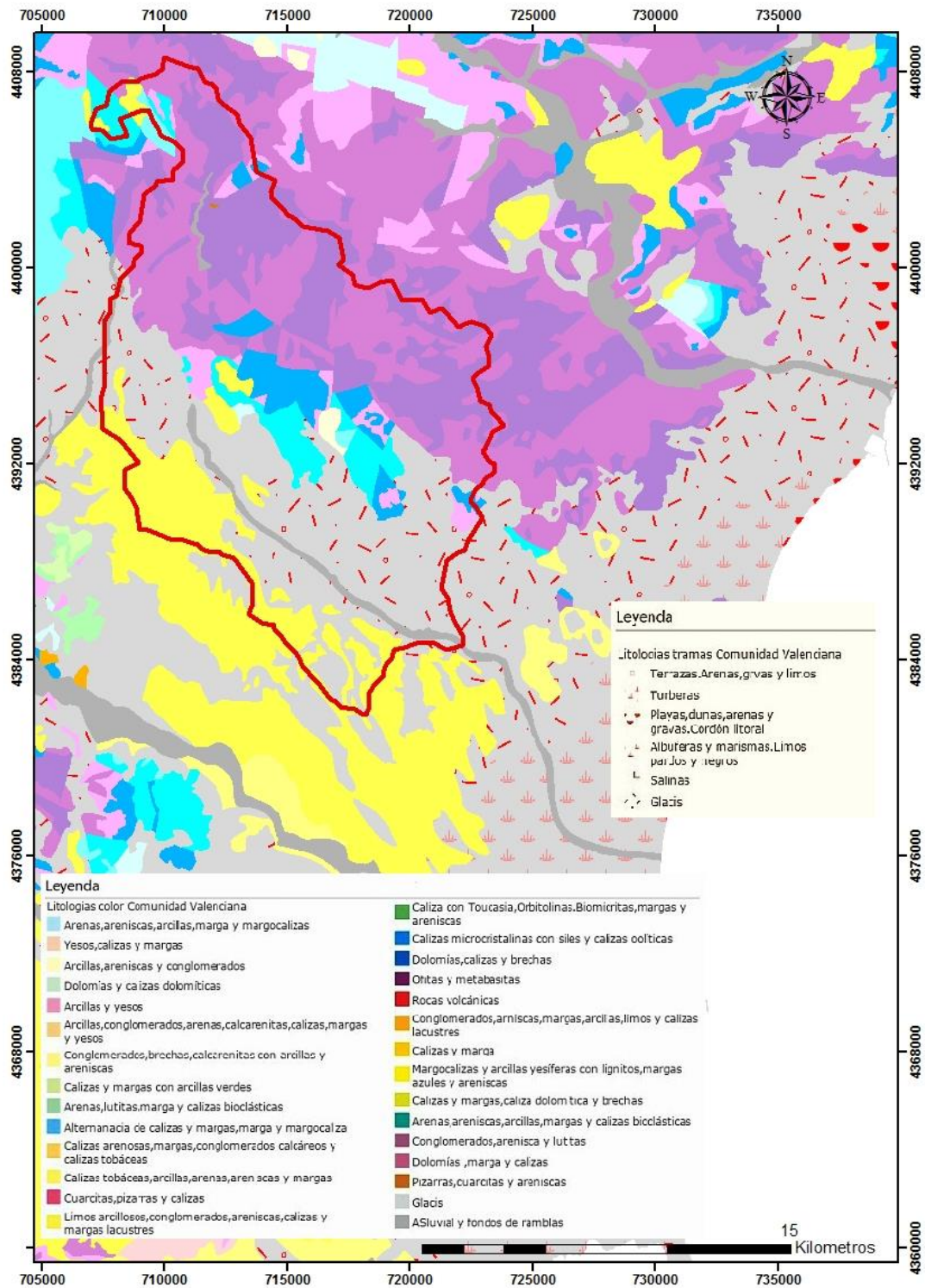


Figura 4-6. Mapa geológico, Barranco del Carraixet (Tejada Espinoza, 2016).



#### 4.1.5 Marco hidrogeológico

El modelo conceptual de TETIS contempla la permeabilidad como un flujo del modelo, es por eso que tenemos que conocer cómo se distribuye este parámetro en nuestra zona de estudio. EL IGME dispone de un mapa de permeabilidad en escala 1:200 000. “Los tipos de permeabilidad están definidos en cinco tipos: Muy alta, Alta, Media Baja y Muy baja, definiendo cada uno de los siete grandes grupos de rocas (carbonatadas, detríticas, detríticas del cuaternario, volcánicas, metadetríticas, ígneas y evaporíticas)” (Tejada Espinoza, 2016).

La cuenca del barranco del Carraixet está situada sobre dos unidades hidrogeológicas, hacia la zona noroeste, en la parte montañosa se encuentra situada la unidad 080-131 Medio Palancia; mientras que la unidad 080-130 Liria Casinos, se encuentra más al sureste en la zona del valle.

E1 acuífero de Liria-Casinos, con una superficie de 812,77 km<sup>2</sup>, se encuentra casi en su totalidad dentro de la provincia de Valencia. Se extiende desde el margen izquierdo del río Turia, a la altura de las localidades de Ribarroja y Pedralba, hasta algo más allá del límite de la provincia de Castellón, y en dirección Oeste-Este entre Higuieruelas y la línea que marca su contacto con la llanura aluvial de la Plana de Valencia. Los principales núcleos de población que se asientan en la zona son Liria, Casinos, Benaguacil, Marines y Poble de Vallbona, todos ellos eminentemente agrícolas y con cierta componente industrial.

(Ballestaros Navarro, 2007)

La Unidad Hidrogeológica Medio Palancia, cuenta con una superficie aflorante de alta permeabilidad de 480 km<sup>2</sup>, con materiales pertenecientes al Jurásico-Cretácico; la mayor parte de su superficie se encuentra en la cuenca del río Palancia. La alimentación por infiltración de agua de lluvia y cauces asciende a 70 Hm<sup>3</sup>, mientras que la recarga lateral, procedente principalmente de la Unidad Hidrogeológica nº 14 (Alto Palancia), asciende a 30 Hm<sup>3</sup>. La descarga se produce fundamentalmente por extracciones mediante bombeos (40 Hm<sup>3</sup>), salidas por emergencias (25 Hm<sup>3</sup>) las más importantes en los manantiales de San José, Cuart, La Llosa y Almenara, y transferencia lateral (40 Hm<sup>3</sup>) a las unidades nº 12, Plana de Castellón, y nº 21, Plana de Sagunto. Las aguas de la unidad, en alguna zona, presentan problemas de calidad para abastecimiento y contaminación por nitratos.

(Confederación Hidrográfica del Júcar, 1997)

En la figura 4-7 se muestra el mapa hidrogeológico continuo en el área de estudio.

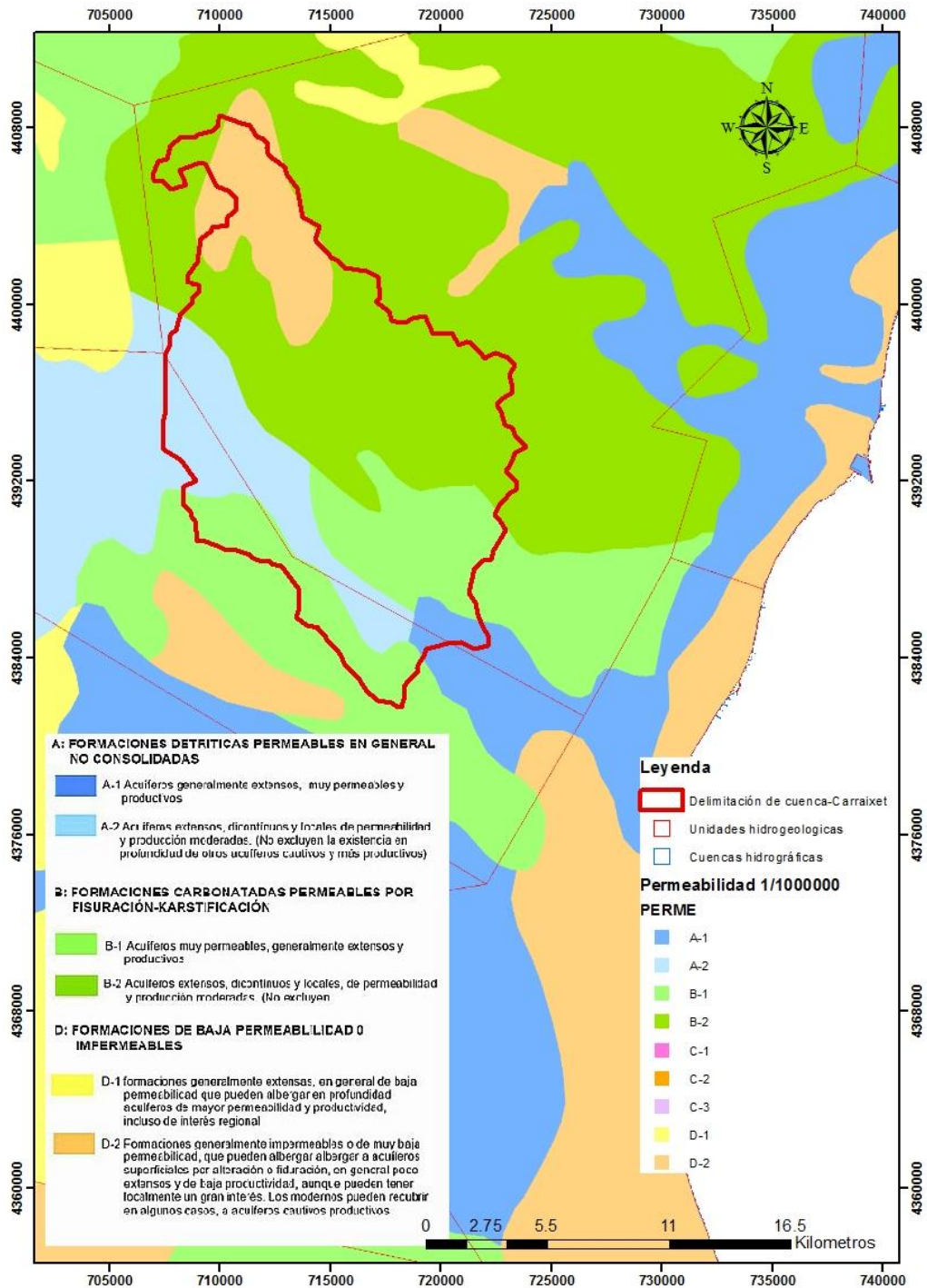


Figura 4-7. Mapa hidrogeológico continuo, Barranco del Carraixet (Tejada Espinoza, 2016).

#### 4.1.6 Uso del suelo

El presente estudio evalúa como los cambios de los usos del suelo inciden sobre el régimen hídrico de la cuenca del barranco del Carraixet, es por esta razón que en este apartado se describirá el estado de los usos del suelo con el que se calibro el modelo, que corresponde a los del año 2006.

En la implementación del modelo del barranco del Carraixet realizada por Tejada Espinoza (2016), se usó la cartografía proyecto Corine Land Cover de 2006, ejecutado por la Agencia Europea de Medio Ambiente. Este proyecto es una base de datos de los usos y coberturas del suelo de Europa, la cartografía este en una escala de 1:100 000; la base de datos se creó en base a la interpretación de imágenes recogidas por los satélites LandSat y SPOT.

Corine Land Cover a nivel de Europa trabaja con tres niveles de clasificación, y para España se implementó con cinco niveles; en la implementación del modelo se usó Corine nivel tres, los usos del suelo que se tienen en el área de estudio son los siguientes:

- 111, 112, 121 y 142 Urbano continuo o discontinuo, zonas industriales, zonas en construcción y otras zonas recreativas y de jardín.
- 222 Cultivos frutícolas. En la zona se pueden encontrar en su gran mayoría cítricos u otros frutales como la sandía y el almendro.
- 223 Olivar. Suelo agrícola destinado al cultivo de olivo.
- 242 Mosaico de cultivo. Distribuciones entremezcladas de cultivos anteriores.
- 243 Cultivos con orlas de vegetación natural. Zonas cultivadas con lindes, y ribazos que mantienen parte de la vegetación natural y su ecosistema.
- 312 Monte de coníferas. Uso de suelo predominante y de características muy heterogéneas, no siempre coincidente con estadios claros de ambiente vegetal, ejemplo páramos.
- 321 Praderas. Zonas desarboladas con vegetación herbácea natural.
- 323 Matorral esclerófilo. Monte de especies esclerófilas con acompañamiento arbustivo.
- 324 Bosque de transición – arbusto. Áreas con vegetación natural en estadios transformantes de vegetación.
- 331 - 333 Forestal de transición. Referente a las zonas de escasa vegetación como zonas de playas, dunas, arenales y roquedos que carecen prácticamente de suelo, el sustrato es rocoso y coincide con el material geológico desnudo.

El uso predominante en la cuenca del Barranco del Carraixet son los frutales con aproximadamente un 25 % de la superficie; por el contrario los usos industriales o comerciales, pastizales naturales, playas dunas y arenales, espacios con vegetación escasa son prácticamente muy cercanos al 0 %. Las zonas cultivadas ya sea con frutales, mosaico de cultivos u olivares; se encuentran distribuidos en las zonas llanas de la cuenca, mientras que la vegetación natural mayormente está en la zona montañosa. En la figura 4-8 se presenta el porcentaje de superficie que cubre cada uso del suelo.

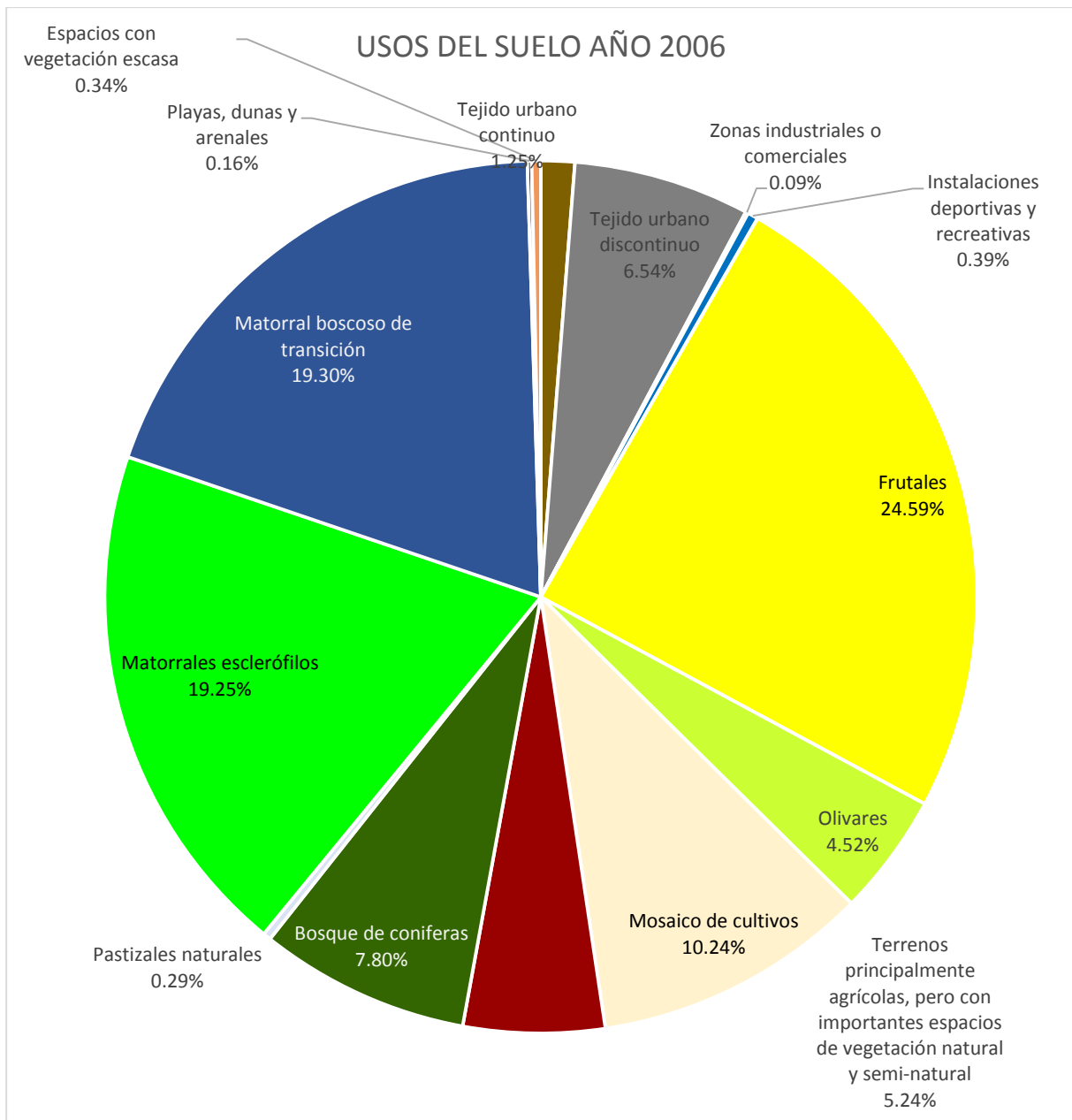


Figura 4-8. Usos del suelo de 2006 del Barranco del Carraixet según Corine Land Cover.

## 4.2 INFORMACIÓN METEREOLÓGICA

### 4.2.1 Series de precipitación y temperatura

En este estudio los datos de precipitación y de temperatura que se utilizaran en la modelación son procedentes del proyecto Spain02, Spain02 es una base de datos interpolados para todo el territorio español. La versión que se usara en el presente trabajo es Spain02 v4, la figura 4-9 muestra la ubicación geográfica de los centroides de las celdas; esta versión se realizó bajando la escala de Spain02 v2 que tenía una resolución de 0.2° a una escala de 0.11°. Esta versión se realizó para la validación de los modelos Euro-CORDEX (Coordinated Regional climate Downscaling Experiment); para cambiar la resolución de la rejilla, se realizó una interpolación con métodos de kriging, se interpoló a una resolución auxiliar de 0.01° y luego se promedió un valor para toda el área que abarca la rejilla (Herrera, Fernández, & Gutiérrez, 2016).

Spain02 es un proyecto desarrollado por la universidad de Cantabria (UNICAN) en cooperación con la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) para España peninsular e islas Baleares. La versión Spain02 v4 tiene datos desde 1971 hasta el 2007, que será el periodo de simulación para evaluar los cambios en el régimen hídrico.

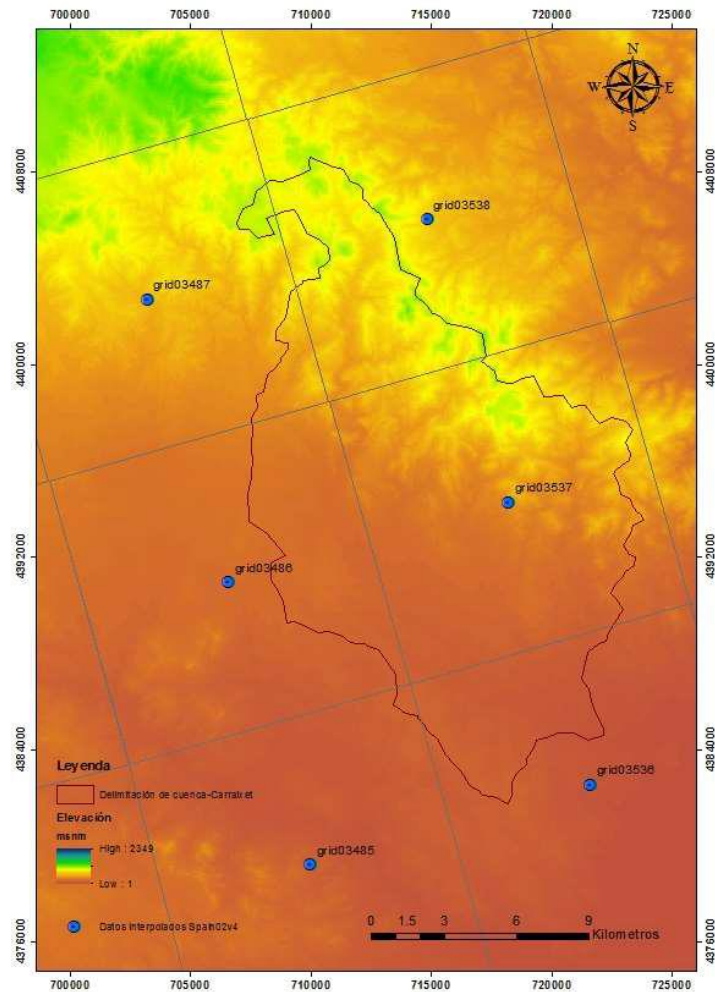


Figura 4-9. Distribución de la rejilla de datos interpolados Spain02v4 (resolución 0.11<sup>º</sup>) (Tejada Espinoza, 2016).

En la figura 4-10 podemos observar la precipitación acumulada para cada año en la cuenca del barranco del Carraxet, la serie tiene un máximo anual de 128.179 mm/año en 2000, una mínima de 12.01 mm/año el año 1979, la media es de 50.032 mm/año.

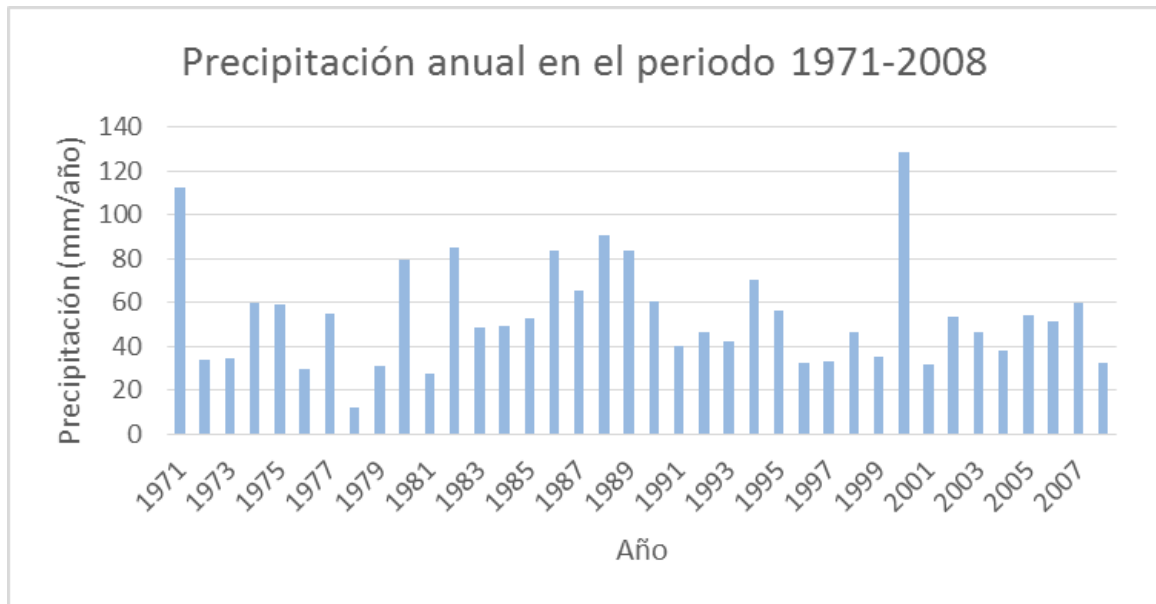


Figura 4-10. Precipitación anual en el periodo 1971-2008 en el barranco del Carraixet.

Para introducir estas series que provienen Spain02 v4 en cada celda, se toma el valor asignado a toda la celda como si fuera un valor puntual en el centroide de la celda, y TETIS interpolara estos valores para cada celda de nuestra área de estudio.

El método que TETIS utiliza para interpolar los valores de las series de punto donde se le indica una estación, en el caso de Spain02 centroides de las celdas, es el inverso de la distancia al cuadrado. Según Tabios y Salas (como se citó en Frances et al., 2012) al tener una densidad de la red pluviométrica es baja usar los diferentes métodos de interpolación dan resultados similares.

El método de interpolación del inverso de la distancia al cuadrado, se basa en asignar unos pesos a cada estación desde la que interpolara los valores para cada celda; estos pesos son inversamente proporcionales a la distancia, es decir que a mayores distancias tendrá menos influencia en el valor interpolado.

Para cada factor de ponderación  $w_{0,j}$ , tenemos una función de la distancia  $f(d)$  entre un punto o celda  $(x_0, y_0)$  donde se quiere estimar el valor de la variable y las estaciones de medición  $(x_j, y_j)$  la siguiente ecuación nos define la función  $f(d)$ :

$$w_{0,j} = \frac{\frac{1}{d_{0,j}^2}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_{0,i}^2}}$$

Donde  $n$  es el número de estaciones empleadas, siendo:

$$d_{0,j} = \sqrt{(x_0 - x_j)^2 + (y_0 - y_j)^2}$$

El valor de la variable en el punto de interés es igual a la suma de cada valor en la estación multiplicado por el factor de ponderación, según la siguiente expresión:

$$X_0 = \sum_{j=1}^n w_{0,j} X_j$$

Según Frances et al. (2012) la interferencia es un problema cuando el número de estaciones es elevado, para evitarlo TETIS realiza la interpolación, prefijando un número de estaciones, de las estaciones más cercanas.

#### 4.2.2 Evapotranspiración potencial

Para el cálculo de la evapotranspiración potencial se usa la ecuación de Hargreaves (Hargreaves & Samani, 1982), este método de empírico, este método produce valores consistentes comparando con métodos de balance de energía o mediciones en lisímetros. Para el cálculo de la evapotranspiración potencial Hargreaves y Samani (1982) propusieron la siguiente ecuación:

$$ET_0 = 0.0135 * (\bar{t} + 17.78) * R_s$$

Donde  $ET_0$  es la evapotranspiración potencial,  $\bar{t}$  es la temperatura media en °C y  $R_s$  es la radiación solar incidente en mm/día.

La radiación solar incidente en la superficie terrestre se calcula a partir de la radiación extraterrestre que llega a la parte exterior de la atmosfera, que esta tabulada en función de la latitud y el mes (tabla 4.1). Hargreaves y Samani (1982) proponen la siguiente ecuación:

$$R_s = R_0 * KT * \sqrt{t_{max} - t_{min}}$$

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



Tabla 4.1. Radiación solar extraterrestre en MJ/ (m2\*día), extraída del anexo 2 tablas meteorológicas del documento de la FAO.

Lat.	Ene	Feb	Mar	Abr	Mayo	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

Fuente: "Tablas meteorológicas", cuadro A26, del documento de la FAO56

### 4.3 INFORMACIÓN HIDROLÓGICA

La información de caudales aforados diarios proviene del S.A.I.H, Los aforos fueron tomados en la estación de Bétera con coordenadas UTM 718374, 4386368. En la figura 4-11 se muestra el punto donde se ubica la estación de Bétera.

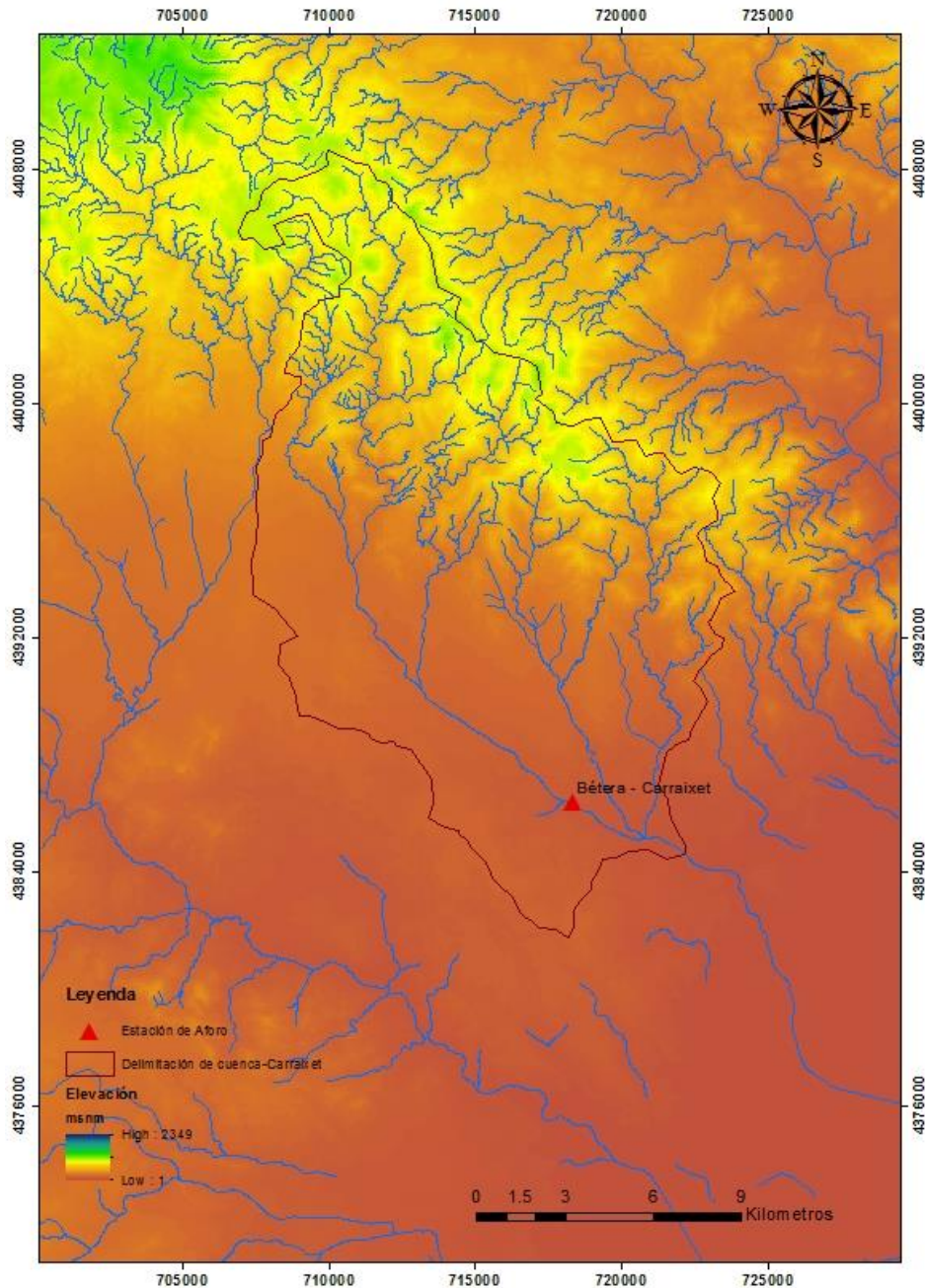


Figura 4-11. Ubicación de la estación de aforo (Tejada Espinoza, 2016).

## 5 LA EVOLUCIÓN DE LOS USOS DEL SUELO

---

Según Lambin (citado por Pascual Aguilar, 2002) por lo menos una de las siguientes interrogantes debe plantearse un estudio de cambios de usos del suelo: “(1) la explicación de las causas, el por qué (GREPPERUD, 1996), (2) la identificación de las tasas de transformación, el cuándo (ROBINSON, 1978); y (3) la localización de los cambios, el dónde (CAMACHO OLMEDO y MENOR TORIBIO, 1997; SERRA et al., 1998)”. En el presente estudio nuestro objetivo principal es evaluar la influencia de los usos del suelo en el régimen hídrico más que evaluar los cambios en sí, por eso que se trabajara en base a responder las preguntas del cuándo y el dónde.

Haciendo referencia a la pregunta del por qué se producen los cambios de los usos del suelo, según Mather y Sdasyuk (citado en Pascual Aguilar, 2002) los cambios en los ecosistemas terrestres están estrechamente ligados al desarrollo socioeconómico; este desarrollo socioeconómico condiciona a la modificación de las estructuras productivas y transformaciones territoriales (Pascual Aguilar, 2002).

Para evaluar los cambios de los usos del suelo en nuestra zona de estudio, usaremos los sistemas de información geográfica, para ver cómo es que estos cambios se van dando a lo largo de nuestro periodo de estudio.

El barranco del Carraixet por estar dominado por las montañas, los cambios en el paisaje vienen determinados por la distribución del relieve; los incendios y los cambios en los cultivos son los principales agentes en los cambios del paisaje (Pascual Aguilar, 2002).

## 5.1 INFORMACIÓN CARTOGRAFICA DE LOS USOS DEL SUELO

Pascual Aguilar (2002) sostiene que debido a la naturaleza continua del proceso de los cambios del uso del suelo, al abordar un estudio de las transformaciones de estos, se hace necesario tomar intervalos entre todo el periodo delimitado, para una mejor comprensión de los cambios tanto en la dimensión temporal como en espacio.

Al reconstruir una secuencia histórica de los usos del suelo, la fuente de información puede ser de dos tipos: estadísticas y gráficas. En el caso de la información estadística, se tiene que plasmar esta información en un mapa, siendo este su principal inconveniente. Por otro lado la información gráfica presenta limitaciones de escala y simplificación de la información (Pascual Aguilar, 2002).

Para el presente estudio comprende un periodo de tiempo desde el año 1956 al año 2006, en el que se parte de información ya procesada. Una primera fuente de información es la cartografía trabajada por Pascual Aguilar (2002); la cual comprende los mapas de los usos del suelo de los años 1956, 1978, 1991, 1998. Por otro lado la otra fuente de información es la cartografía elaborada por el proyecto Corine Land Cover, ejecutado por la Agencia Europea de Medio Ambiente, del que se usan los mapas correspondientes a los años 2000 y 2006.

### *Usos del suelo de 1956*

El mapa de usos del suelo del año de 1956 fue obtenido a partir de los fotogramas de los vuelos realizados por el Servicio Geográfico del Ejército entre los años 1956 y 1957; siendo en el caso del área de estudio obtenidas entre mayo y agosto de 1956, por lo cual son los usos de 1956. El trabajo se apoyó en mapas topográficos, fotografías aéreas posteriores, etc.; para definir mejor las cubiertas existentes en ese año (Pascual Aguilar, 2002).

### *Usos del suelo de 1978*

Para los mapas del año 1978, Pascual Aguilar (2002) uso los fotogramas del vuelo de 1978 del IRYDA, para revisar y actualizar la cartografía analógica existente de los mapas de cultivos y aprovechamientos del Ministerio de Agricultura.

### *Usos del suelo de 1991*

La cartografía digital de los usos del suelo de 1991, fue elaborada por la Conselleria de Medi Ambient de la Generalitat Valenciana, que fue elaborada a partir de fotogramas que datan de 1991, los que uso Pascual Aguilar (2002) para la supervisión y la reclasificación de la información.

### *Usos del suelo de 1998*

La cartografía se obtuvo a partir del vuelo de 1997. La cartografía fue realizada en parte por el Instituto Cartográfico Valenciano y por otra parte producto de una exhaustiva campaña de reconocimiento de campo para obtener las cubiertas de suelo que no se tenía información con el vuelo realizado (Pascual Aguilar, 2002).

### *Usos del suelo del 2000 y 2006*

Para ambos mapas, se utiliza la base de datos elaborada por el proyecto Corine Land Cover de la Agencia Europea de Medio Ambiente. Para su elaboración se usó imágenes recogidas por los satélites LandSat y SPOT.

### *Usos del suelo de escenarios supuestos*

Para evaluar la influencia que tienen los cambios de los usos del suelo en el régimen hídrico de la cuenca, se consideró de interés el evaluar cómo se comporta la cuenca frente a tres escenarios que, teóricamente podrían generar impactos en el régimen hídrico. El primer escenario supone que toda la cuenca está ocupada por bosque de coníferas. El segundo escenario supone que todo el bosque de coníferas y el matorral esclerófilo sufren un incendio y se convierten en zonas quemadas. En el tercer escenario se asume que todo lo que era cultivos pasa a ser uso urbano discontinuo.

## 5.2 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN CARTOGRAFICA DE LOS USOS DEL SUELO

Por los objetivos que se persigue el presente estudio y por contar con dos fuentes de información distintas. Es necesario procesar la información, para tener una base homogénea sobre la cual se pueda analizar los cambios en los usos del suelo y la repercusión que estos tienen en el régimen hídrico.

Para realizar el procesamiento de la información cartográfica disponible, por su naturaleza espacial y la dimensión temporal de la información de los usos del suelo, se tuvo que emplear las herramientas de los sistemas de información geográfica, ya que estos nos permiten incorporar información de diferentes fuentes (Pascual Aguilar, 2002).

Los SIG, por su capacidad de homogeneizar --y permitir su posterior tratamiento-- en un solo formato la información proveniente de diferentes fuentes, se convierten en herramientas muy útiles para el estudio de las variaciones espaciales de los procesos geográficos. Pero ello lleva asociada una mayor complejidad en el diseño metodológico del proyecto a realizar.

(Pascual Aguilar, 2002)

El trabajo de procesamiento consistió en homogeneizar la leyenda de los usos del suelo, ya que al tener dos fuentes de información diferentes, sería necesario tener una única leyenda que nos permitiera evaluar cómo cambian los diferentes usos. Para homogeneizar la información, se tomó como base la leyenda de Corine Land Cover, la razón es porque en la implementación del modelo TETIS en la cuenca del barranco del Carraixet se usó dicha leyenda. La información cartográfica brindada por Pascual Aguilar (2002) contiene los usos que se muestran en la tabla 5.1.

Tabla 5.1. Usos de suelo de la cartografía de los mapas de 1956, 1978, 1991 y 1998.

USOS_3	DESCRIPCIÓN
1	Superficie artificial
2	Huerta
4	Cultivo arbóreo en regadío
5	Cítricos
6	Cultivos herbáceos de secano
7	Viñedo
8	Cultivo arbóreo de secano
9	Vegetación esclerófila
10	Bosque de coníferas
11	Playas, dunas y arenales
12	Cursos de agua

En su mayoría los usos que considera Pascual Aguilar (2002), se pueden reclasificar directamente con los usos de Corine. Esto fue lo primero que se realizó, los resultados se muestran en la Tabla 5.2.

Tabla 5.2. Equivalencias de los usos de Pascual con los de Corine.

Cartografía Pascual	CORINE
Superficie artificial	Zonas Artificiales
Viñedo	Viñedo
Vegetación esclerófila	Matorrales esclerófilos
Bosque de coníferas	Bosque de coníferas
Playas, dunas y arenales	Playas, dunas y arenales
Cursos de agua	Cursos de agua

Para los usos que no son equivalentes se tuvo que analizar la descripción de cada uno de los códigos (código 3) de Corine, mediante este análisis se pudo reclasificar los usos que se muestran en la tabla 5.3.

Tabla 5.3. Reclasificación de usos de la cartografía de Pascual.

Cartografía Pascual	Corine
Huerta	Tierras de labor en secano
Cultivo arbóreo en regadío	Frutales y plantaciones de bayas
Cítricos	Frutales y plantaciones de bayas
Cultivos herbáceos de secano	Tierras de labor en secano
Cultivo arbóreo de secano	Olivares

En el caso de la información cartográfica proveniente de Pascual Aguilar (2002), el uso de zonas artificiales esta agregado al código 1 de Corine, pero para nuestro estudio se está usando el código 3 de Corine. La información que nos brindó Pascual Aguilar (2002), son archivos vectoriales en formato Arc-Wiew. Se realzo un análisis exhaustivo de los diferentes usos, comparándolo con el mapa de uso más próximo en la dimensión temporal, para definir qué grupo de polígonos seria uso urbano continuo o uso urbano discontinuo. En la tabla 5.4 se muestra como queda los usos reclasificados usando el código 3 de Corine, también se muestra como el uso zonas artificiales se llevó del código 1 de Corine al código 3.

La cartografía de Corine, para el año 2006, no toma el cauce del río como un curso de agua; como si lo hace para el año 2000. El río es efímero y en la mayor parte del tiempo está seco, por lo que se decidió que tome el valor de las celdas adyacentes. Esto se replicó en todos los mapas de usos del suelo que se dispone. Otra corrección que se realizó es que en Corine 2006, en el tramo final del río en la zona de estudio, tiene una superficie con uso Playas, dunas y arenales (código 331); al eliminar el río se tenía que mantener este uso en todos los mapas. Con la las herramientas de los sistemas de información geográfica se logró mantener la superficie en cada mapa.

Tabla 5.4. Cartografía de Pascual adaptada a Corine.

Cartografía Pascual	Cartografía Corine
Superficie artificial	Tejido urbano continuo
	Tejido urbano discontinuo
Huerta	Tierras de labor en secano
Cultivo arbóreo en regadío	Frutales y plantaciones de bayas
Cítricos	Frutales y plantaciones de bayas
Cultivos herbáceos de secano	Tierras de labor en secano
Viñedo	Viñedo
Cultivo arbóreo de secano	olivo
Vegetación esclerófila	Matorrales esclerófilos
Bosque de coníferas	Bosque de coníferas
Playas, dunas y arenales	Playas, dunas y arenales
Cursos de agua	Cursos de agua

En la cartografía de Corine de 2000 se tiene usos que cubren superficies muy reducidas, a las cuales se decidió asignarles un valor igual al de las celdas contiguas, estos usos son: Redes viarias, ferroviarias y terrenos asociados; Zonas de extracción minera. Por otro lado al uso zonas en construcción en la cartografía de Corine del 2000, por sus características hidrológicas similares, se le asigna el valor de tejido urbano continuo. Igualmente al uso zonas verdes urbanas, se le asigna un uso urbano continuo, ya que en Corine 2006 está como uso urbano continuo.

### 5.3 EL MOMENTO DE REFERENCIA

Los cambios del uso del suelo se dan por ciclos. Un ciclo son el conjunto de transformaciones que determinan una nueva configuración de usos, los cuales son determinados por el desarrollo socioeconómico del hombre. “Por tanto, previo a la detección de cambios, procede definir el momento inicial, el umbral o línea de corte temporal que marca su inicio” (Pascual Aguilar, 2002).

El instante de tiempo a partir del cual se inicia el periodo de evaluación de los cambios del uso del suelo, puede ser determinado a partir de dos metodologías; la primera metodología se basa en una reconstrucción bioclimática de la vegetación climática, la segunda se basa en que el momento inicial se puede determinar a partir de observaciones reales de los usos del suelo en un momento dado (Pascual Aguilar, 2002).

En el presente estudio es más apropiado el enfoque que toma un instante inicial a partir de observaciones reales, ya que no hay información para una reconstrucción bioclimática y también porque el fin máximo del estudio no es en sí los cambios del uso del suelo, sino la influencia que estos tienen en el régimen hídrico. En este enfoque se determina el inicio de un ciclo reciente de cambios de los usos del suelo. En nuestro caso encontramos dos motivos por los cuales se decide como el instante de inicio el año 1956; uno es porque en la zona que



comprende la cuenca del barranco del Carraixet, no se dispone de información cartográfica. Segundo porque Pascual Aguilar (2002) determino, que entre los años de 1945 y 1956 no se dieron cambios significativos en la zona en la que si se tenía información cartográfica de 1945 (Pascual Aguilar, 2002).

## 5.4 CAMBIOS CUALITATIVOS

En este apartado evaluaremos la distribución espacial de cada uso del suelo en los diferentes años que tenemos información cartográfica. Mediante esta descripción cualitativa de la localización de los distintos usos, podremos evaluar en parte cómo pueden influir en el régimen hídrico. A partir de conocer cualitativamente los usos en cada instante de tiempo dentro del periodo de estudio podemos intuir algunas relaciones con el régimen hídrico.

### **Usos del suelo de 1956**

En este instante, que es el inicio de la evaluación de los cambios en los usos del suelo, se tiene un predominio del cultivo de olivo, seguido por el bosque de coníferas. El bosque de coníferas está localizado en la zona montañosa de la cuenca. Igualmente los matorrales esclerófilos están situados en la zona montañosa. El olivo se encuentra muy distribuido por toda la cuenca; ocupando tanto las zonas llanas, como en la zona montañosa, pero en su mayor parte cubre la zona de piedemonte. El uso frutales, que en su mayoría comprende cítricos, se encuentra en la zona llana, este representa una superficie importante de la cuenca. Los viñedos y las tierras de labor en secano, se encuentran en menor proporción; pero igual tienen una superficie que no es despreciable en la influencia que pueden tener en el régimen hídrico. El viñedo se encuentra más disperso ocupando zonas llanas y piedemonte mayoritariamente. En 1956 se tiene uso urbano continuo en Bétera y en el campamento de Marines, en la figura 5-1 podemos observar la distribución de los usos de 1956.

### **Usos del suelo de 1978**

Para el año 1978, veintidós años después, se observa transformaciones considerables en el paisaje de la cuenca; lo más importante que se puede apreciar es la disminución drástica del olivo por un lado y la expansión del bosque de coníferas. También hay un aumento significativo de los frutales, que ocupan casi la totalidad de las zonas llanas. El olivo se encuentra desplazado en las zonas llanas que ahora son frutales. El bosque de coníferas se mantiene en la zona montañosa, ocupando en su mayoría zonas ocupadas por matorral esclerófilo y olivos. Por otro lado vemos una disminución considerable en el matorral esclerófilo, desplazado por el bosque de coníferas, queda localizado en las partes elevadas de su localización anterior. Los viñedos se redujeron y de ocupar una superficie muy distribuida en las zonas llanas a concentrarse en pequeñas zonas, han sido reemplazados por los frutales y por las tierras de labor en secano, estas últimas si bien cubren una superficie equivalente a 1956, su localización cambio totalmente y se desplazaron más al oeste de la cuenca.

El uso urbano continuo, presenta un pequeño aumento en la parte noroeste de la cuenca, mientras que el uso urbano discontinuo que era inexistente en 1956 pasa a ocupar una mayor

superficie que el continuo, ubicándose en la zona central y sur de la cuenca. En la figura 5-2 se muestra la distribución espacial de los usos de 1978.

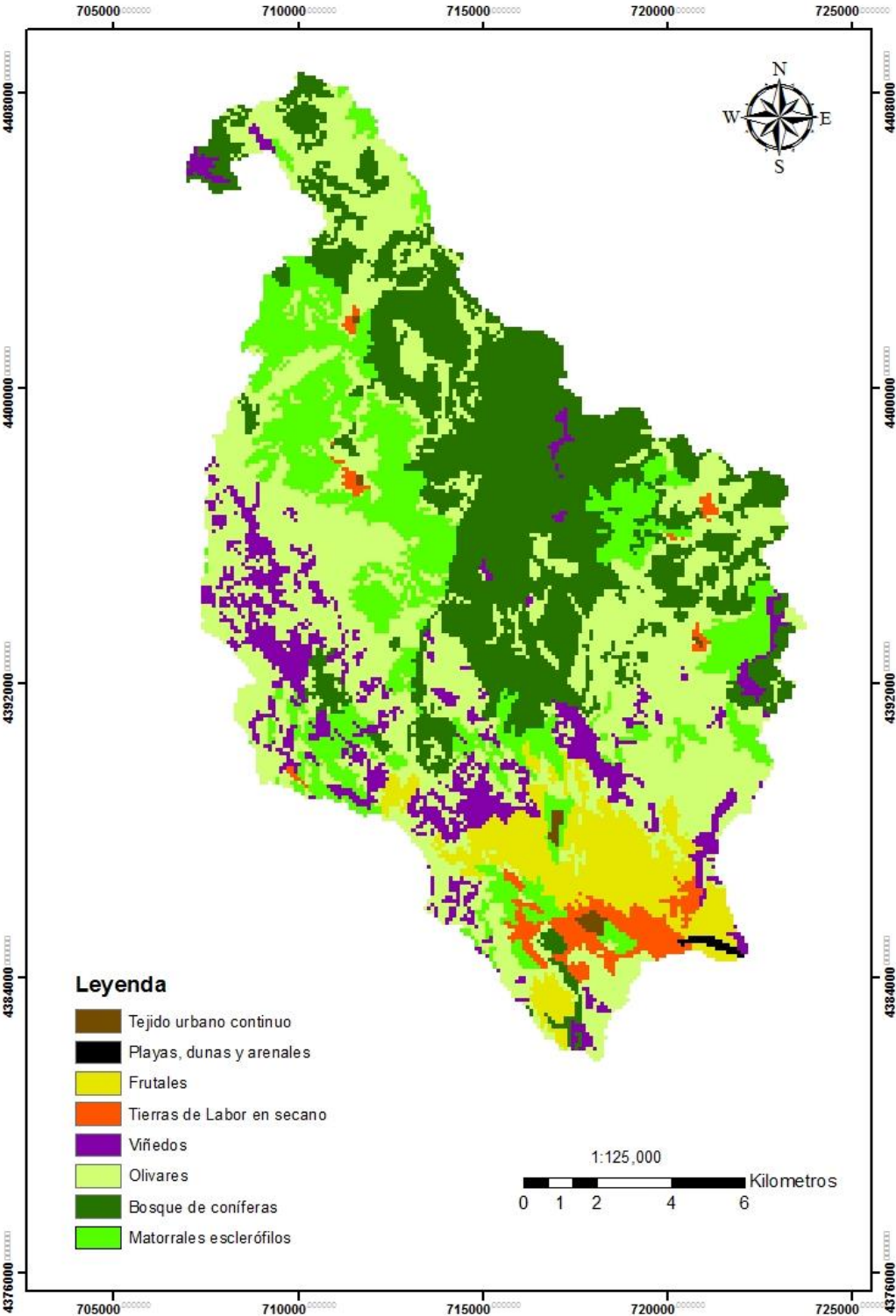


Figura 5-1. Mapa de usos del suelo de 1956.

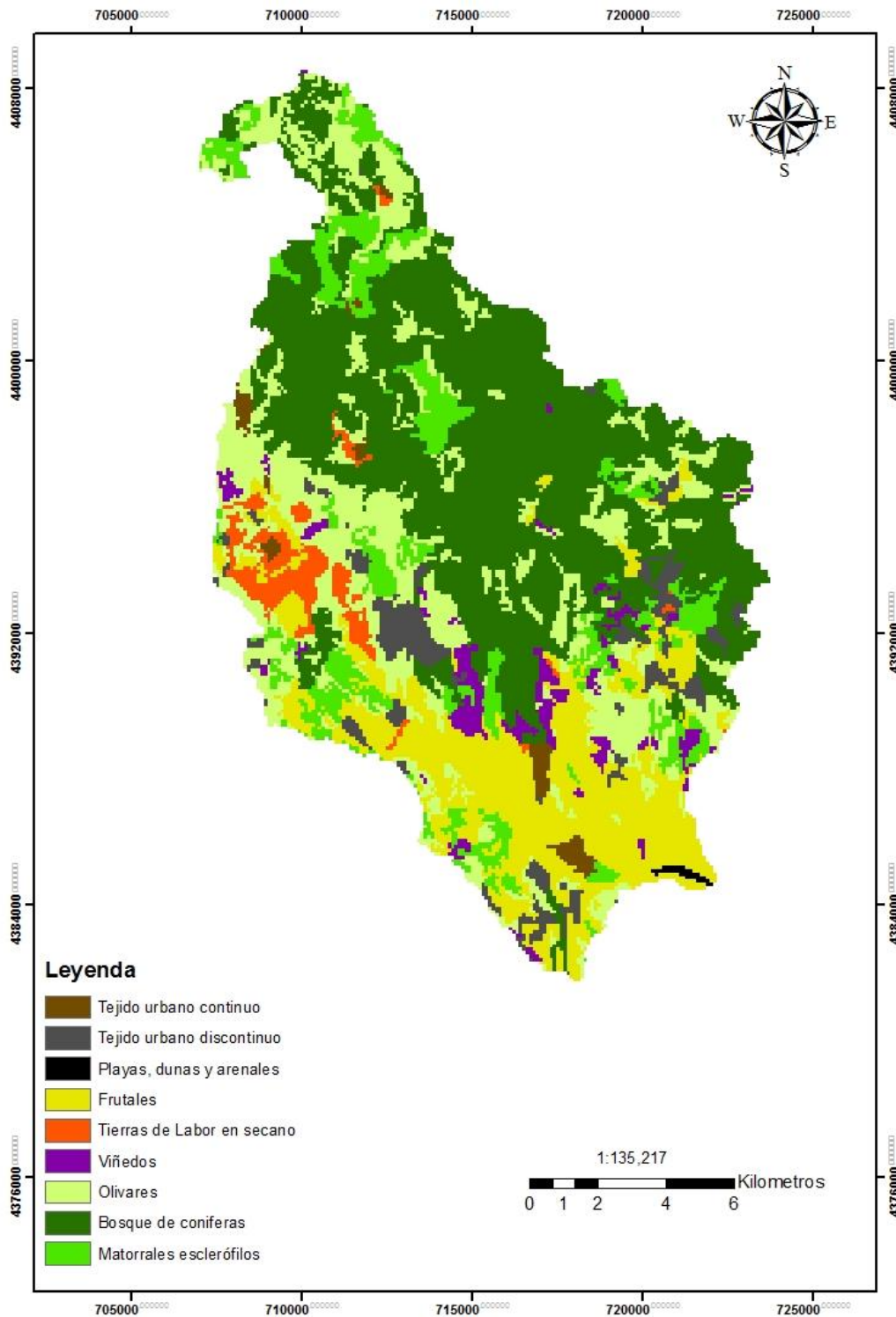


Figura 5-2. Mapa de usos del suelo de 1978.

### Usos del suelo de 1991

En el año 1991, trece años después, el bosque de coníferas ha disminuido considerablemente y se sitúa más hacia el este de la cuenca; ocupando en su mayoría las partes altas de las

montañas, desplazados en su mayoría por el matorral esclerófilo. El matorral esclerófilo ahora cubre una superficie mayor que en 1978 y también que 1956, ubicado en el piedemonte y la zona montañosa. El olivo disminuye pero mantiene su distribución en el espacio, también los viñedos reducen su superficie hasta ser prácticamente insignificante, ocupando pequeñas áreas muy dispersas. Las tierras de labor en secano se reducen drásticamente hasta ocupar una superficie muy reducida al igual que el viñedo, siendo reemplazado por los frutales casi en su totalidad. Los frutales siguen la tendencia de ocupar una mayor superficie en las zonas llanas de la cuenca, desplazando como vimos a las tierras de labor en secano, también al olivo y a los viñedos (figura 5-3).

El uso urbano continuo sigue manteniéndose casi igual que en 1978; el urbano discontinuo sí que sigue con la tendencia de aumentar su superficie, pero alrededor de las localizaciones de 1978.

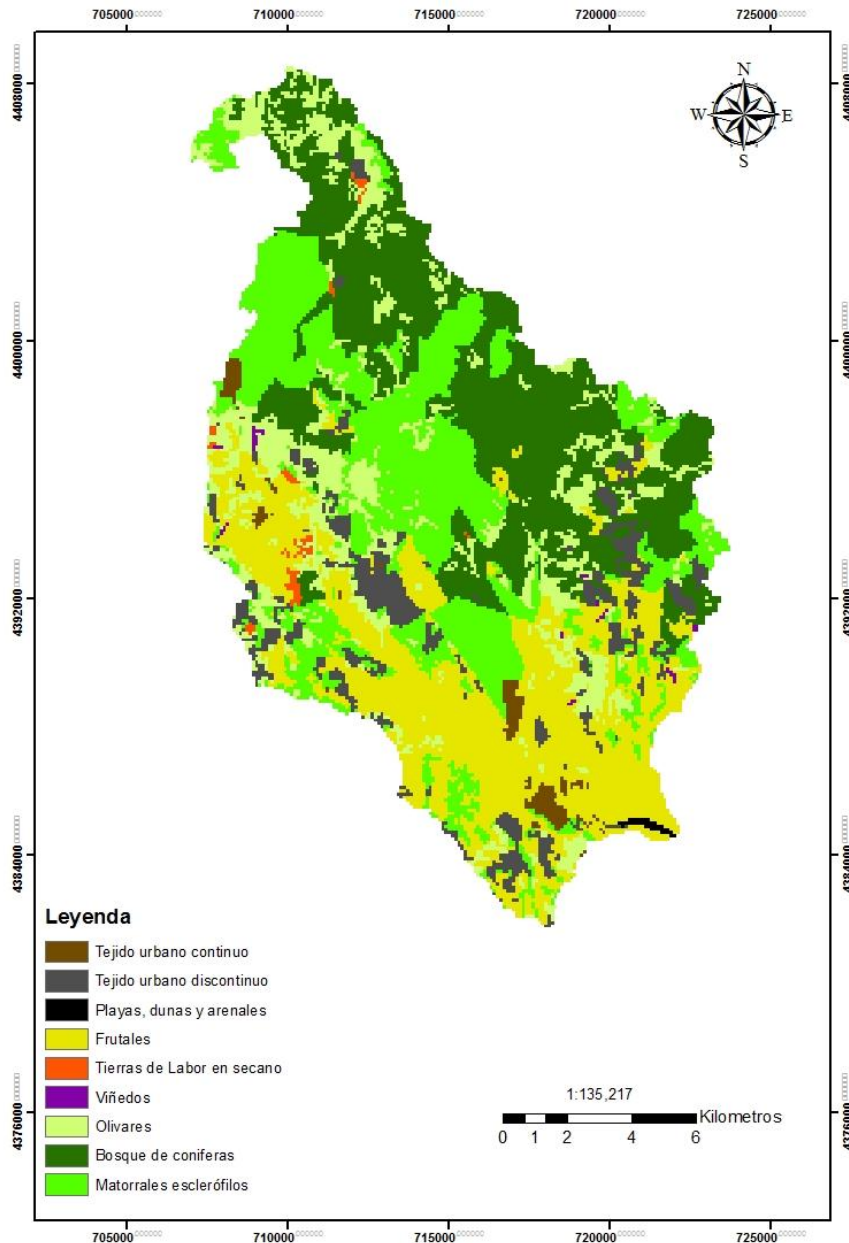


Figura 5-3. Mapa de usos del suelo de 1991.

### Usos del suelo de 1998

Para 1998 el bosque de coníferas se ha reducido drásticamente, cubriendo ya muy poca superficie de la cuenca, que mayoritariamente se concentra en la parte este de la cuenca; el bosque ha dado paso al matorral esclerófilo, que ahora ocupa casi la mitad de la superficie de la cuenca. Ahora casi toda la zona montañosa está cubierta por el matorral esclerófilo, con algunos espacios de bosque y olivo. Los frutales presentan un ligero aumento, que casi en su totalidad es porque ahora ocupa zonas que antes eran tierras de labor en secano. Las tierras de labor en secano desaparecen totalmente en 1998, y el viñedo es casi inexistente, cubriendo una unas pequeñas superficies al oeste de la cuenca. El olivo tiene una pequeña reducción que apenas se percibe en el mapa, en las partes altas de la zona montañosa se mantiene igual y se reduce en las zonas llanas y de piedemonte.

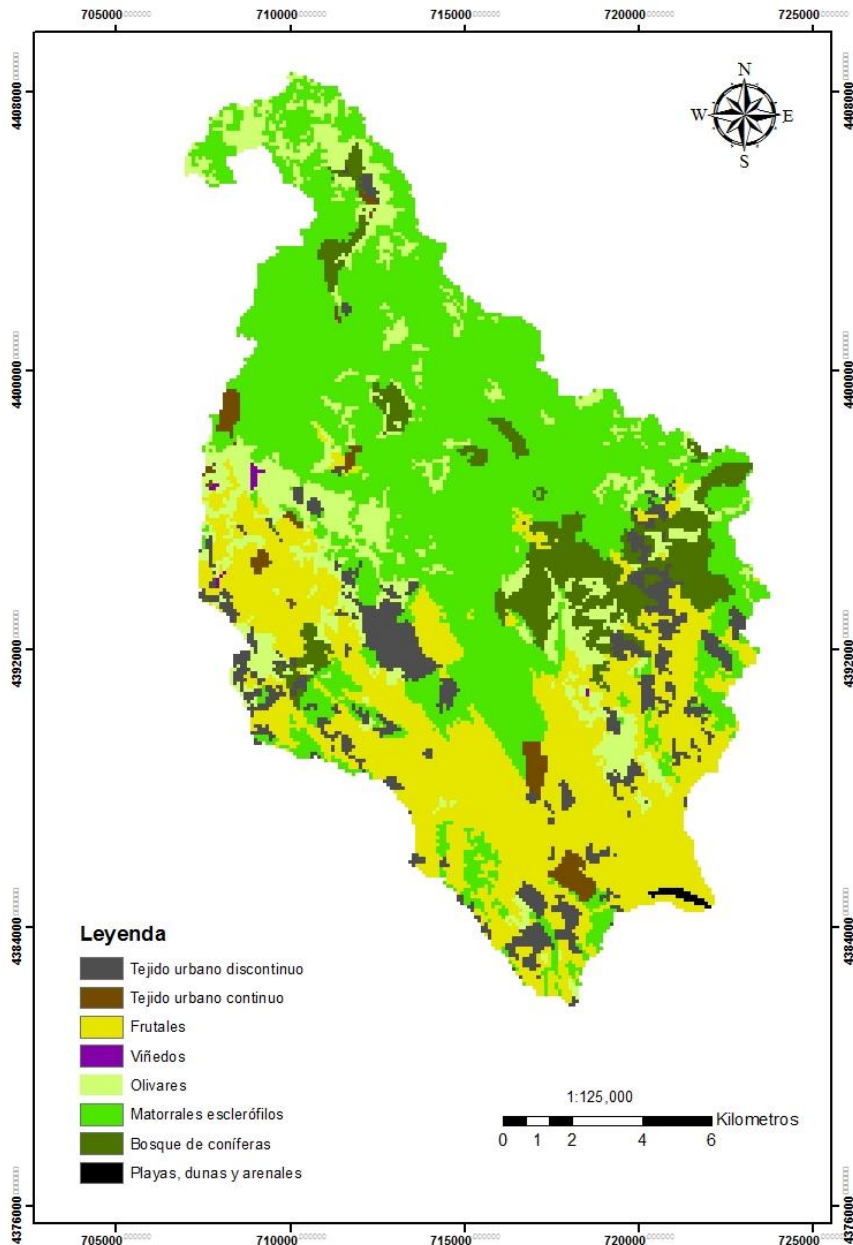


Figura 5-4. Mapa de usos del suelo de 1998.

El uso urbano continuo se mantiene y el urbano discontinuo sufre un pequeño aumento, estos aumentos localizados en los alrededores de los ya existentes. En la figura 5-4 se puede observar la distribución espacial de los usos del suelo de 1998.

### Usos del suelo de 2000

En los usos del 2000 y también en los del 2006 se tiene un mayor nivel de detalle, ya que es la cartografía elaborada por Corine, mientras que los anteriores se llevó a cabo un procesamiento para adaptar la leyenda y así poder evaluar bajo la base de una misma leyenda.

Hay una importante disminución del matorral esclerófilo a comparación con 1998, desplazado en parte por el bosque de coníferas y por el matorral boscoso de transición en su mayor parte.

Un área considerable de los frutales ahora son clasificados como mosaico de cultivos, sobre todo al oeste de la cuenca, aparecen también zonas de terrenos principalmente agrícolas con orlas de vegetación natural y semi-natural distribuida en pequeñas áreas en toda la cuenca. Algunas áreas aparecen como pastizales naturales, también espacios con escasa vegetación y zonas quemadas, esta última en el norte de la cuenca.

En el caso de los usos clasificados como tejido urbano, que en la cartografía de los años anteriores teníamos como continuo y discontinuo, en esta cartografía si son presentados en sus clasificaciones desagregadas, ya sea como zonas industriales o comerciales e instalaciones deportivas, pero para el análisis hidrológico se asumió un comportamiento equivalente a usos urbanos continuos y discontinuos. El urbano continuo se mantiene constante y el discontinuo presenta un pequeño aumento, sobretodo en la parte sur de la cuenca; toda esta descripción se puede apreciar en la figura 5-5.

### **Usos del suelo de 2006**

En el 2006 tenemos una disminución del bosque de coníferas, que se reduce a la mitad aproximadamente de la superficie que cubría el 2000. En su mayoría el bosque pasó a ser matorral esclerófilo que tiene un considerable aumento, y también pasa a ser matorral boscoso de transición. El matorral boscoso de transición presenta un aumento, ocupando las zonas que eran bosque de coníferas, mayormente al este y una zona al norte, una pequeña zona al norte de la cuenca pasa a ser ocupada por mosaico de cultivos. Hay un ligero aumento en las tierras principalmente agrícolas con vegetación natural; en general, a excepción de los cambios en el bosque y en el matorral, todo se mantiene muy parecido al 2000; en la figura 5.6 se muestra la distribución de los usos del 2006.

### **Usos del suelo de los escenarios supuestos**

El primer escenario es toda la cuenca ocupada por coníferas (figura 7-7. A); el segundo escenario se considera todo el bosque de coníferas y el matorral esclerófilo incendiados, es decir como si fueran zonas quemadas, estas cubren la mayor parte de la superficie de la zona montañosa, manteniéndose todo el resto de la cuenca igual a la cartografía del 2006 (figura 5-7. B). El tercer escenario considerado para analizar la influencia en el régimen hídrico, es que todo el cultivo es ocupado por urbano discontinuo, ocupando casi la totalidad de las zonas llanas y algunas zonas muy reducidas en las montañas al norte de la cuenca (figura 5-7. B).

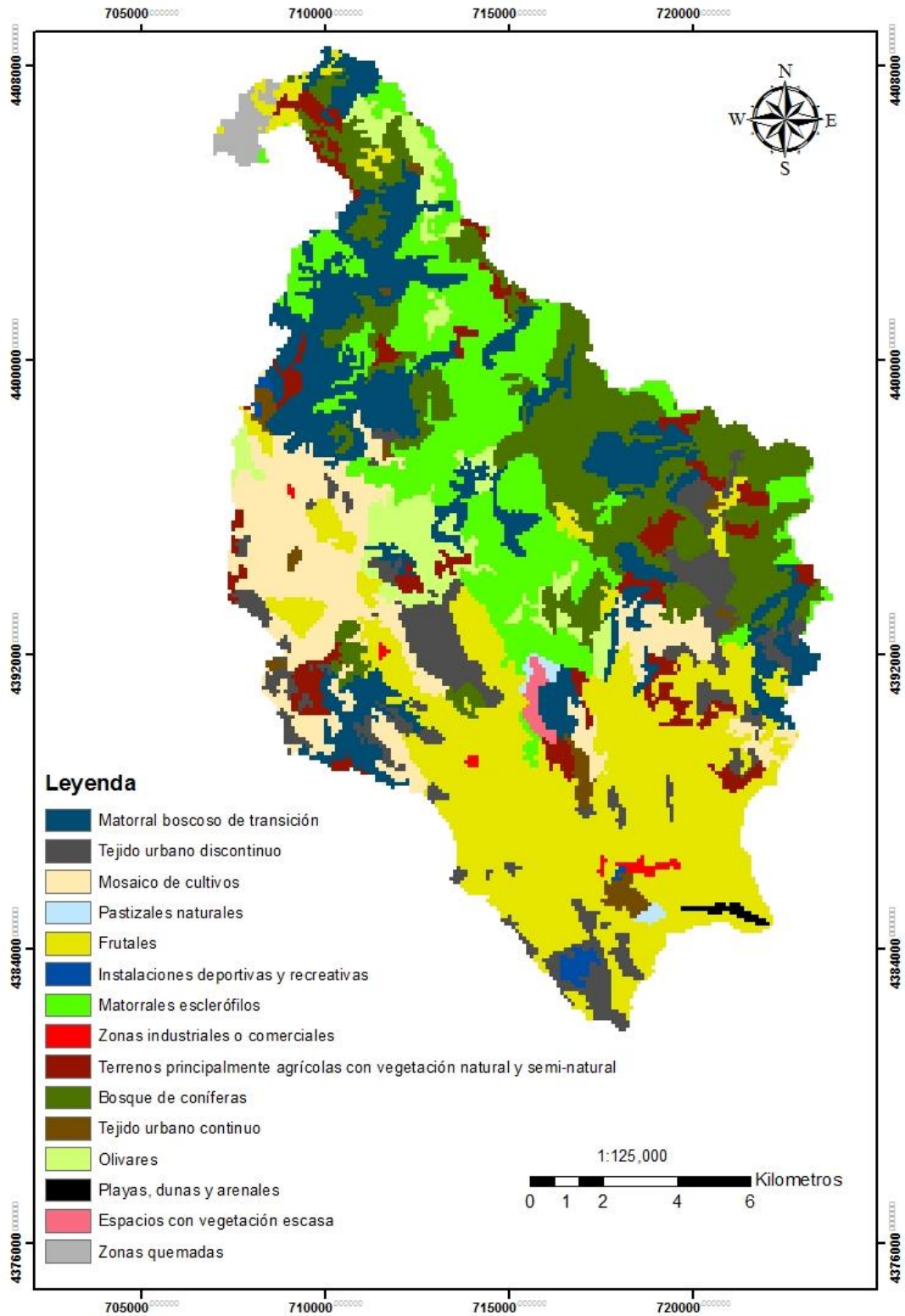


Figura 5-5. Mapa de usos del suelo de 2000.



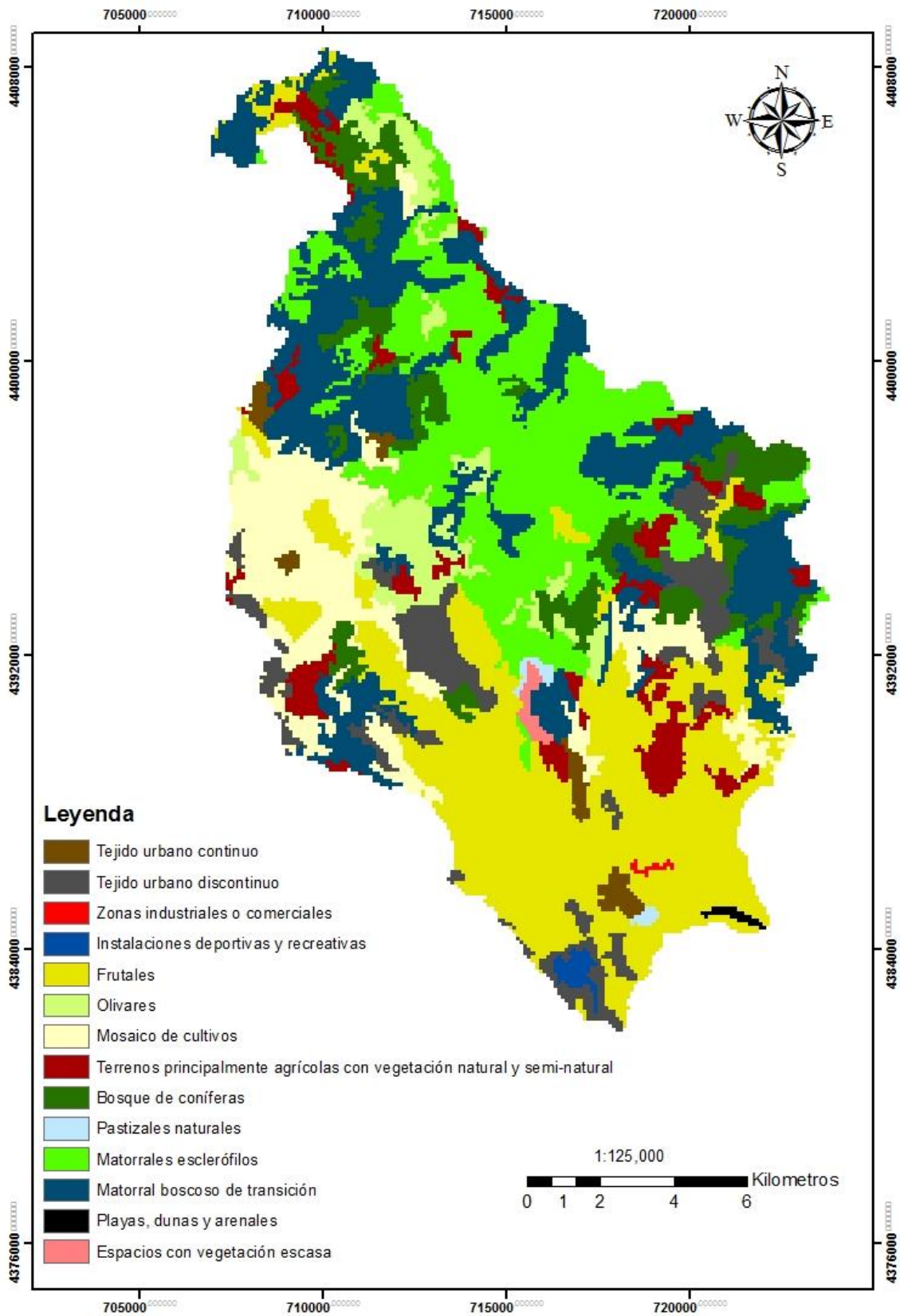


Figura 5-6. Mapa de usos del suelo de 2006.

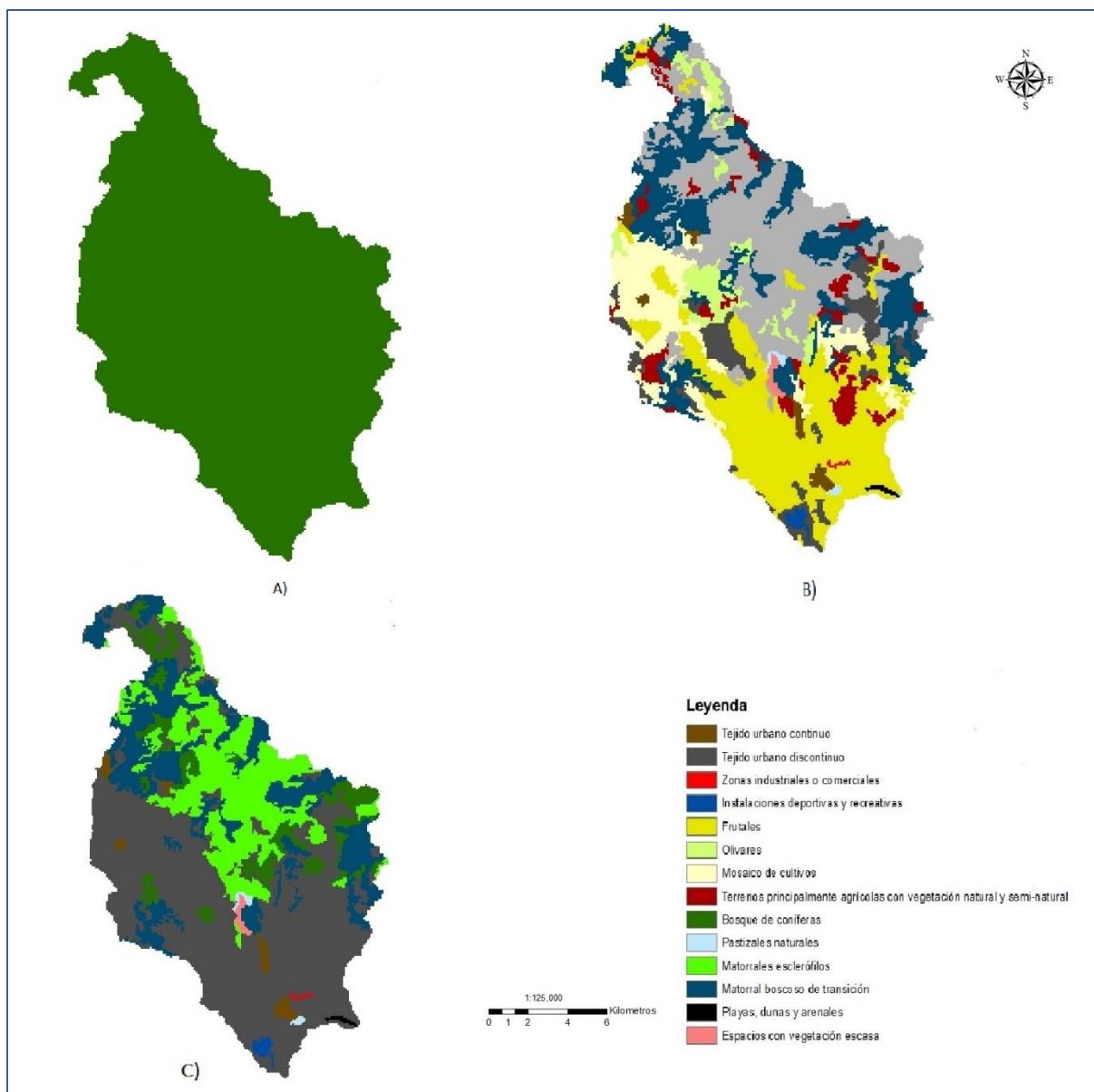


Figura 5-7. Mapas de usos del suelo de los escenarios propuestos: A) Toda la cuenca cubierta por bosque de coníferas; B) el bosque de coníferas y el matorral esclerófilo incendiados; C) todo el cultivo como urbano discontinuo.

## 5.5 CAMBIOS CUANTITATIVOS

El análisis cuantitativo de los cambios del uso del suelo nos permitirá determinar la intensidad y el ritmo de los cambios (Pascual Aguilar, 2002). En este apartado se expondrá con resultados numéricos como es que los cambios se van dando a lo largo del tiempo. Estos resultados también nos permitirán llegar a concluir sobre como los cambios tienen un impacto en el régimen hídrico.

Para los usos del año de 1956 (figura 5-8), año de inicio del periodo de evaluación de los cambios de los usos del suelo, se tiene que un 38.7% del total la superficie de la cuenca está

cubierta por el cultivo de olivo. Por otro lado, se tiene que el 27.89% de la superficie está cubierta por el bosque de coníferas, siendo este la segunda cobertura más importante.

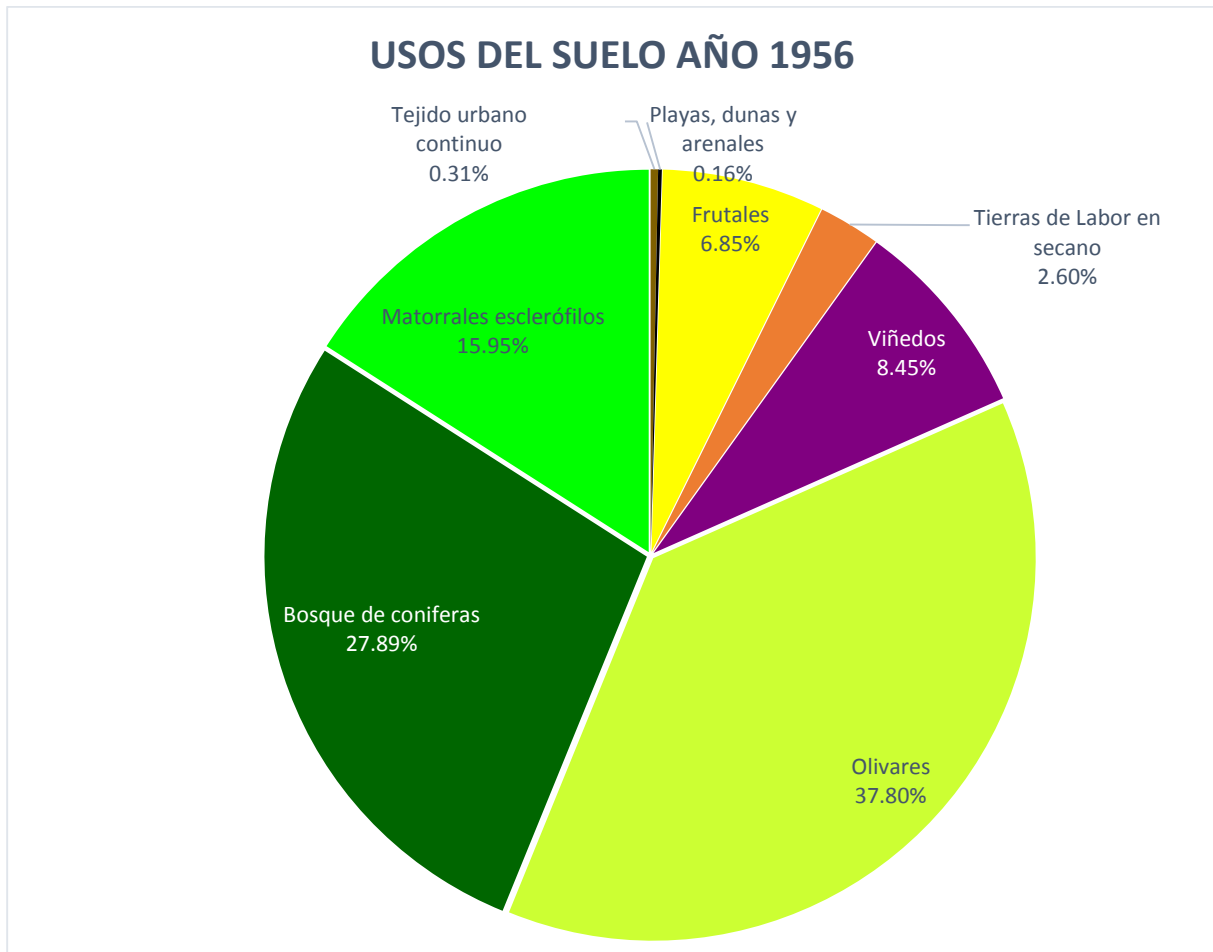


Figura 5-8. Porcentajes de la superficie cubierta por cada uso del suelo en 1956.

Para las superficies ocupadas por cada uso en 1978 (figura 5-9), tenemos que se invierte la importancia entre el olivo y el bosque de coníferas, pasando ahora a ser el bosque de coníferas el que cubre la mayor parte de la superficie de la cuenca con un 40.67%; mientras que el olivo disminuyó a un 21.14%. Por otro lado, los frutales sufren un incremento del 10.07% llegando casi a triplicar la superficie de 1956 (6.85%). Otro cultivo que ha sufrido una importante modificación son los viñedos, que pasó a representar apenas un 2.85% de la superficie total. El tejido Urbano aumenta de un 0.31% a un 1.34%, también se da la aparición del uso urbano discontinuo que pasa a ser el 4.21% de la superficie, siendo ya más importante que el continuo.

Para 1991, los bosques de coníferas y el matorral esclerófilo cubren casi la mitad de la superficie total, siendo el bosque de coníferas el que predomina en la cuenca con un 26.83%. El matorral esclerófilo cubre un 24.35%, cubriendo casi el mismo porcentaje de superficie que los frutales que representan el 24.83%. El olivo continúa su descenso cubriendo el 14.81%, con una disminución de 6.33%, mientras que los viñedos prácticamente desaparecen por completo y las tierras de labor en secano solo representan 0.47%.

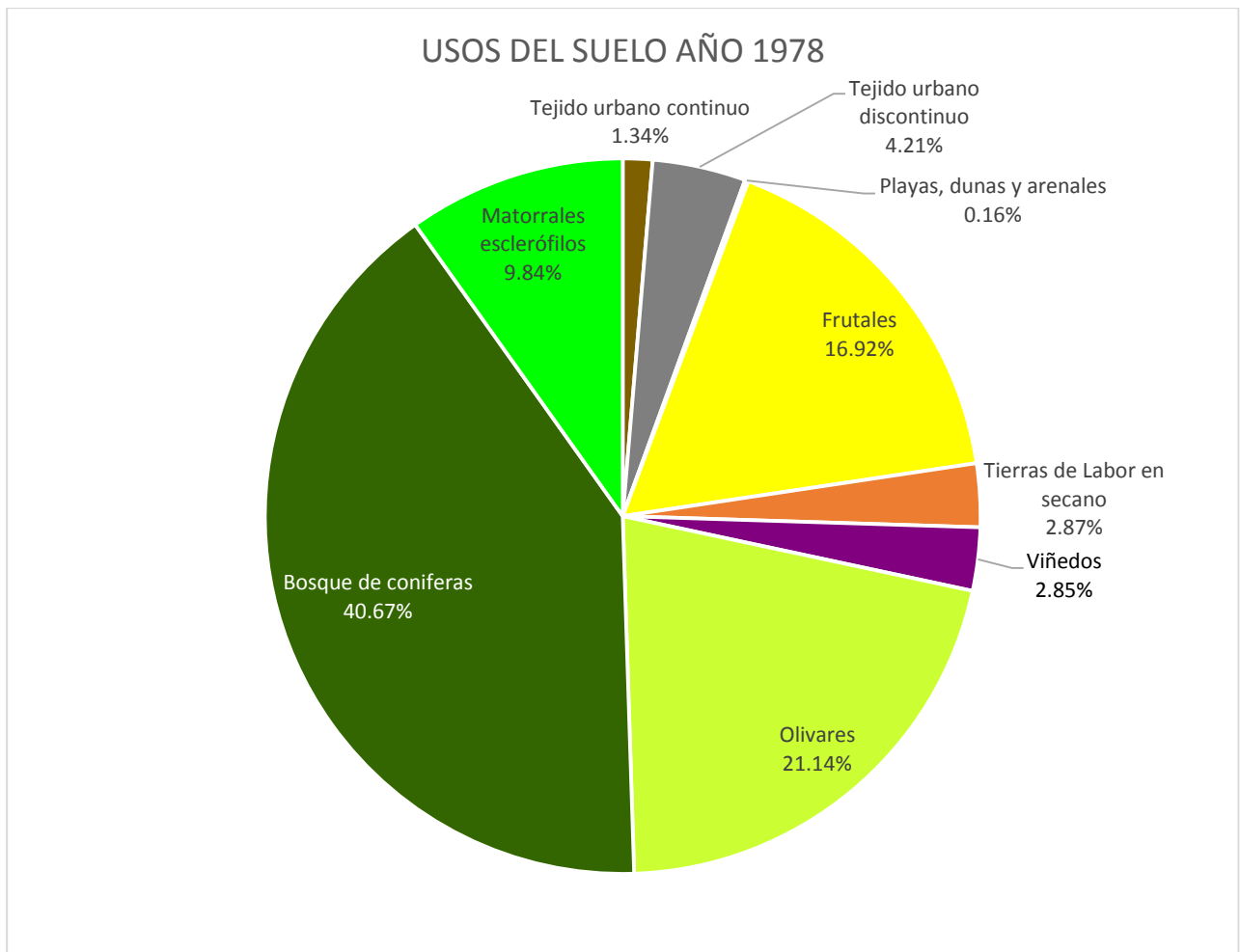


Figura 5-9. Porcentajes de la superficie cubierta por cada uso del suelo en 1978.

El uso urbano continuo se mantiene alrededor del 1%, prácticamente no representa cambios. El uso urbano discontinuo si presenta un aumento de 2.76%, alcanzando a cubrir un 6.97% de la superficie total de la cuenca; en la figura 5-10 se representan los porcentajes de superficie ocupada de cada uso del suelo.

En 1998, el uso del suelo que predomina es el matorral esclerófilo con un 43.57% del total del área de la cuenca, este ha aumentado en casi 20% la superficie que ocupaba en 1991. El bosque de coníferas disminuye drásticamente y pasa a ocupar solo un 7.42% del total. En general los cultivos cambian muy poco en relación a 1991. El olivo disminuye en apenas 2% respecto al año 1991, mientras que los frutales aumentan en 2.35% con respecto a 1991 (24.83%). El viñedo es apenas un 0.11% del total y las tierras de labor en secano han desaparecido totalmente.

El uso urbano continuo, sigue manteniéndose llegando a cubrir un 1.41% de la superficie total. Por otro lado, en el caso del uso urbano discontinuo hay un ligero incremento de 0.27%. En la figura 5-11 se muestran los porcentajes de cobertura de todos los usos.

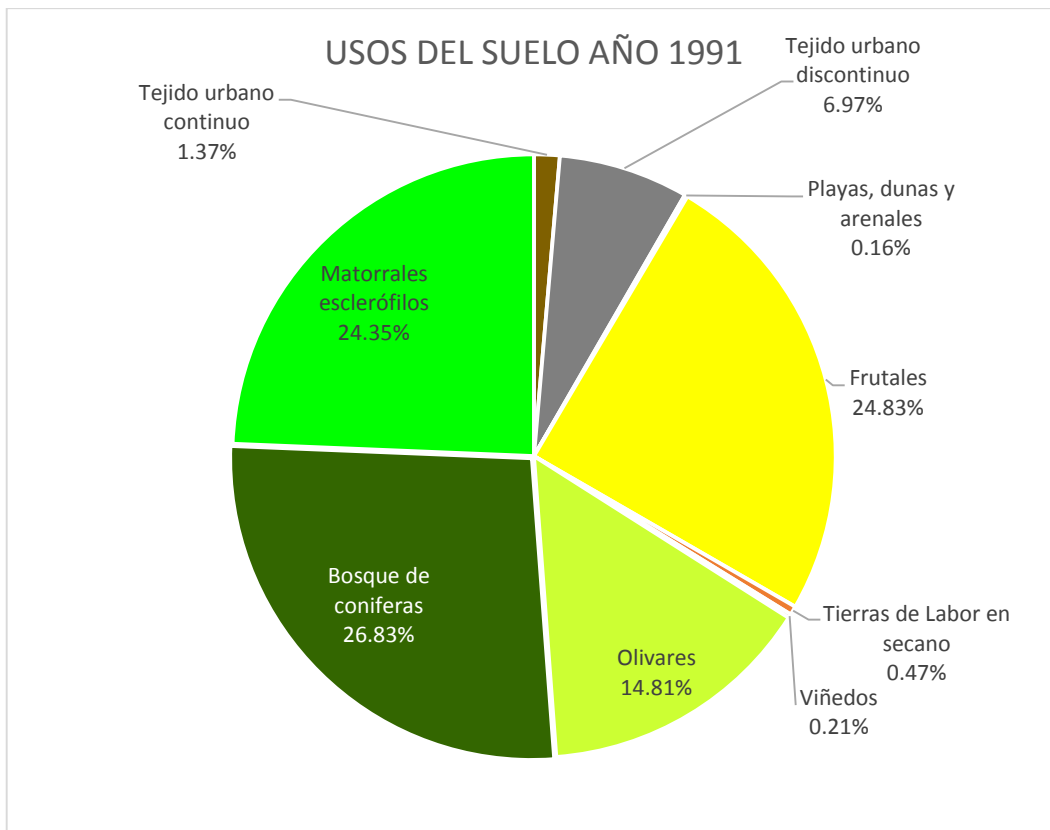


Figura 5-10. Porcentajes de la superficie cubierta por cada uso del suelo en 1991.

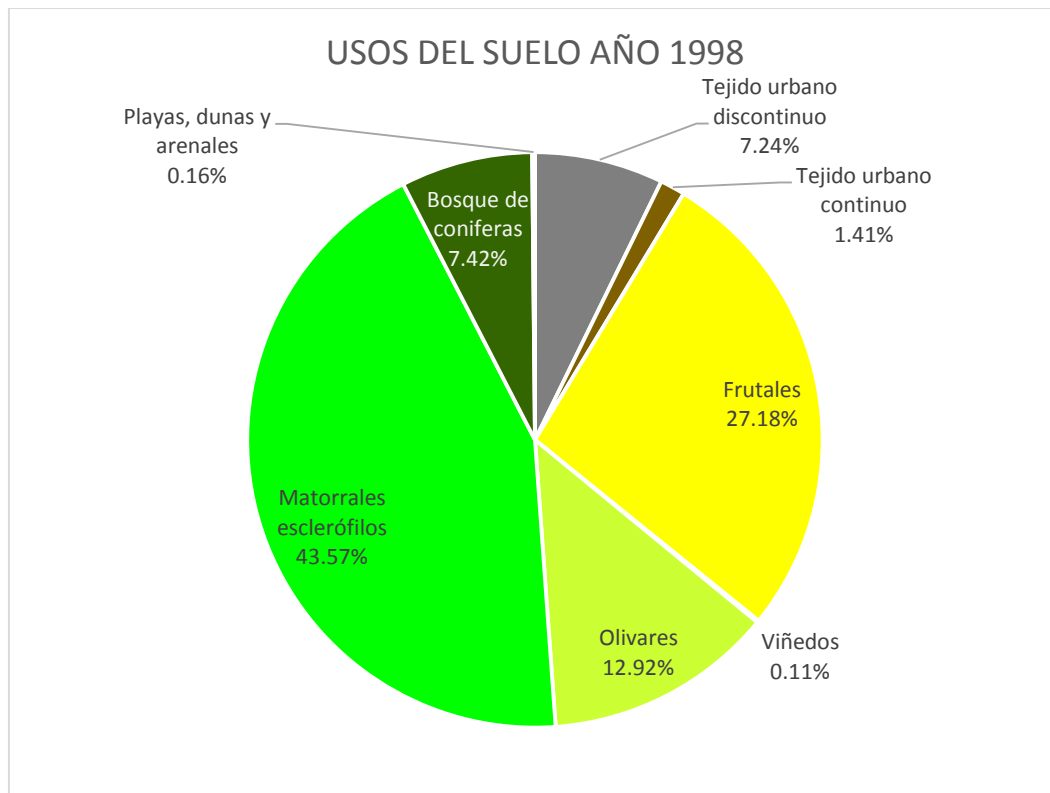


Figura 5-11. Porcentajes de la superficie cubierta por cada uso del suelo en 1998.

En 2000, las coberturas (figura 5-12) provienen directamente del proyecto Corine, por lo que se tiene un mejor detalle de cada clase. En este año los frutales son los que dominan en la cuenca, cubriendo un 24.89% de la superficie total, que representa una menor superficie que en 1998. También podemos ver que la superficie que está en un estado de transición entre matorral esclerófilo y bosque de coníferas ocupa un 15.38%, siendo el segundo más importante de la cuenca; por otra parte, el matorral esclerófilo se reduce a un 14.42, pudiendo esto deberse al detalle de las clases la cartografía proveniente de Corine define mejor, o también puede ser directamente una transición de matorral a bosque que en los años anteriores no se presentó. El olivo se reduce a una tercera parte de con respecto a lo que ocupaba en 1998, esto puede ser relativo ya que también aparece el uso de terrenos principalmente agrícolas, pero con importantes espacios de vegetación natural y semi-natural; el olivo en 1998 puede también haber tenido espacios de vegetación natural, así que puede deberse a la clasificación directamente.

El mosaico de cultivos Corine lo define como:

Alternancia de pequeñas parcelas (menores de 25 ha) de tierras de labor con cultivos anuales o permanentes con cobertizos o casas dispersas. Están normalmente situadas en las proximidades de asentamientos rurales o urbanos y las cosechas, frutas y verduras que allí crecen se destinan al consumo particular.  
(Instituto Geográfico Nacional, 2002).

Entonces el mosaico de cultivos es un mayor nivel de detalle de en la clasificación de Corine que las clases que se toma de la cartografía de Pascual Aguilar (2002), entonces puede que antes todos los cultivos estén más agregados. A fin de evaluar los impactos en los recursos hídricos estas variaciones no tienen una influencia fuerte ya que sus comportamientos de las coberturas en el ciclo hidrológico son muy similar. En el 2000, El mosaico de cultivos representa el 9.73%; por otra parte, el bosque de coníferas ahora representa un 15.28%, cubriendo el doble de superficie que en 1998.

En el año 2006, la superficie que ocupa una mayor superficie son los frutales con un 24.59% de la cuenca, con una disminución muy pequeña respecto del 2000; el segundo uso que cubre mayor superficie es el matorral boscoso de transición con 19.30%. El matorral esclerófilo sufrió un aumento de aproximadamente 5% con respecto al año 2000, llegando a cubrir un 19.25% de la superficie. El mosaico de cultivos mantiene su cobertura alrededor de 10%, con un leve incremento respecto de 2000; de igual manera las tierras de labor en secano se mantienen alrededor de 5%.

El sus urbano continuo, ahora representa 1.25% manteniéndose prácticamente constante respecto a 2000; el uso urbano discontinuo disminuye 0.89% respecto al 2000, esto en se debe a que en el año 2000 se decidió tomar algunos usos urbanos, que representaban muy poca superficie, como usos urbanos continuos; esto se basa en que su comportamiento en el ciclo hidrológico es muy similar y también es muy poca superficie como para que nos altere el modelo. En el capítulo 4 la figura 4-8 muestra los porcentajes de la superficie ocupada por cada uso del suelo.

Por ultimo analizamos los escenarios, el de coníferas es suponer que el 100% de la cuenca está cubierta por el bosque de coníferas. El segundo escenario considerado supone, en base a los usos del 2006, que todo el bosque de coníferas y el matorral esclerófilo se incendia y por tanto pasan a ser zonas quemadas; el resto de usos queda cubriendo la misma superficie que en 2006 como se aprecia en la figura 5-13. La superficie que pasa a ser zonas quemadas ocupa un 27.04% del total de la superficie de la cuenca.

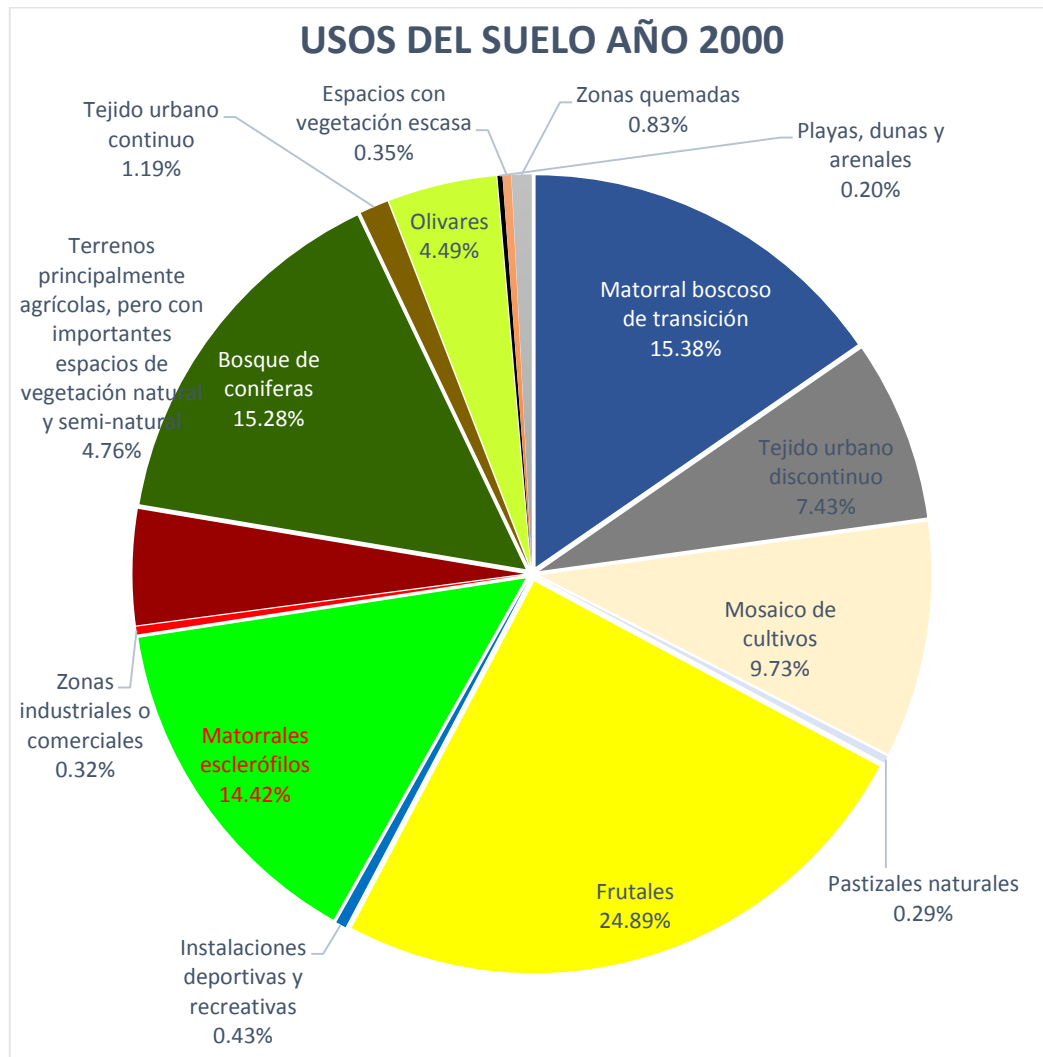


Figura 5-12. Porcentajes de la superficie cubierta por cada uso del suelo en 2000.

En el tercer escenario se considera que todo lo que estaba ocupado por cultivos en la cartografía del 2006, ahora está ocupada por uso urbano discontinuo; el resto de la superficie se mantiene igual a las cubiertas del año 2006. En la figura 5-14 se puede apreciar que un 51.13% de la superficie comprende el urbano discontinuo.

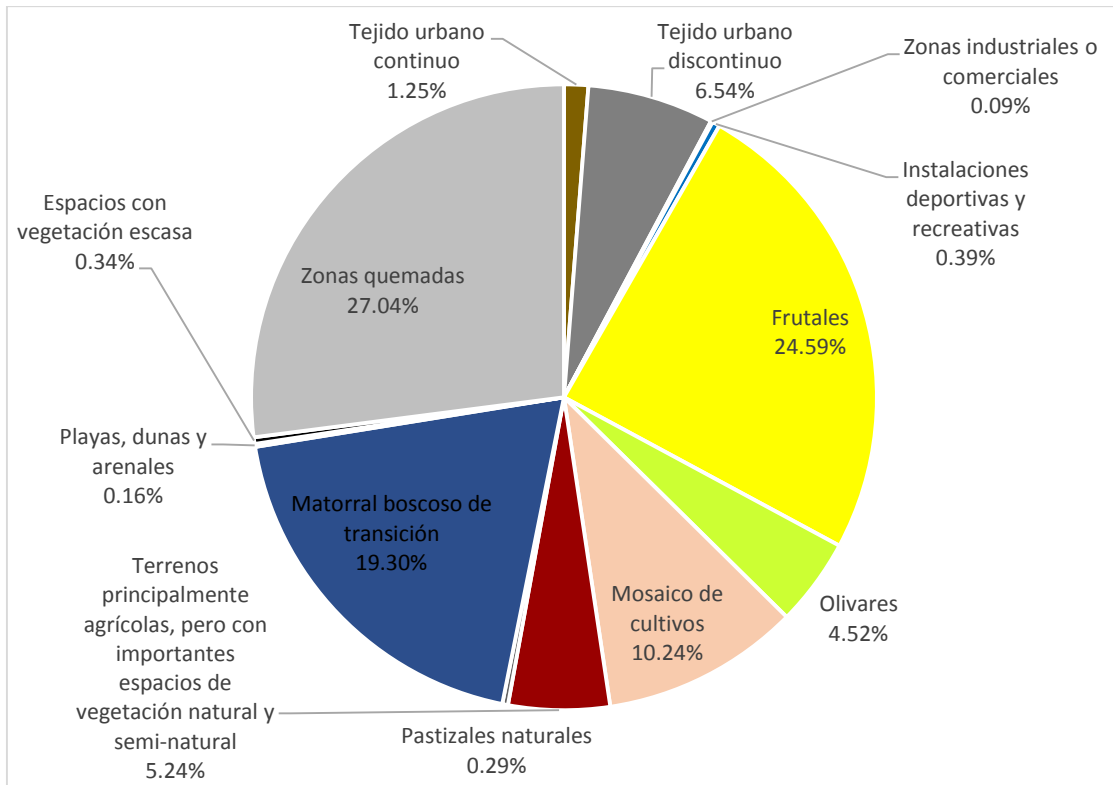


Figura 5-13. Porcentajes de la superficie cubierta por cada uso del suelo en el escenario de incendio.

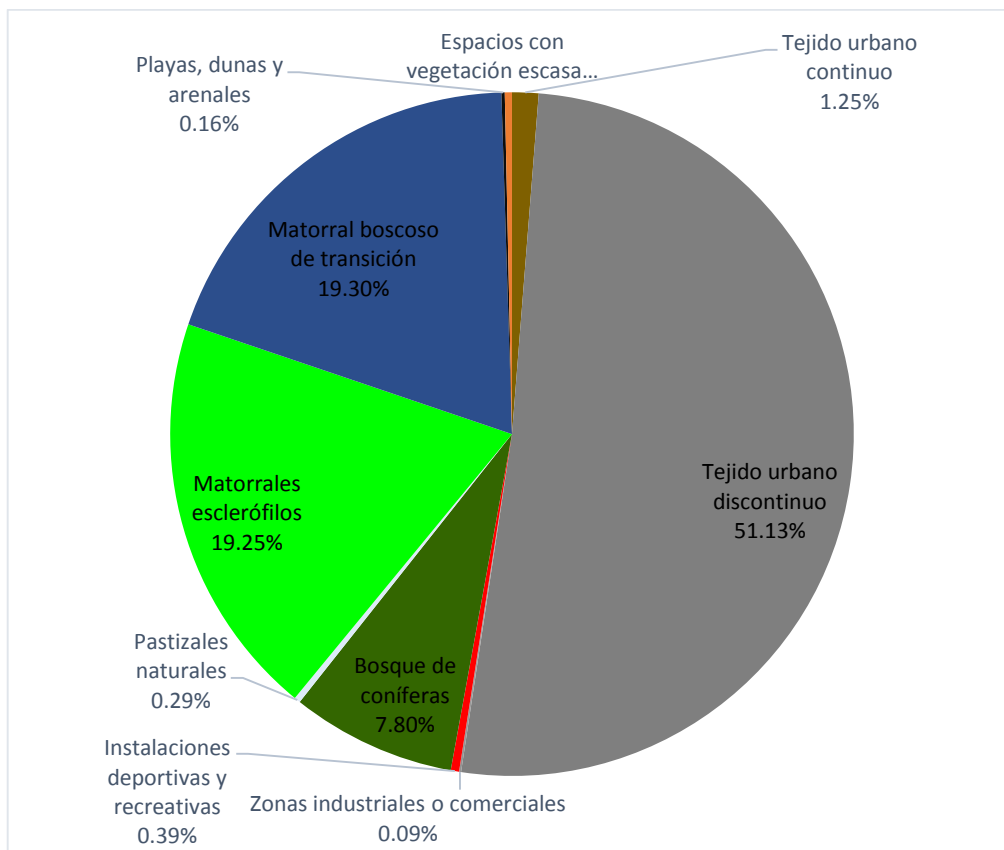


Figura 5-14. Porcentajes de la superficie cubierta por cada uso del suelo en el escenario de uso urbano discontinuo.



## 6 ESTIMACIÓN DE PARAMETROS PARA LA MODELACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO

---

Como se vio anteriormente, los parámetros efectivos son valores que reproducen el comportamiento de un área finita; a estos parámetros el modelo TETIS los separa en dos partes: las características físicas del medio natural y factores correctores. En los parámetros iniciales se encuentra representada la variabilidad del medio, que se mantiene en el parámetro efectivo. El modelo TETIS necesita los parámetros iniciales para empezar la modelación.

En este trabajo, se usan tanto los parámetros iniciales que se usó en la implementación del modelo Tetis en el Barranco del Carraixet por Tejada Espinoza (2016), como también se calcularan los parámetros iniciales que se modifican al cambiar los usos del suelo, siendo los parámetros que varían:

- Conductividad hidráulica saturada del suelo.
- Almacenamiento estático.
- Tipo de cubierta vegetal y su factor de vegetación a lo largo del año  $\lambda_v$ .

Los parámetros que TETIS necesita, se clasifican en tres grupos: los que provienen del modelo de elevación digital del terreno, parámetros del suelo y cubierta vegetal, parámetros geomorfológicos y parámetros de fusión de nieve; en nuestro caso el último grupo no se usa. En la tabla 6.1 se muestra la información cartográfica original y los parámetros que derivan de esta.

Tabla 6.1. Mapas, formato, escala original y parámetros estimados (Tejada Espinoza, 2016).

Mapas	Formato Original y Escala	Parámetros 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 este capítulo se describirán tanto los parámetros iniciales calculados por Tejada Espinoza (2016) para el proceso de implementación del modelo y también los parámetros calculados

para las simulaciones con los cambios de los usos del suelo; estos parámetros iniciales que se varían con cada uso ya no se calibran, sino que usan los factores correctores del modelo ya implementado.

## 6.1 CALCULO DE LOS MAPAS DERIVADOS DEL MED

Las características físicas de la cuenca se obtienen a partir del modelo de elevación digital del terreno empleando algunos algoritmos. En nuestro caso usamos los sistemas de información geográfica que ya tienen implementados algoritmos para la determinación de determinadas características (Ferrero, 2004).

Los mapas derivados del modelo de elevación digital del terreno, representan las características geomorfológicas de la cuenca y las relaciones topológicas en la red de drenaje (Ramírez Solano, 2012).

### 6.1.1 Modelo de elevación digital del terreno

Para la implementación del modelo TETIS en la cuenca del barranco del Carraixet, se usa el modelo de elevación digital procedente del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG) en formato ráster. El tamaño de celda es de 100x100. El modelo se tiene que corregir para poder obtener los mapas que derivan del mismo. La figura 6-1 nos muestra el mapa del modelo de elevación digital del terreno.

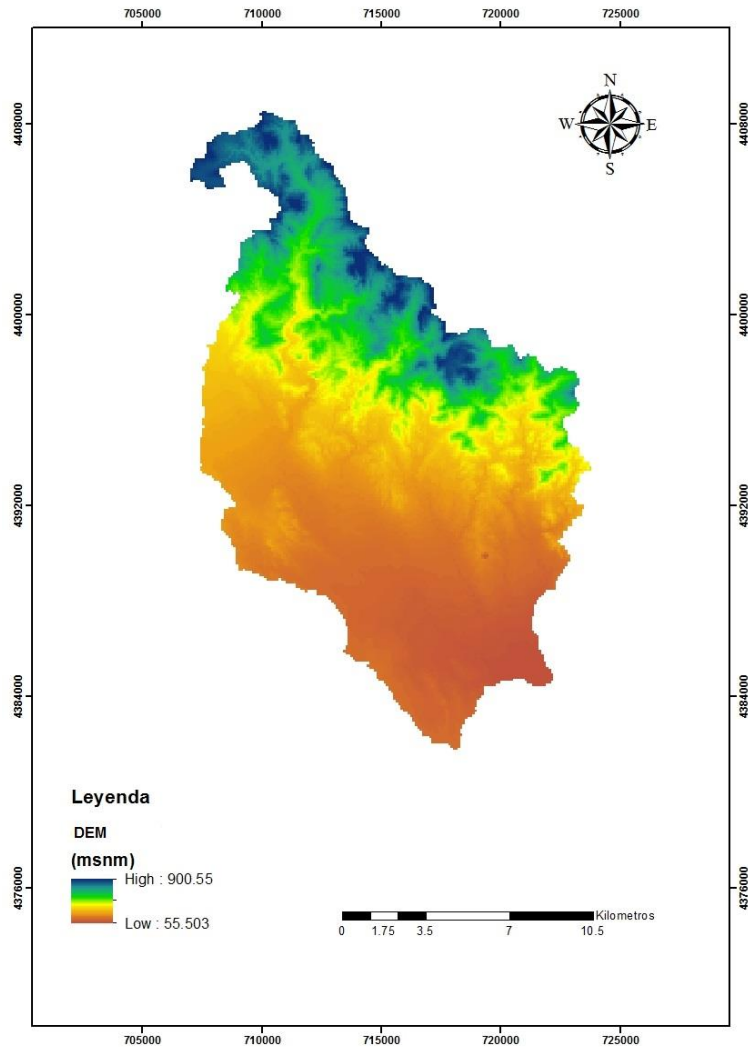


Figura 6-1. Mapa del modelo de elevación digital del terreno, Barranco del Carraixet (Tejada Espinoza, 2016).

### 6.1.2 Mapa de direcciones de flujo

La dirección del flujo, es una de las características más importantes de la celda, ya que este define el movimiento del agua a través de la celda. TETIS lee las direcciones de flujo que usa ArcGIS, estas direcciones son N, S, E y O; que en la malla de 3x3 de la figura 6-2 son los números 64, 4, 1 y 16 respectivamente. De igual manera para las direcciones NO, NE, SO y SE las correspondientes a las direcciones de drenaje 32, 128, 8 y 2 respectivamente. El mapa de direcciones de flujo se presenta en la figura 6-3.

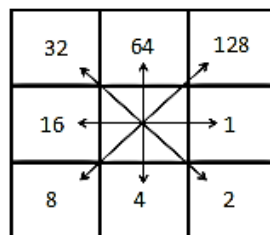


Figura 6-2. Direcciones de flujo según ArcGIS (Tejada Espinoza, 2016).

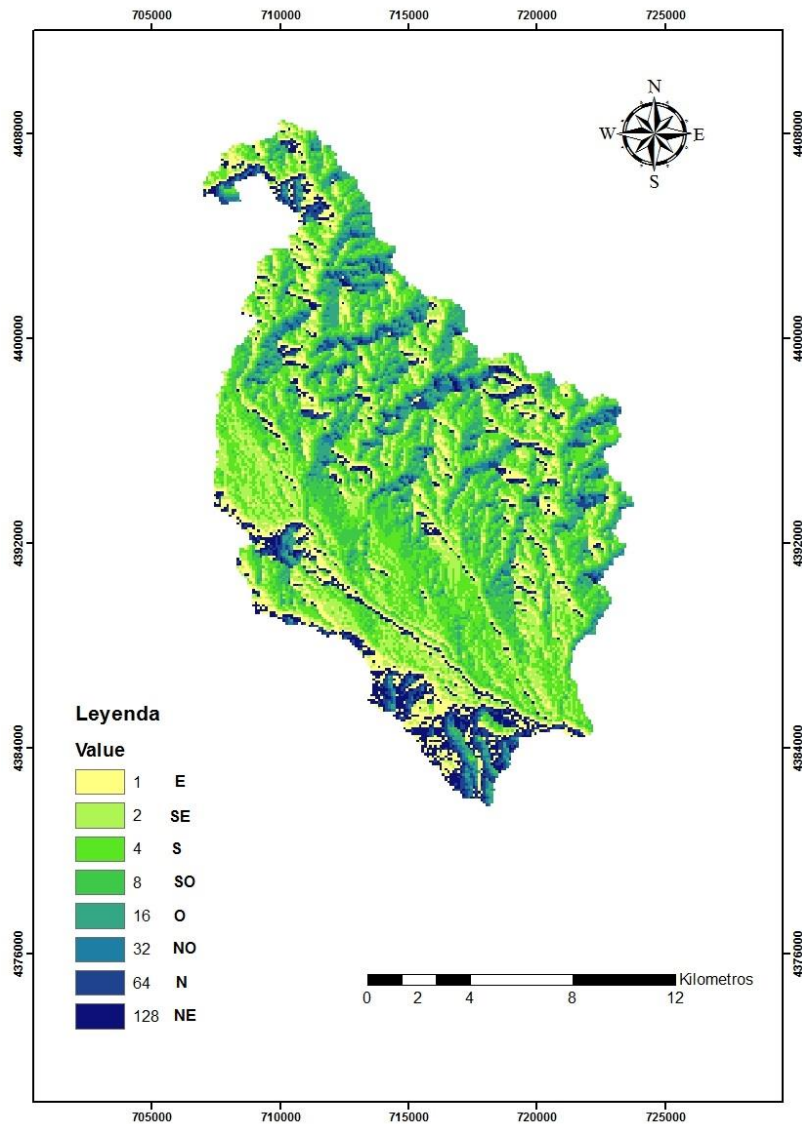


Figura 6-3. Direcciones de Flujo, Barranco del Carraixet (Tejada Espinoza, 2016).

### 6.1.3 Mapa de celdas drenantes acumuladas

Según Ferrer (2004), el área drenante acumulada sirve para la definición y la caracterización de cauces y de la cuenca. Sirviendo de nexo entre las direcciones de flujo y su aplicación en la extracción de elementos y unidades hidrológicas. Es el área total cuyo flujo de celda en celda siguiendo las direcciones calculadas, acaba vertiendo sobre la celda problema. En la figura 6.4 se presenta el mapa de celdas drenantes acumuladas.

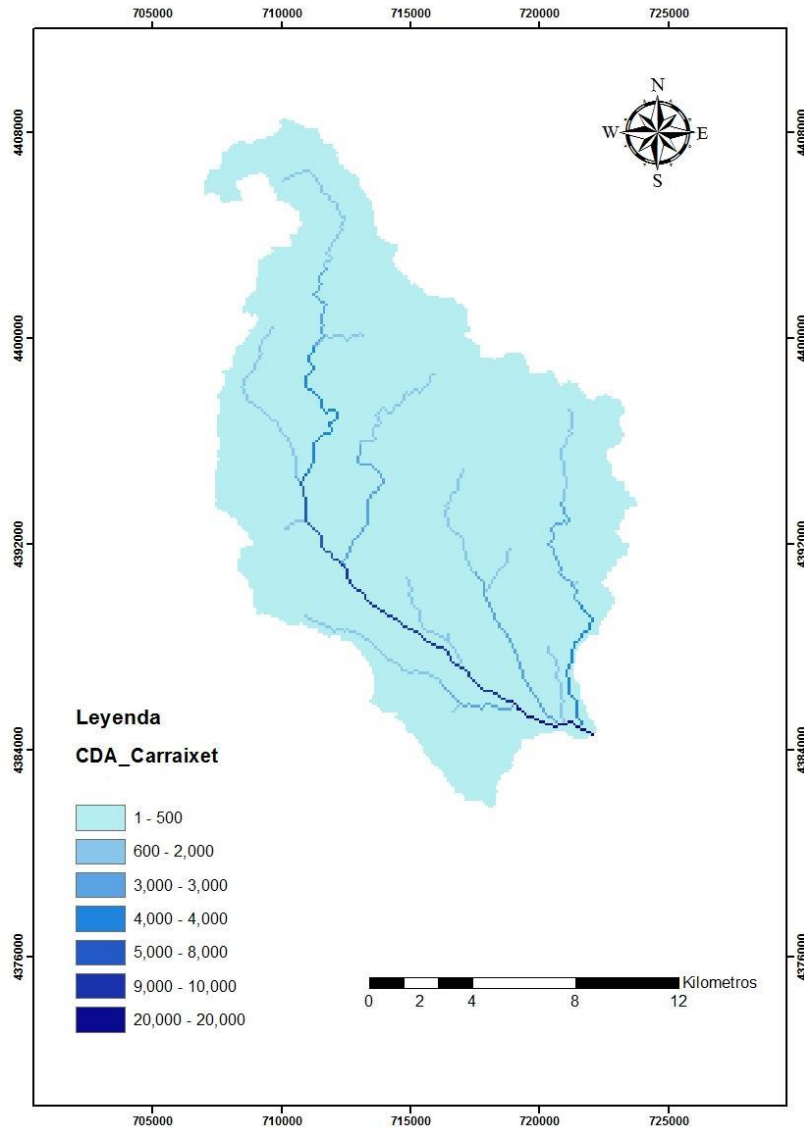


Figura 6-4. Mapa de celdas drenantes acumuladas, Barranco del Carraixet (Tejada Espinoza, 2016).

#### 6.1.4 Mapa de pendientes

La pendiente es la característica que define el terreno, parámetros tales como velocidad del agua y muchos otros parámetros hidrológicos (Ferrero, 2004). En el caso del modelo conceptual TETIS, la pendiente tiene un papel fundamental en la velocidad en ladera. En la figura 6-5, se muestra el mapa de pendientes calculado por Tejada Espinoza (2016) en la implementación del modelo TETIS en el Barranco del Carraixet.

Como se aprecia en el mapa de pendientes de la figura 6-5, las pendientes bajas dominan la mayor parte de la cuenca, en las montañas se tienen altas pendientes.

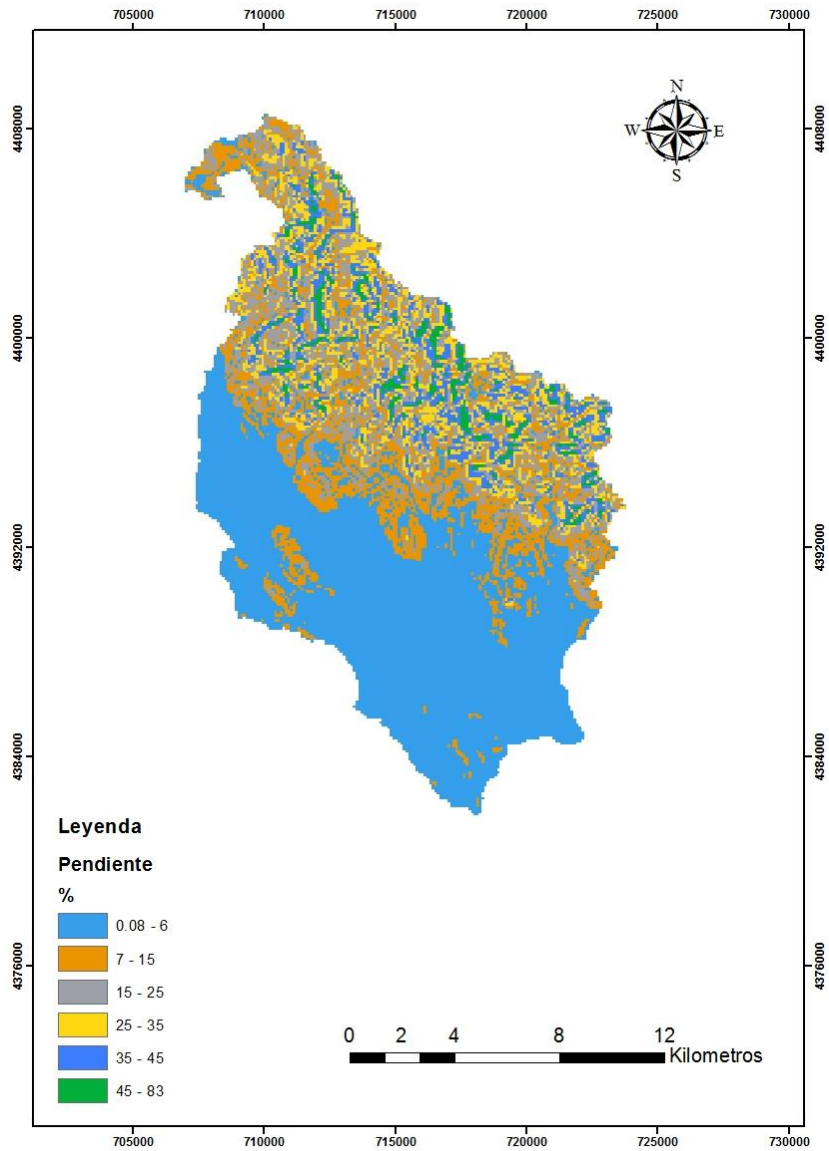


Figura 6-5. Mapa de pendientes, Barranco del Carraixet (Tejada Espinoza, 2016).

### 6.1.5 Mapa de velocidades de ladera

Para el mapa de velocidades, se toma como si la velocidad fuera estacionaria y constante en toda la celda, pero varía de celda en celda en función de la pendiente de la celda; la ecuación que relaciona la pendiente y la velocidad es la siguiente:

$$v = 1.414 * \sqrt{S_0}$$

Donde  $v$  es la velocidad y  $S_0$  es la pendiente; en la figura 6-6 se muestra el mapa de velocidades.

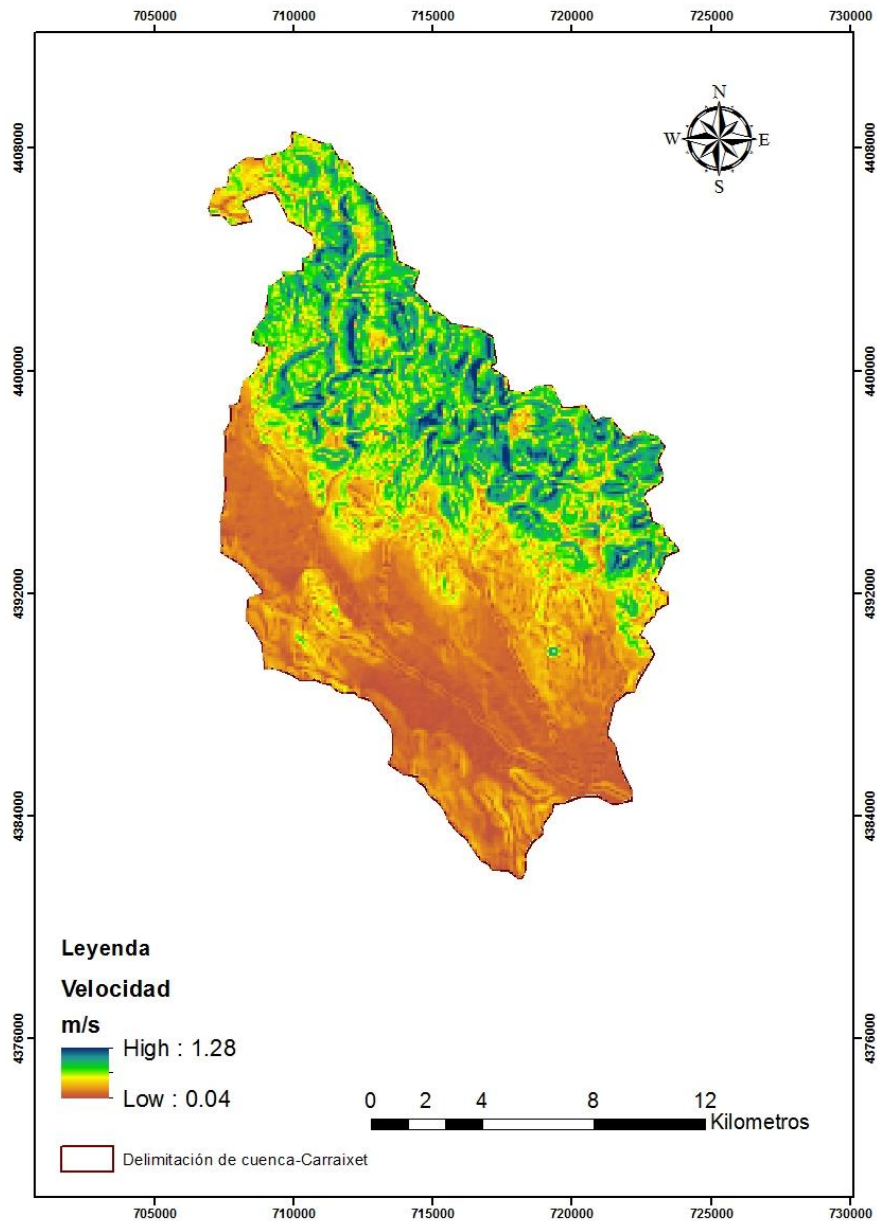


Figura 6-6. Mapa de velocidad de ladera, Barranco del Carraxet (Tejada Espinoza, 2016).

## 6.2 CALCULO DE PARAMETROS DERIVADOS DE CARACTERISTICAS EDAFOLÓGICAS, HIDROGEOLÓGICAS Y GEOMORFOLOGICAS

### 6.2.1 Capacidad de infiltración

La capacidad de infiltración con la que trabaja TETIS, es la que tiene el suelo cuando está saturado, esta capacidad de infiltración es estacionaria. En la implementación del modelo TETIS en el barranco del Carraxet, Tejada Espinoza (2016) uso las funciones de pedo-transferencia de Saxton y Rawls, que relacionan las características físicas del suelo con los



parámetros hidráulicos del suelo, que son obtenidos del mapa de textura superficial dominante (TEXT-SRF-DOM); esta información se obtiene de la Base de Datos del Suelo Europea (ESDB), el mapa resultante de este proceso se muestra en la figura 6-7.

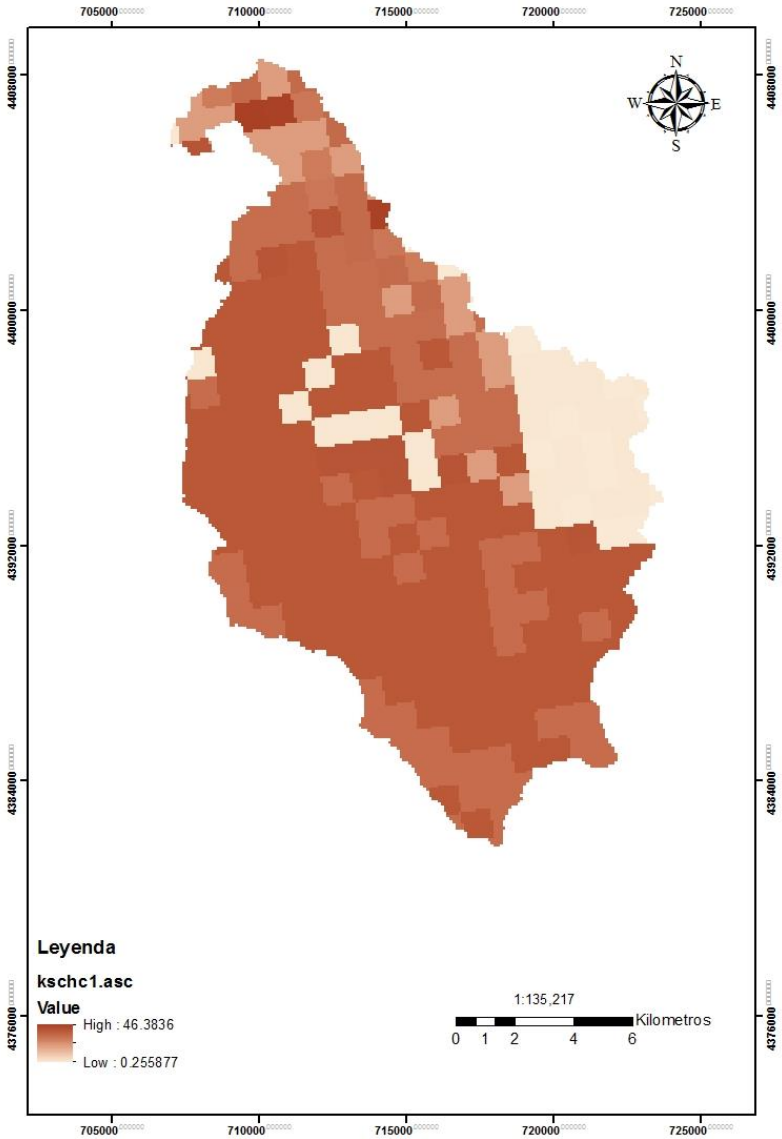


Figura 6-7. Mapa capacidad de infiltración Ks para la cuenca del barranco del Carraixet (mm/h).

La capacidad de infiltración, es uno de los parámetros que varían al cambiar la cobertura superficial, es por eso que se aplicó una modificación al mapa de capacidad de infiltración que uso Tejada Espinoza (2016) para la implementación del modelo de la cuenca del Carraixet. La modificación que se introduce al mapa de capacidad de infiltración, es que para el uso de urbano continuo se reduce su capacidad a un 20% del valor que el mapa asignaba a esas celdas. Para el uso urbano discontinuo se le asigna el 80% del valor que tiene asignado cada celda, estas modificaciones se basan en estudios anteriores. En el caso del escenario de toda la cuenca como bosque de coníferas, el mapa es igual al mapa sin modificaciones. En el caso del escenario como todo el bosque de coníferas y el matorral esclerófilo incendiado, el mapa

es idéntico al del año 2006 ya que la superficie urbana se mantiene igual. Los mapas se muestran en la figura 6-8.

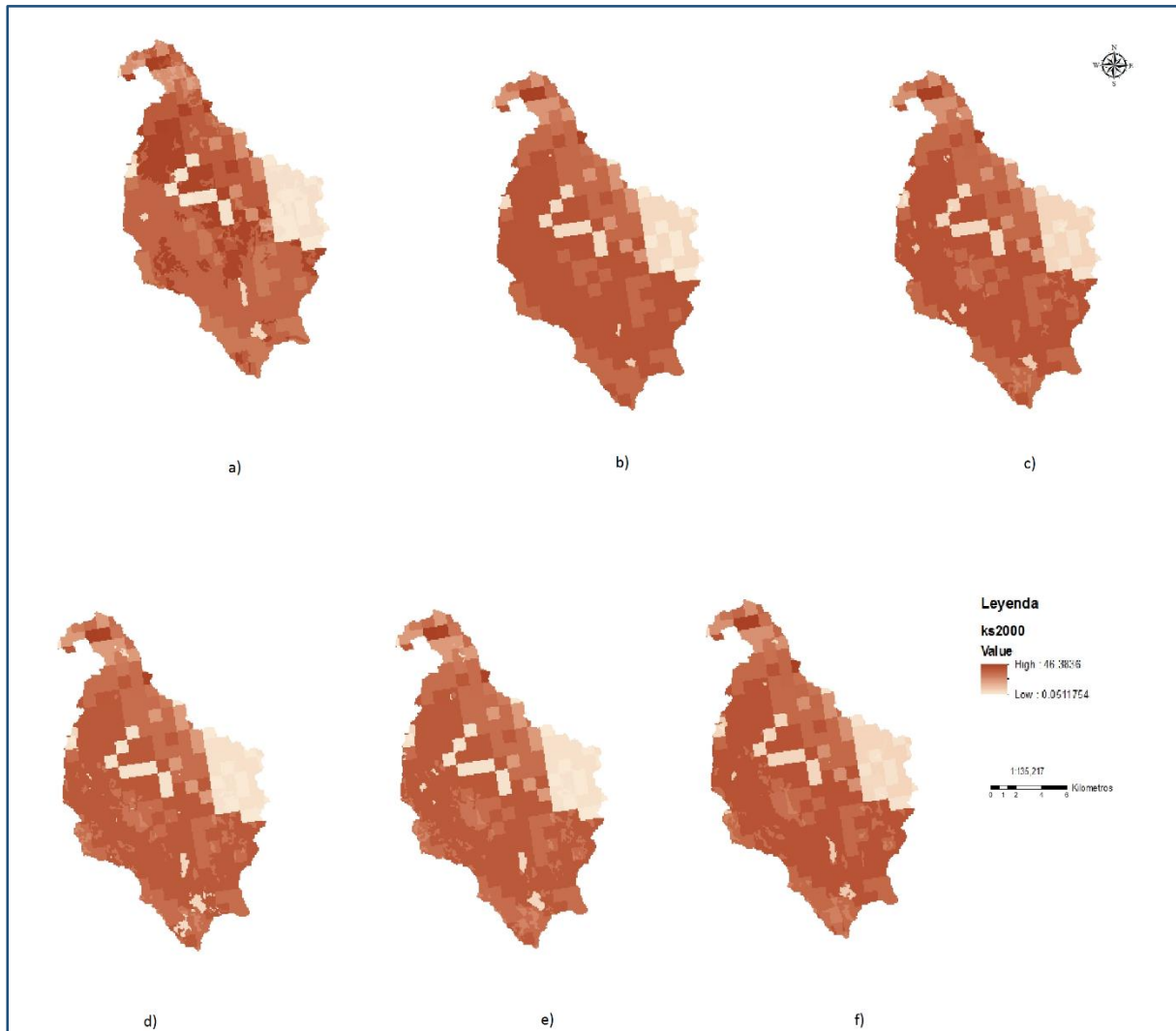


Figura 6-8. a) Mapa de capacidad de infiltración del escenario que los cultivos pasan a ser urbano discontinuo; Mapa de capacidad de infiltración de: b) 1956, c) 1978, d) 1991, e) 1998, f) 2000.

Para la calibración se usa el mapa de capacidad de infiltración con las correcciones propuestas para el uso urbano tanto continuo como discontinuo, el mapa es el correspondiente al del 2006 (figura 6-9).

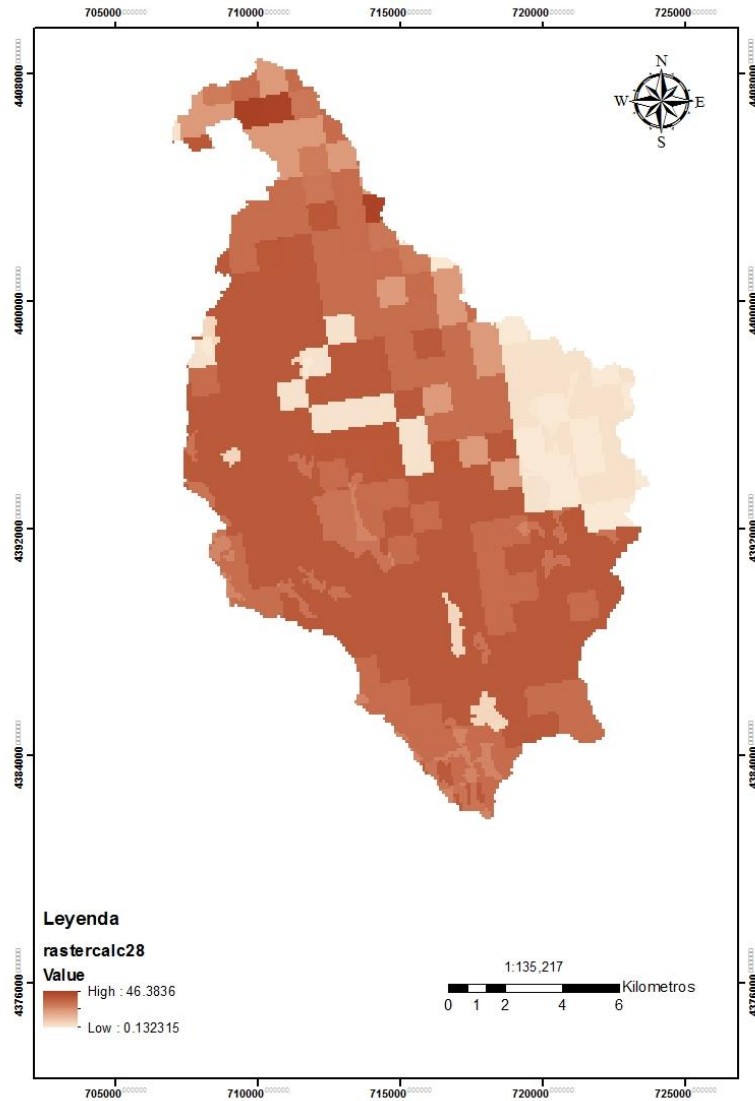


Figura 6-9. Mapa de capacidad de infiltración del 2006.

### 6.2.2 Capacidad de percolación del sustrato

Para los procesos de percolación, pérdidas subterráneas y estimación del flujo base. Tejada Espinoza (2016) empleo el mapa de permeabilidad cualitativa del acuífero, elaborado a partir de las unidades litológicas, procedente del Instituto Geológico y Minero de España (IGME). Se consideran cinco tipos de permeabilidad: alta (MA), Alta (A), Media (M), Baja (B), Muy baja (MB) y siete grupos litológicos: alta (MA), Alta (A), Media (M), Baja (B), Muy baja (MB). En la tabla 6.2 se muestran los valores que se le asigna a cada categoría y en la figura 6-10 el mapa ya con los valores asignados.

Tabla 6.2. Valores de permeabilidad adoptados en función de la categoría cualitativa (Tejada Espinoza, 2016).

Categoría cualitativa de Permeabilidad	Kp (mm/h)
C-MB	0.000416667
C-B	0.074094975
C-M	13.17615692
C-A	2343.088855
C-MA	416666.6667
E-MB	0.041666667
E-B	0.740949754
E-M	13.17615692
D-MB	4.17E-06
D-B	0.000416667
D-M	0.041666667
D-A	4.166666667
D-MA	416.6666667
M-MB	4.17E-07
M-B	2.34E-05
M-M	0.001317616
Q-B	0.007409498
Q-M	1.317615692
Q-A	234.3088855
Q-MA	41666.66667
V-MB	0.36
V-B	1.138419958
I-MB	0.00000036
I-B	0.000036

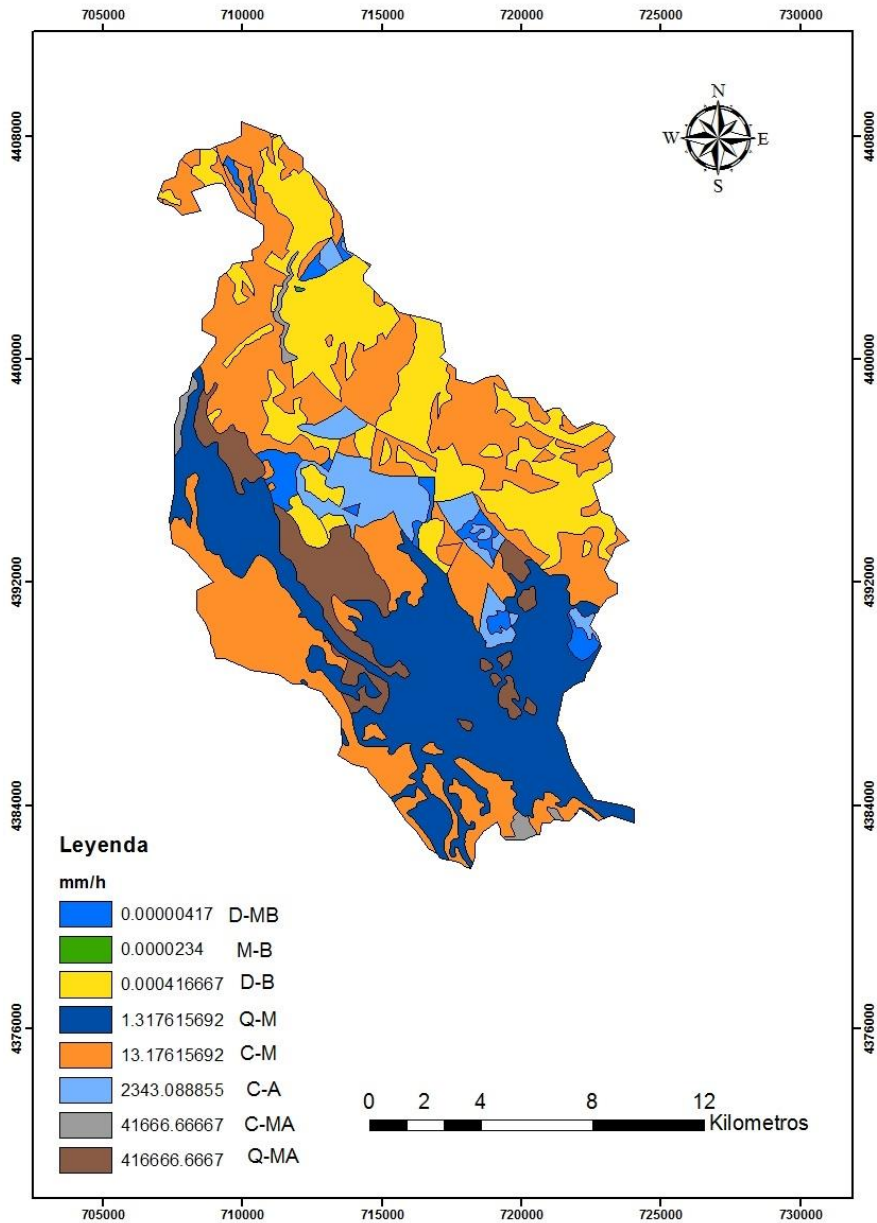


Figura 6-10. Mapa Conductividad hidráulica del acuífero Kp (mm/h) (Tejada Espinoza, 2016).

### 6.2.3 Parámetros geomorfológicos

En el presente apartado, se describirá los parámetros geomorfológicos de la cuenca. Como se vio anteriormente en la descripción del modelo TETIS, este define tres elementos de la cuenca: la ladera, las cárcavas y el cauce. Para definir estos elementos, es necesario determinar las áreas umbrales que asignaran a cada celda el elemento que es.

En la implementación del modelo TETIS en la cuenca del barranco del Carraixet. Las áreas umbrales se han determinado con una metodología de comparación de las redes de flujo, que se generan con las áreas acumuladas para diferentes umbrales, con la cartografía en vectorial

de la red de cauces. Para el área umbral del interflujo se determinó un valor de 0.015 km<sup>2</sup> y para el área umbral del flujo base se determinó un valor de 35 Km<sup>2</sup>.

Por otro lado, se definen los parámetros geomorfológicos para el modelo de propagación en cauces que se desarrolló en el capítulo 4. Son nueve los parámetros correctores que necesita TETIS, los cuales han sido obtenidos de un estudio de la cuenca del Tajo (DIHMA, 2001), los valores adoptados para los parámetros se muestran en la tabla 6.3.

Tabla 6.3. Valores adoptados para los coeficientes y exponentes. OCG (Tejada Espinoza, 2016).

Relación	Coeficiente		Exponente	
$Q_b$ vs $\Lambda$	k	1.2968	$\phi$	0.7571
$w_b$ vs $Q_b$	$c_1$	3.1301	$\epsilon_1$	0.5088
w vs Q	-	-	$\epsilon_2$	0.3253
d vs $y^*s_0$	$c_d$	6.5156	$\theta$	0.6548
n vs d	$c_n$	0.047	$\xi$	0.1667

### 6.3 CALCULO DE PARÁMETROS DERIVADOS DE LOS USOS DEL SUELO

Los usos del suelo influyen tanto en la evapotranspiración como en el almacenamiento estático que considera TETIS. En el proceso de implementación del modelo TETIS en la cuenca del barranco del Carraixet, se empleó el mapa de usos del suelo procedente del Proyecto Europeo Corine Land Cover Nivel 3 de 2006.

El presente trabajo evalúa los cambios del uso del suelo y su influencia en el régimen hídrico. Para esto se cambian, para cada estado de usos del suelo que se dispone, un conjunto de parámetros dependientes de los uso del suelo. En este capítulo se mostrara los parámetros calculados para cada año que se tiene cartografía.

#### 6.3.1 Valores mensuales del factor de vegetación

La evapotranspiración se ve afectada por factores como: el clima, las características de la cubierta superficial, el manejo y el medio de desarrollo. Según la metodología de la FAO, se calcula una evapotranspiración de un cultivo de referencia. Esta evapotranspiración de referencia se multiplica por un coeficiente de cultivo, que incorpora las diferencias entre el cultivo de referencia y el cultivo de campo (Allen, Pereira, Raes, & Smith, 2006).

Los efectos del clima en la evapotranspiración, vienen representados en la evapotranspiración del cultivo de referencia, mientras que las características del cultivo en campo vienen reflejadas en el coeficiente de cultivo. El coeficiente de cultivo integra cuatro características principales que diferencian al cultivo en particular con el cultivo de referencia, estas son: altura del cultivo, albedo de la superficie del cultivo y suelo, resistencia del cultivo y evaporación que ocurre en el suelo (Allen et al., 2006).

En el presente estudio, se usan los factores de vegetación que fueron calculados por Tejada Espinoza (2016) en la implementación del modelo TETIS en la cuenca del barranco del Carraixet. Para los usos del suelo que no se tienen valores de la implementación, se tomó valores de otros estudios; los valores del factor de vegetación se muestran en la tabla 6.4.

Tabla 6.4. Valores mensuales del factor de vegetación según usos del suelo del tipo Corine Land Cover presentes en la cuenca del Barranco del Carraixet.

Código	Uso de suelo	Enero	Feb.	Mar.	Abril	Mayo	Junio	Julio	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
111	Tejido urbano continuo	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
112	Tejido urbano discontinuo	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
121	Zonas industriales o comerciales	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
142	Instalaciones deportivas y recreativas	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
211	Tierras de Labor en secano	0.330	0.310	0.310	0.470	0.530	0.600	0.650	0.540	0.280	0.200	0.280	0.300
221	Viñedos	0.200	0.200	0.200	0.300	0.400	0.600	0.700	0.670	0.570	0.450	0.200	0.200
222	Frutales	0.339	0.339	0.503	0.761	0.832	0.796	0.643	0.536	0.503	0.474	0.450	0.341
223	Olivares	0.200	0.639	0.657	0.675	0.694	0.707	0.707	0.708	0.686	0.668	0.650	0.200
242	Mosaico de cultivos	0.200	0.439	0.614	0.815	0.916	0.907	0.722	0.580	0.439	0.385	0.375	0.235
243	Terrenos principalmente agrícolas, pero con importantes espacios de vegetación natural y semi-natural	0.300	0.280	0.370	0.550	0.850	0.870	0.490	0.380	0.350	0.340	0.320	0.300
312	Bosque de coníferas	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
321	Pastizales naturales	0.400	0.400	0.500	0.750	0.950	0.900	0.500	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400
323	Matorrales esclerófilos	0.600	0.600	0.650	0.700	0.750	0.800	0.800	0.800	0.800	0.750	0.700	0.600
324	Matorral boscoso de transición	0.700	0.700	0.750	0.875	0.975	0.950	0.750	0.700	0.700	0.700	0.700	0.700
331	Playas, dunas y arenales	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200
333	Espacios con vegetación escasa	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200
334	Zonas quemadas	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200



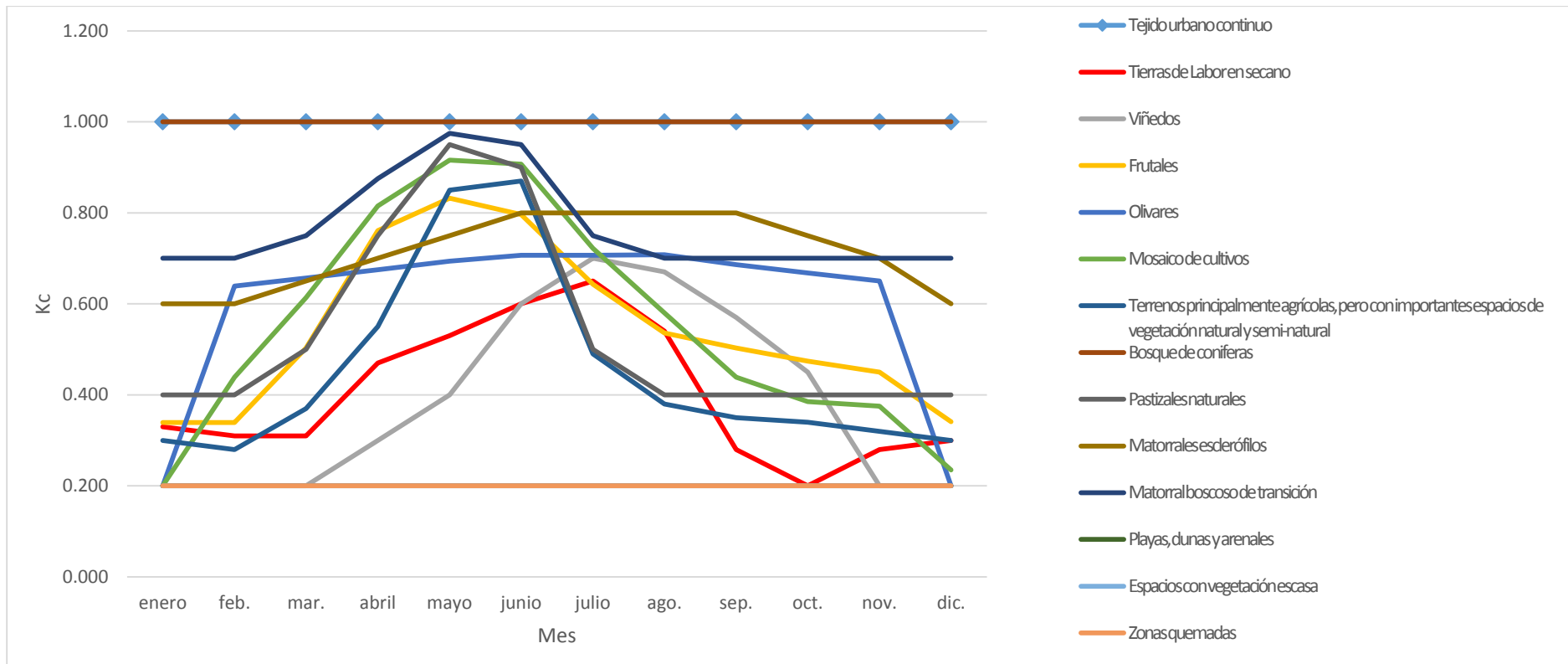


Figura 6-11. Distribución mensual del factor de vegetación según usos del suelo.

### 6.3.2 Intercepción

La intercepción es el proceso por el cual, una fracción del agua de lluvia queda retenida en las superficies de las hojas de la planta, es decir el agua de lluvia que no alcanza el suelo. Esta agua se evapora directamente de las hojas y vuelve a la atmosfera.

El modelo TETIS, como se expuso en el capítulo 4, contempla un tanque de intercepción en el que queda almacenada esta agua. El agua solo puede salir del tanque como evaporación. El modelo TETIS contempla una capacidad máxima de almacenamiento en las superficies de las hojas. Esta capacidad varía a lo largo del año de igual manera que varía la componente del cultivo en la evapotranspiración. La evaporación se iguala a la evapotranspiración del cultivo.

En la estimación de la intercepción, se asignan valores a cada cubierta superficial, este valor es la cantidad de agua que las hojas de un cultivo pueden contener. Por tanto para estimar los valores de intercepción se tiene en cuenta la vegetación existente, la superficie de cobertura y estratificación (Ramírez Solano, 2012).

Tejada Espinoza (2016), para la implementación del modelo en la cuenca del barranco del Carraixet, uso valores obtenidos en estudios previos; de igual manera, para los usos que no se contemplan en la implementación, en la tabla 6.5 se muestran los valores de la intercepción para cada uso del suelo.

Tabla 6.5. Valores de intercepción máxima para los diferentes usos del suelo.

Código	Uso de suelo	Intercepción
111	Tejido urbano continuo	0.000
112	Tejido urbano discontinuo	3.000
121	Zonas industriales o comerciales	0.000
142	Instalaciones deportivas y recreativas	3.000
211	Tierras de Labor en secano	1.000
221	Viñedos	1.000
222	Frutales	1.000
223	Olivares	5.000
242	Mosaico de cultivos	9.000
243	Terrenos principalmente agrícolas, pero con importantes espacios de vegetación natural y semi-natural	3.000
312	Bosque de coníferas	4.000
321	Pastizales naturales	5.000
323	Matorrales esclerófilos	0.000
324	Matorral boscoso de transición	0.000
331	Playas, dunas y arenales	0.000
333	Espacios con vegetación escasa	1.000
334	Zonas quemadas	1.000

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

La capacidad máxima de almacenamiento estático es la cantidad máxima de agua que se almacena tanto en la superficie como en la capa superficial del suelo hasta donde alcanzan las raíces. El almacenamiento estático se obtiene de la suma del almacenamiento superficial y el almacenamiento capilar del suelo. EL agua capilar del suelo es aquella que esta retenida por el medio a través de fuerzas capilares debidas a la tensión superficial del fluido. Obtenemos el valor del almacenamiento estático mediante la siguiente ecuación:

$$Hu = Alm. Sup. + AWC.TOP \cdot \min(Prof. raices; ROO)$$

Donde:

Hu es el almacenamiento Estático.

Alm.Sup: es el almacenamiento superficial por el relieve del terreno.

AWC.TOP es el contenido de agua disponible en el suelo (mm/m).

Prof. raíces es la profundidad alcanzada por las raíces sin obstáculos (m).

ROO es la profundidad del primer obstáculo para el desarrollo de raíces (m).

El AWC.TOP y el ROO se obtienen de la información cartográfica de la Base de datos de Suelo Europea (ESDB), la profundidad de raíces depende de los usos del suelo, en la tabla 6.6 se dan los valores para cada uso del suelo.

Tabla 6.6. Valores adoptados para la profundidad de raíces de cada uso del suelo.

Código	Uso de suelo	Prof. De Raíces
111	Tejido urbano continuo	0.000
112	Tejido urbano discontinuo	0.100
121	Zonas industriales o comerciales	0.060
142	Instalaciones deportivas y recreativas	0.100
211	Tierras de Labor en seco	1.500
221	Viñedos	1.450
222	Frutales	0.700
223	Olivares	0.750
242	Mosaico de cultivos	1.250
243	Terrenos principalmente agrícolas, pero con importantes espacios de vegetación natural y semi-natural	0.600
312	Bosque de coníferas	0.700
321	Pastizales naturales	0.700
323	Matorrales esclerófilos	0.000
324	Matorral boscoso de transición	0.000
331	Playas, dunas y arenales	0.000
333	Espacios con vegetación escasa	0.8
334	Zonas quemadas	0.8

### 6.3.3.1 Almacenamiento Superficial

El almacenamiento está formado por el almacenamiento en charcos que se debe al micro relieve del terreno y por el almacenamiento en pendiente. Este se pierde por evaporación directa, en TETIS forma parte del almacenamiento estático, se calcula con la siguiente ecuación:

$$Alm. Sup. = Alm. Charcos + Alm. Pendiente$$

El almacenamiento en pendiente viene dado por la siguiente relación empírica:

$$Alm. Pendiente = 10 - 1.3 * S_0 (m/m)$$

Donde  $S_0$  es la pendiente del terreno.

El almacenamiento en charcos viene determinado por el los usos del suelo, para el presente estudio se determinaron usar valores de estudios anteriores, los valores se muestran en la tabla 6.7.

Tabla 6.7. Almacenamiento en charcos para los diferentes usos del suelo.

Código	Uso de suelo	Alm. Charcos
111	Tejido urbano continuo	0.000
112	Tejido urbano discontinuo	5.000
121	Zonas industriales o comerciales	0.000
142	Instalaciones deportivas y recreativas	5.000
211	Tierras de Labor en seco	6.000
221	Viñedos	6.000
222	Frutales	6.000
223	Olivares	6.000
242	Mosaico de cultivos	4.000
243	Terrenos principalmente agrícolas, pero con importantes espacios de vegetación natural y semi-natural	6.000
312	Bosque de coníferas	6.000
321	Pastizales naturales	5.000
323	Matorrales esclerófilos	3.000
324	Matorral boscoso de transición	3.000
331	Playas, dunas y arenales	0.000
333	Espacios con vegetación escasa	6.000
334	Zonas quemadas	6.000

El resultado de los procedimientos antes mencionados nos dan el mapa de almacenamiento estático, que en el caso de la implementación del modelo TETIS en la cuenca del barranco del Carraixet, con la cartografía de usos del suelo de Corine 2006 (figura 6-12).

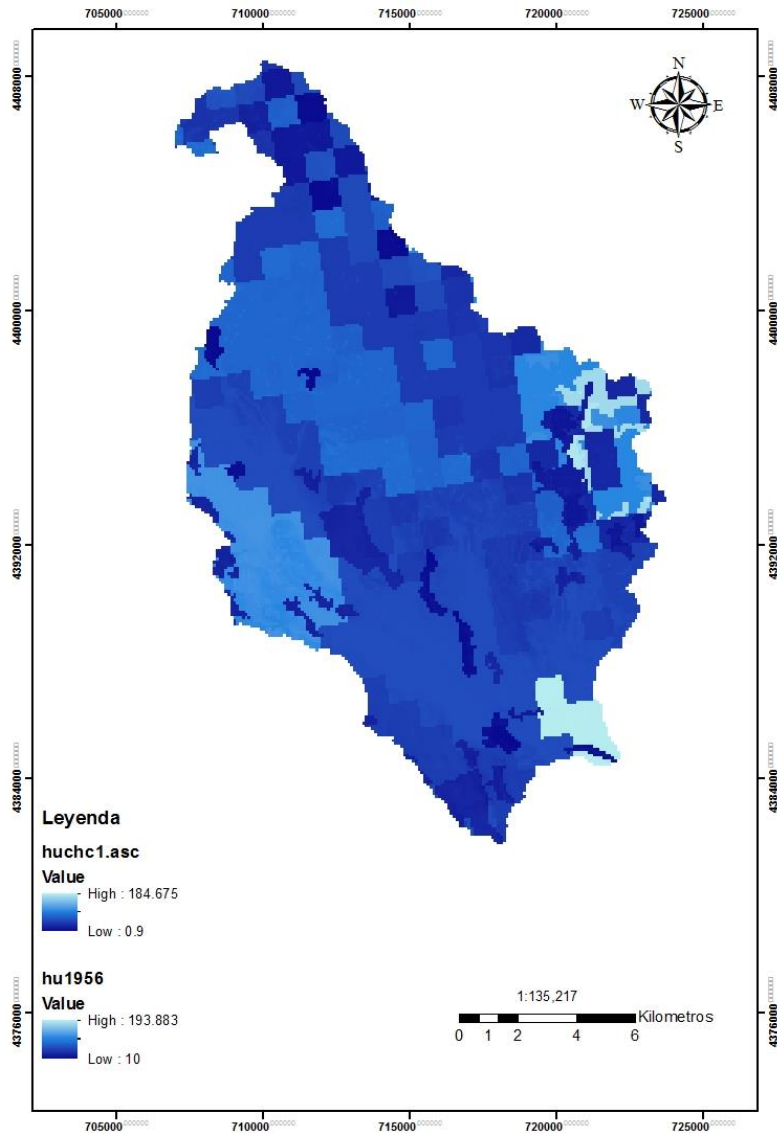


Figura 6-12. Mapa de almacenamiento Estático.

Para el presente estudio se varía la cartografía de los usos del suelo para evaluar su influencia en el régimen hídrico, esta variación en los usos del suelo hace que varíe la distribución de las profundidades de raíces en la cuenca, por tanto se calculan los respectivos mapas de almacenamiento estático para cada año que se dispone de cartografía; los mapas para cada cartografía de suelos se muestra en la figura 6-13.

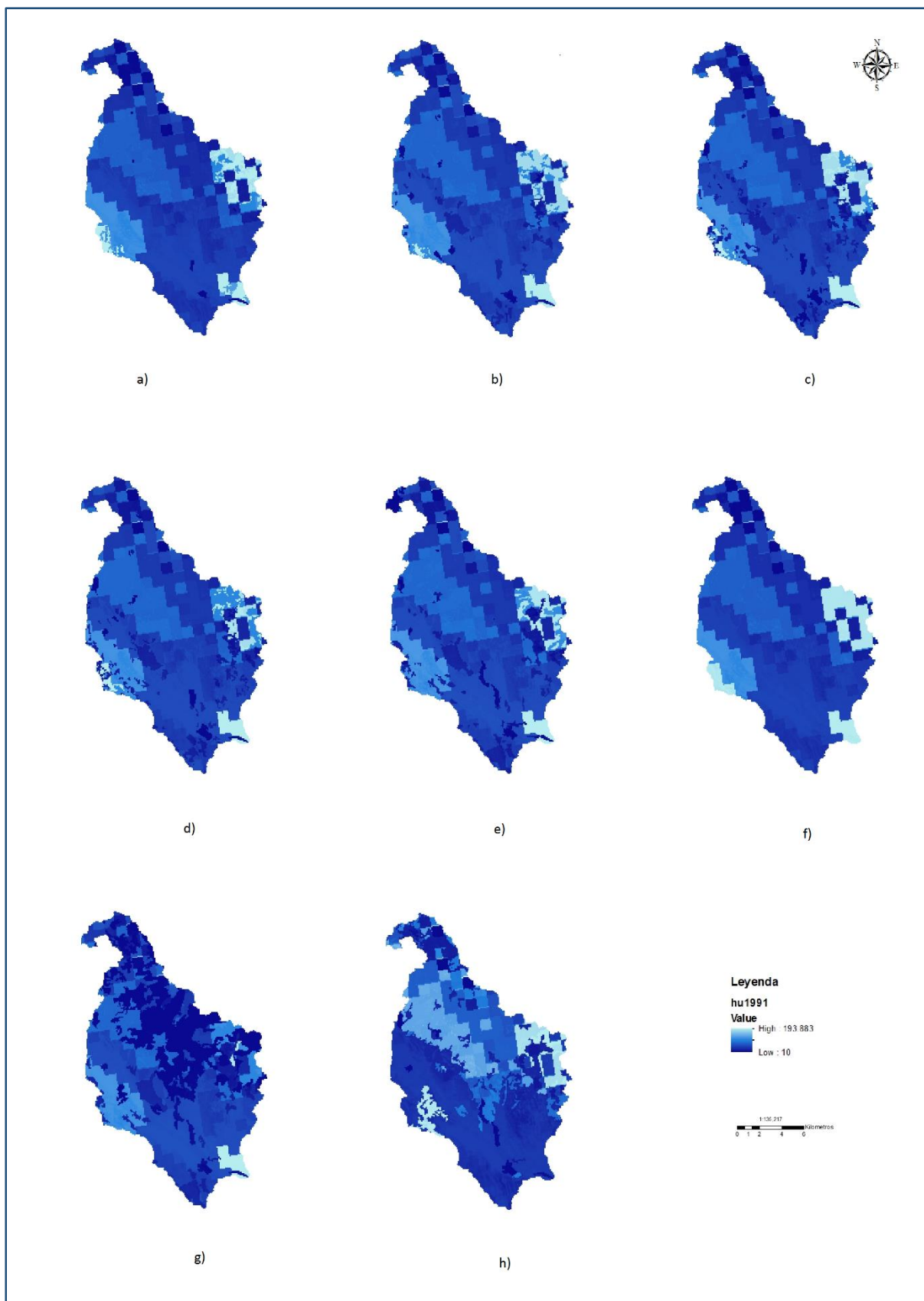


Figura 6-13. Mapa de almacenamiento estático de: a) 1956, b) 1978, c) 1991, d) 1998, e) 2000, f) escenario de toda la cuenca cubierta por bosque de coníferas, g) escenario de todo el bosque de coníferas y el matorral esclerófilo incendiados y h) escenario de todos los cultivos como urbano discontinuo.

## 6.4 CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN

El proceso de calibración es aquel por el cual se busca la mejor aproximación de los resultados de la modelación, en hidrología mayormente el hidrograma, con los valores observados. Mediante la variación de los parámetros, se busca la combinación de parámetros que nos de los resultados más parecidos a la realidad. Tejada Espinoza (2016), realizó un análisis de sensibilidad para determinar los parámetros poco influyentes, y con los parámetros influyentes realizó la calibración automática.

Por otra parte, el modelo se tiene que validar, siendo este el proceso por el cual se estima la eficiencia o el grado de precisión de la respuesta del modelo para simular adecuadamente los procesos físicos. Los resultados del modelo en la validación son más representativos en la exactitud de las predicciones que realiza el modelo (Palacios, 1986).

Por otro lado, los modelos distribuidos podrían ser usados en cuencas no instrumentadas, debido a que tienen una menor dependencia de la calibración. Esto se debe a que sus parámetros tienen un sentido físico (Huber & Dickinson, 1988).

### 6.4.1 Fase de calibración

Tejada Espinoza (2016), realizó un análisis de las series de precipitación para determinar la relación entre esta y el caudal, así como datos de calibración que están como fallos. Así selecciono los parámetros para la calibración el periodo desde el año hidrológico 2000 a 2003. Está incluido en el periodo de calibración el evento de octubre del 2000, que registra valores muy altos de intensidad y caudal; la calibración se realiza en la estación de Bétera.

Para la determinación del estado inicial de los seis tanques de almacenamiento del suelo, Tejada Espinoza (2016) usa un periodo de calentamiento, para el cual se toma el periodo de tiempo comprendido entre octubre de 1999 a septiembre del año 2000.

Los factores correctores, resultado de la calibración automática, se muestran en la tabla 6.8. En la figura 6-14 se muestra las series, donde se puede observar que el modelo reproduce adecuadamente el evento de octubre del año 2000. En la tabla 6.9 se presentan las principales características del evento.

Tabla 6.8. Factores correctores obtenidos de la calibración automática, serie Spain02\_V4.

Factores Correctores	Valor
FC1 Almacenamiento estático	0.9811
FC2 Evaporación	0.5643
FC3 Infiltración	1.0468
FC4 Escorrentía directa	0.7156
FC5 Percolación	1.5966
FC6 Interflujo	0.0000
FC7 Flujo subterráneo profundo	1.0000
FC8 Flujo Base	0.0000
FC9 Velocidad del flujo base	0.0669

Tabla 6.9. Características del evento de simulación TETIS para los factores correctores de la serie Spain02\_V4.

Características del evento	
Caudal max. Obs. (m <sup>3</sup> /s)	28.652
Caudal max. Sim. (m <sup>3</sup> /s)	28.49
Índice de Nash y Sut. (NSE)	0.91
RMSE	0.261
Error en Volumen (%)	2.648
Tiempo al pico observado	24/10/2000 0:00
Tiempo al pico simulado	24/10/2000 0:00
Error al tiempo	0

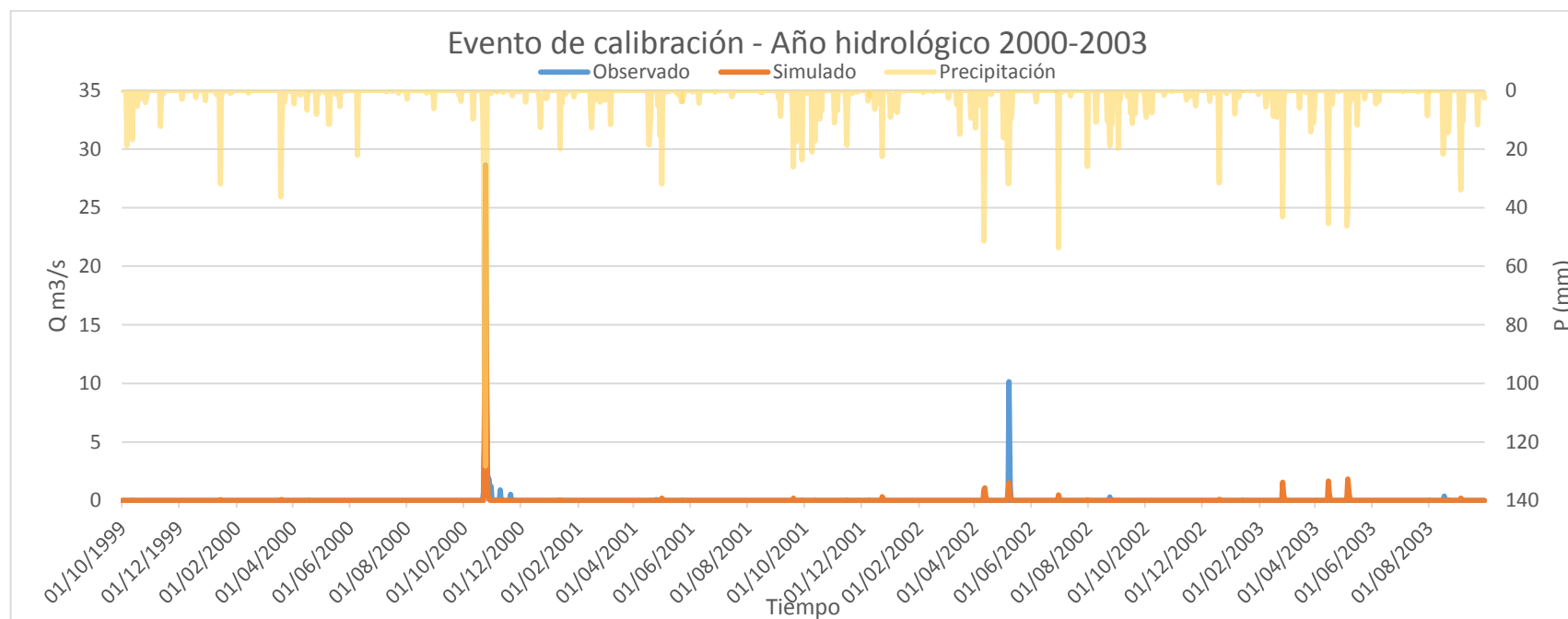


Figura 6-14. Hidrograma resultante de la simulación con la serie Spain02 V4.



### 6.4.2 Fase de validación

Para el proceso de validación del modelo, Tejada Espinoza (2016) usa dos periodos: el primero el año hidrológico 2003-2004 y el otro es el año hidrológico 1989-1990. En la tabla 6.10 se muestran las principales características del evento. Se observa que el índice de NASH es de 0.6719, esto indica que la simulación es adecuada. En la figura 6-15 se muestra las series de precipitación, caudal simulado y observado.

Tabla 6.10. Características del evento de simulación TETIS, validación año hidrológico 2003- 2004.

Características del evento	
Caudal max. Obs. (m <sup>3</sup> /s)	1.896
Caudal max. Sim. (m <sup>3</sup> /s)	0.859
Índice de Nash y Sut. (NSE)	0.6719
RMSE	0.099
Error en Volumen (%)	-1.96
Tiempo al pico observado	29/03/2004 0:00
Tiempo al pico simulado	29/03/2004 0:00
Error al tiempo	0

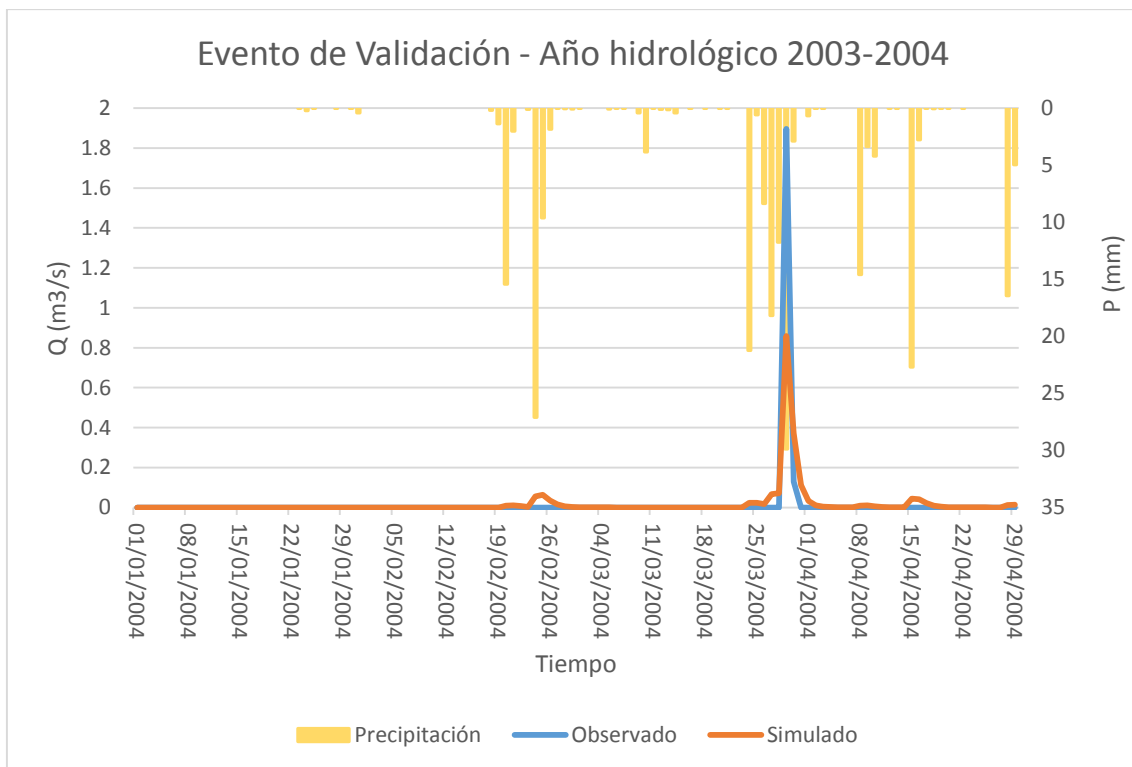


Figura 6-15. Hidrograma resultante de la simulación con la serie Spain02\_V4, validación año hidrológico -2004.

## 7 RESULTADOS

---

Según Beven & O'Connell (1982) los modelos distribuidos tienen una utilidad en la simulación de escenarios para medir sus influencias en el régimen hídrico, con esta metodología se han realizado múltiples estudios como: la influencia de los cambios de la cubierta superficial en el caudal y la calidad del agua (Mattikalli, Devereux, & Richards, 1996), también se usan para evaluar la incidencia del cambio climático en el régimen hídrico.

Gómez Mendoza (1989) indica que debido a la deforestación a fines del siglo XIX se aumentó el carácter devastador del régimen torrencial de los ríos en España y las inundaciones se volvieron más graves. Por tanto, la relevancia de comprender los efectos que puede causar la cubierta superficial en las propiedades hidrológicas de los sistemas mediterráneos (Lavorel, Canadell, Rambal, & Terradas, 1998).

En los capítulos anteriores se establecieron los escenarios con los que se evaluará el impacto de los cambios del uso del suelo en el régimen hídrico. Siendo así, que se determinaron seis escenarios históricos que reflejan en parte la dinámica de los cambios de manera real, estos escenarios son los usos en los distintos momentos (1956, 1978, 1991, 1998, 2000 y 2006) de usos del suelo cartografiados. Por otro lado, se plantean tres escenarios de cambios más extremos, esto con el fin de evaluar mejor los impactos de las cubiertas, que se intuye tienen una mayor influencia en las propiedades hidrológicas de la cuenca del barranco del Carraixet. Se obtuvieron también los parámetros que varían con el cambio de los usos del suelo. En el presente apartado se presentarán las simulaciones que se realizan con cada grupo de parámetros para las diferentes condiciones de los usos del suelo para cada escenario.

En el presente capítulo se evaluará como cambian los flujos en el balance de la cuenca, esto nos da una aproximación de en qué proceso dentro del ciclo hidrológico pueden verse afectados por determinados cambios en los usos del suelo. También se evaluará como cambian los cantiles de los ajustes de las series simuladas a las funciones de distribución que representan a la población que pertenece la muestra. Por último se evaluará la intermitencia del sistema fluvial.

## 7.1 SIMULACIÓN HIDROLÓGICA

En este apartado se presentarán las simulaciones correspondientes a cada escenario. Las series resultantes se analizarán en los siguientes apartados para determinar los cambios que se dan en el régimen hídrico. La simulación para cada escenario mantiene constantes los factores correctores obtenidos en la calibración del modelo; la serie de precipitación es toda la serie de Spain02\_v4, que comprende el periodo de 1971-2008; igualmente la evapotranspiración comprende el mismo periodo de Spain02\_v4.

### 7.1.1 Simulación para el escenario de usos del suelo de 1956

En la simulación del año 1956 se puede observar que se reproduce el evento de octubre del 2000, este caudal pico es de  $26.1334 \text{ m}^3/\text{s}$ . Los resultados se muestran en la figura 7-1.

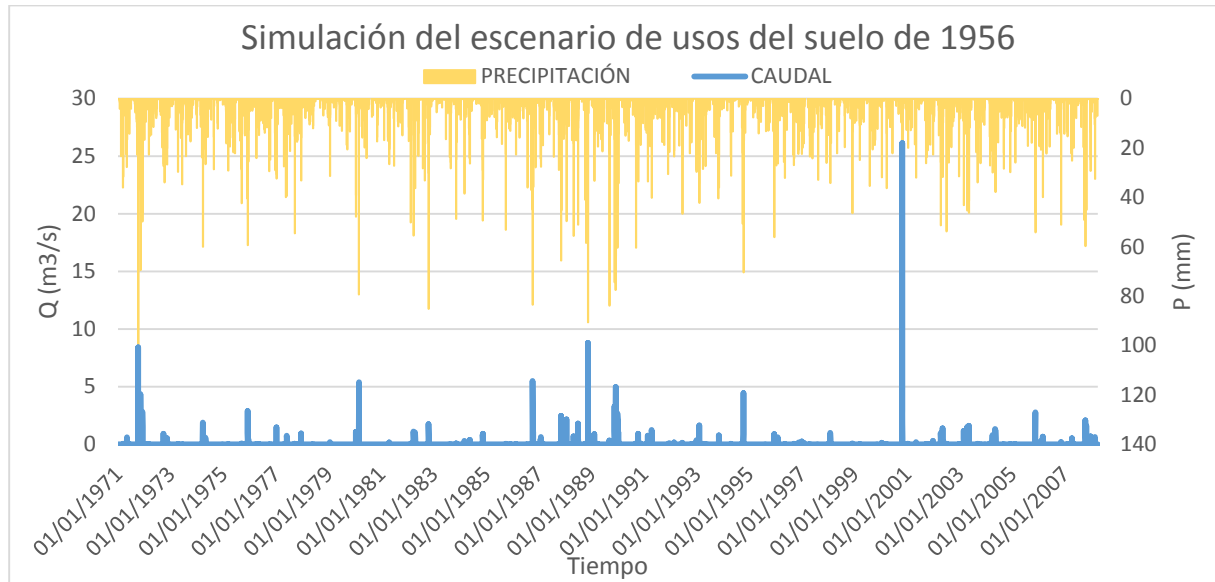


Figura 7-1. Simulación para los usos del suelo de 1956.

### 7.1.2 Simulación para el escenario de usos del suelo de 1978

El resultado de la simulación para el escenario correspondiente a la cartografía de los usos del suelo de 1978, se presenta en la figura 7-2, que representa la serie de precipitación y la serie de caudales. La simulación representa el evento de octubre del 2000, presentando un leve incremento, es de  $27.22 \text{ m}^3/\text{s}$ .

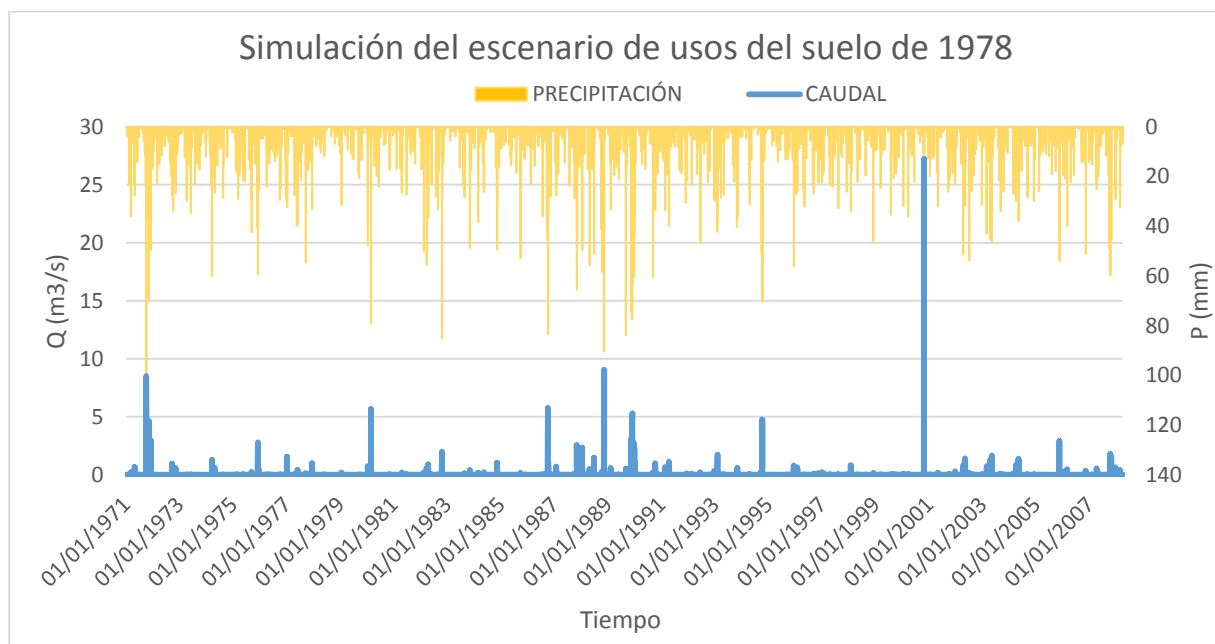


Figura 7-2. Simulación para los usos del suelo de 1978.

### 7.1.3 Simulación para el escenario de usos del suelo de 1991

El resultado de la simulación con el escenario de usos del suelo de la cartografía de 1991 nos das como resultado la serie de caudales que se muestra en la figura 7-3, en el que se aprecia que el modelo simula el evento de octubre del año 2000, con un caudal máximo de 28.097 m<sup>3</sup>/s; aunque el aumento es muy pequeño, se tiene una tendencia a que aumenta el caudal con el tiempo.

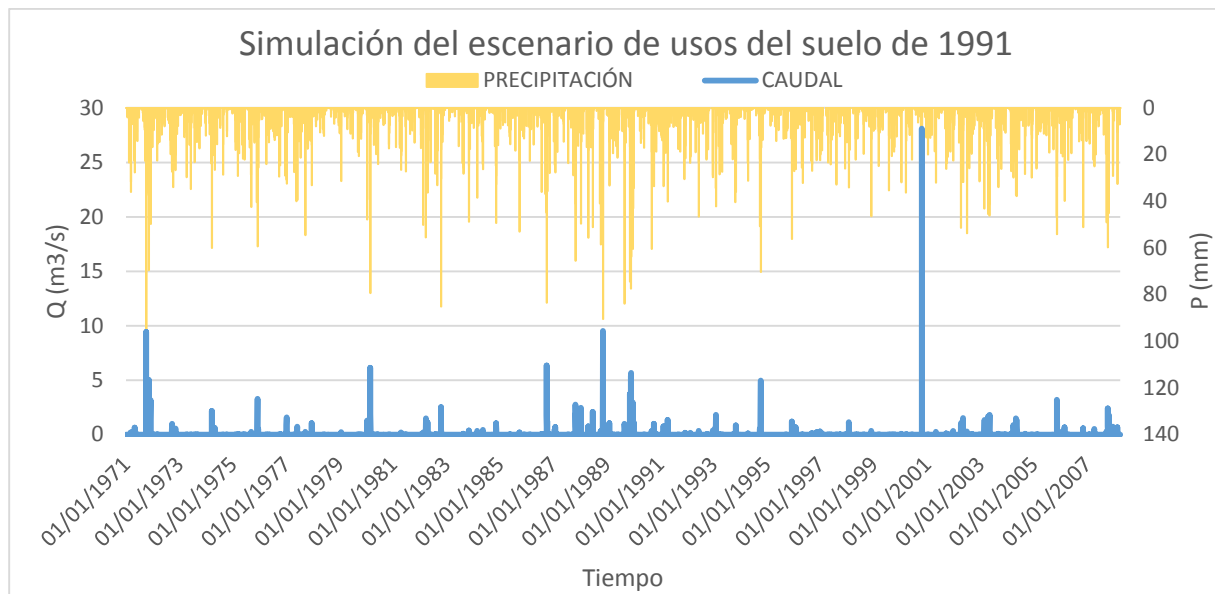


Figura 7-3. . Simulación para los usos del suelo de 1991.

### 7.1.4 Simulación para el escenario de usos del suelo de 1998

Los resultados del escenario de los usos del suelo del año 1998 nos muestran, al igual que los anteriores escenarios, que el evento de octubre del 2000 es representado y que también sigue aumentando aunque a una tasa muy pequeña. La figura 7-4 nos representa la serie simulada.

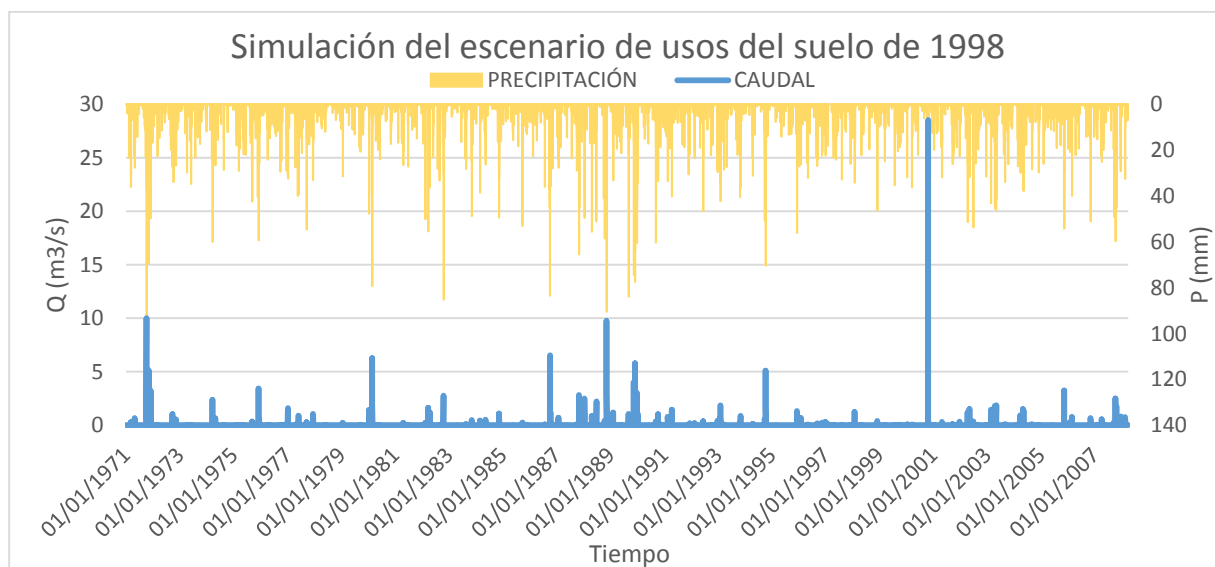


Figura 7-4. . Simulación para los usos del suelo de 1998.

### 7.1.5 Simulación para el escenario de usos del suelo de 2000

Ya para el escenario de los usos del suelo del año 2000, el caudal pico del evento de octubre del año 2000 se mantiene prácticamente invariable, pero sigue representando correctamente dicho evento. La serie de caudal y precipitación se presentan en la figura 7-5.

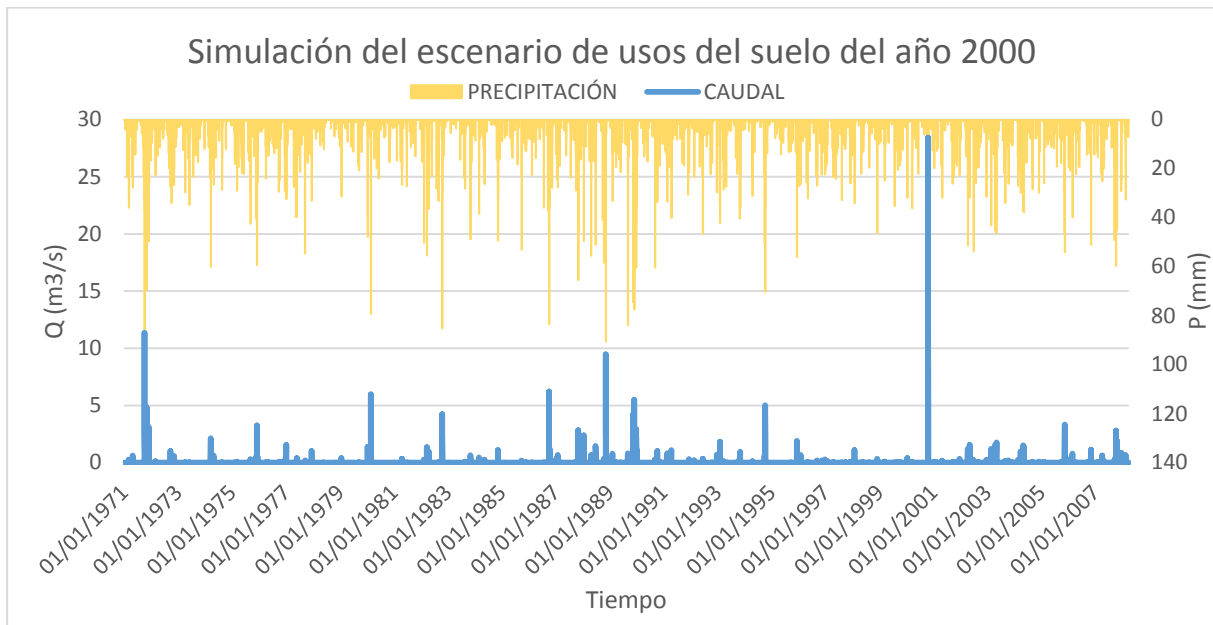


Figura 7-5. . Simulación para los usos del suelo del año 2000.

### 7.1.6 Simulación para el escenario de usos del suelo de 2006

En el escenario de usos del suelo del año 2006, como se observa en la figura 7-6, el caudal pico del evento de octubre del año 2000 es de 31.163 m<sup>3</sup>/s presentando un aumento de aproximadamente 3 m<sup>3</sup>/s con respecto al escenario del año 2000.

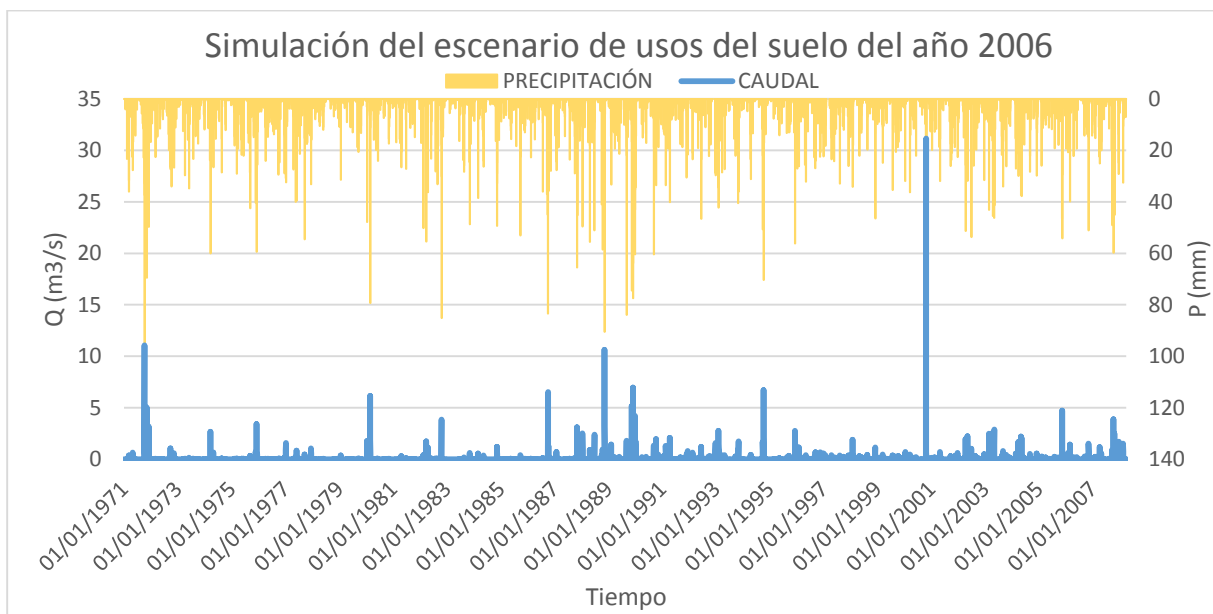


Figura 7-6. Simulación para los usos del suelo del año 2006.

### 7.1.7 Simulación para el escenario de los usos del suelo asumiendo toda la cuenca como bosque de coníferas

Como se expuso anteriormente, en el presente escenario se asume que toda la cuenca está cubierta por el bosque de coníferas. Este escenario se plantea para evaluar de manera más exhaustiva como este uso influye en el régimen hídrico. En la figura 7-7 se puede observar como el hidrograma sigue el mismo patrón que los demás escenarios descritos hasta el momento; por otro lado, el pico del evento de octubre del año 2000 es menor a todos los anteriores.

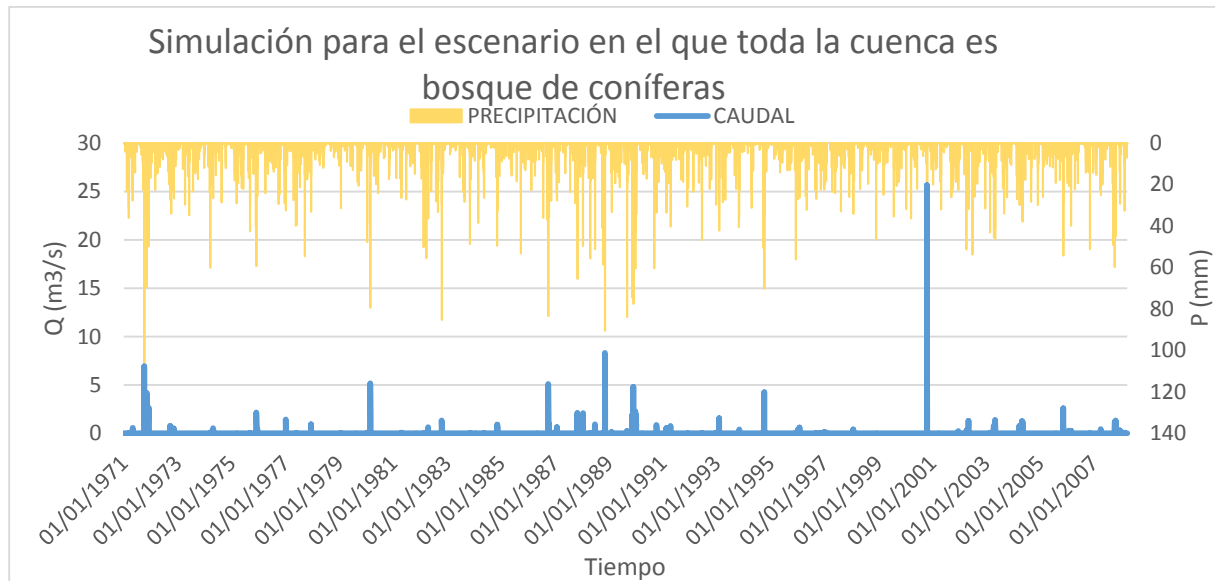


Figura 7-7. Simulación para el escenario de toda la cuenca cubierta por bosque de coníferas.

### 7.1.8 Simulación para el escenario de los usos del suelo asumiendo que el bosque de coníferas y el matorral esclerófilo se incendian

En el escenario de incendios, se puede apreciar que los resultados de la simulación (figura 7-8), nos arrojan un caudal máximo para el evento de octubre del año 2000 de 47.41 m<sup>3</sup>/s, este caudal es notablemente superior a los demás escenarios; además, se puede observar en el hidrograma que la cuenca tiene una mayor respuesta ante eventos de precipitación, situación que lo diferencia totalmente de los demás escenarios.

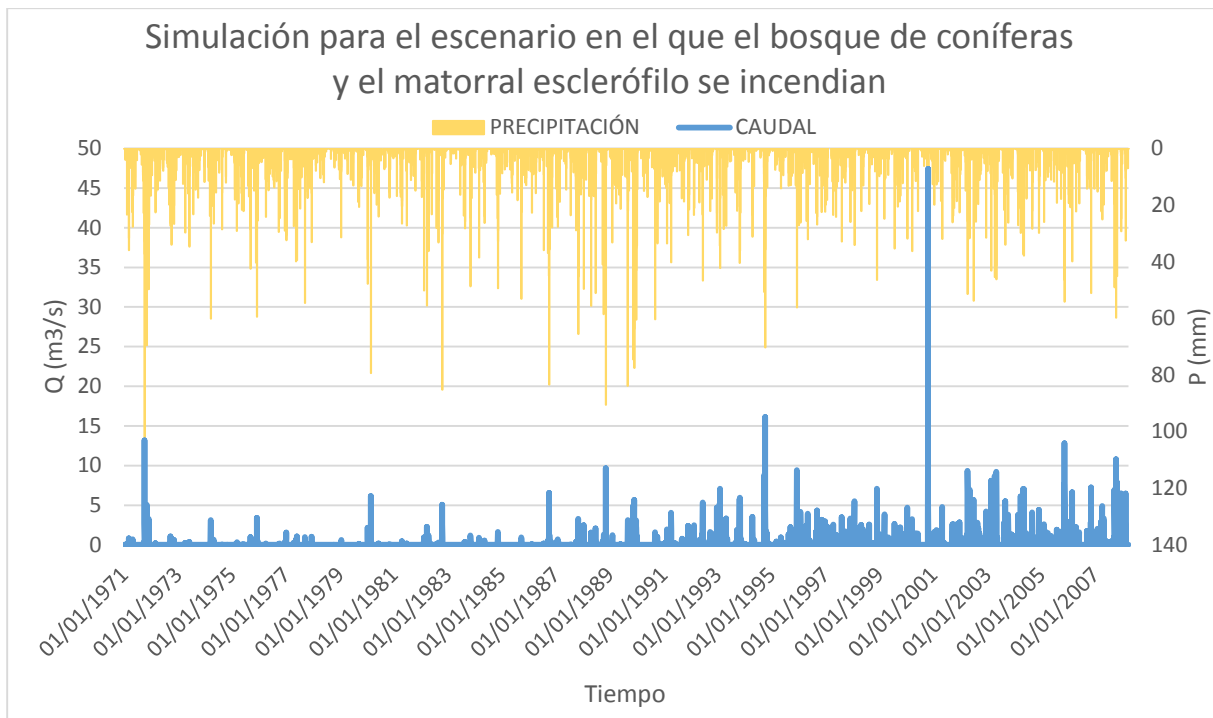


Figura 7-8. Simulación para el escenario en el que el bosque de coníferas y el matorral esclerófilo se incendian.

### 7.1.9 Simulación para el escenario de los usos del suelo asumiendo que los usos de cultivos son ocupados por uso urbano discontinuo

Para el escenario en que los cultivos pasan a ser ocupados por el uso urbano discontinuo, los resultados que se pueden apreciar en la figura 7-9, nos muestran que su respuesta sigue el comportamiento de la mayoría de escenarios; se aprecia también que el modelo simula el evento de octubre del 2000.

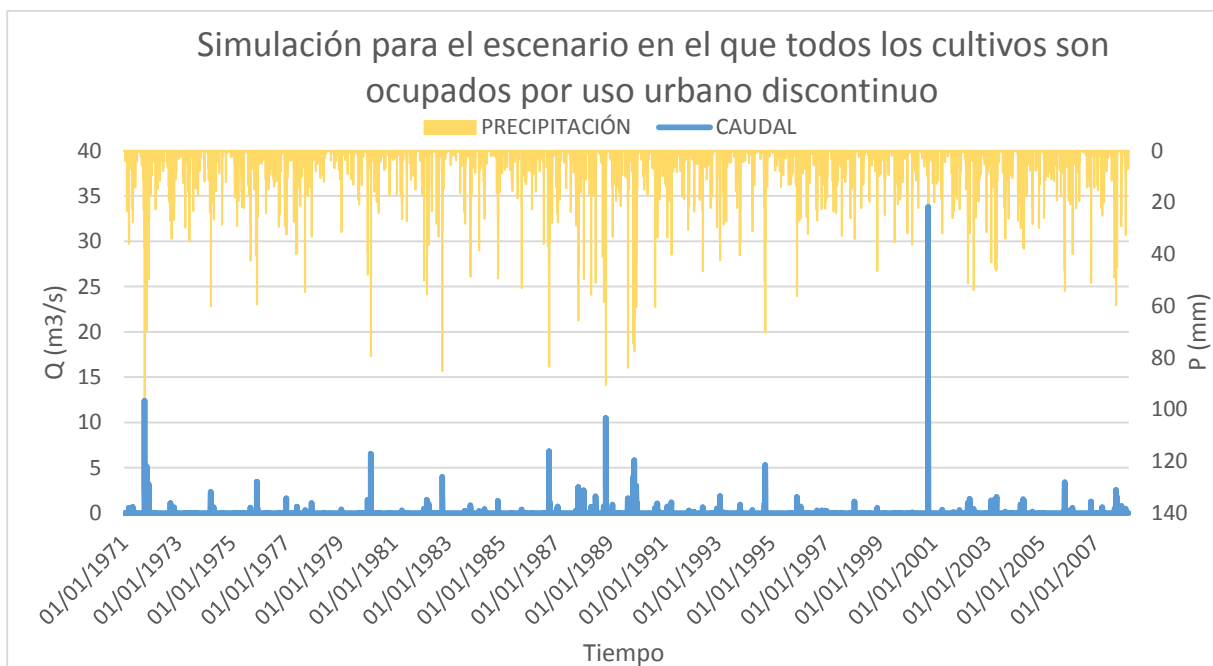


Figura 7-9. Simulación para el escenario en el que los cultivos pasan a ser uso urbano discontinuo.



## 7.2 ANÁLISIS DEL BALANCE HÍDRICO EN LA CUENCA

En este apartado, como menciona Francés et al. (2012), al usar modelos hidrológicos distribuidos se busca un mejor entendimiento de los procesos involucrados en el ciclo hidrológico. Como se estudió en el capítulo 4, el modelo TETIS es un modelo conceptual que está compuesto por un conjunto de tanques, en cada uno de estos se hace un balance de masa para determinar lo que entra al tanque y lo que sigue el flujo determinado por las condiciones del sistema. Entre los diferentes balances que se hace en cada tanque y en cada celda, los flujos que conectan los tanques representan los procesos del ciclo hidrológico.

TETIS nos da como resultado un balance total de la cuenca, en el cual los flujos son el acumulado tanto en escala temporal como espacial. Estos valores que se obtienen de la simulación de cada uno de los escenarios al evaluarlos en su conjunto, nos permitirán determinar algunas influencias del cambio de los usos del suelo en el régimen hídrico.

Conocer los flujos nos permite evaluar cómo cambian, en función de la variación de los parámetros que dependen de los usos del suelo, los distintos procesos del ciclo hidrológico que contempla el modelo TETIS.

En la tabla 7.1 se muestran los resultados de la media anual del balance total para cada escenario, en los que se puede observar una disminución de la evapotranspiración en los escenarios históricos (figura 7.10); por otro lado, se observa un aumento tanto en infiltración como en flujo subterráneo profundo, primero una disminución del año 1956 al 1978, para luego aumentar hasta el 2006.

Tabla 7.1. Valores de los flujos totales en (mm/año) para los diferentes escenarios de usos del suelo.

Flujos	Coníferas	1956	1978	1991	1998	2000	2006	Urbano discontinuo	Incendio
Precipitación	500.05	500.05	500.05	500.05	500.05	500.05	500.05	500.05	500.05
Evapotranspiración total	358.41	312.93	320.64	318.05	309.38	304.49	293.46	316.52	232.20
Esorrentía Directa	3.48	4.34	4.63	5.03	5.37	5.54	8.92	5.77	25.83
Infiltración	137.47	181.83	173.93	176.10	184.37	189.52	200.26	177.28	260.37
Flujo subterráneo profundo	90.72	124.40	119.40	121.62	125.42	127.84	137.15	119.90	174.80

En la tabla 7.2 se puede observar los cambios en los flujos en el balance hídrico en la cuenca. Estos cambios son medidos en porcentaje con respecto a los valores del año 1956, que es el momento de referencia. Se observa que la esorrentía directa en el caso de coníferas disminuye un 20% aproximadamente, mientras que el incendio aumenta en un 495% aproximadamente.

Tabla 7.2. Cambios en porcentajes respecto al momento de referencia (año 1956), de los diferentes flujos del balance en %.

	Coníferas	1978	1991	1998	2000	2006	Urbano discontinuo	Incendio
Evapotranspiración total	14.53	2.46	1.63	-1.14	-2.70	-6.22	1.15	-25.80
Escorrentía Directa	-19.79	6.66	15.87	23.61	27.62	105.40	32.93	494.58
Infiltración	-24.40	-4.34	-3.15	1.40	4.23	10.13	-2.50	43.19
Flujo subterráneo profundo	-27.07	-4.02	-2.24	0.82	2.76	10.25	-3.62	40.51

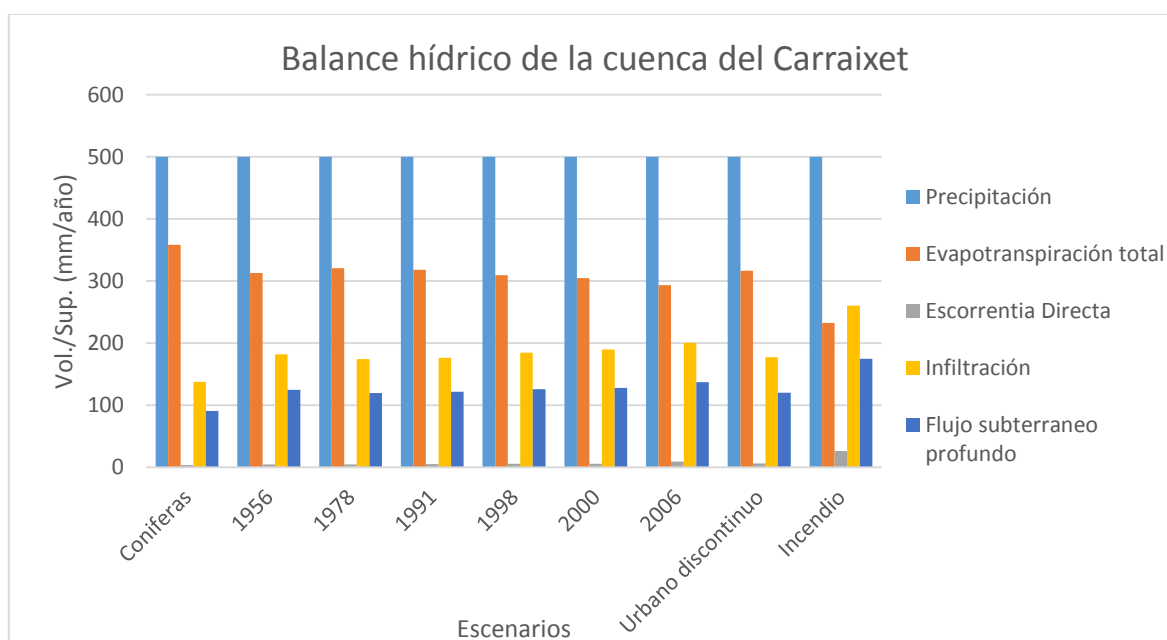


Figura 7-10. Cambios en los flujos para los distintos escenarios.

### 7.2.1 Evapotranspiración total

Las entradas hídricas en el sistema y las tasas de evapotranspiración son determinadas por el clima, pero junto a los factores meteorológicos, la cubierta superficial también gobierna los cambios en la hidrología (Pascual Aguilar, 2002). En el presente trabajo, como se acoto anteriormente, se mantendrán constantes los factores meteorológicos y se variaran los usos del suelo. En este apartado se evaluará el proceso de evapotranspiración.

El flujo que nosotros estamos nombrando por evapotranspiración total, contempla la suma de: la evapotranspiración del agua capilar retenida en el suelo, la evaporación del agua contenida en las depresiones del terreno y el agua que es interceptada por la vegetación. En el modelo TETIS todos esos procesos son dependientes de la vegetación, es por ello que la

evaluación del de este proceso nos ayudara a comprender la influencia que tiene la cubierta superficial en la hidrología del sistema.

En la figura 7-11, se muestra como varía la evapotranspiración total para cada escenario de usos del suelo. Con los resultados de la evapotranspiración y la evolución de los usos del suelo descrita en el capítulo 5, se buscan algunas relaciones entre los usos del suelo y el balance de la cuenca. En la cartografía de 1956 se tiene que un 43.84% de la superficie está cubierta por bosque de coníferas y matorral esclerófilo, mientras que en 1978 el 50.5%; la evapotranspiración aumenta un 2.46% entre estos dos momentos. Entre 1978 y 1991 la superficie cubierta por bosque de coníferas y matorral esclerófilo es de aproximadamente 50%, pero la evapotranspiración disminuye en 1.63% con respecto a 1956 en 1991; esto se debe a que en 1978 el 40.67% de la superficie es bosque de coníferas. Analizando el escenario en el que se supone que toda la cuenca es bosque de coníferas y en escenario en el que tanto el bosque de coníferas como el matorral esclerófilo se incendian, se puede ver de manera más clara como es que el bosque de coníferas es el que tiene mayor influencia en el proceso de evapotranspiración, con una diferencia de 40.33% entre ambos escenarios. El matorral esclerófilo es también muy influyente en los cambios de la evapotranspiración.

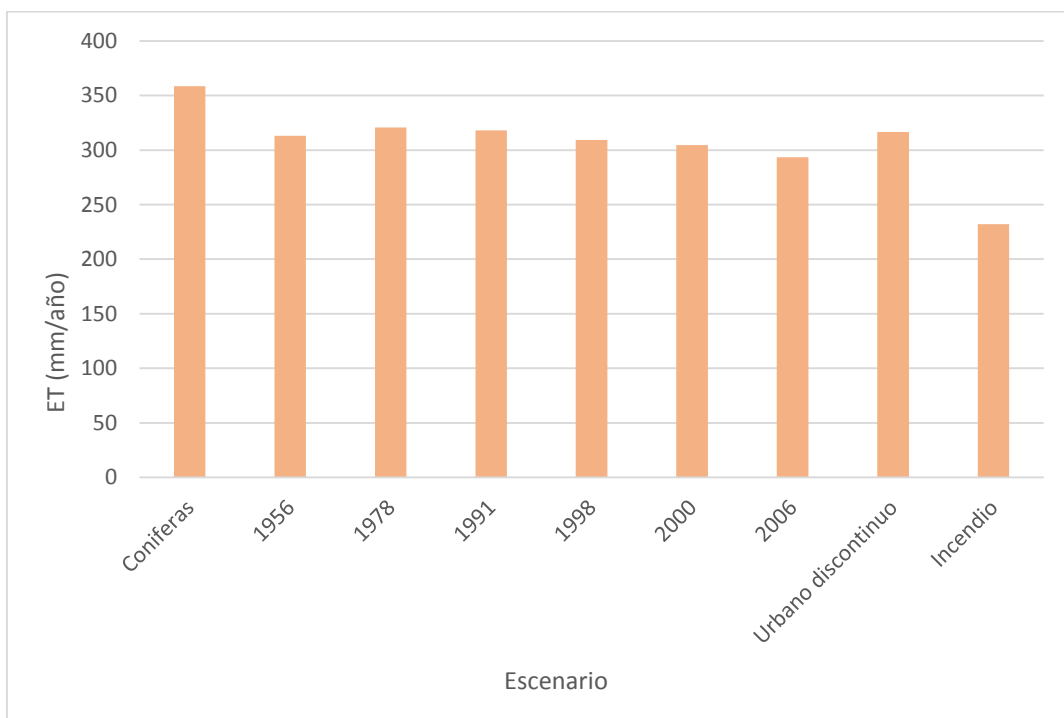


Figura 7-11. Variación de la evapotranspiración total con los diferentes escenarios.

El uso urbano, por los valores que se le asignan al factor de vegetación, también tiene la misma influencia que el bosque de coníferas; esto se puede observar en el escenario en el que se asume que los cultivos son ocupados por urbano discontinuo.

### 7.2.2 Escorrentía Directa

Estudios en el Pirineo central muestran un descenso en la escorrentía anual, así como en la intensidad y frecuencia de las crecidas en el periodo 1959-1995; esto debido a los procesos de reforestación (García et al., 2007).

En nuestro caso de estudio, se nota un aumento continuo en la escorrentía directa con los cambios de usos históricos. En los escenarios extremos, se puede ver que los valores cambian abruptamente en el caso de incendios, mientras que en el escenario en el que la cuenca está cubierta por bosques de coníferas se obtiene la mínima escorrentía.

Como se observa en la tabla 7.2, los cambios en la escorrentía son los más importantes, ya que los porcentajes respecto del momento de referencia son altos. El escenario de incendio es el que destaca, ya que la variación es de aproximadamente el 500%. Otro valor que representa una alta variación de la escorrentía directa es el del año 2006, alcanzando un 106.4% respecto al momento de referencia. Por otro lado en el escenario de que toda la superficie está cubierta por bosque de coníferas es el único valor que disminuye en aproximadamente un 20%.

En general el que proceso determina en gran medida los demás procesos, es la evapotranspiración. Ya que por ser una cuenca mediterránea, la precipitación es baja y en su mayoría queda como abstracciones. Es importante ver el papel que juegan los incendios o cualquier situación que lleve a una pérdida de los bosques, ya que en el escenario de incendios la escorrentía directa llega a valores muy altos, generando esto caudales muy altos y posibles inundaciones.

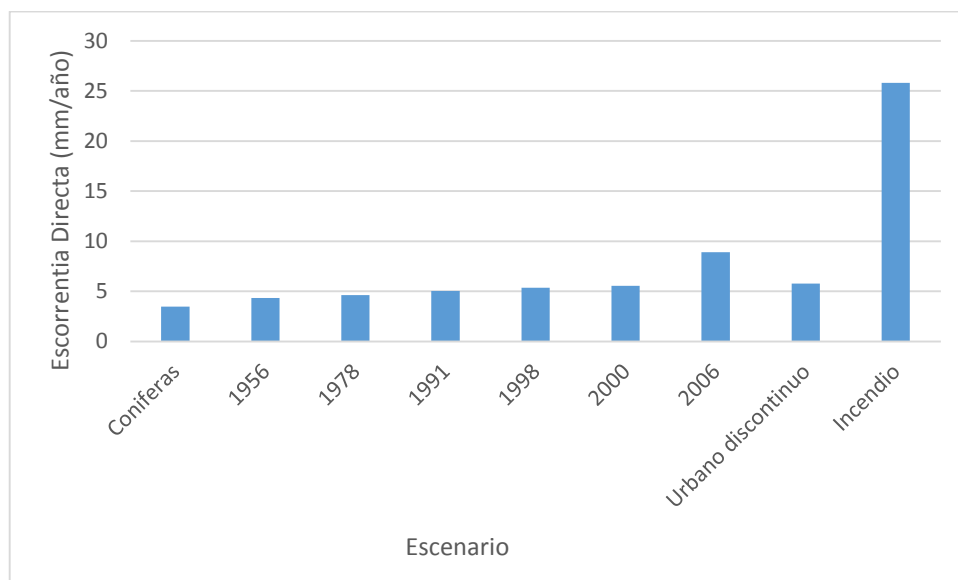


Figura 7-12. Variación de la escorrentía directa para los escenarios de usos del suelo.

### 7.2.3 Infiltración y flujo subterráneo profundo

En el caso de la infiltración y el flujo subterráneo profundo, como se observa en la figura 7-13, siguen el mismo comportamiento aunque con diferencias en las cantidades de flujo. Si bien la capacidad de infiltración es uno de los parámetros que se ve modificado con los cambios de los usos del suelo, en nuestro caso no presenta grandes impactos.

En el área de nuestro estudio se observa que la modificación de los usos del suelo y las variaciones que se adoptaron para la infiltración, en los usos urbanos, no tiene relevancia en la infiltración, sino que está gobernada por la evapotranspiración. Evaluando como trabaja la infiltración en el modelo, debemos ver la ecuación del balance antes del tanque superficial (figura 7-13), que se rige por la siguiente ecuación:

$$X_3 = \min(X_2, \Delta t \cdot k_s \cdot FC_3)$$

Donde  $X_3$  es la infiltración gravitacional,  $X_2$  es el excedente del tanque estático,  $k_s$  es la capacidad de infiltración y  $FC_3$  el factor corrector correspondiente.

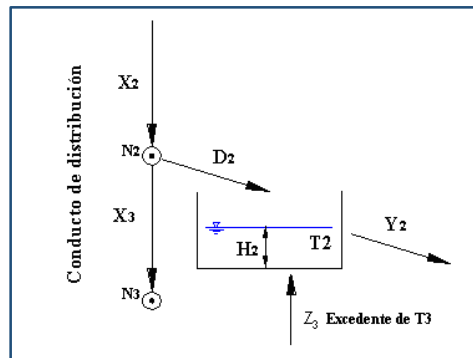


Figura 7-13. Esquema de almacenamiento sobre la superficie de la ladera (Francés et al., 2012).

Lo que nos muestra la ecuación es que: si lo que llega al nodo N2 no supera la capacidad de infiltración ya calibrada, se infiltra todo lo que llega, si la supera infiltra lo que fija la capacidad. Entonces la infiltración está gobernada tanto por la evapotranspiración como por la capacidad de infiltración.

Tanto en el caso de infiltración como de flujo subterráneo profundo, los cambios más importantes que se aprecian en la tabla 7.2 son los de los escenarios extremos de coníferas y de incendio. Estos cambios como se mencionó son provocados principalmente por el proceso de evapotranspiración que limita los demás procesos.

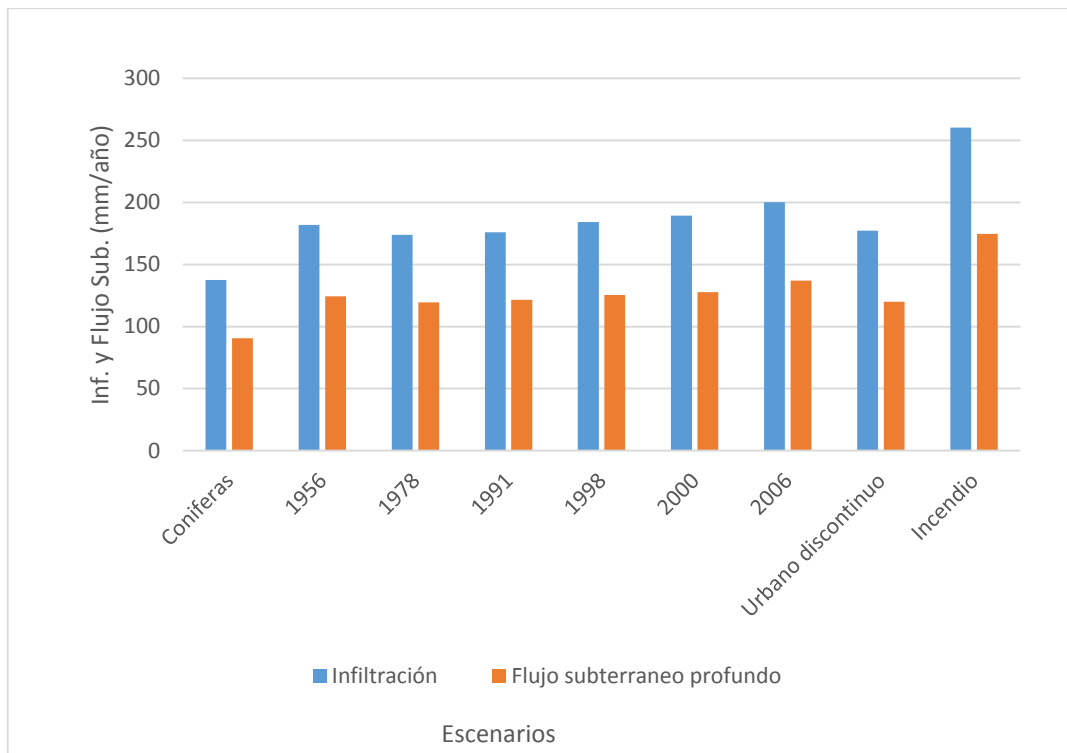


Figura 7-14. Variación de la infiltración y el flujo subterráneo profundo para los escenarios de usos del suelo.

En el caso del flujo subterráneo profundo percola: si excede la capacidad de percolación, percola lo que la capacidad determina, sino supera entonces percola todo lo que llega. La diferencia entre la infiltración y la percolación profunda se debe a que, se queda almacenado en el tanque gravitacional un volumen considerable de agua. Esto se debe a la conceptualización del modelo y a la calibración, ya que el parámetro del interflujo es cero.

### 7.3 ANÁLISIS DE LA FRECUENCIA DE LAS CRECIDAS

Las ramblas mediterráneas están caracterizadas por regímenes esporádicos, donde el mayor aporte hídrico se produce en épocas de crecida. Por otro lado, las poblaciones y las actividades económicas han ocupado zonas de inundación, estas zonas de inundación son producto de la dinámica hidrogeomorfológica de la las ramblas (García et al., 2007).

Los sistemas hidrológicos son afectados por eventos extremos, como otros muchos sistemas naturales. Estos eventos extremos se relacionan con su frecuencia de ocurrencia de manera inversa, es decir cuánto más extremo sea el evento tendrá una menor frecuencia de ocurrencia, mientras cuanto más moderado sea el evento con mayor frecuencia se presentara en el sistema (Chow et al., 1994).

En el presente capítulo, se llevara a cabo un análisis de frecuencia de la información hidrológica de caudales simulados con el modelo implementado de TETIS en la cuenca del barranco del Carraixet. El análisis de frecuencia nos permitirá comparar el comportamiento,

en cuanto a eventos extremos se refiere, de la cuenca del barranco del Carraixet con los diferentes usos del suelo.

La metodología consiste en ajustar los valores muestrales, en nuestro caso series de caudales, a funciones de distribución de probabilidad teóricas. Estas funciones de distribución que han sido desarrolladas por algunos científicos como Gauss, Gumbel, Jenkinson, etc.; describen el comportamiento poblacional de las variables aleatorias. Para ajustar la función de distribución a los valores muestrales, se usa el programa informático AFINS 2.0 desarrollada en el Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente de la Universidad Politécnica de Valencia. El cual utiliza el método de la máxima verosimilitud para realizar el ajuste y compara el resultado del ajuste con la función de distribución empírica para determinar la bondad del mismo.

### 7.3.1 Funciones de distribución de probabilidad

#### *Función de distribución empírica:*

La función de distribución empírica asigna una probabilidad de no excedencia a la variable aleatoria ordenada (Francés, 1995). Esta función de distribución representa el comportamiento de la muestra, más no el de la población, por eso que su uso es limitado.

La función de distribución empírica se usa en estadística no paramétrica para cálculo de cantiles si ajuste de funciones teóricas; así como para criterio de bondad de ajuste gráfico (Francés, 1995).

Cunnane (citado por Francés, 1995), desarrollo un estimador de la función de distribución empírica, que viene dada por la siguiente ecuación:

$$F_X(x) = \frac{i - \alpha}{n + i - 2 \cdot \alpha}$$

Donde  $i$  es la posición en la serie ordenada,  $\alpha$  es un parámetro cuyo valor que se adoptara en este trabajo es el dado por Gumbel y es igual a 0.44.

#### *General Extreme Value (GEV):*

La función de general extreme value pertenece a los modelos clásicos en el estudio de avenidas, considerando una sola población de máximos. "Esta distribución es la recomendada por el "Natural Environment Research Council" británico (1975)" (Francés, 1995). La función de distribución viene gobernada por la siguiente ecuación:

$$F_X(x) = \exp \left[ - \left( 1 - \frac{\beta}{\alpha} (x - x_0) \right)^{\frac{1}{\beta}} \right]$$

Donde  $\alpha$ , es el parámetro de escala,  $\beta$  es el parámetro de forma y  $x_0$  es el parámetro de localización.

Si  $\beta < 0$  entonces  $x < (x_0 - \frac{\alpha}{\beta})$

Si  $\beta > 0$  entonces  $x > (x_0 - \frac{\alpha}{\beta})$

### *Two Component Extreme Value (TCEV)*

La función de distribución two component extreme value fue desarrollada por et al. (1984); esta función de distribución contempla que las crecidas pueden ser generadas por fenómenos distintos, es decir son poblaciones diferentes y pueden ser modeladas por el producto de dos funciones Gumbel. La función TCEV viene dada por la ecuación siguiente:

$$F_X(x) = \exp(-\lambda_1 \cdot \exp(\theta_1 \cdot x) - \lambda_2 \cdot \exp(\theta_2 \cdot x))$$

Donde  $\theta_1$  y  $\lambda_1$  son los parámetros de escala y de forma de las crecidas “ordinarias” y  $\theta_2$  y  $\lambda_2$  son los parámetros de escala y de forma de las crecidas “extraordinarias”.

### *Distribución generalizada de Pareto (GDP)*

Según Reiss, Thomas, & Reiss (2007) la función de distribución generalizada de Pareto es la adecuada para excedencias, ya que de acuerdo a sus parámetros, puede ser de cola pesada o liviana; esto quiere decir que le da a los valores extremos un campo de probabilidad mayor. La función de viene dada por la siguiente ecuación:

$$F(X) = 1 - \left[1 - k \frac{x - x_0}{\alpha}\right]^{\frac{1}{k}}$$

Donde el parámetro  $x_0$  es el límite de censura,  $k$  es el parámetro de forma y  $\alpha$  es el parámetro de escala.

### 7.3.2 Método de máxima verosimilitud para el ajuste de funciones de distribución

Según Fisher (citado por Chow et al., 1994), el mejor parámetro de una distribución de probabilidad es el que maximiza la probabilidad conjunta de ocurrencia de la muestra observada y debido a que el tamaño del intervalo es fijo, maximizar la función de máxima verosimilitud da el mismo resultado que maximizar la probabilidad conjunta; la función de máxima verosimilitud viene dada por la siguiente expresión:

$$L(\theta) = \prod_{i=1}^n f(x_i)$$

### 7.3.3 Máximos anuales de caudales diarios

La serie anual máxima de caudales diarios, contiene los valores máximos de caudales diarios para cada año de la muestra total. En este apartado se realizara el análisis de frecuencia de la serie, este análisis nos permitirá determinar cómo influyen los cambios de los usos del suelo



en los eventos extremos, que como se mencionó anteriormente es de importancia en las ramblas.

Se realizaron ajustes con diferentes funciones de distribución teóricas con el programa informático AFINS 2.0 y se escogió la función que mejor se ajusta a la función de distribución empírica. El método de ajuste comparando con la función de distribución empírica es ampliamente aceptado los campos de la ingeniería, es por eso que en nuestro caso lo tomamos como un método aceptable para verificar los ajustes (Kottegoda & Rosso, 2008).

Se probaron diferentes funciones de distribución para determinar cuál es la que mejor se ajusta a la muestra. El resultado de evaluar las diferentes funciones de distribución de valores extremos, es que la función Two Component Extreme Value (TCEV) se ajusta mejor al conjunto de escenarios. En la tabla 7.3 se muestran los parámetros del ajuste. En nuestro caso que se quiere hacer comparaciones, nos resulta mejor que los ajustes tenga un comportamiento similar más que tengan mejores ajustes independientes. Las gráficas de los ajustes se muestran en la figura 7-16 y 7-17.

Tabla 7.3. Parámetros de la funciones de distribución TCEV para cada escenario de uso del suelo.

Escenario	Parámetros			
	Lambda 1	Theta 1	Lambda 2	theta 2
1956	2.38037	1.87314	0.421033	0.198428
1978	2.58092	2.07596	0.437437	0.195622
1991	2.45745	1.79075	0.485512	0.196146
1998	2.56157	1.74375	0.495572	0.193258
2000	2.97387	1.94151	0.562385	0.205582
2006	2.94922	1.12825	0.44353	0.165934
Coníferas	1.96764	2.66782	0.469442	0.227238
Incendio	2.98963	0.336996	0.0904438	0.0482111
Urbano Discontinuo	2.75961	1.57866	0.445307	0.160337

Para hacer la comparación de los diferentes escenarios, como se mencionó anteriormente, se calculan los cuantiles para periodos de retorno de cinco y cincuenta años, como se muestra en la tabla 7.4. Como se puede observar en la tabla 7.4, las diferencias en los caudales con cincuenta años de periodo de retorno, no varían mucho para los diferentes escenarios de usos históricos del suelo, excepto para el año 2006 que incrementó un 21.63%. Por otro lado, en los escenarios posibles planteados, se observa un aumento de 103.48% en el escenario de que se produce un incendio en el bosque de coníferas y el matorral esclerófilo; igualmente el escenario de uso urbano discontinuo es que le siguen en porcentaje de aumento con respecto al del año 1956.

En los caudales para periodo de retorno de cinco años se puede observar que hay variaciones más acentuadas entre los diferentes escenarios. En el caso de los usos del suelo históricos, se tiene que solo el del año 1978 cambia poco, el resto presentan cambios significativos.

Se puede apreciar, como en el caso de los escenarios con cambios extremos en los usos del suelo, mayores variaciones; presentando el escenario de coníferas el valor más bajo. El escenario de incendio produce cambios considerables, por ejemplo en el periodo de retorno de cincuenta años es aproximadamente el doble que los usos históricos, esto nos muestra el impacto de los incendios sobre el régimen hídrico.

Tabla 7.4. Cuantiles para cada escenario de usos del suelo mediante el ajuste a la función de distribución TCEV y los porcentajes de cambio respecto al momento de referencia.

Escenario	Cuantil (m <sup>3</sup> /s)		Cambios respecto del momento de referencia (%)	
	T=5	T=50	5	50
Coníferas	3.28	13.84	-0.89	-9.55
1956	3.31	15.30	0.00	0.00
1978	3.48	15.72	5.28	2.71
1991	4.01	16.21	21.12	5.91
1998	4.17	16.56	26.07	8.19
2000	4.50	16.18	36.17	5.72
2006	4.60	18.62	39.08	21.63
Incendio	8.62	31.14	160.72	103.48
Urbano Discontinuo	4.38315	19.2894	32.51	26.04

En la figura 9-16 y 9-17 se puede observar, para los diferentes escenarios de usos del suelo, el ajuste de la función de distribución TCEV. Este ajuste, si bien no se ajusta al caudal más alto registrado, si representa un ajuste con características similares para todos los escenarios, siendo adecuado para las comparaciones en la tarea de evaluar los cambios generados.

Haciendo una comparación con el caudal máximo registrado durante el periodo de análisis, esto es de 1971-2008, con los caudales obtenidos de los ajustes a la función de distribución TCEV y periodos de retorno de cinco y cincuenta años. Se puede observar en la figura 7-15 que siguen el mismo comportamiento para el escenario de cinco años de periodo de retorno. En el caso de cincuenta años de periodo de retorno, en el año 2000 es en el que se puede observar un comportamiento diferente.

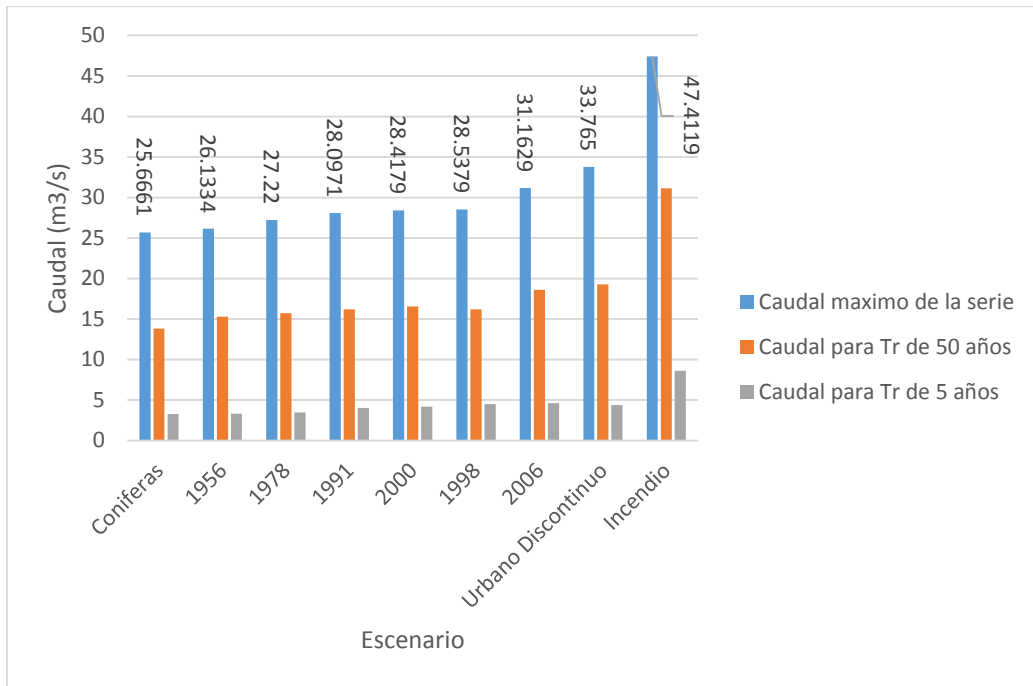


Figura 7-15. Máximo caudal de toda la serie simulada para cada escenario y los cuantiles de 5 y 50 años.

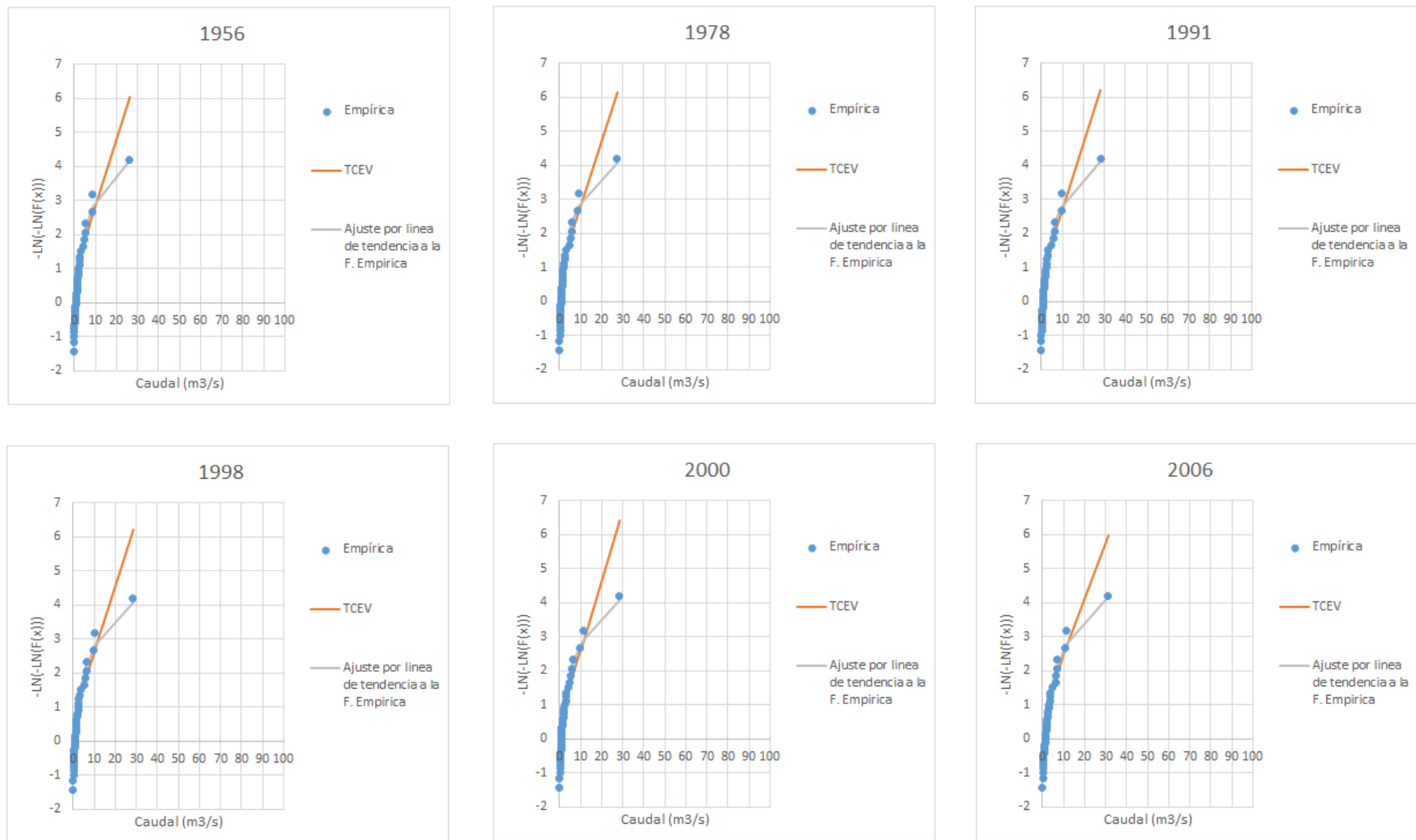


Figura 7-16. Ajuste de la función de distribución TCEV y empírica para los escenarios históricos de usos del suelo.

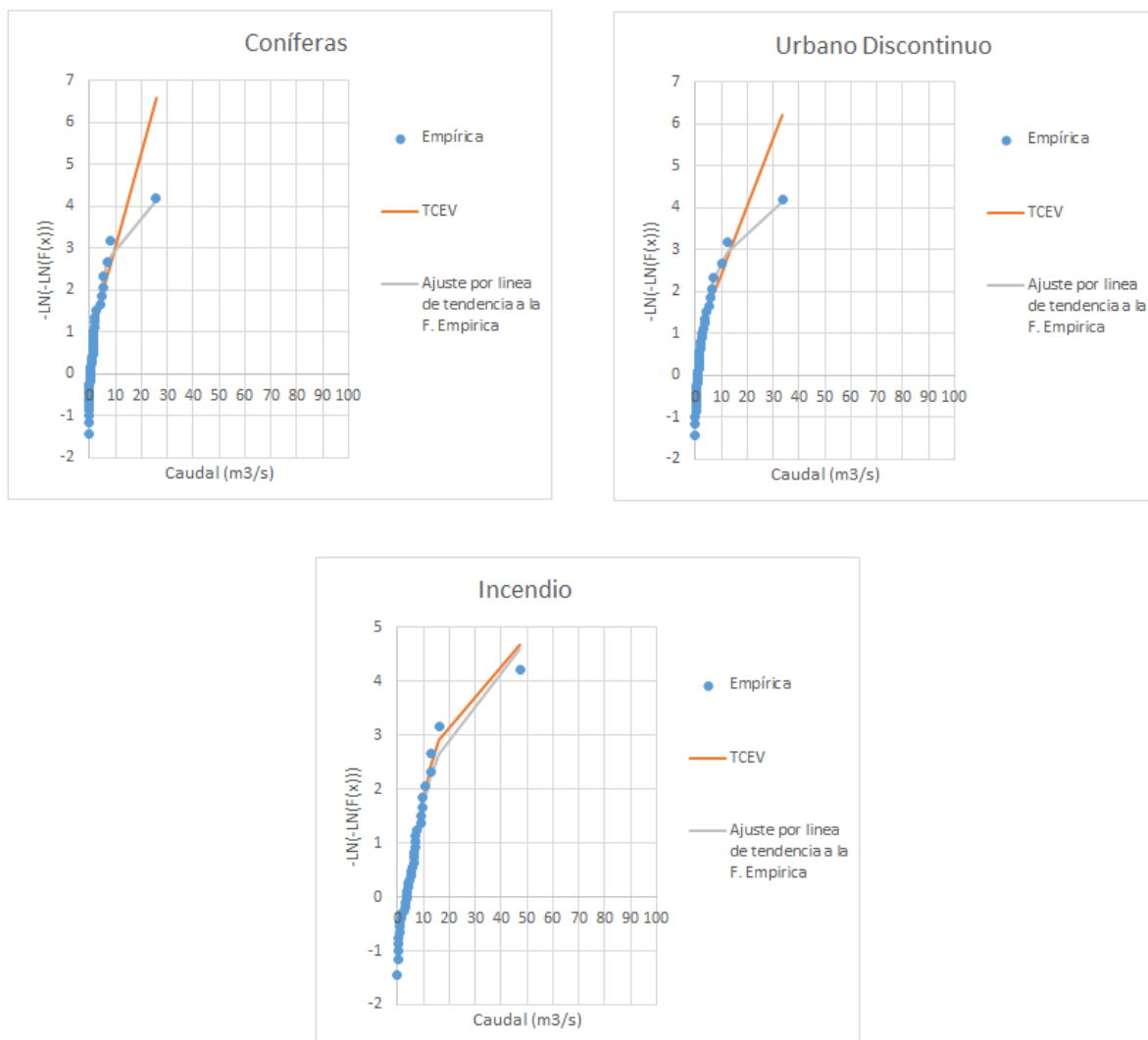


Figura 7-17. Ajuste de la función de distribución TCEV y la función de distribución empírica para los escenarios extremos de usos del suelo.

### 7.3.4 Picos por encima de un límite de caudales diarios

En vista que en el análisis de máximos anuales, los máximos anuales en muchos casos son menores que otros valores registrados en un mismo año (figura 7-17), esto nos lleva a evaluar el comportamiento de las series simuladas con picos por encima de un límite. A la serie obtenida de los valores por encima de un límite se le llama serie parcial (Chow et al., 1994). En nuestro caso al comparar el número de registros de cada serie simulada, con diferentes valores umbral, se determinó usar el valor de 2 m<sup>3</sup>/s. Antes del análisis se tuvo que llevar a cabo una corrección en las series, esto con el fin de cumplir el principio de independencia; este procesamiento consistió en depurar valores que sean muy próximos en la dimensión espacial.

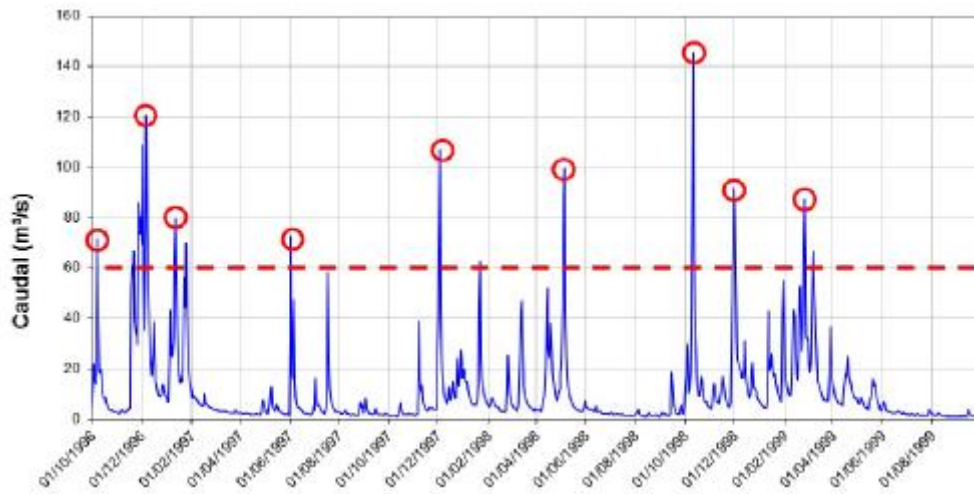


Figura 7-18. Serie de tiempo de picos por encima de un límite (Frncés, 2015).

De manera análoga al apartado anterior se realizó varios ajustes a diferentes funciones de distribución de probabilidad, esto para cada escenario; de esta manera se determinó que la función que mejor se ajusta a todos los escenarios es la distribución generalizada de Pareto; en la tabla 7.5 se muestran los parámetros de la función los ajustes de cada escenario. Las gráficas de los ajustes se muestran en las figuras 7-19 y 7-20, se puede observar que a excepción del escenario de coníferas y de incendio, todos los ajustes tienen comportamiento general.

Tabla 7.5. Parámetros de las funciones de distribución Generalizada de Pareto para cada escenario de uso del suelo

Escenario	Parámetros		
	$X_0$	k	Alpha
1956	2	-0.463572	1.99599
1978	2	-0.316136	2.82833
1991	2	-0.468483	1.98192
1998	2	-0.398471	2.28526
2000	2	-0.417587	2.48128
2006	2	-0.579325	1.39332
Coníferas	2	-0.790129	1.37551
Incendio	2	-0.312685	1.98458
Urbano Discontinuo	2	-0.445529	2.43868

Para poder determinar la relación de la probabilidad de no excedencia de los ajustes de picos por encima de un límite, al no ser valores anuales, no existe un relación determinada con el periodo de retorno directamente de los resultados de la función. Para calcular los cuantiles para determinado periodo de retorno, se tiene que transformar la probabilidad de picos por

encima de un límite a probabilidad de máximos anuales, Francés (2015) plantea la siguiente relación:

$$F(X) = \exp\{-\lambda[1 - G(X)]\}$$

Donde  $F(x)$  es la probabilidad en termino de máximos anuales,  $G(x)$  es la probabilidad en términos de términos de picos por encima de un límite y  $\lambda$  es igual al número de caudales pico dividido entre el número total de años.

En la tabla 7.6 se muestran los resultados para cada uno de los escenarios, tanto históricos como escenarios extremos supuestos, para cinco y cincuenta años de periodo de retorno; se observa una mayor variación con respecto al momento de referencia, además hay diferencia entre las tendencias de los resultados de periodo de retorno de cinco y cincuenta años de periodo de retorno. En los resultados de cinco años de periodo de retorno los resultados son más parecidos a los obtenidos en el análisis de máximos anuales, también muestra una disminución en el caudal obtenido de la serie de coníferas del 22% aproximadamente y un aumento muy importante en el escenario de incendio. En los valores de caudal obtenidos para cincuenta años de periodo de retorno, se observa que los resultados del escenario de coníferas como de incendios no son del todo coherentes con el resto de resultados analizados hasta ahora; en el caso de coníferas por la incertidumbre asociada a que se realizó el ajuste con una muestra corta de trece valores, pudiendo ser el valor que nos arroja el ajuste un valor que no representa la población.

En el escenario de incendios la muestra está compuesta por 106 valores, y el caudal resultante del ajuste es bajo en comparación con el de máximos anuales; una posible explicación de porqué obtenemos este resultado, es que la mayoría de valores se localizan en cuantiles muy bajos, haciendo que el ajuste siga ese comportamiento, esto se puede notar en la figura 7-20, donde la función ajustada está más separada del valor más extremo de la función empírica.

Tabla 7.6. Cuantiles para los diferentes escenarios del ajuste a la función de distribución GDP.

Escenario	Cantil (m3/s)		Cambios respecto del momento de referencia (%)	
	T=5	T=50	5	50
Coníferas	2.70	16.54	-22.29	8.15
1956	3.47	15.29	0.00	0.00
1978	3.77	15.95	8.47	4.30
1991	3.94	16.79	13.52	9.80
1998	4.17	16.86	20.18	10.27
2000	3.80	17.18	9.51	12.33
2006	4.30	18.51	23.78	21.06
Incendio	9.63	25.28	177.37	65.34
Urbano Discontinuo	4.36758638	19.390233	25.74	26.80

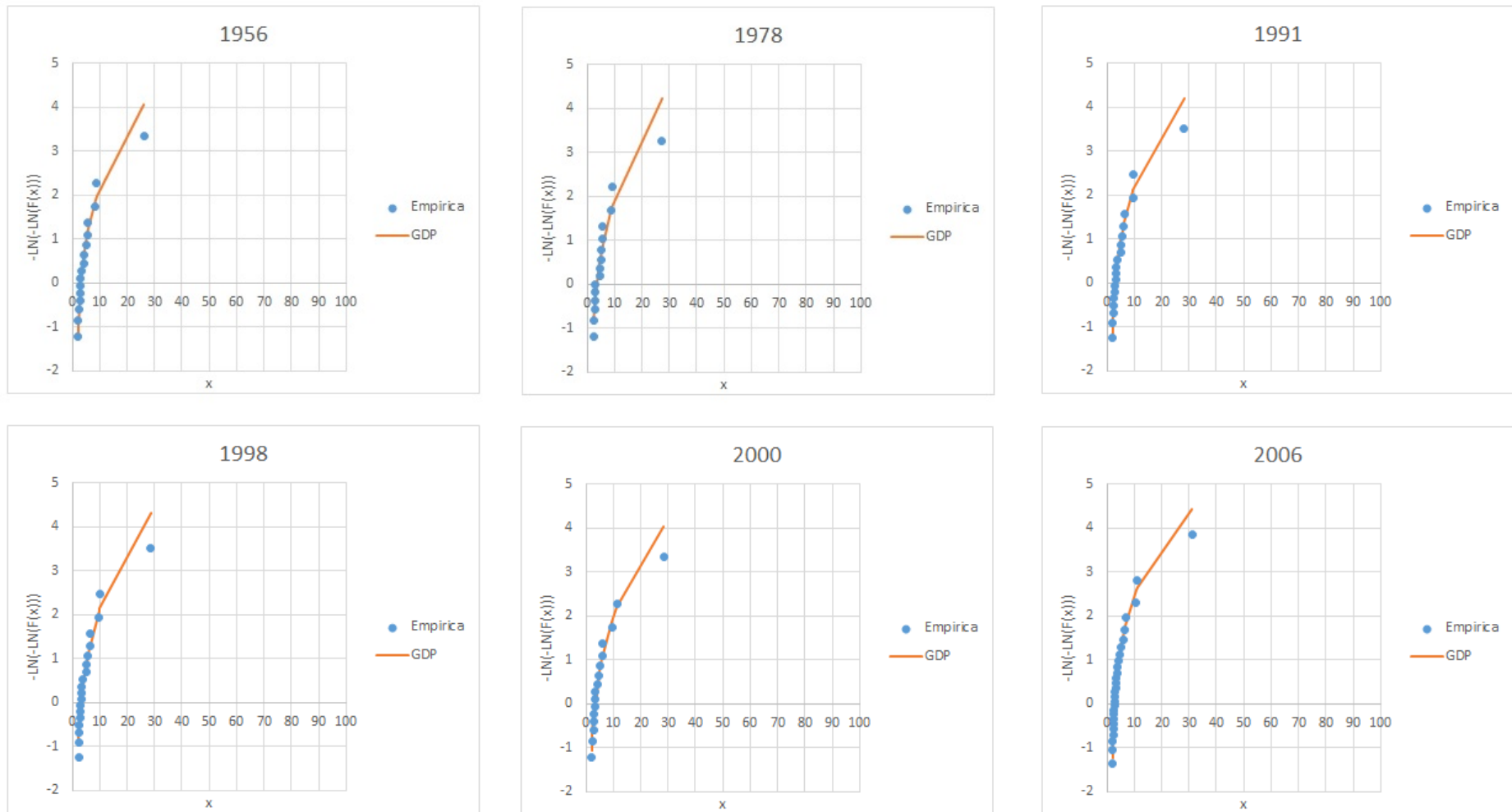


Figura 7-19. Ajuste de la función de distribución GDP y función de distribución empírica, para los escenarios históricos de usos del suelo.



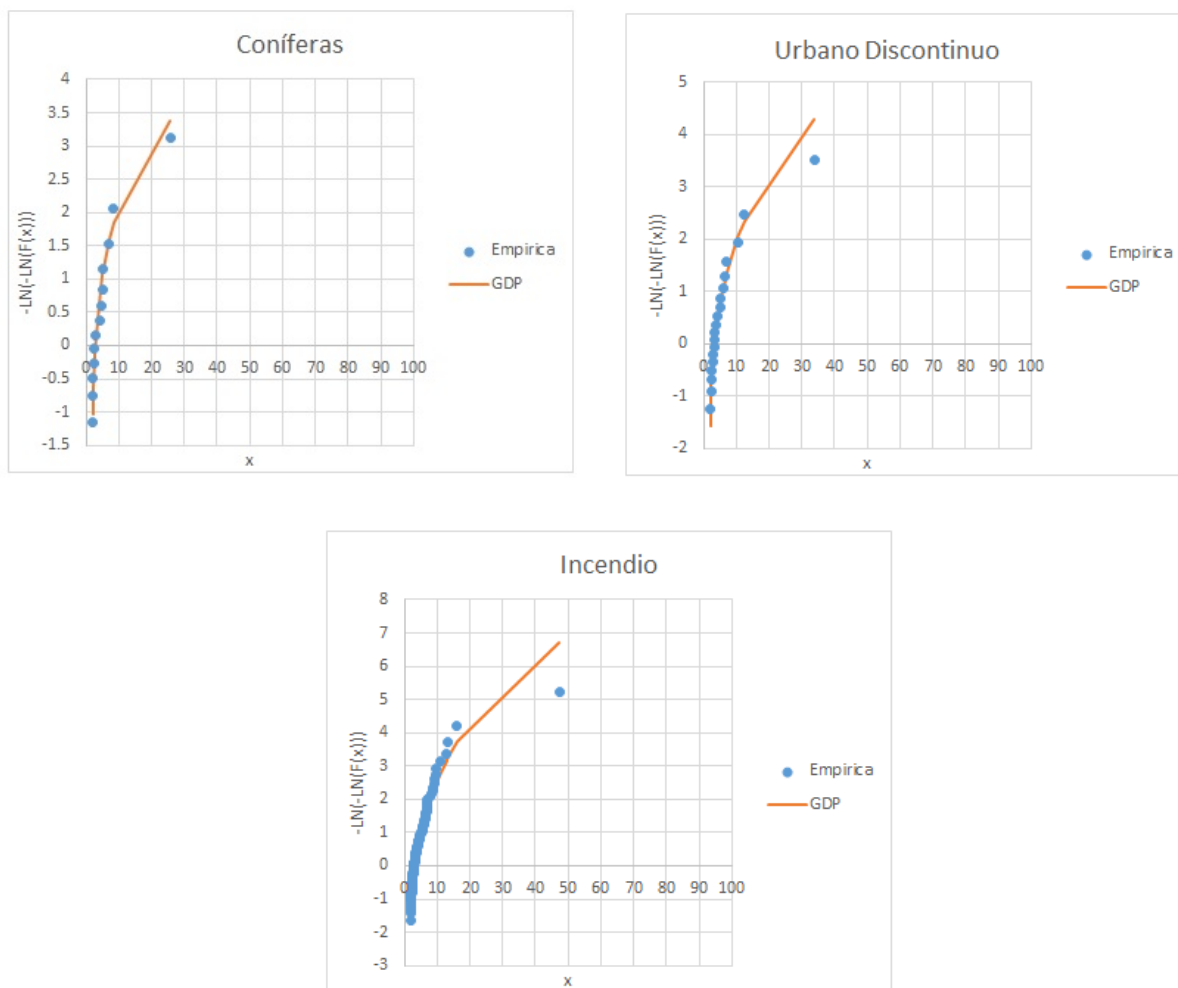


Figura 7-20. Ajuste de la función de distribución GDP y función de distribución empírica, para los escenarios extremos de usos del suelo.

## 7.4 ANÁLISIS DE LA INTERMITENCIA

Los cauces efímeros son los sistemas fluviales típicos de la zona mediterránea, estos sistemas tienen un alto riesgo de sufrir inundaciones. Estos sistemas fluviales están secos casi la mayoría de días del año, pero toda la precipitación que se produce durante el año está concentrada en pocos días, lo que hace que estas precipitaciones tengan una intensidad alta, la intensidad de la lluvia aumenta hasta superar rápidamente la capacidad de infiltración y se produce la escorrentía, aun si el suelo no está saturado (Martin-Vide, 2004).

En el presente apartado se analizará como varía la intermitencia, medida en porcentaje de ceros respecto del total de datos, del sistema fluvial de la cuenca del barranco del Carraixet; primeramente determinará un caudal umbral por debajo del cual se considera cero el valor simulado, ya que el modelo nos arroja valores cuando la estación de aforo de Bétera no los registra, esto puede deberse a pérdidas en el cauce.

Para determinar el umbral se hizo un análisis de la serie aforada SAIH y la simulada en la calibración del modelo; de los valores que en la serie aforada son cero se comparó con los valores de la serie simulada para el mismo día, así se obtiene la frecuencia con que un aparece un determinado intervalo de caudal. En la figura 7-21 se puede observar la frecuencia acumulada con que se registra un caudal que es igual a cero en la serie aforada.

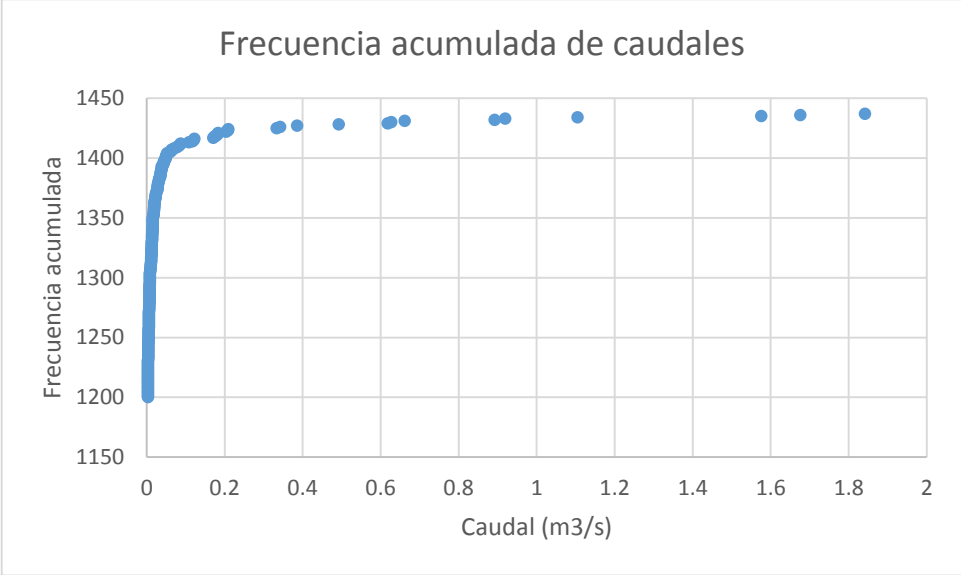


Figura 7-21. Representación de los valores iguales a cero en la serie aforada SAIH y los valores de la simulación del periodo de calibración.

En el gráfico se puede observar que a partir del caudal 0.2 m³/s los registros ya no aumentan de manera significativa, tomando entonces este valor como el umbral a partir del cual el valor es igual a cero.

En la tabla 7-6 se muestran los resultados para cada escenario, esto porcentaje es el número de ceros de la serie dividida por el número total de datos; como se observa los valores no muestran una gran variación en los porcentajes; pero si muestra una tendencia que en el escenario de incendio nos da el valor más bajo, y en el escenario de coníferas el valor más alto.

Tabla 7.7. Número de registros iguales a cero por año y porcentajes respecto al total de registros para cada escenario.

Escenario	Nº de ceros	% de ceros
1956	353.50	98.74
1978	353.16	98.65
1991	352.79	98.54
1998	352.45	98.45
2000	352.11	98.35
2006	346.79	96.87
Coníferas	354.45	99.01
Incendio	329.47	92.03
Urbano discontinuo	352.00	98.32

## 8 RESUMEN Y CONCLUSIONES

---

En vista de la actual preocupación del cambio climático y las posibles repercusiones que este trae consigo, y el desarrollo económico que afectan significativamente al medio natural, se planteó el presente estudio con el objetivo general de determinar las influencias que generan los cambios de los usos del suelo en el régimen hídrico. El caso de estudio es la cuenca del barranco del Carraixet, situada en la Comunidad Valenciana; el trabajo se desarrollara aplicando el modelo distribuido TETIS, desarrollado por el Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente de la Universidad Politécnica de Valencia.

Para alcanzar este objetivo primeramente se procedió a uniformizar la información cartográfica de los usos del suelo que provenían de fuentes diferente. Se llevaron a cabo algunos procesamientos para uniformizar la información de partida en este estudio; se procedió al cálculo de los parámetros que dependen de los usos del suelo, una vez determinados los parámetros necesarios para el modelo TETIS, se hicieron las simulaciones para cada escenario de usos del suelo. Para cuantificar los cambios en el régimen hídrico, se llevaron a cabo tres análisis diferentes del régimen hídrico: el análisis del balance hídrico de la cuenca, el análisis de frecuencia de las series simuladas y por último el análisis de la intermitencia del sistema fluvial. En el balance hídrico de la cuenca se analizaron los diferentes flujos que TETIS nos arroja como resultado y se determinaron algunas relaciones entre los cambios en los usos del suelo y los cambios en el balance. En el análisis de frecuencia de las series simuladas se realizó tanto para máximos anuales como para picos por encima de un límite, con el fin de tener una mejor comprensión de los cambios que se producen.

Después de analizar los resultados del presente trabajo, se llega a las siguientes conclusiones:

En el balance, la escorrentía superficial es el flujo que presenta una mayor variabilidad, siendo el escenario extremo en el que suponemos todo el bosque de coníferas y el matorral esclerófilo incendiado el que presenta un valor de hasta seis veces el valor registrado en el momento de referencia. Por otro lado, el escenario en el que se considera que toda la cuenca está cubierta por bosque de coníferas es el único escenario que muestra un descenso de la escorrentía superficial respecto al momento de referencia. Después de comparar los resultados del balance hídrico con los cambios producidos en la escorrentía superficial, nos muestra que los cambios en la superficie cubierta por bosque de coníferas producen variaciones significativas en la escorrentía directa.

Al igual que en estudios anteriores sobre los impactos de los cambios de los usos del suelo, en el presente estudio los resultados nos muestran que la escorrentía directa disminuye cuando aumenta la superficie cubierta por bosque de coníferas. Esto es importante para desarrollar planes de reforestación en cuencas con riesgos de inundación.

Si bien la evapotranspiración total no tiene una alta variabilidad entre los diferentes escenarios, los cambios que se produzcan en esta tienen una fuerte influencia sobre los demás procesos del ciclo hidrológico en cuencas áridas y semiáridas. Los resultados muestran que la evapotranspiración es más del 50% del total de agua que entra al sistema, con excepción del escenario de incendio en el que se registra menos del 50%; en el escenario de incendio se observa además, que los valores obtenidos para los demás componentes del balance

aumentan. Esto nos muestra como la evapotranspiración afecta los demás procesos del ciclo hidrológico.

Los cambios introducidos en la capacidad de infiltración no tienen una influencia marcada en los cambios tanto del balance como del análisis de frecuencia de las series simuladas. Debido en parte a la poca superficie que representa el uso urbano y por el papel que desempeña la evapotranspiración, los resultados muestran un aumento en la infiltración cuando hay un aumento de las zonas menos permeables. Siendo así un tema que se tiene que estudiar más a fondo para tratar de determinar mejor como la vegetación influye a la capacidad de infiltración. Debería de estimarse de manera más precisa como los cambios de los usos del suelo influyen en el parámetro de capacidad de infiltración, en especial para estudios relacionados a la influencia de los cambios en los usos del suelo en el régimen hídrico.

En el análisis de frecuencia de máximos anuales se pudo determinar que para el periodo de retorno de cinco años se producen variaciones porcentuales significativas con respecto al momento de referencia, mientras que en cincuenta años de periodo de retorno los cambios con respecto al momento de referencia son menores; siendo el escenario en el que se supone el bosque de coníferas y el matorral esclerófilo incendiados el que presenta un cambio muy importante para ambos periodos de retorno, poniendo en relieve el aumento en el riesgo de inundación en cuencas que sufren incendios.

El análisis de picos por encima de un límite arroja resultados para cincuenta años de periodo de retorno, que no guardan relación con los demás resultados analizados, esto es comprensible ya que las series con las que se trabajó son series y para cincuenta años de periodo de retorno, el cuantil que nos arroja el ajuste tiene mucha incertidumbre.

En cuanto a los cambios en la intermitencia del sistema fluvial, no se encontraron cambios considerables entre los diferentes escenarios, pero si se pudo notar que el comportamiento es similar al resto análisis realizados. Es decir, se registra un valor mayor para el escenario que supone la cuenca cubierta por bosque de coníferas y un mínimo para el escenario en el que el bosque de coníferas y el matorral esclerófilo se incendian.

El desarrollo del presente trabajo solo ha sido posible empleando un modelo hidrológico distribuido; esto debido a que los modelos distribuidos nos permiten una representación de la variabilidad espacial de los parámetros y facilita la estimación de los parámetros a partir de los cambios en los usos del suelo.

## 9 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO Riego y Drenaje*. <https://doi.org/M-56>
- Alonso, F. J., & Bertoni, J. C. (n.d.). Calibración automática del modelo hidrológico iph-ii en dos cuencas típicas argentinas, *54(0)*, 1–20.
- Ballestaros Navarro, B. J. (2007). Comportamiento de los acuíferos ante las actuaciones de sequía en los sistemas de explotación Júcar y Turia, 36.
- Bari, M. A., Smith, N., Ruprecht, J. K., & Boyd, B. W. (1996). Changes in streamflow components following logging and regeneration in the southern forest of Western Australia. *Hydrological Processes*, *10(3)*, 447–461.
- Beven, K. ., & O'Connell, P. E. (1982). On the role of physically-based distributed modelling in hydrology, (81). [https://doi.org/10.1002/1099-1085\(200011/12\)14:16/17<3183::AID-HYP404>3.0.CO;2-K](https://doi.org/10.1002/1099-1085(200011/12)14:16/17<3183::AID-HYP404>3.0.CO;2-K)
- Buendia, J. L. S. (1972). El Barranc del Carraixet. Estudio granulométrico y morfométrico. *Cuadernos de Geografía*, (10), 67–92.
- Bussi, G., Montoya, J. J., & Francés, F. (2010). Calibración de un modelo conceptual distribuido del ciclo de sedimentos. Aplicación a la cuenca experimental de Goodwin Creek (EEUU).
- Camarasa Belmonte, A. M. (1991). *Génesis de crecidas en pequeñas cuencas semiáridas: barranc de Carraixet y Rambla de Poyo*.
- Chow, V., Maidment, D., & Mays, L. (1994). *Hidrología aplicada. Hidrologia aplicada*.
- Confederación Hidrografica del Júcar. (1997). Plan hidrológico de cuenca del Júcar, VI.
- Dingman, S. L. (1994). *Physical hydrology*. Prentice Hall.
- Duan, Q. (1991). A global optimization strategy for efficient and effective calibration of hydrologic models.
- Duan, Q. Y., Gupta, V. K., & Sorooshian, S. (1993). Shuffled complex evolution approach for effective and efficient global minimization. *Journal of Optimization Theory and Applications*, *76(3)*, 501–521.
- Ferrero, V. O. (2004). Hidrología Computacional y Modelos Digitales del Terreno, 391. Retrieved from <http://heart.sf.net/textos>
- Francés, F. (1995). *Utilización de la información histórica en el análisis regional de las avenidas*.
- Francés, F., Vélez, J. J., Munera, J. C., Medici, C., & Busii, G. (2012). Descripción del modelo conceptual distribuido de simulación hidrológica TETIS v. 8. *Universidad Politécnica de Valencia Departamento de Ingeniería Hidráulica Y Medio Ambiente Grupo de Investigación de Modelación Hidrológica Y Ambiental (GIMHA)*, 86.
- García, M. J. L., Belmonte, M. C., & Bellés, J. F. M. (2007). Cambios en los usos del suelo y producción de escorrentía en ramblas mediterráneas: Carraixet y Poyo (1956-1998). *Boletín de La Asociación de Geógrafos Españoles*, (44), 69–94.
- Gómez, J. J., & Goy, A. (1979). Las unidades litoestratigráficas del Jurasico medio y superior,

- en facies carbonatadas del Sector Levantino de la Cordillera Iberica [Espana]. *Estudios Geológicos*.
- Gómez Mendoza, J. (1989). La discusión técnica en torno a la política hidráulica y a la política forestal antes del Plan Nacional de Obras Hidráulicas. In *Los Paisajes del agua libro jubilar dedicado al profesor Antonio López Gómez* (1st ed., pp. 80–85).
- González Hernández, F., López Arias, M., & Minaya Gallego, M. T. (1993). Intercepción, trascolación y escorrentía cortical en masas de eucalyptus globuluslabill y pinus pineal. Del sur de la provincia de Huelva. *Congreso Forestal Español*, 81–86.
- Grayson, R., & Blöschl, G. (2001). *Spatial patterns in catchment hydrology: observations and modelling*. CUP Archive.
- Greenway, D. R. (1987). Vegetation and slope stability, Slope Stability Geotechnical Engineering and Geomorphology MG Anderson, KS Richards, 187--230. John Wiley, New York.
- Hargreaves, G. H., & Samani, Z. A. (1982). Estimating potential evapotranspiration. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, 108(3), 225–230.
- Herrera, S., Fernández, J., & Gutiérrez, J. M. (2016). Update of the Spain02 gridded observational dataset for EURO-CORDEX evaluation: Assessing the effect of the interpolation methodology. *International Journal of Climatology*, 36(2), 900–908. <https://doi.org/10.1002/joc.4391>
- Huber, W. C., & Dickinson, R. E. (1988). Storm Water Management Model , Version 4 : User's Manual, (August 1988), 720.
- Instituto Geográfico Nacional. (2002). Corine 2000 descripción de la nomenclatura del Corine Land Cover al nivel 5º, (Diciembre).
- Kottegoda, N. T., & Rosso, R. (2008). *Applied statistics for civil and environmental engineers*. Blackwell Chichester, UK.
- Lambin, E. F., Fischer, G., Jäger, J., & Baulies, X. (1998). Electronic conference on land use and land cover change in Europe, 21 November-19 December 1997.
- Lavorel, S., Canadell, J., Rambal, S., & Terradas, J. (1998). Mediterranean Terrestrial Ecosystems: Research Priorities on Global Change Effects. *Global Ecology and Biogeography Letters*. <https://doi.org/10.2307/2997371>
- Martin-Vide, J. (2004). Spatial distribution of a daily precipitation concentration index in peninsular Spain. *International Journal of Climatology*, 24(8), 959–971. <https://doi.org/10.1002/joc.1030>
- Mattikalli, N. M., Devereux, B. J., & Richards, K. S. (1996). Prediction of river discharge and surface water quality using an integrated geographical information system approach. *International Journal of Remote Sensing*, 17(4), 683–701.
- Pascual Aguilar, J. A. (2002). *Cambios del suelo y régimen hídrico en la rambla de poyo y el barranc de Carraixet*.
- Puricelli, D. M. M. (2003). Estimación y distribución de parámetros del suelo para la



- modelación hidrológica. *PhD Tesis. Universidad Politécnica de Valencia*, 1–433. Retrieved from <http://dspace.cc.upv.es/handle/10251/2904>
- Ramírez Solano, L. M. (2012). Análisis de la implementación de un modelo hidrológico distribuido con información estándar en España.
- Raudkivi, A. J. (1969). *Hydrology: An Advanced Introduction to Hydrological Processes and Modelling. Journal of the Forensic Science Society* (Vol. 9). [https://doi.org/10.1016/S0015-7368\(69\)70505-9](https://doi.org/10.1016/S0015-7368(69)70505-9)
- Reiss, R.-D., Thomas, M., & Reiss, R. D. (2007). *Statistical analysis of extreme values* (Vol. 2). Springer.
- Rossi, F., Fiorentino, M., & Versace, P. (1984). Two-component extreme value distribution for flood frequency analysis. *Water Resources Research*, 20(7), 847–856.
- Saiz Buendia, J. (n.d.). El barranc del Carraixet. Estudio granulométrico y morfo métrico.
- Samani, Z. (2000). Estimating Solar Radiation and Evapotranspiration Using Minimum Climatological Data. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 126(4), 265–267. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(2000\)126:4\(265\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(2000)126:4(265))
- 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 Upegui, J. J., & García, F. F. (2008). Calibración automática de las condiciones iniciales de humedad para mejorar la predicción de eventos de crecida Resumen. *Avances En Recursos Hidráulicos*, 25–36. Retrieved from <http://www.bdigital.unal.edu.co/14892/1/9281-15804-1-PB.pdf>
- Viles, H. A. (1990). The agency of organic beings: A selective review of recent work in biogeomorphology. *Vegetation and Erosion*, 5–24.
- 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.